



**XX МОЛОДЕЖНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
УЧАЩИХСЯ, СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**«НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ – 2018»**

(TECHNOLOGY & SYSTEMS-2018)

*Посвящается 80-летию кафедры ИУ4(П8)
"Проектирование и технология производства ЭА"
МГТУ им. Н.Э.Баумана*

25 апреля 2018

МОСКВА
МГТУ им. Н. Э. Баумана
2018

УДК: 681.328

**20-ая Молодежная международная научно-техническая конференция
"Научно-технологические и интеллектуальные системы 2018". - г. Москва,
25 апреля 2018 г., МГТУ им. Н. Э. Баумана. 444 с.**

Тематика молодежной международной научно-технической конференции учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ (TECHNOLOGY&SYSTEMS-2018) охватывает широкий круг фундаментальных и прикладных исследований: современные технологии цифрового производства, синхронные технологии сквозного проектирования электронных систем, фундаментальные вопросы нанотехнологий, GRID - технологии, САПР, интернет/интранет технологии и телекоммуникации, системы управления базами данных, знаний, экспертные системы и искусственный интеллект и многие другие.

В научную программу конференции вошли более 50 секционных и стендовых докладов и программно-технических разработок.

Конференция входит в научную программу МГТУ им. Н. Э. Баумана «Студенческая научная весна».

Все доклады, включенные в сборник трудов конференции, воспроизведены в авторской редакции, всю ответственность за предоставленные материалы несут авторы докладов.

При цитировании публикации конференции следует указывать только фамилию, имя и отчество авторов докладов, указанные научные руководители авторами не являются и выполняют роль внутренней экспертизы (рецензирования), включенных в программу молодежной конференции работ молодых исследователей.

Материалы конференции имеют свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные или частичные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Редколлегия сборника:

В.А. Шахнов, член-корреспондент РАН, профессор, д.т.н.,
зав. кафедрой "Проектирование и технология производства ЭА" МГТУ им. Н. Э. Баумана,
председатель оргкомитета конференции.

А.И. Власов, доцент, канд. техн. наук, зам. председателя оргкомитета.

В.А. Соловьев, доцент, руководитель экспертной комиссии.

А.В. Лавров, Ученый секретарь.



® Оформление кафедра ИУ4
"Проектирование и технология производства ЭА"
МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018
® Авторы докладов

Подписано к печати 01 марта 2018 года

Заказ №03.02.118

Объем 18.5 п.л.

Тираж 500 экз.

Посвящается
80-летию кафедры ИУ4(П8)
МГТУ им.Н.Э.Баумана

Молодежная международная
научно-техническая конференция
учащихся, студентов, аспирантов
и молодых ученых

Организаторы конференции:

- ФУМО по УГСН 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника»;
- Московский Государственный технический Университет им. Н. Э. Баумана;
- Факультет "Информатика и системы управления" МГТУ им. Н. Э. Баумана;
- Кафедра "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры" (ИУ4) МГТУ им. Н. Э. Баумана;
- Кафедра "Системы автоматизированного проектирования" (РК6) МГТУ им. Н. Э. Баумана;
- Фонд содействия развитию науки, инноваций и технологий;
- Московское областное региональное отделение Союза машиностроителей России;
- АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»;
- НИИИИ МНПО «СПЕКТР»;
- ООО "Алл Импекс 2001";
- ООО «Совтест АТЕ»;
- АО «ЮЕ-Интернейшнл»;
- Центр современной электроники;
- Издательский дом «Электроника».



Информационная поддержка:

Журнал «Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение» (vestnikprib.ru).
Журнал «Электронные компоненты» (<http://www.elcp.ru>);
Журнал «Датчики и системы» (www.datsys.ru).

Лучшие работы молодых исследователей будут рекомендованы к публикации на страницах журнала «Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение».

Оргкомитет конференции

- Шахнов В.А. – председатель, зав. каф. ИУ4 МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Карпенко А.П. – сопредседатель зав. каф. РК6 МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Джанджгава Г.И. – Президент, Генеральный конструктор
АО "Раменское приборостроительное конструкторское бюро",
член бюро Центрального совета Союза машиностроителей
России;
- Клюев В.В. – директор НИИИН МНПО «СПЕКТР»;
Лыткин П.Д. – генеральный директор ОАО "Раменское приборостроительное
конструкторское бюро", председатель Московского областного
регионального отделения Союза машиностроителей России;
Евсеев М. И. – генеральный директор ООО Алл Импекс 2001
Дмитриев Н.П. – директор подразделения продаж АО «ЮЕ-Интернейшнл»;
Марков И.В. – генеральный директор ООО "Совтест АТЕ";
Пролетарский А.В. – декан факультета «ИУ» МГТУ им. Н. Э. Баумана;
- Соловьев В.А. – председатель экспертной комиссии, доцент
МГТУ им.Н.Э.Баумана;
Костиков В.Г. – зам. председателя, профессор
Акционерное общество «Концерн ВКО «Алмаз - Антей»;
Власов А.И. – зам. председателя, доцент МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Лавров А.В. – Ученый секретарь, доцент;
- Демин А.А. – Председатель Совета молодых ученых кафедры ИУ4;
Стешенко В.Б. – АО «Российские космические системы»;
Шевчун В.Н. – начальник отдела научно-исследовательской работы студентов
и молодежи МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Экспертная комиссия

Председатель экспертной комиссии: Соловьев В.А.

члены экспертной комиссии: В.В.БЕЛОУС, А.Н. БОЖКО, Т.М. ВОЛОСАТОВА,
Д.М.ЖУК, В.Б.МАНИЧЕВ, В.А. МАРТЫНЮК, Н.В. ПИВОВАРОВА,
В.А.ТРУДОНОШИН, В.Г.ФЕДУК, А.Е. АВЕРЬЯНИХИН, А.А. АДАМОВА,
А.И.АРАБОВ, Л.Г.АВАЕВА, Б.В.АРТЕМЬЕВ, Д.А.АМИНЕВ, В.А. ВЕРСТОВ,
В.Н.ГРИДНЕВ, П.В.ГРИГОРЬЕВ, А.А. ДЕМИН, В.П.ЖАЛНИН, Л.В.ЖУРАВЛЕВА,
Л.А.ЗИНЧЕНКО, Ю.В.ИВАНОВ, А.А.КАРПУНИН, А.Е. КУРНОСЕНКО, А.В.ЛАВРОВ,
В.В.ЛЕОНИДОВ, Н.В.МАКУШИНА, В.В.МАКАРЧУК, К.А.МУРАВЬЕВ,
Е.В.РЕЗЧИКОВА, С.Г.СЕМЕНЦОВ, М.Д.СЕРГЕЕВА, Н.А. СЕРГЕЕВА.

Официальный сайт конференции <http://iu4.ru>

(электронные материалы прошедших конференций по адресу: <http://iu4.ru/>)

ГРАФИК МЕРОПРИЯТИЙ КОНФЕРЕНЦИИ

№	Мероприятия	Дата, Время	Ауд.
1	Регистрация участников конференции	25.04. 9.00-10.00	По месту проведения секции
2	Открытие конференции. Выступления представителей организаторов. Пленарные доклады	25.04 10.00-10.30	По месту проведения секции
3	Секция: Интеллектуальные системы	25.04 10.00-17.00	ауд.229 гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
4	Секция: Научно-технологические технологии	25.04 10.00-17.00	ауд.278, гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
5	Награждение победителей научно-технической программы конференции	Заседание ученого совета	Зал заседаний ученого совета

В зависимости от времени прибытия докладчиков программа может быть изменена.
Просим следить за объявлениями оргкомитета.

Адреса и телефоны для контактов

Председатель оргкомитета:

Член-корреспондент РАН, профессор, д.т.н. Шахнов Вадим Анатольевич
тел. (499) 263-65-52
e-mail: shakhnov@iu4.bmstu.ru

Зам. председателя оргкомитета:

к.т.н., доцент Власов Андрей Игоревич
тел. (499) 263-65-53

Председатель экспертной комиссии:

доцент Соловьев Владимир Анатольевич
тел. (499) 263-65-53

Ученый секретарь:

к.т.н., доцент Лавров Алексей Васильевич
тел. (499) 263-65-53

Секретариат оргкомитета:

Максимова Елена Александровна
тел. (499) 263-65-53

Адрес оргкомитета: 105005, 2-ая Бауманская 5, МГТУ им. Н. Э. Баумана, стр.1, "ИУ-4".

Дорогие друзья!



МГТУ им. Н.Э. Баумана имеет богатый опыт подготовки инженеров различных специальностей. Выпущены десятки тысяч специалистов, среди которых такие известные во всем мире, как С.П. Королев, А.Н.Туполев, В.Г. Шухов, И.Я. Стечкин, Н.А. Доллежалъ и многие, многие другие. 20-я конференция «Научно-технологические и интеллектуальные системы» посвящена 80-летию кафедры ИУ4(П8).

Коллектив кафедры стоял у истоков развития научного направления в области точного приборостроения. В настоящих условиях цифровой экономики оно трансформировалось в междисциплинарное направление конструкторско-технологическая информатика в радиоэлектронике, которое охватывает все этапы жизненного цикла изделий электронной техники.

Пользуясь случаем хочу поздравить всех преподавателей, сотрудников, студентов и выпускников кафедры ИУ4 (П8) с 80-летним юбилеем!

К сожалению, звание «Инженер» становится как бы виртуальным: университеты перешли к выпуску бакалавров и магистров. Но в МГТУ им. Н.Э. Баумана традиции подготовки инженеров не исчезли. Университет по-прежнему видит главным в своей работе подготовку современных специалистов, независимо от названия их квалификации. Надеюсь, что участие в настоящей конференции станет значительным этапом в вашей творческой деятельности, дорогие бакалавры, магистры, аспиранты, еще одним шагом к профессиональному мастерству и совершенству.

Специалист в области современных цифровых технологий должен обладать обширными знаниями в различных областях и, прежде всего, в математике, физике, химии, информатике, прикладных и специальных науках. Он должен обладать такой эрудицией, которая позволит ему в быстро меняющихся экономических условиях находить сферу приложения своих знаний, опыта, способностей. Это особенно важно в связи с тем, что наш университет занимает ведущее место в работах по развитию ресурсных научных центров. Надеюсь, что многие участники нашей конференции будут в числе специалистов, стоящих у порога новых открытий, новых свершений, сформулированных в "Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации", утвержденной Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. №642.

Желаю успеха всем участникам конференции!

Заведующий кафедрой «Проектирование и технология производства ЭА»
МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Заслуженный деятель науки РФ,
член-корреспондент РАН, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шахнов

Уважаемые бауманцы!

XX Молодежная международная научно-техническая конференция «Научно-технологические системы» посвящена юбилею кафедры "Проектирование и технология производства ЭА" МГТУ им.Н.Э.Баумана.

История не стоит на месте – встают новые масштабные проблемы, которые требуют стратегических решений. Наступивший XXI век – это время перехода на новый, шестой, технологический уклад, краткая формула которого – преобладание «инфо-, био-, нано-, когнитивных технологий».

ОАО «РПКБ» уделяет первостепенное значение внедрению современной "умной" электроники. Перед участниками конференции стоят новые, перспективные задачи, чтобы создать условия, при которых в недалекой перспективе производители с полным на то правом смогли бы называть свою продукцию инновационной.



Как и 80 лет назад, проблема для нашего государства и общества стоит очень остро – «или мы пробежим расстояние, отделяющее нас от передовых экономик мира, или нас сомнут». Для успешного решения столь масштабной задачи нужны, в первую очередь, кадры – новое поколение творческих, инициативных и ответственных специалистов, способных принимать смелые решения и реализовывать их на практике. И здесь многое зависит от нынешней учащейся молодежи – от ее упорства, творческой активности, трудолюбия и самоотверженности. Сегодня государством предпринимаются значительные усилия по развитию научно-образовательной сферы и привлечению молодежи в науку и промышленность высоких технологий.

Не остаются в стороне и передовые промышленные предприятия. ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» – признанный мировой лидер и крупнейший в России разработчик интегрированных комплексов бортового радиоэлектронного оборудования для авиационных летательных аппаратов – выступило инициатором создания Технопарка «Раменское», ядром которого станет инжиниринговый центр приборостроения и интеллектуальных встраиваемых систем. Проект создания Технопарка «Раменское», получивший международный статус, был поддержан и одобрен ГК «Ростехнологии», Губернатором Московской области, руководством и учеными МГТУ им. Н.Э. Баумана. Особое внимание в рамках проекта Технопарка уделяется работе по подготовке специалистов, обладающих компетенциями мирового уровня и способных создавать продукты и технологии, востребованные на глобальном рынке.

XX Молодежная международная научно-техническая конференция, основная тематика которой соответствует проблемам развития технологий шестого уклада, нацелена на раскрытие и развитие творческого потенциала молодежи – это одно из направлений нашей совместной работы по подготовке инженеров и ученых будущего.

Желаем всем участникам конференции плодотворной работы и творческих успехов!

Президент, Генеральный конструктор
ОАО «РПКБ»,
Заслуженный деятель науки РФ,
докт. техн. наук, профессор
Г.И. Джанджгава

Генеральный директор ОАО «РПКБ»

П.Д. Лыткин

СЕКЦИЯ 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Читальный зал преподавателей (ауд.229), гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Начало в 10.00.

1. МЕТОДЫ ЛАНДШАФТНОГО АНАЛИЗА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ НАСТРОЙКИ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Агасиев Т.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЛЩИН И СХЕМ АРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КРЫЛА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Барановский С.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра СМ13.

3. СОЗДАНИЕ МИКРО-ЛАБОРАТОРИИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Барсуков Д.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

4. О ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НАД СЛУЧАЙНЫМИ ГРАФАМИ

Белкин А.А., Большаков И.Д., Терехов В.В., Михайличенко С.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

5. ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ПОДРАЗДЕЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Бочаров В.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

6. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОТОТИПА РОБОТИЗИРОВАННОЙ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКИ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Бутрина А.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК5.

7. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- МАССО-ПЕРЕНОСА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ РЕШЕТКИ АРКТИЧЕСКОГО СУДНА С СИСТЕМОЙ ОБОГРЕВА

Чибисов В. Ю.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ФН11.

8. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЭМУЛЯЦИИ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Давыдов В.Н.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

9. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РИКОШЕТИРУЮЩИХ ТРАЕКТОРИЙ

Дорофеев В.С., Орлов Д.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

10. ОБЗОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА

Фаттаев О.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

11. АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Кочев А.В.

МАИ, кафедра 304, Москва, Россия

12. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

Воронина П.А., Козарь А.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

13. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БИНАРИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, В РАМКАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТОТИПА ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ИНДИКАЦИИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Козлов А.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

14. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Козов А.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

15. АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ СТАЕЙ КОШЕК

Лещев И.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

16. АРХИТЕКТУРА СЕРВИСНОЙ ШИНЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Луценко А.Э.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

17. АНОМАЛИИ ЭКГ И ИХ ОБНАРУЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭКС

Мальшев А.П.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

18. ОБЗОР ПРОГРАММ САПР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ И РАЗРАБОТКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Грюмов С.А., Пигина Д.В., Сивкова А.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

19. АНАЛИЗ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА 3D-МОДЕЛЕЙ

И. П. Новиков

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

20. АВТОНОМНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Пицулин Д.Е.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

21. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ ВАКЦИНАЦИИ

Сахаров М.К.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

22. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПО НАБОРУ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Емельяненко С.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

23. СЕГМЕНТАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ LSTM

Спасёнов А.Ю.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

24. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ЭМУЛЯТОРА RISC ПРОЦЕССОРНОГО ЯДРА НА ПРИМЕРЕ V850ES

Валитов Р.Ш.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ8.

25. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

Воронина П.А., Козарь А.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

26. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БЕЗМАРКЕРНОГО ТРЕКИНГА

Зубова Г.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

27. КОГНИТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕТРИК ПРЕДФРАКТАЛЬНЫХ ГРАФОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ПОЛНЫМИ ЗАТРАВКАМИ

Барановская П.Б., Соколов П.А., Терехов В.В., Михайличенко С.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

28. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ

Зайцев А.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

29. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЯ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Щелбанин А. В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

СЕКЦИЯ 2

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мультимедийная ауд.278, гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Начало в 10.00.

1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИСТОЧНИКА ИОНОВ В КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ

Акопян Д.Г., Легошин Т.А., Малеванная Е.И..

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИТО ОТ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА

Акишин М.Ю., Зыков Д.Д., Малеванная Е.И., Васильев Д.Д.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.

3. АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ RIP, BGP И OSPF НА CISCO CSR 1000V

Антонова Д.О.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

4. ГЕТЕРОГЕННЫЕ ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В МЕДИЦИНСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Артемьев И. Б.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

5. РОССИЯ ВЫХОДИТ ИЗ ТРАДИЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА? ИНДУСТРИЯ 4.0. ЦИФРОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В РОССИИ

Балинец В.Н.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

6. БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИНТЕРРОГАТОР ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК

Дьяконов А.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

7. ВИЗУАЛИЗАТОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ “ДРЕВО ЗНАНИЙ”

Иванов В.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

8. УВЕЛИЧЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АБСОРБЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНВЕРСНЫХ СТРУКТУР

Галаганова Е.Н.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.

9. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И КАМНЯ

Гусев М.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

10. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ РАДИАТОРОВ В СИСТЕМЕ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Гусева П.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

11. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС САПР И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

Кириленко В.Д.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

12. МОДУЛЬНОЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМИНАЛОВ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Косолапов Д. А.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

13. УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПУТЕМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА

Лапшинов С. А.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

14. РАЗРАБОТКА БЮДЖЕТНОГО ПАРАШЮТНОГО ВЫСОТОМЕРА

Смирнов Н.А.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

15. СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ВОСПРОИЗВОДИМАЯ В УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Затекин Д.В.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

16. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ЛЕВИТА ДЛЯ ГРАФОВ СЕМАНТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

Кобылкин С.С., Казаков В.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

17. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В САПР ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Кокарев В.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

18. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДРА С ПЕРИФЕРИЕЙ В ЭМУЛЯТОРАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Комахин М.О.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

19. АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДАЛЬНЕГО ДЕЙСТВИЯ В УСТРОЙСТВАХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Королев К. И., Гудошников И. В., Андреев Д. Д.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

20. ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДИКТИВНОГО РЕМОНТА В КОНЦЕПЦИИ "ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ"

А.И. Кривошеин, С.С. Филин

ООО "Коннект"

21. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЖСЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Ли А.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

22. АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Лошак Д.И., Левин И.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

23. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЦЕВОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ЗНАЧЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МИШЕНИ ПРИ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ С ЖИДКИМ КАТОДОМ

Матанин А.Р., Храмова А.А., Полин Д.А., Васильев Д.Д.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.

24. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАМАТЕРИАЛОВ
Дюбанов В.А., Езенкова Д.А., Мозер К.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.
25. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ БЛОКА ПОДРЕШЕТКА АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ
Никитенко М.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
26. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ
Никитин М.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
27. ПОДХОДЫ К КЛАСТЕРИЗАЦИИ НАБОРА СЕТЕВЫХ ПАКЕТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
Новикова Т.Д.
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
28. АНАЛИЗ КОНТРОЛЛЕРОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ
Охломенко И. В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
29. МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Пасканый С.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
30. ПУЛЬТ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ
Петросян П.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
31. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ «УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СНЯТИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК»
Плаксин А.Н.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
32. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Р-КАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ
Бутин А. В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
33. МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
Бутин И. В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
34. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
Грюмов С.А., Долова А.А., Пигина Д.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
35. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ТОЛЩИНЫ КРЫШКИ ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОНА
Полин Д.А., Храмова А.А., Матанин А.Р.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.
36. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ЖЕСТКОЙ МАСКИ ИЗ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМОННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
Ганиева Л.А., Трофимов И.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РЛ6.

37. КОЛЁСНЫЙ РОБОТ НА УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДАЛЬНОМЕРЕ

Грюмов С.А., Пигина Д.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

38. АЛГОРИТМ ЗАРЯДА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Садовников А.В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

39. ОСОБЕННОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Трифонов А.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

40. СНИФИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Тютин А.К.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

41. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПОИСКА СПОСОБОВ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

Захарова А.С., Корчагин А.И., Марикова Е.А., Узеньков Д.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

42. ПРИМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ МЕТАЛЛОВ В ЗАДАЧЕ ИХ ДИСКРИМИНАЦИИ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРОМ

Ванройе Н.К.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

43. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И АЛГОРИТМА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ИК ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ

Васин Ю.О.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

44. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Вирясова А. Ю.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

45. ОБЗОР МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА AVR ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Вьюгин А.М., Маковей А.М.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

46. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ДЕГРАДАЦИИ НА АВТОЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАЛОВЫХ СТРУКТУР

Ясакова П. В.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11.

47. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛИ КНИ МОП-ТРАНЗИСТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ TCAD

Яшин Г.А.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

48. ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДИВЕРСИОННОГО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ ВНЕДРЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Лебедев А.С.

МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

СЕКЦИЯ 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Читальный зал преподавателей (ауд.229), гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Начало в 10.00.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЛЩИН И СХЕМ АРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КРЫЛА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Барановский С. В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Михайловский К.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра СМ-13, Москва, Россия

DETERMINATION OPTIMAL THICKNESS AND LAYUP OF POLYMER COMPOSITE WING ELEMENT USING PARAMETRICAL MODELING

Baranovski S.V.

Supervisor: Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof, Mikhailovskiy K.V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассматриваются процесс определения конструктивных параметров элементов крыла из полимерных композиционных материалов под действием эксплуатационных нагрузок. Определены схемы укладки слоёв, соответствующие им толщины элементов, запасы прочности и прогиб конструкции с учётом нагрузок для нескольких углов атаки. Показано преимущество укладки, оптимизированной под эксплуатационные нагрузки над квазиизотропными.

Abstract

The process of determining the basic design data of polymer composite wing under operational loads is considered in this paper. The layup, wall thicknesses, structural arrangement elements factor of safety and deflection are determined taking into account the operating loads for several attack angles corresponding to different flight regimes. The advantage of layup, optimized for operational loads over quasi-isotropic ones, is shown.

Введение

Проектирование крыла являясь сложной комплексной задачей, требующей учёта множества различных факторов, число которых возрастает с использованием новых материалов и технологий, например, таких как полимерные композиционные материалы (ПКМ). Характеристики изделий, выполненных из данного материала, превосходят металлические аналоги, но их проектирование осложняется рядом особенностей, таких как учёт анизотропии свойств, выбор количества и ориентации слоёв. При этом, в конструкциях используются типовые квазиизотропные укладки [1]. Таким образом, исследование возможности выбора укладки в зависимости от эксплуатационных нагрузок и их применение в конструкции является актуальной задачей. Проводимые работы затрагивают данный вопрос, а именно, исследуются укладки, отличные от квазиизотропных [2], их влияние на аэроупругость, однако рассматриваются углы с довольно большим заданным шагом [3]. Также проводятся исследования по направленной укладке волокон в слое [4], которые, как предполагается, позволят достичь лучших характеристик в аэроупругости, прочности крыльев. На основе вышесказанного, разрабатываемая методика проектирования крыла из ПКМ позволит упростить получение конструкции на стадии проектных расчётов. Согласно общей схемы методики, после определения нагрузок на крыло и проектирования конструктивно-силовой схемы необходимо рассчитать параметры элементов конструкции из ПКМ.

1 Данные для проектирования

Рассматривалось стреловидное крыло с несимметричным аэродинамическим профилем, размахом 35 м., со спрямлённым участком, среднемагистрального пассажирского авиалайнера состоящее из оребренных панелей (обшивки и подкрепляющие каждую одиннадцать стрингеров), двух лонжеронов и четырнадцати нервюр (рис. 1). Для расчёта был принят крейсерский режим полёта со скоростью 870 км/ч, на высоте 11,5 км. Варьировались углы атаки: 0° , $+11^\circ$, -7° . В расчёте учитывалось одновременное действие сосредоточенных и распределённых нагрузок (вес элементов конструкции, вес двигателя, топлива, аэродинамическая нагрузка). Основным конструкционным материалом принят углепластик.

Расчёт проводился в программном комплексе Ansys с помощью модулей моделирования композиционных материалов (Composite PrePost) и оптимизации (Response Surface Optimization). Рассматривались как каждый элемент в отдельности, так и группы элементов.

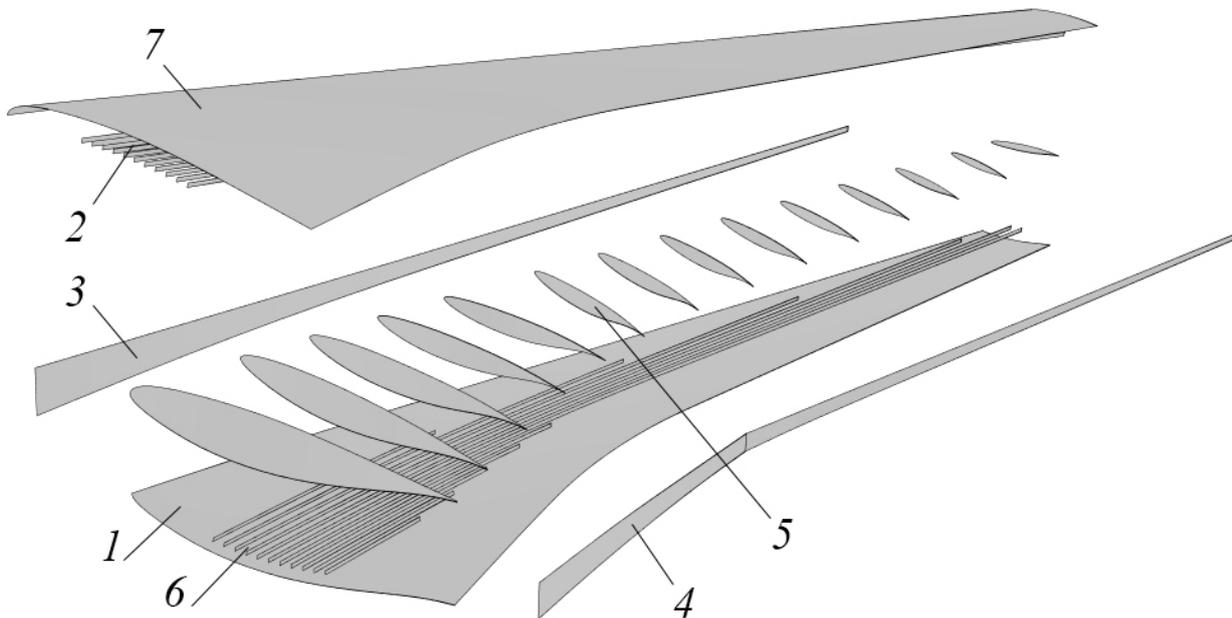


Рисунок 1 - Основные элементы КСС крыла для выбора схем армирования:
1 - нижняя обшивка, 2 – верхняя обшивка, 3 – передний лонжерон, 4 – задний лонжерон,
5 – нервюры, 6 – нижние стрингеры, 7 – верхние стрингеры

2 Результаты расчёта

Представлены характеристики крыла и данные расчётов для оптимизированной укладки.

В таблице 1 показаны рассчитанные толщины и соответствующее им количество слоёв в элементах конструкции.

Таблица 1 – Характеристики элементов крыла из ПКМ

Элемент крыла	Толщины, м	Количество слоёв
Верхняя обшивка	0,003	11
Нижняя обшивка	0,005	18
Передний лонжерон	0,006	20
Задний лонжерон	0,004	14
Нервюры	0,002	7
Стрингеры	0,0025	9

Масса крыла составила 823,89 кг.

Прогиб крыла (рис. 2) для углов атаки 0° , $+11^\circ$ и -7° составил 0,3196 м., 0,4847 м. и 1,2209 м. соответственно.

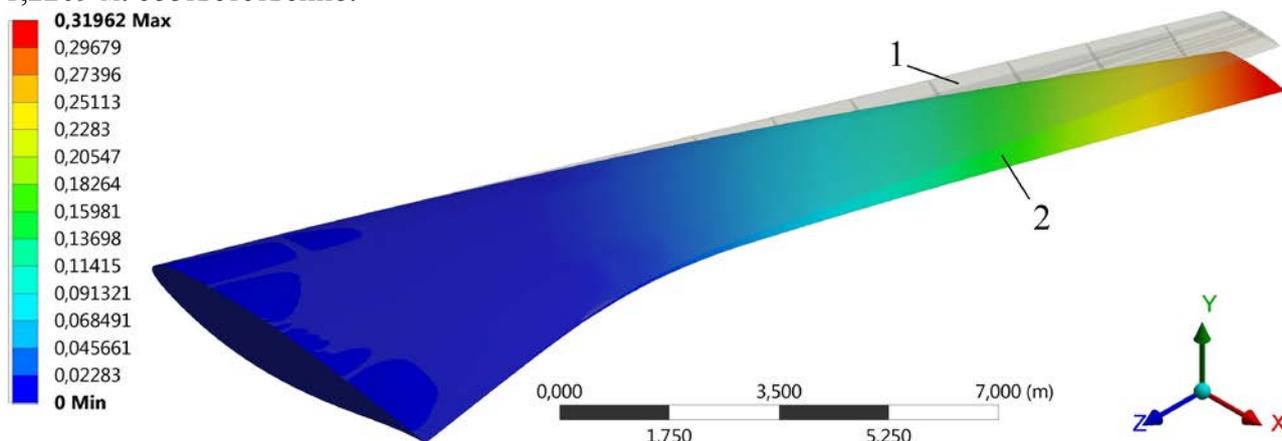


Рисунок 2 – Прогиб крыла при угле атаки 0° , м:
1 – недеформированное состояние, 2 – деформированное состояние

В таблице 2 представлены значения коэффициента запаса прочности элементов крыла при рассмотренных углах атаки (значение коэффициента равное 1 – разрушение конструкции).

Таблица 2 –Значения коэффициента запаса прочности для элементов крыла

Элемент крыла	Коэффициент запаса прочности		
	Угол атаки		
	0°	$+11^\circ$	-7°
Верхняя обшивка	0,1999	0,2693	0,4734
Нижняя обшивка	0,2236	0,1895	0,2951
Передний лонжерон	0,0483	0,0894	0,1980
Задний лонжерон	0,0630	0,1018	0,2643
Нервюры № 1 и 14	0,2042	0,1334	0,3180
Нервюры № 6–13	0,1489	0,2434	0,3547
Нервюры № 2–5	0,0513	0,1190	0,1429
Стрингеры верхние	0,0499	0,1015	0,1831
Стрингеры нижние	0,0650	0,1393	0,2034

Сравнение схемы укладки для верхней обшивки:

- квазиизотропная $45^\circ/-45^\circ/0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ/-45^\circ/45^\circ/0^\circ/-45^\circ/45^\circ$
- оптимизированная $28^\circ/-10^\circ/-48^\circ/56^\circ/-2^\circ/-1^\circ/-23^\circ/-3^\circ/-7^\circ/-10^\circ/14^\circ$.

Сильный разброс в значениях углов у оптимизированной укладки связан с оптимизацией под эксплуатационные нагрузки. При этом, значения прогиба меньше на 37%, а коэффициента запаса прочности в 2 раза.

Заключение

В результате расчётов элементов крыла из ПКМ при нескольких углах атаки на основе параметрического моделирования определены:

- рациональное количество слоёв и углы их ориентации;
- толщины элементов конструкции;
- значения прогиба конструкции и коэффициенты запаса прочности элементов для выбранной оптимальной укладки.

Показано преимущество (до 40%) укладки оптимизированной под эксплуатационные нагрузки над квазиизотропными.

Полученные значения характеристик соответствуют уровню эскизного проекта и будут оптимизироваться при детальном рассмотрении каждого элемента.

Результаты данной работы являются частью составляемой методики проектирования крыла из ПКМ и будут учтены и использованы при её составлении.

Литература

1. Митрофанов О.В. К вопросу об оптимальном армировании подкреплённых панелей тонкостенных конструкций из композитных материалов // Актуальные проблемы современной науки. 2017. № 5 (96). С. 49–53.
2. Peeters D., Abdallay M. Design guidelines in non-conventional composite laminate optimisation // Journal of Aircraft. 2017. Vol. 54, no. 4. pp. 1454–1464.
3. Sapkal K.S., Attar P.J. Experimental and Computational Aeroelastic Analysis of a Composite Material Delta Wing in Low Subsonic Flow // 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Structures, Structural Dynamics, and Materials and Co-located Conferences/ Denver. USA. AIAA Paper no. 2011–1743. 2011, pp. 1–37.
4. Kennedy G.J., Kenway G.W., Martins J.R.R.A. High Aspect Ratio Wing Design: Optimal Aerostructural Tradeoffs for the Next Generation of Materials // 52nd Aerospace Sciences Meeting. National Harbor. USA. AIAA Paper no. 2014-0596. 2014, pp. 1–24.

СОЗДАНИЕ МИКРО-ЛАБОРАТОРИИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Барсуков Д. А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

THE CREATION OF MICRO-LABORATORY ON THE BASIS OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Barsukov D. A.

Supervisor: Assoc., Prof., Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается создание микро-лаборатории на базе беспилотного летательного аппарата, посредством которой будет осуществляться мониторинг экологических и климатических показателей в местах, недоступных для стационарных или автомобильных мониторинговых станций. Подробно исследовано: воздействие на здоровье человека углеводородных газов, угарного газа, освещенности и давления; варианты существующих автономных метеостанций; возможности микроконтроллера arduino uno для создания метеостанции; устройство гексакоптера, его сборка и настройка. В заключении представлены рекомендации по использованию данного аппарата, в частности, в каких случаях это будет наиболее эффективно.

Abstract

The article considers the creation of a micro-laboratory based on an unmanned aerial vehicle, through which environmental and climatic indicators will be monitored in not accessible to stationary or automobile monitoring stations places. In detail: the health effects of hydrocarbon gases, carbon monoxide, light and pressure; variants of other autonomous meteorological stations; the capabilities of the arduino uno microcontroller to create a weather station; the structure of hexacopter, its assembly and tuning. In conclusion, device recommendations are presented, in particular, in which cases this will be most effective.

Введение

В наше время проблема экологии приобрела особое значение. В районах, находящихся в непосредственной близости к сильно загруженным автомобильным дорогам, аэродромам, заводам, вопрос загрязненности окружающей среды является ключевым. В статье ТАСС от 8 февраля 2018 рассматривается вопрос создания системы экологического мониторинга в Подмоскowie. «Система будет включать в себя датчики в трубах заводов... стационарные посты и передвижные лаборатории» По моему мнению, стационарные и передвижные лаборатории не смогут дать подробную информацию об экологическом состоянии Подмоскowie в некоторых местах. Например, вблизи свалок мусора или в местах захоронения радиоактивных отходов, а также в других труднодоступных местах они не смогут провести замеры. Также на разных высотах концентрация газов изменяется, вследствие этого и измерения необходимо проводить на разной высоте, что не доступно для таких видов станций. В связи с этим целью работы стало создание локальной метеостанции с экологической функцией на базе беспилотного летательного аппарата.

В ходе работы были поставлены следующие задачи: создание микро-лаборатории, определение способа сбора данных и их записи на коптере, сборка летательного аппарата, установка метеостанции на борт коптера и проверка работоспособности аппарата. В качестве основного метода исследования был использован теоретический анализ: был проведен сбор информации о предшествующих решениях проблемы, платформе arduino (микроконтроллер, взятый в качестве основы для микро-лаборатории), об устройстве и сборке коптера. Экспериментальный метод позволил проверить функциональность

аппарата на практике. На данный момент создана микро-лаборатория, осуществлена запись данных на карту памяти, собран летательный аппарат, на него установлена микро-лаборатория. Аппарат готов к работе. В домашних и полевых условиях были проведены тестовые полеты.

1 Создание микро-лаборатории на платформе arduino

1.1 Обоснование актуальности создания автономной метеостанции

Исходя из цели работы, были рассмотрены различные готовые метеостанции. Большинство из них имеет ограниченный набор сенсоров, например, модели: Ea2 ED609 (имеет 3 датчика), RST 02777(5 датчиков). В рассмотренных станциях отсутствуют: возможность передачи данных на компьютер и возможность дальнейшей модернизации метеостанции.

1.2 Составляющие метеостанции

Самым простым в использовании и сравнительно дешевым решением оказалось создание метеостанции на базе платформы Arduino Uno. Она имеет неограниченный набор функций. По ходу дальнейших исследований возможно подключение других или замена используемых датчиков. Также код программы, написанный в среде Arduino IDE, открыт. В зависимости от поставленной задачи он может быть изменен или дополнен.

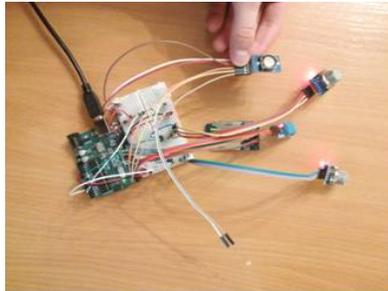


Рисунок 1 - Подключение датчиков к метеостанции

Составляющие микро-лаборатории:

- 1) плата управления ARDUINO UNO;
- 2) макетная плата;
- 3) сенсоры:
 - MQ-2 для фиксации: пропана C₃H₈, метана CH₄, н-бутана C₄H₁₀;
 - MQ-4 для фиксации угарного газа;
 - IMU-модуль для измерения высоты над уровнем моря и давления, датчик освещенности датчик температуры и влажности;
- 4) модуль реального времени;
- 5) SD card модуль.

1.3 Программа на языке Arduino

Была поставлена задача - написать в среде Arduino IDE программу для совместной работы всех сенсоров и модулей. Сначала были написаны программы для каждого сенсора и модуля отдельно, затем все программы были соединены в основной скетч. На рисунке 2 представлен фрагмент кода, отвечающий за запись на SD карту. В void setup создал функцию SDcardWrite() для записи данных: после открытия файла, напечатал: дату, время, влажность, температуру и другие показания, затем функция void loop() итерационно повторяет запись в файл для постоянной регистрации данных.

Используемые библиотеки:

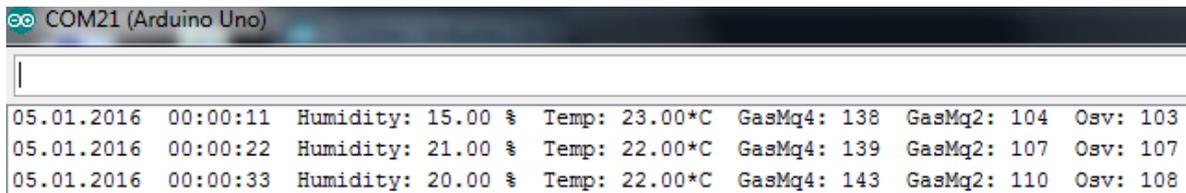
- SD для записи полученных данных на карту памяти
- DS1302 для регистрации реального времени
- DHT для сопряжения датчика температуры и влажности

```

void SDCardWrite() // Создаю функцию, для записи на SD card.
{
  myFile = SD.open("dimasens.txt", FILE_WRITE);
  // if the file opened okay, write to it:
  if (myFile) {
    Serial.print("Writing to dimasens.txt...");
    // начинается запись на SD card в файл dimasens.txt
    myFile.print(rtc.getDateStr()); // текущую дату.
    myFile.print(" -- ");
    myFile.print(rtc.getTimeStr()); // текущее время.
    myFile.print(" -- ");
    myFile.print("Humidity: ");
    myFile.print(dht.readHumidity()); // значения влажности.
    myFile.print(" %\n");
    myFile.print("Temperature: ");
    myFile.print(dht.readTemperature()); // значения температуры.
    myFile.print(" *C\n");
    myFile.print("  GasMq4: ");
    myFile.print(Mq4Value);
  }
}
    
```

Рисунок 2 – Фрагмент кода, отвечающий за запись на карту памяти

При дальнейшем развитии проекта возможно подключение других датчиков или замена установленных. В результате написания программы были получены данные в формате, представленном на рисунке 3.



COM21 (Arduino Uno)

05.01.2016	00:00:11	Humidity: 15.00 %	Temp: 23.00*C	GasMq4: 138	GasMq2: 104	Osv: 103
05.01.2016	00:00:22	Humidity: 21.00 %	Temp: 22.00*C	GasMq4: 139	GasMq2: 107	Osv: 107
05.01.2016	00:00:33	Humidity: 20.00 %	Temp: 22.00*C	GasMq4: 143	GasMq2: 110	Osv: 108

Рисунок 3 - Полученные в результате измерений данные

Причем нет необходимости писать новую программу после каждого изменения. Достаточно добавить в используемую программу часть кода для новых датчиков. Благодаря этому легко можно установить неограниченное количество сенсоров, что является отличительной характеристикой и преимуществом данной метеостанции.

2 Сборка гексакоптера

2.1 Пайка платы разводки питания

На плате разводки питания (центральная часть рамы) есть готовые разъемы для установки лучей и телеметрии К каждому лучу припаял провода питания от регуляторов, к двум лучам светодиоды для определения перелета копитера в воздухе, затем переходник для аккумулятора и преобразователь напряжения, к левому лучу провод от антенны.

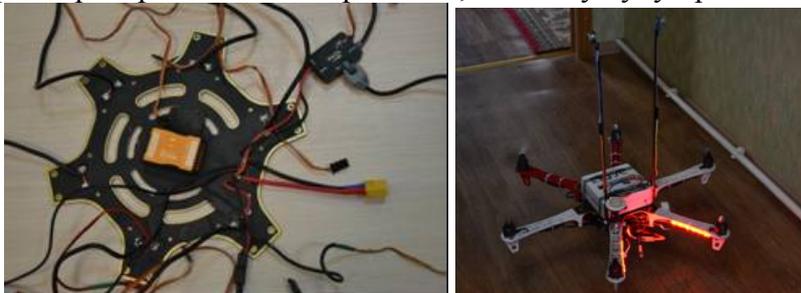


Рисунок 3 - Плата разводки питания и коптер в сборе

Все необходимые отверстия на плате для установки лучей и телеметрии уже были сделаны производителем, это упростило их установку на плату.

2.2 Сборка рамы и установка комплектующих

Была использована рама F550 с шестью лучами, обладающая повышенной устойчивостью.



Рисунок 4 - Собранная рама

На рисунке она уже собрана, моторы и телеметрия не отрегулированы. Антенну GPS прикрутил к верхней части коптера, для того чтобы другие элементы коптера не влияли на магнитное поле вокруг датчика. Моторы прямого и обратного вращения устанавливал произвольно.

2.3 Установка микро-лаборатории на борт коптера

При установке метеостанции на борт пришлось удлинить провода для датчиков газа, поскольку воздушный поток затягивается моторами коптера на расстоянии 20 см. К боковой части бокса приклеил две гибкие трубки из стекловолокна, к ним приклеил провода от датчиков газа для закрепления их в необходимом положении. Сенсоры освещенности, температуры и влажности расположил на боковой части бокса, датчик давления и высоты – внутри. Бокс расположил на верхней части коптера.

Заключение

Все задачи, поставленные в начале работы, выполнены. На данный момент создана метеостанция, осуществлена запись данных на карту памяти, собран летательный аппарат, на него установлена метеостанция. Аппарат готов к работе.

Проведены тестовые полеты с метеостанцией на борту в домашних и полевых условиях. Созданный гексакоптер-эколог будет актуален для детального мониторинга конкретного района, а также для покупателей квартир, заинтересованных в приобретении жилья в определенном районе с наиболее благоприятными условиями. Собранная метеостанция является многофункциональной. В зависимости от поставленной задачи возможно изменение ее конфигурации путем добавления новых или замены установленных сенсоров. При этом нет необходимости писать новую программу после каждого изменения. Достаточно добавить в используемую программу часть кода для новых датчиков. Это является ее основным преимуществом перед другими автономными метеостанциями.

Литература

1. Хотунцев Ю.Л., Экология и экологическая безопасность - 2002. 296 с.
2. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino - 2012. 117 с.
3. Платт Ч. Электроника для начинающих - 2017. 416 с.
4. Карвинен Т., Карвинен К., Валтокарри Т. Make: Sensors: A Hands-On Primer for Monitoring the Real World with Arduino and Raspberry Pi - 2016. 448 с.
5. Килби Т., Килби К., Make: Getting Started with Drones - 2016. 192 с.
6. Биард Р., МакЛэйн Т., Малые беспилотные летательные аппараты. Теория и практика - 2016. 312 с.
7. Эйкхофф Й. Бортовые компьютеры, программное обеспечение и полетные операции. - 2014. 344 с.

О ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НАД СЛУЧАЙНЫМИ ГРАФАМИ

Белкин А.А., Большаков И.Д., Терехов В.В., Михайличенко С.С.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Л.А.Зинченко

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ABOUT THE TIME COMPLEXITY OF ALGORITHMS OF UNION AND INTERSECTIONALGEBRAIC OPERATIONS ON RANDOM GRAPHS

Belkin A.A., Bolshakov I.D., Terekhov V.V., Mikhaylichenko S. S.

Supervisor: Dr., Prof., Zinchenko L.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются характеристики алгоритмов, реализующих алгебраические операции объединения и пересечения над случайными графами. Обсуждаются особенности программной реализации данных операций. Приводятся результаты экспериментальных исследований для случайных графов.

Abstract

Dans cet article il s'agit des caractéristiques des algorithmes réalisant des opérations algébriques d'union et d'intersection sur des graphes aléatoires. Les particularités de l'implémentation logicielle de ces opérations sont discutées. Les résultats des expériences pour des graphes aléatoires sont présentés.

Введение

Успешное развитие таких отраслей цифровой экономики, как персонализированный сервис, создание «умных» городов и систем государственного управления, тесно связано с использованием новых бизнес-моделей, позволяющих использовать все возможности цифровой экономики, и разработкой новых алгоритмов, позволяющих эффективно решать задачи персонализации различного рода услуг.

В настоящее время теория графов является простым, доступным и эффективным средством для формализации задач, относящихся к широкому кругу проблем [1-3]. В виде графов можно, например, интерпретировать схемы дорог и электрические цепи, географические карты и молекулы химических соединений. Сейчас теория графов является одним из наиболее востребованных разделов математики.

Одним из важнейших направлений, где нашла применение теория графов, являются социальные сети. Введено такое понятие, как социальный граф [4]. Под социальным графом понимается граф, вершины которого соответствуют социальным объектам, такими как пользовательские профили с различными атрибутами (например: имя, день рождения, родной город и т. д.), сообщества, медиа-контент и т. д., а ребра — социальным связям между ними. С помощью социальных графов решают такие задачи, как идентификация пользователей; социальный поиск; генерация рекомендаций по выбору «друзей», медиа-контента, новостей; выявление «реальных» связей, персонализированный маркетинг.

Теория графов также может быть использована при изучении взаимосвязей Интернета вещей. В этом случае по аналогии с социальным графом может быть введен граф Интернета вещей. Вершина этого графа соответствуют узлу Интернета вещей, а ребра — связям между этими узлами.

Случайные графы часто используют в прикладных задачах оценки надежности систем. Одним из возможных применений является формализация описания распределенных микросистем со случайно расположенными узлами [6, 7]. В этом случае с вершинами ассоциируются элементы распределенных микросистем, входящие в систему,

а с ребрами – каналы связи, соединяющие элементы друг с другом, вне зависимости от используемых естественных или искусственных каналов связи [8].

В общем случае для всех перечисленных выше случаев в качестве формального описания системы, функционирующей в условиях неопределенности, может быть использована такая модель, как случайный граф [5].

1 Случайные графы

Случайные графы нашли практическое применение во всех областях, где нужно моделировать сложные сети. В настоящее время известно большое число моделей графов, отражающих разнообразные типы сложных сетей в различных областях.

В модели Эрдеша – Реньи случайные графы

$$G = (X, E),$$

где E - случайное множество ребер,

генерируются для заданного множества изолированных вершин

$$X = \{x_1, \dots, x_n\}$$

путём последовательного случайного добавления соединяющих вершины ребер [5].

На первом этапе для заданного множества вершин

$$X = \{x_1, \dots, x_n\},$$

строится граф (без кратных ребер, петель и неориентированный). Максимальное количество ребер будет не больше чем C_n^2 . При построении ребер введем вероятность $p \in [0, 1]$, с которой любые две вершины x_i и x_j соединены ребром. Это значение не зависит от остальных вершин.

В связи с формированием разнообразных отдельных групп в процессе функционирования систем, в частности, распределенных микросистем и социальных сетей, представляет интерес поиск всех вершин и ребер, относящихся к различным группам, а также выделение всех ребер и вершин графа, относящихся одновременно к различным группам. Для решения этой задачи можно использовать алгебраические операции пересечения и объединения графов [1-3].

2 Алгебраические операции над графами

2.1 Пересечение графов

Пересечение графов является одной из основных операций, производимой над графами, в результате которой получается граф, множества вершин и ребер которого являются пересечениями множеств вершин и ребер исходных графов. Иными словами, в результирующий граф входят только те ребра и те вершины, которые присутствуют во всех исходных графах.

Пересечение графов

$$G_1 = (X_1, E_1), X_1 = \{x_{11}, \dots, x_{n1}\}$$

и

$$G_2 = (X_2, E_2), X_2 = \{x_{12}, \dots, x_{n2}\}$$

обозначаемое как

$$G_1 \cap G_2,$$

представляет собой граф

$$G_n = (X_1 \cap X_2, E_1 \cap E_2).$$

Таким образом, множество вершин графа G_n состоит только из вершин, присутствующих одновременно в графах G_1 и G_2 , а множество ребер графа G_n состоит только из ребер, присутствующих одновременно в графах G_1 и G_2 . На рис. 1 и 2 приведен пример выполнения операции пересечения графов.

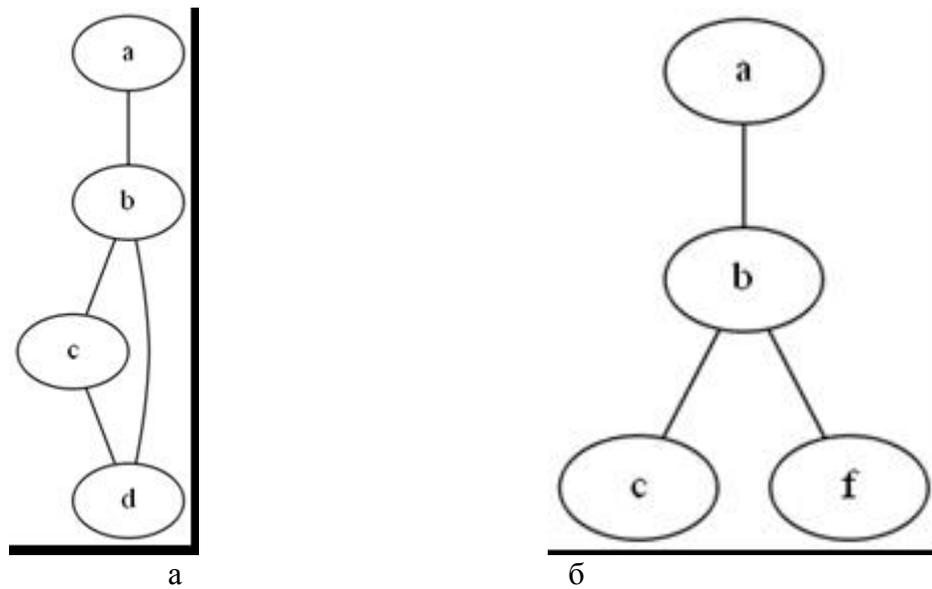


Рисунок 1 - Графы G_1 (а) и G_2 (б)

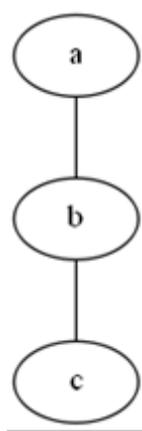


Рисунок 2 - Граф G_n

Операцию пересечения графов используют для решения огромного числа различных задач. Например, с помощью данной операции удобно анализировать социальные графы, а именно находить общие интересы, общих «друзей» и т.д.

2.2 Объединение графов

Еще одной важной алгебраической операцией теории графов является объединение графов. В результате данной операции получается граф, множества вершин и рёбер которого являются объединениями множеств вершин и рёбер исходных графов. Иными словами, в результирующий граф входят все рёбра и вершины, которые присутствуют в исходных графах.

Объединение графов $G_1=(X_1, E_1)$ и $G_2=(X_2, E_2)$, обозначаемое как $G_1 \cup G_2$, представляет собой такой граф $G_0=(X_1 \cup X_2, E_1 \cup E_2)$, что множество его вершин является объединением множеств вершин X_1 и X_2 , а множество ребер – объединением множеств ребер E_1 и E_2 .

На рис. 3, 4 приведен пример выполнения операции объединения графов.

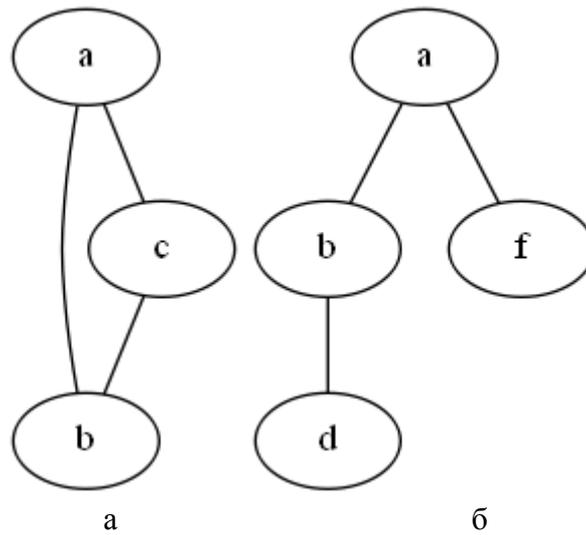


Рисунок 3 - Графы G_1 (а) и G_2 (б)

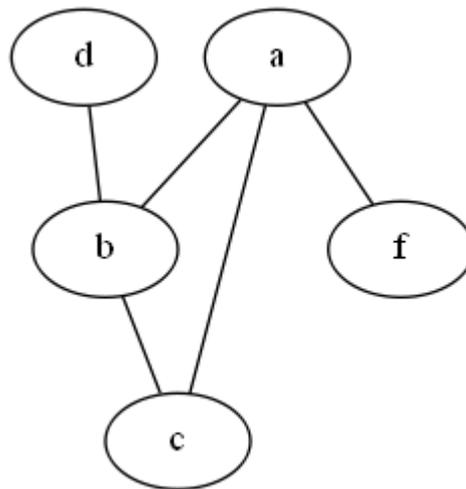


Рисунок 4 - Граф G_0

Наравне с пересечением, операцию объединения графов используют для решения обширного круга различных задач. В частности, операция объединения позволяет найти совокупность общих узлов и ребер для 2-х групп распределенных микросистем.

3 Алгоритмы алгебраических операций объединения и пересечения над случайными графами

В настоящее время вопросы формализации выполнения алгебраических операций над случайными графами практически не рассмотрены в литературе.

В статье предлагаются алгоритмы пересечения и объединения случайных графов. На рис. 5 приведен алгоритм пересечения случайных графов. На первом шаге задаются вероятность генерации ребра p , число вершин графа G_1 и G_2 $n=n_1=n_2$ и генерируются два случайных графа. Далее выполняется операция пересечения графов. В итоге мы имеем результирующий граф, представляющий собой пересечение двух исходных графов. Сложность данного алгоритма составила $O(n^2)$.

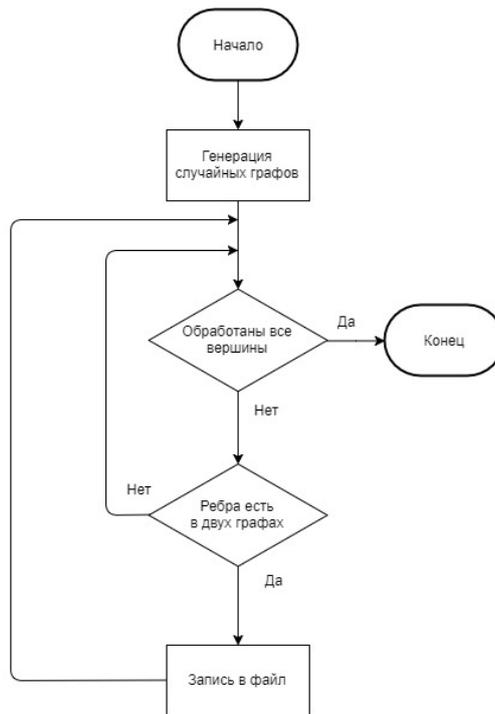


Рисунок 5 – Структурная схема алгоритма пересечения случайных графов

На рис. 6 приведен алгоритм объединения случайных графов. На первом шаге задаются вероятность генерации ребра p , число вершин графа G_1 и G_2 $n_1 = n_2$ и генерируются два случайных графа. Далее выполняется операция объединения графов. В итоге мы имеем результирующий граф, представляющий собой объединение двух исходных графов. Сложность данного алгоритма $O(n^2)$.



Рисунок 6 – Структурная схема алгоритма объединения случайных графов

4 Экспериментальные исследования

Предложенные алгоритмы были реализованы на высокоуровневом интерпретируемом языке общего назначения Python. Для исполнения программ использовался стандартный интерпретатор CPython. Тестирование программ проходило на двухъядерном компьютере с процессором Core i5 в операционной системе Ubuntu 16.04. При проведении экспериментальных исследований вероятность генерации ребра графа была задана 0.5. В качестве входных данных задавалось число вершин случайного графа в диапазоне от 10 до 1000. Каждый тест был выполнен 100 раз. В таблице 1 и 2 систематизированы данные о времени выполнения программы в зависимости от количества вершин случайных графов.

Таблица 1 – Время выполнения операции пересечения над случайными графами

N	Время выполнения, с		
	Минимальное	Среднее	Максимальное
10	0,00011301	0,00013756	0,00016212
50	0,00021195	0,00025201	0,00029206
100	0,00065899	0,00075650	0,00085402
200	0,00286698	0,00364649	0,00442600
300	0,00941991	0,01030646	0,01119399
500	0,02133703	0,02312243	0,02490783
1000	0,11457085	0,11986637	0,12516188

Таблица 2 – Время выполнения операции объединения над случайными графами

N	Время выполнения, с		
	Минимальное	Среднее	Максимальное
10	0,00010299	0,00013447	0,00016594
50	0,00018001	0,00028348	0,00038695
100	0,00053883	0,00077296	0,00100708
200	0,00259110	0,00271454	0,00289798
300	0,00730896	0,00771654	0,00812411
500	0,02378392	0,02692950	0,03007507
1000	0,12790290	0,13438404	0,14086509

На рис. 7 представлен графики зависимости времени выполнения операций объединения и пересечения от количества вершин.

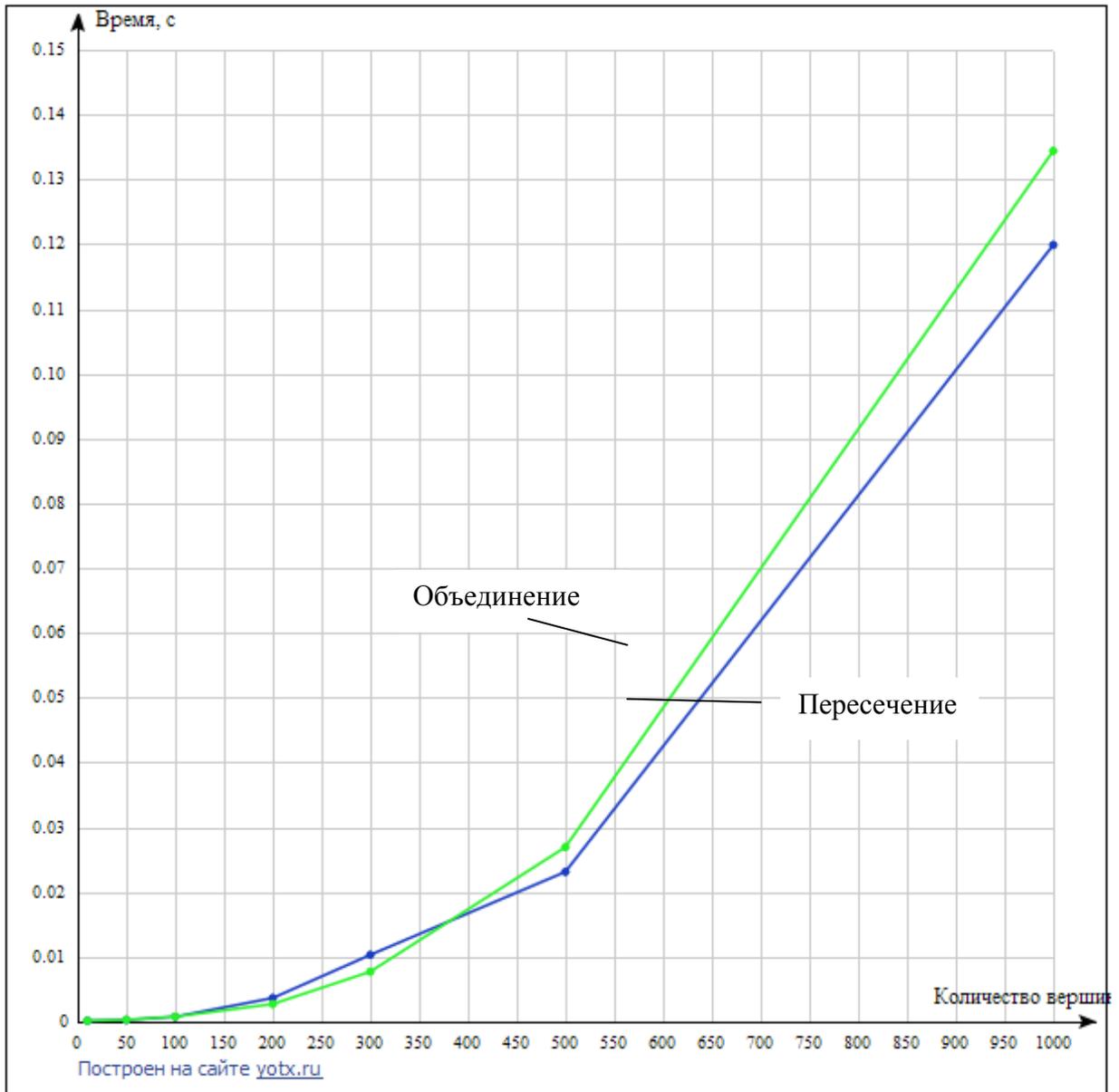


Рисунок 7 – График зависимости времени выполнения операций объединения и пересечения от количества вершин

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы: разработанные алгоритмы успешно обрабатывают графы различного размера и имеют квадратичную временную сложность. Пространственная сложность не зависит от размера входных данных и имеет вид $O(1)$.

Заключение

В данной статье предложены алгоритмы пересечения и объединения случайных графов. Предложенные алгоритмы были реализованы программно. Была исследована вычислительная сложность алгоритмов.

Важным выводом является оценка временной сложности разработанных алгоритмов. Показано, что алгоритмы относятся к классу полиномиальных и имеют квадратичную временную сложность.

Литература

1. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети, алгоритмы: Пер. сангл. — М.: Мир, 1984. — 455 с.
2. Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1968. — 336 с.
3. Уилсон Р. Введение в теорию графов. — М.: Мир, 1977. — 208 с.
4. Van Alstyne M., Parker, G., Choudary S. Pipelines, Platforms, and the New Rules of Strategy. Harvard Business Review. 2016.
5. Райгородский А. М. Модели случайных графовых применения / А.М.Райгородский // Труды ФТИ.—2010.—Том2,№4—С.130-140.
6. Shakhnov V., Zinchenko L., Kosolapov I. Simulation of distributed MOEMS for smart environments // Proc. of 2014 10th International Conference on Advanced Semiconductor Devices & Microsystems (ASDAM 2014), 2014, pp. 201-204.
7. Зинченко Л.А., Терехов В.В., Глушко А.А., Михайличенко С.С., Палий Д.Д. Методика компьютерного моделирования воздействия тяжелых заряженных частиц на распределенные микросистемы // Материалы XV молодежной научно-технической конференции «Радиолокация и связь – перспективные технологии», 2017, М.: Мир науки, 2017. С. 84-86.
8. Shakhnov V. A., Zinchenko L. A., Verstov V., Sorokin B. Evolutionary antenna design for intelligent systems networks // 2015 IEEE International Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems (EAIS), 2015, pp. 76-81.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ
(грант 16-07-00676 а и 18-07-01105-а)

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ПОДРАЗДЕЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Бочаров В.А.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент, Соколов А.П.

МГТУ им Н.Э. Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

INTEGRATION OF SYSTEMS FOR AUTOMATION OF ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT IN THE STRUCTURAL UNIT OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION

Bocharov V.A.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor, Sokolov A.P.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Представлен подход к построению информационной инфраструктуры в подразделении образовательного учреждения, в основе которого лежит интеграция систем авторизации и распределенного хранения данных. Созданы возможности интеграции с системами аутентификации, контроля версий, управления образовательными курсами и управления проектами. Приведены примеры использования системы.

Abstract

An approach is presented to the development of an information environment in the structural subdivision of an educational institution, based on the integration of authentication systems, data storage and management of educational courses for the automation of electronic document management. Examples of the use of the system are given, as well as further development of the information environment.

Введение

Централизованное накопление информационных ресурсов и возможности их совместного использования позволяют существенно повысить производительность труда в современном обществе. Известна фраза Натана Ротшильда: «Кто владеет информацией, тот владеет миром» [1]. Отсутствие централизованного доступа к информации в рабочем коллективе может приводить, а зачастую почти всегда приводит, к дублированию уже выполненной работы, к многократному повторению ошибок и, как следствие, к существенному падению уровня качества производимых работ.

Активное развитие и последующее использование информационных технологий совместного использования ресурсов, безусловно, началось при создании операционных систем, и, как пример, при создании сетевой файловой системы NFS в *nix системах [2]. Развитие систем совместного редактирования общих ресурсов привело к созданию целого класса систем, получивших название систем контроля версий (CVS, SVN, GIT) [3], которые активно применяются при разработке программного обеспечения и, в настоящее время, являются стандартом де-факто при коммерческой разработке.

С развитием интернет технологий и сетевых систем коммуникации начали активно использоваться технологии передачи данных на основе прикладных протоколов передачи данных (FTP, HTTP и др.) [4].

Системы контроля версий позволяют накапливать информацию обо всех изменениях каждого файла, хранимого в рамках файлового хранилища, но требуют специальной подготовки пользователей. Системы совместного хранения на основе протокола FTP предоставляют удаленный общий доступ к документам группам пользователей, не требуя специальных знаний, но, очевидно, такой доступ будет приводить к сложностям при совместном обновлении общедоступных файлов (могут «теряться» изменения). Потеря

информации может приводить к катастрофическим последствиям для организации (потеря времени, финансовых и трудовых ресурсов, нарушении в коммуникации в рамках трудового коллектива), что особенно важно в условиях быстроменяющейся рыночной экономики.

С развитием информационных технологий почти все отрасли народного хозяйства начали их использовать в своей деятельности и почти повсеместно появилась потребность в совместном доступе к данным.

Стремительное развитие глобальных информационных и вычислительных сетей приводит к изменению фундаментальных основ подготовки и обработки данных, которые можно охарактеризовать как переход к поддержке и развитию распределенных информационных ресурсов [5]. Таким образом, важнейшей задачей создания эффективной информационной инфраструктуры, обеспечивающей совместную работу над общими документами, является, помимо прочего, исследование существующих систем с точки зрения возможностей их совместной работы (интеграции), расширяемости их функциональных возможностей и удовлетворения другим общим требованиям, предъявляемым к распределенным информационным системам.

С целью организации эффективной совместной работы над документами в рамках структурного подразделения ВУЗа, а именно: кафедры, научно-образовательного центра, лаборатории, управления, в рамках настоящей работы была предпринята попытка создания информационной инфраструктуры, которая позволила бы решить задачи совместного доступа и редактирования общих документов рабочими группами подразделения. В том числе, была настроена подсистема централизованной адресной рассылки оповещений настроенным рабочим группам автоматизируемого подразделения ВУЗа с использованием технологии RSS. Важной особенностью созданного решения стала возможность помимо централизованной авторизации проводить аутентификацию каждого подключающегося пользователя, что предполагается реализовать путём интеграции сервиса OpenLDAP, развёрнутого в рамках подразделения, и сервиса централизованной аутентификации ВУЗа.

Предлагаемый в работе подход позволяет расширять функциональные возможности созданного инфраструктурного решения уже после его настройки. Централизованная авторизация на основе OpenLDAP сервиса позволяет осуществлять интеграцию с другими аналогичными сервисами.

1. Постановка задачи

С учётом известных авторам особенностей организации труда в рамках подразделений ВУЗов были определены **требования к информационной инфраструктуре** в целом, а также к ее составным частям, призванной создать единую среду хранения данных и обеспечить доступ к ним с использованием централизованных систем авторизации, в перспективе аутентификации:

- а) обеспечить хранение основных данных кафедры (программы дисциплин, УМКД, ФГОС, ФОС, РПД, служебные записки, распоряжения и пр.);
- б) обеспечить размещение методических указаний, методических пособий, материалов лекций, семинаров и лабораторных работ для выполнения практических занятий в дисплейных классах кафедры и Университета;
- в) организовать возможности совместной работы над общими документами в рамках образовательной и научно-исследовательской деятельности на кафедре;
- г) уменьшить число дублируемых документов и исключить необходимость пересылки документов по электронной почте;
- д) обеспечить возможности хранения материалов студенческих работ (курсовые, дипломы, ВКР, домашние задания, лабораторные работ и т.д.);
- е) создать единую точку доступа к документам кафедры по единому адресу;

ж) предоставить разграниченный доступ каждому сотруднику и студентам кафедры к формируемым каждым документам (программам дисциплин, лекциям, презентациям и т.д.);

з) создать возможности централизованного адресного оповещения групп сотрудников и студентов о новостях и объявлениях;

и) повысить производительность и эффективность работы сотрудников кафедры и обучающихся в целом.

Одним из важнейших дополнительных требований, определенных при построении информационной инфраструктуры стала возможность интеграции со службой централизованной аутентификации ВУЗа, а также возможность интеграции с системами управления образовательными курсами (например, Moodle)[6].

Таким образом, была поставлена задача создания информационной инфраструктуры, удовлетворяющей представленным выше требованиям.

2. Реализация задачи

Информационная инфраструктура была создана на основе свободно распространяемого программного обеспечения – облачный сервис NextCloud [7]. Сервис развернут на виртуальной машине, выделенной для подразделения общеуниверситетскими службами. Конфигурация созданной виртуальной машины представлена в Таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики виртуальной машины, созданной для установки и настройки облачного сервиса подразделения

Виртуальная машина документов подразделения ВУЗа

CPU: 2 cores (4 logicalcores) XeonE5-2699, 2.3 GHz;

Memory: 8 Gb

HDDspace: 520 Gb (на всех сотрудников и студентов)

OS: CentOS Linux release 7.4.1708

Протокол: HTTPS¹

Для предоставления доступа студентам и сотрудникам кафедры к хранилищу данных, а впоследствии к любой другой системе подразделения, был настроен OpenLDAPсервис [8].

Помимо прочего, доступ к установленному облачному хранилищу может быть осуществлен с помощью различных клиентских приложений, предоставляющих возможности синхронизации данных с персональными компьютерами под управлением различных операционных систем (Windows, OS X, Linux) и с мобильными устройствами на базе iOS и Android. Стандартным является доступ к хранилищу посредством веб-интерфейса в любом современном браузере.

В связи с настроенной интеграцией OpenLDAP и NextCloud, была реализована возможность предоставления адресного доступа к данным для определённых групп пользователей (студентов, преподавателей и пр.).

На рис. 1 представлена схема инфраструктуры созданной сети сервисов кафедры.

¹ В ближайшее время будет настроен доверенный SSL сертификат МГТУ им. Н.Э. Баумана

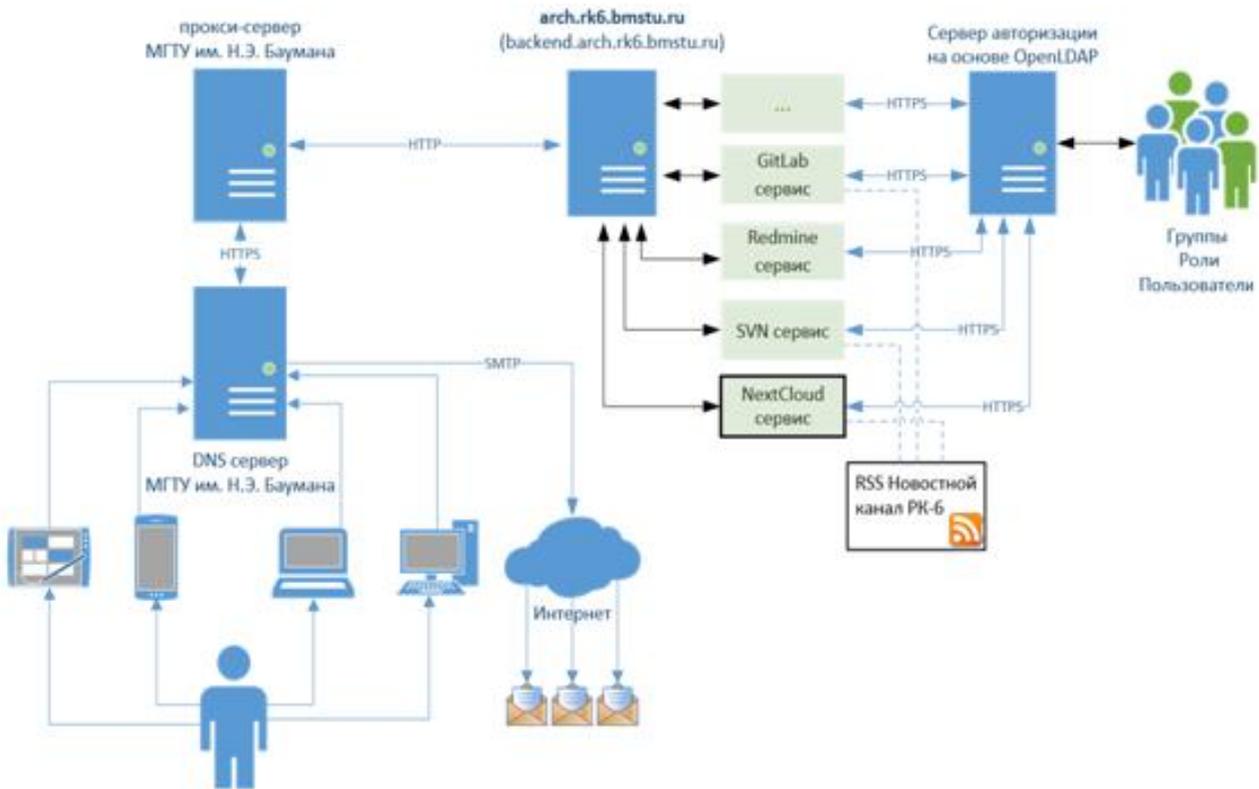


Рисунок 1 - Схема инфраструктуры сети сервисов кафедры

С целью создания централизованного инструмента информирования групп пользователей был настроен RSS канал подразделения, чтение которого стало возможным посредством установленного облачного сервиса. В тестовом режиме был установлен и настроен сервер документов на основе открытого программного обеспечения OnlyOffice [9].

Заключение

В результате проведенных работ была создана информационная инфраструктура на кафедре «Системы автоматизированного проектирования», доступная по адресу: <http://arch.rk6.bmstu.ru>. Доступ к сервису был организован через внутрикафедральный OpenLDAP сервис, планируется организация доступа через общеуниверситетский сервис аутентификации CAS[10] с целью повышения уровня безопасности хранимых данных. В том числе планируется обеспечить интеграцию созданной информационной инфраструктуры с системой управления образовательными курсами (например, Moodle).

Важнейшим направлением развития созданного решения предполагается интеграция с системой контроля версий GIT [3], что позволит решить задачу совместного изменения общедоступных ресурсов (файлов, каталогов). Также планируется интеграция с Распределенной вычислительной системой GCD [11], что позволит управлять данными о постановках вычислительных задач и результатах расчетов с использованием облачного сервиса

Литература

1. Хотинская Г.И., Черменева Е. Модели раскрытия финансовой информации: эволюция и современность // Финансовый вестник: финансы, налоги, страхование, бухгалтерский учет, 2015. № 3. с.10-17.
2. Назаренко Е.В. Сравнение архитектуры распределенных файловых систем // Управляющие системы и машины, 2012. № 5. с.63-69.
3. Джелдубаев Р.С., Иванов С.В., Москалева Ю.П. Выбор системы контроля версий для разработки учебного проекта // Проблемы современного педагогического образования, 2015. № 48-5. с.75-81.
4. Mykhailiv V.I. Information technology for data protection in cloud computing systems // International scientific and practical conference world science, 2017. № 2. с.11-15.
5. Алпатов А.Н. Развитие распределенных технологий и систем // Перспективы науки и образования, 2015. №2. с.60-66.
6. Габдрахманова К.Ф. Платформа Moodle, как средство повышения качества обучения в техническом ВУЗе // Ученые записки ИСГЗ, 2015. № 1. с.107-112.
7. Nextcloud [Electronic resource]. – Available at: <https://nextcloud.com>.
8. Курманбек У.Т. Решение идентификации пользователей для информационной системы свободной экономической зоны «КАРАКОЛ» // Известия ВУЗов Кыргызстана, 2014. № 8. с.34-37.
9. ONLYOFFICE [Electronic resource]. – Available at: <https://www.onlyoffice.com/ru>.
10. CAS [Electronic resource]. – Available at: <https://www.unicon.net/opensource/cas>.
11. Соколов А.П., Шпакова Ю.В., Першин А.Ю. Проектирование распределенной программной системы GCD численного моделирования композитов. // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сб. трудов XXV Международной научной конференции: в 10 т. Т. 5 Секция 8,9 / под. общ. ред. А.А. Большакова. – Волгоград: ВолГУ, 2012, с.79-80.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОТОТИПА РОБОТИЗИРОВАННОЙ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКИ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Бутрина А. А. (РК5)

Научный руководитель: к.т.н., доцент Белоножко П.П.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

PECULIARITIES OF MANUFACTURE OF PARTS EXPERIMENTAL PROTOTYPE OF ROBOTIZED WHEELCHAIR WITH 3D-PRINTING

Butrina A. A.

Supervisor: Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor Belonozhko P.P.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Рассмотрены особенности реализации комплексного подхода к проектированию, базирующегося на натурной отработке инженерных решений с использованием экспериментального прототипа разрабатываемого устройства. Результаты были получены в ходе работы над проектом «Роботизированная инвалидная коляска», представленном на Всероссийском форуме научной молодежи «Шаг в будущее» 20-24 марта 2017 года, обобщены и систематизированы в 2017-2018 г.г.

Abstract

Features of the implementation of the integrated approach to design, based on full-scale testing of engineering solutions using the experimental prototype of the developing device, are considered. The results were obtained in the course of work on the project "Robotic Wheelchair", which was presented at the All-Russian Forum of Scientific Youth "Step into the Future" March 20-24, 2017, summarized and systematized in 2017-2018.

Введение

Несмотря на преимущества компьютерного моделирования, экспериментальная проверка инженерных решений, базирующаяся на комплексе натурных испытаний с использованием действующего прототипа разрабатываемого устройства (рис. 1), является весьма актуальной.

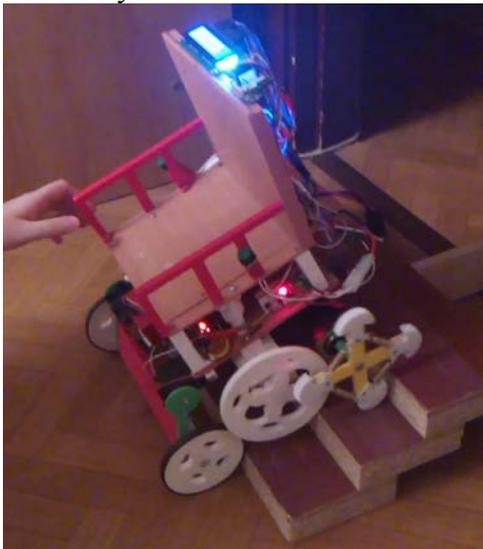


Рисунок 1 – Действующий прототип роботизированной инвалидной коляски

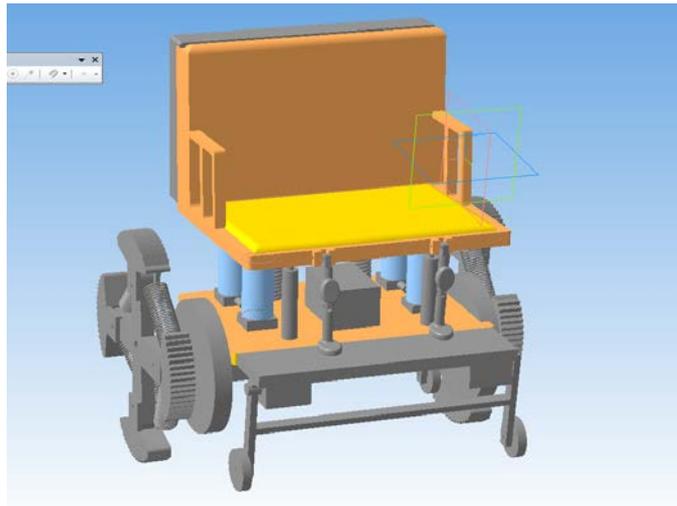


Рисунок 2 – Модель прототипа роботизированной инвалидной коляски, разработанная средствами пакета Компас-3D

В частности, натурные испытания действующего прототипа целесообразны в случаях, когда достоверность результатов компьютерного моделирования существенно зависит от параметров модели, требующих экспериментального подтверждения.

В докладе рассмотрены особенности использования современных систем автоматизированного проектирования [1–4], а также устройств 3D печати [4–5] при изготовлении действующего прототипа роботизированной инвалидной коляски (рис.1, 2) в задаче сравнительного анализа альтернативных конструкторских решений.

Результаты были получены в ходе работы над проектом «Роботизированная инвалидная коляска», представленном на Всероссийском форуме научной молодежи «Шаг в будущее» 20-24 марта 2017 года. Работа удостоена диплома лауреата программы «Шаг в будущее» 1 степени, секция 1L «Интеллектуальные компьютерные системы», награждена дипломом в номинации «Абсолютное первенство. Лучший инновационный проект».

1 Постановка задачи экспериментальной отработки инженерных решений

В процессе проектирования возникла необходимость экспериментальной отработки при решении следующих задач:

- сравнительный анализ гидравлической и механической систем смены ведущих колес;
- анализ принципа построения и конструктивной реализации балансировочной системы, предназначенной для управления положением центра масс устройства при перемещении по лестнице;
- разработка конструкции колеса с изменяемой геометрией, предназначенного для обеспечения перемещения по лестницам с характеристиками (геометрические параметры ступеней, наличие искажающих форму повреждений, качество поверхности), варьируемыми в широких пределах.

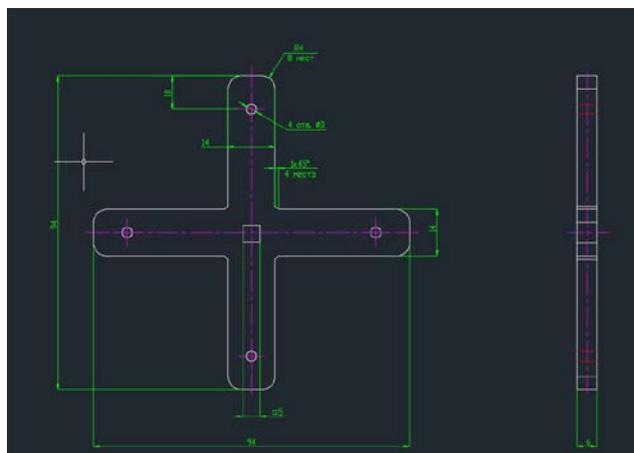


Рисунок 3 – Чертеж детали колеса с изменяемой геометрией

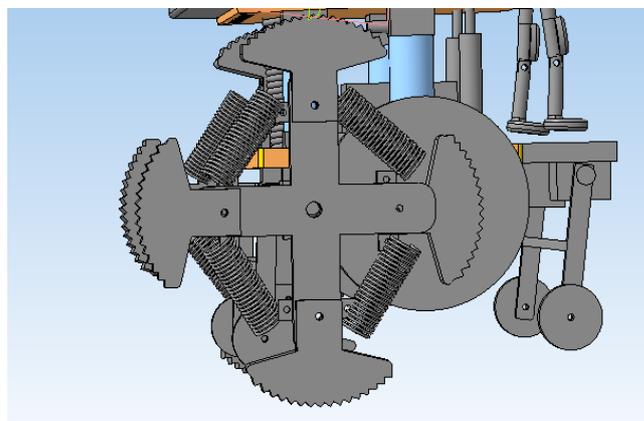


Рисунок 4 – 3D-модель колеса с изменяемой геометрией

Выбрана стратегия проектирования, предполагающая изготовление различных версий экспериментального прототипа для сравнения альтернативных вариантов конструктивной реализации некоторых деталей. Определен перечень деталей, предполагающих варьирование их параметров. Средствами системы трехмерного моделирования КОМПАС-3D разработаны модели этих деталей (рис. 2 – 4). Сами детали изготавливались методом 3D печати (рис. 1, 5 – 6).

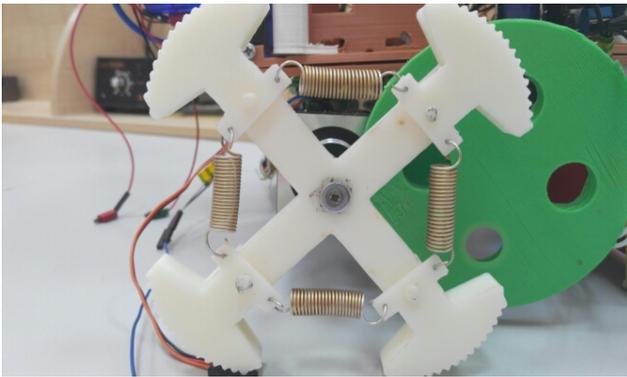


Рисунок 5 – Вариант конструктивного исполнения колеса с изменяемой геометрией



Рисунок 6 – Вариант конструктивного исполнения колеса с изменяемой геометрией

2 Особенности изготовления деталей методом 3D-печати

Для обеспечения возможности комплексного экспериментального анализа работоспособности механического варианта системы смены ведущих колес была спроектирована винтовая передача (рис. 7-8).

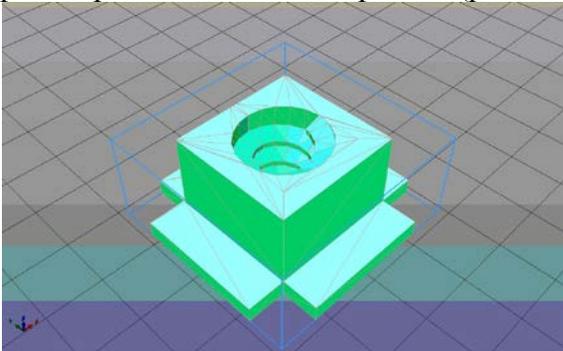


Рисунок 7 – 3D-модель детали механической системы смены ведущих колес (гайка винтовой передачи)

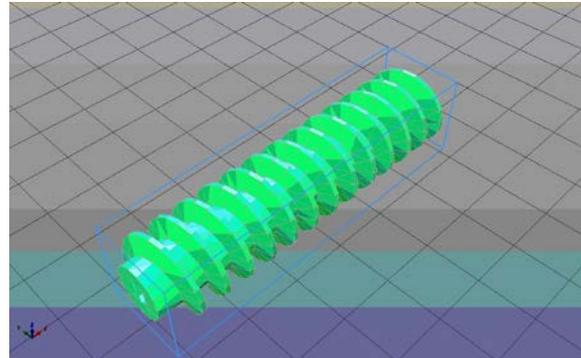


Рисунок 8 – 3D-модель детали механической системы смены ведущих колес (винт винтовой передачи)

Как отмечается в [4], возможны следующие варианты использования деталей, изготовленных методом быстрого прототипирования:

- использование прототипов деталей для оценки проекта. Несмотря на наличие богатого арсенала средств визуализации геометрических моделей, предоставляемых современными CAD-системами, работа с физической моделью в ряде случаев оказывается предпочтительной;

- использование прототипов деталей для функциональной оценки. В ряде случаев, когда необходимы, например, экспериментальная проверка собираемости изделия, исследование кинематических и аэродинамических характеристик, целесообразным оказывается использование прототипов вместо реальных деталей;

- использование прототипов в качестве моделей для дальнейшего производственного процесса, например, при изготовлении форм для литья.

При постановке задачи изготовления методом 3D-печати деталей роботизированной инвалидной коляски подразумевался второй вариант – использование прототипов деталей в качестве функциональных элементов действующего экспериментального образца. К изготавливаемым деталям предъявлялись соответствующие требования как по точности изготовления, так и по механической прочности, в связи с чем возникла задача экспериментального определения наиболее подходящего способа 3D-печати. При изготовлении винта (рис. 8) были протестированы различные способы:

- ось винта при 3D-печати горизонтальна, материал поддержки не используется. Экспериментально установлено, что форма детали значительно искажается за счет возникающих в процессе 3D-печати деформаций;

- ось винта при 3D-печати вертикальна, материал поддержки не используется. Экспериментально установлено, что форма детали значительно искажается за счет возникающих в процессе 3D-печати деформаций;

- отдельно изготавливаются две части, получаемые разрезанием винта вдоль плоскости, проходящей через ось винта (рис. 9). В процессе 3D-печати деталь расположена горизонтально. Эксперимент показал, что в результате искажения формы незначительны. Но изготовленная деталь состоит из двух частей;

- ось винта при 3D-печати вертикальна, используется материал поддержки. Экспериментально подтверждено, что искажения формы незначительны.

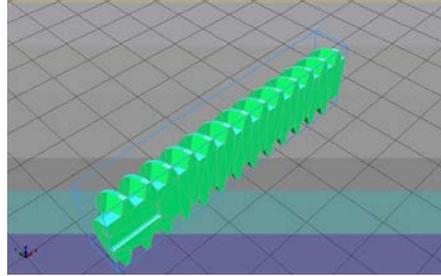


Рисунок 9 – 3D-модель части винта

полученная разрезанием вдоль плоскости, проходящей через ось винта

Таким образом, при изготовлении прототипа винта методом 3D-печати, опытным путем в качестве предпочтительного был выбран четвертый способ – вертикальное расположение оси винта при печати с использованием материала поддержки.

Заключение

Опыт, приобретенный в ходе работы над проектом, подтверждает эффективность выбранного подхода, базирующегося на экспериментальной натурной отработке проектных решений, и целесообразность его использования на ранних стадиях изучения основ автоматизированного проектирования. Параллельное освоение всего комплекса программно-аппаратных средств САПР в ходе решения учебной задачи проектирования, предполагающее воплощение инженерных решений в экспериментальном прототипе проектируемого устройства, позволяет глубже понять как назначение конкретных компонентов комплекса, так и особенности их совместного использования. Одним из результатов самостоятельной работы является также вывод о необходимости более глубокого изучения САПР, предполагающего наряду с решением учебно-прикладных задач также существенный объем теоретической подготовки.

Литература

1. Основы автоматизированного проектирования: Учебник / Под. ред. А.П. Карпенко. — М: ИНФРА-М, 2015. — 329 с.
2. Большаков В.П., Бочков А.Л., Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. — СПб: Питер, 2013. — 304 с.
3. Самсонов В.В., Красильникова Г.А. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D: учеб.пособие для студ.высш.учеб.заведений — 2-е изд., стер. — М: Издательский центр «Академия», 2009. — 224 с.
4. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). — СПб: Питер, 2004. — 560 с.
5. Canessa E., Fonda C., Zennaro M. Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development. — ICTP — The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics — Italy: Trieste, 2013 — 198 p.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО-
МАССО-ПЕРЕНОСА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ РЕШЕТКИ АРКТИЧЕСКОГО
СУДНА С СИСТЕМОЙ ОБОГРЕВА**

Чибисов В. Ю.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор, Димитриенко Ю.И.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ФН-11, Москва, Россия

**COMPUTER SIMULATION OF PROCESSES OF HEAT-
MASS TRANSFER IN A VENTILATION GRILLE IN THE ARCTIC SHIP WITH THE
HEATING SYSTEM**

Chibisov V. Y.

Supervisor: Dr., Prof., Dimitrienko Y.I.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается моделирование противообледенительной системы воздухозаборных решеток судовой системы вентиляции, используемой на атомных ледоколах типа «Москва». Исследована физ. мат. модель с учетом таких циклов как намораживание и оттаивание льда. Кратко представлено результаты моделирования. В заключении выбраны оптимальные свойства и представлены рекомендации по проектированию противообледенительной системы.

Abstract

The article deals with the modeling of the anti-icing system of air intake gratings of the ship's ventilation system used on nuclear icebreakers of the Moscow type. Studied physics and Mat. model taking into account cycles such as freezing and thawing of ice. The results of modeling are briefly presented. In conclusion, the optimal properties and recommendations for the design of the anti-icing system are selected.

Введение

В последнее время отмечается активный всплеск в развитии северных территории России. Все более актуальными становятся задачи такого характера как расширение геологоразведочных работ и увеличения добычи полезных ископаемых. Большое внимание уделяется мероприятиям по геологическому изучению Северно-Ледовитого океана. Арктический регион в ближайшее десятилетие будет оказывать серьезное влияние на судьбы всего мира, уверяют эксперты. От отечественных проектировщиков судов требуются современные решения сложных прикладных задач. Одной из таких задач является проблема со своевременной диагностикой и профилактикой работоспособности воздухозаборных решеток, ввиду особых условия эксплуатации (обледенение, замерзание, оттаивание и т.п.) Арктических судов.[1] Например, обледенение сужает поперечное сечение воздухозаборных трактов, уменьшает количество поступающего воздуха и, даже в некоторых случаях, может вывести их строя судовую систему вентиляции и привести к тяжелым последствиям. Для решения данной задачи требуется провести численное моделирование процессов теплообмена противообледенительной системы обогрева и сделать верификацию физико-математической модели теплообмена проектных параметров системы обогрева.

При проведении расчетов были использованы следующие методы и средства компьютерного моделирования процессов тепло-и массопереноса:

- методы вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics) основанные на совместном решении системы дифференциальных уравнений
- метод конечных объемов - метод численного решения дифференциальных уравнений в частных производных.

При проведении расчетов использовался пакет компьютерного моделирования процессов тепло- и массопереноса FLOTHERM V7.1 (производитель Mentor Graphics), осуществляющий программную реализацию формализма вычислительной гидродинамики (CFD).

Цели компьютерного моделирования:

- оценка оптимального диапазона тепловых нагрузок на греющий кабель для предотвращения обледенения вентиляционных решеток при различных температурах наружного воздуха;
- определение оптимальных толщин жалюзи для минимизации термических сопротивлений с целью наилучшего прогрева решеток.

Исходные данные для компьютерного моделирования

Были приняты следующие исходные данные для компьютерного моделирования:

- размер вентиляционной решетки: 1600 x 600 мм;
- толщина жалюзи: Δ = от 3 до 6 мм;
- размер приточной камеры: 1500 x 2000 x 3000 мм;
- внешняя температура воздуха: T_{amb} = от минус 30 до минус 40 °С;
- скорость воздуха на входе в решетку : V_{ex} = 2 м/с;
- удельная тепловая мощность кабеля: P_L от 440 до 780 Вт/м;
- греющий кабель расположен на следующих элементах вентиляционной решетки:
 - боковины обечайки;
 - ребра жесткости
- на нижней и верхней части обечайки греющий кабель отсутствует;
- температурный критерий оптимального эксплуатационного режима: средняя температура жалюзи оценивается величиной близкой к $T_{жс} \approx 5$ °С;
- энергетический критерий оптимальной конструкции: минимум общей тепловой нагрузки при минимуме удельной мощности на греющий кабель, обеспечивающий режим, препятствующий обледенению.

Результаты компьютерного моделирования

Рассматриваемые варианты решетки для расчетов приведены в таблице 1. Фрагмент вентиляционной решетки с 2 и 6 ребрами жесткости показан на рисунке 1-2. Зависимость общей тепловой нагрузки на греющие вертикальные кабели от их количества представлена на рисунке 3. Распределение температуры на поверхности вентиляционной решетки и воздушный поток через нее в среднем сечении (фрагмент, вентиляционная решетка с 6 ребрами жесткости $\Delta = 3$ мм, $T_{amb} = -30$ °С) представлена на рисунке 4. Таблица 2 содержит основные выводы по тепловой нагрузке на греющий кабель и средние температуры вентиляционной решетки для различных эксплуатационных режимов и конфигураций

Таблица 1 - Рассматриваемые конфигурации решетки, системы обогрева и условий функционирования решетки

N	Конфигурация	Кол-во вертикальных ребер жесткости	Кол-во вертикальных греющих кабелей	Толщина жалюзи Δ (мм)	Внешняя температура T_{amb} (°C)	Скорость воздуха на входе в решетку $V_{вх}$ (м/с)	Удельная тепловая мощность кабеля P_L (Вт/м)
1	1	2	4	3	-30°C	2	825.0
2	2	3	5				600.0
3	3	4	6				498.8
4	4	5	7				425.0
5	5	6	8				371.3
6	6	2	4	3	-40°C	1051.3	
7	7	3	5			768.8	
8	8	4	6			641.3	
9	9	5	7			542.5	
10	10	6	8			510.0	

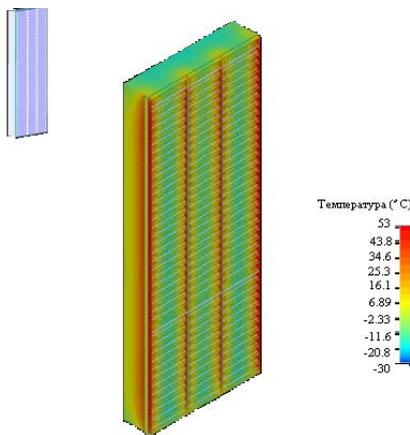


Рисунок 1 - Сравнительное распределение температур (вентиляционная решетка с 2 ребрами жесткости $\Delta = 3$ мм, $T_{amb} = -30$ °C)

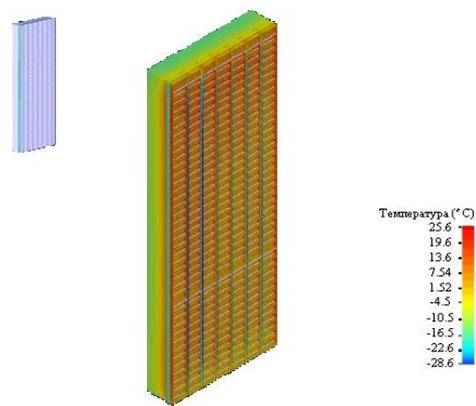


Рисунок 2 - Сравнительное распределение температур (вентиляционная решетка с 6 ребрами жесткости $\Delta = 3$ мм, $T_{amb} = -30$ °C)

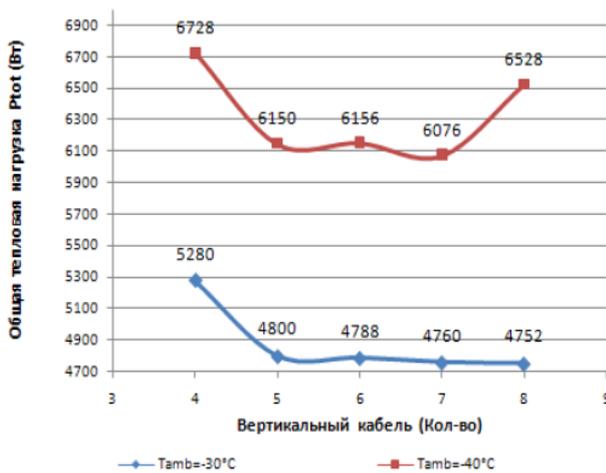


Рисунок 3 - Зависимость общей тепловой нагрузки на греющие вертикальные кабели от их количества



Рисунок 4 - Распределение температуры на поверхности вентиляционной решетки и воздушный поток через нее в среднем сечении (фрагмент, вентиляционная решетка с 6 ребрами жесткости $\Delta = 3$ мм, $T_{amb} = -30$ °C)

Таблица 2 - Тепловая нагрузка на греющий кабель и средние температуры вентиляционной решетки для различных эксплуатационных режимов и конфигураций

N	Эксплуатационный режим	1	2	3	4	5
1	Толщина жалюзи Δ (мм)	3				
2	Внешняя температура T_{amb} (°C)	$T_{amb} = -30^{\circ}\text{C}$				
3	Вертикальный кабель	Кол-во				
4	Удельная мощность кабеля P_L (Вт/м)	4	5	6	7	8
5	Тепловая нагрузка на вертикальный кабель P_{cabel} (Вт)	825.0	600.0	498.8	425.0	371.3
6	Общая тепловая нагрузка P_{tot} (Вт)	1320	960	798	680	594
7		5280	4800	4788	4760	4752
8	Элементы вентиляционной решетки	Распределение средних температур				
9	Жалюзи	Средняя температура T_c (°C)				
10	Обечайка низ	5.0				
11	Обечайка верх	-8.2 ± 0.5				
12	Обечайка боковина	-9.1 ± 0.5				
13	Ребра жесткости	22.5	12.0	6.9	3.0	0.3
		42.4	31.2	20.0	14.8	12.9

N	Эксплуатационный режим	6	7	8	9	10
1	Толщина жалюзи Δ (мм)	3.0				
2	Внешняя температура T_{amb} (°C)	$T_{amb} = -40^{\circ}\text{C}$				
3	Вертикальный кабель	Кол-во				
4	Удельная мощность кабеля P_L (Вт/м)	4	5	6	7	8
5	Тепловая нагрузка на вертикальный кабель P_{cabel} (Вт)	1051.3	768.8	641.3	542.5	510.0
6	Общая тепловая нагрузка P_{tot} (Вт)	1682	1230	1026	868	816
7		6728	6150	6156	6076	6528
8	Элементы вентиляционной решетки	Распределение средних температур				
9	Жалюзи	Средняя температура T_c (°C)				
10	Обечайка низ	5.0				
11	Обечайка верх	-11.5 ± 1				
12	Обечайка боковина	-13.3 ± 1				
13	Ребра жесткости	31.7	13.7	7.4	2.2	-2.3
		52.0	33.3	24.1	17.4	11.7

Заключение

Из результатов компьютерного моделирования термического состояния вентиляционных решеток при изменении внешней температуры воздуха в диапазоне $-40^{\circ}\text{C} < T_{amb} < -30^{\circ}\text{C}$ следует:

1. Вентиляционные решетки с толщиной жалюзи в $\Delta = 3$ мм обеспечивают режим, препятствующий обледенению, в диапазоне тепловых нагрузок на греющий кабель, представленных в таблице 2.

2. Оптимальное количество вертикальных ребер жесткости ($N_{реб} = 5$) и греющих вертикальных кабелей ($N_{каб} = 7$) для режимов, препятствующих обледенению, определено с учетом минимума удельной мощности на греющий кабель и общей тепловой нагрузки, а также образованием льда.

Литература

1. Ерохин Б.Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ.-М.: Машиностроение, 1991.
2. Калинин В.В., Ковалев Ю.Н., Липанов А.М. Нестационарные процессы и методы проектирования узлов РДТТ.-М.: Машиностроение, 1986.
3. Синюков А.М., Волков Л.И., Львов А.И., Шишкевич А.М. Баллистическая ракета на твердом топливе.-М: Воениздат, 1972.
4. Липанов А.М., Алиев А.В. Проектирование РДТТ.-М.: Машиностроение, 1995.
5. Димитриенко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах.- М.:Машиностроение. -1997.
6. Г. Стренг, Дж. Фикс "Теория метода конечных элементов", Москва, Мир, 1977.
7. Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун. Матричные вычисления. Перевод с английского. М. "Мир", 1999.

8. R. Barrett, M. Berry, T.F. Chan, J. Demmel, J.M. Donato, J. Dongarra, V. Eijkhout, R. Pozo, C. Romine, Henk Van der Vorst, Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods, SIAM, 1994.
9. Ж.-К. Сабоннадьер, Ж.-Л. Кулон “Метод конечных элементов и САПР”, Москва, Мир, 1989.
10. Димитриенко Ю.И., Изотова С.Г. Численное исследование нестационарных газодинамических процессов горения в камерах РДТТ// В наст. сборнике.
11. Димитриенко Ю.И., Коряков М.Н., Чибисов В.Ю. Численное решение сопряженной задачи газодинамики и теплообмена для воздухозаборной решетки с противообледенительной системой// Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/technic/1116.html>
12. Димитриенко Ю.И., Чибисов В.Ю., Кирчанов А.Г., Ворошилов Р.Ю. Разработка и испытания противообледенительной системы обогрева судовых воздухозаборных решеток // Инженерный журнал: наука и инновации, 2015, вып.12(48), DOI: 10.18698/2308-6033-2015-12-1453
13. Кирчанов А.Г., Димитриенко Ю.И., Чибисов В.Ю., Краснов И.К. СПОСОБ КОНТРОЛЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ЖАЛЮЗИ ВОЗДУХОПРИЕМНОЙ РЕШЕТКИ// патент на изобретение RUS 2563710 23.05.2014

**РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЭМУЛЯЦИИ
ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

Давыдов В. Н.

Научный руководитель: к.т.н. Гладких А.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

**IMPLEMENTATION OF PROGRAM EMULATION OF OPERATING SYSTEMS FOR
DYNAMIC ANALYSIS OF USER APPLICATIONS**

Davydov V. N.

Supervisor: Gladkikh A.A.

Bauman MSTU, IU4, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье рассматривается реализация высокоуровневой эмуляции работы системных функций операционной системы для обеспечения корректной работы пользовательских приложений при их низкоуровневой программной эмуляции. Рассмотрены основные функции, которые предоставляет операционная система и возможности их эмуляции.

Abstract

This article describes the implementation of high-level emulation of the system functions of the operating system to ensure the correct operation of user applications with their low-level software emulation. The main functions provided by the operating system and the possibilities of their emulation are considered.

Введение

Для эффективного анализа пользовательских приложений, написанных под определенные операционные системы (ОС) зачастую требуется динамический анализ кода. Это обусловлено рядом причин – необходимостью получать данные из проинициализированных структур данных в оперативной памяти, возможностью получать трассировку работы программы, возможность наблюдать изменение поведение программы в зависимости от различных входных данных и для прочих задач. Все эти задачи могут быть также могут быть решены при помощи использования статического анализа кода, но этот подход не является эффективным, так как является через чур трудозатратными не исключает ошибку исследователя, что может привести к некорректным результатам, что в свою очередь существенно увеличивает время, необходимое для проведения исследования.

В случае если необходимо провести динамический анализ кода приложения, разработанного под стандартные операционные системы, которые работают под той же процессорной архитектурой, что и рабочая машина исследователя, то возможен запуск и отладка приложений либо на «домашней» операционной системы рабочей машины, либо на гостевой, при помощи использования средств виртуализации. Данный подход не является универсальным, так как требует совпадения операционных систем машины исследователя и целевой операционной системы исследуемого приложения и строго совпадения процессорных архитектур. Кроме того, данный подход не является безопасным, так как исследуемое приложение может содержать вредоносный код, который может навредить операционной системе рабочей машины исследователя.

В качестве альтернативного решения возможно использование низкоуровневой эмуляции операционной системы [1] в целом, с дальнейшим запуском исследуемого приложения в эмулируемой системе. Этот подход позволяет запускать приложение, разработанное под любую операционную систему и процессорную архитектуру, в случае, если у исследователя есть возможности запустить код операционной системы в

эмуляторе. Однако, в случае если операционная система имеет объемный код, то полная низкоуровневая эмуляция не эффективна по объему требуемой оперативной памяти для эмуляции операционной системы и процессорному времени.

При условии, что операционная система, для которой написано пользовательское приложение, считается доверенной (не требует дополнительного изучения не предмет ошибок и программных закладок) и исследуется одно или группа приложений, то возможна эмуляция работы операционной системы. Этот подход позволяет существенно увеличить скорость динамического анализа и понизить требования по использованной оперативной памяти для проведения этого исследования.

Разработка этой системы велась на основе низкоуровневого программного эмулятора, написанного на языке Kotlin (JVM) [2]. Язык программирования Kotlin позволяет существенно ускорить время разработки системы и минимизировать возможные ошибки, позволяя сосредоточиться на создаваемой архитектуре системы. Благодаря созданной архитектуре, становится возможным получать произвольную информацию о состоянии устройства в произвольный момент времени.

Основные принципы работы пользовательских приложений в ОС

В настоящее время выделяют различные классы операционных систем. Различные ОС предназначены для разных целей и сред эксплуатации и предоставляют различный набор функций (API). Однако, большинство операционных поддерживает следующий набор функций: управление памятью, управление процессами, поддержка файловых систем, стандартизированный доступ к периферийным устройствам. На рисунке 1 приведена структурная схема операционной системы.

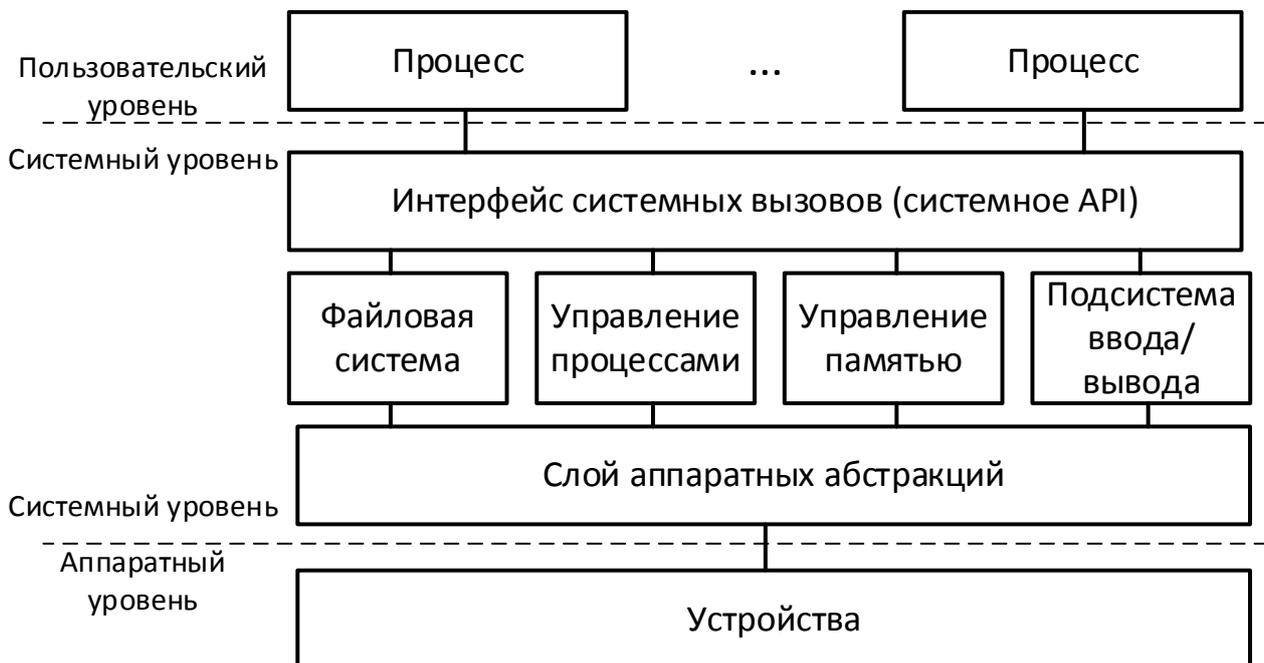


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема операционной системы

Стоит отметить, что выделяют три вида операционных систем – монолитная, микроядерная и гибридная. Монолитная операционная система представляет собой приложение, которое работает в одном адресном пространстве и выполняет весь набор функций, который предоставляет операционная система. Микроядерная операционная система представляет собой минималистичное ядро, которое выполняет минимальный набор функций, а большинство функций, которые предоставляет операционная система выполняются другими приложениями.

Реализация VEOS

Основная суть подхода VEOS заключается в том, что бинарный код исследуемого приложения непосредственно выполняется эмулятором, а все функции, которые предоставляет операционная система и от которых зависит работа исследуемого приложения эмулируются при помощи VEOS аналогично оригинальной операционной системе, для которой было написано приложение. На рисунке 2 приведена схема, на которой показано, как происходит обработка системного вызова CreateTask в настоящей операционной системе и в VEOS.

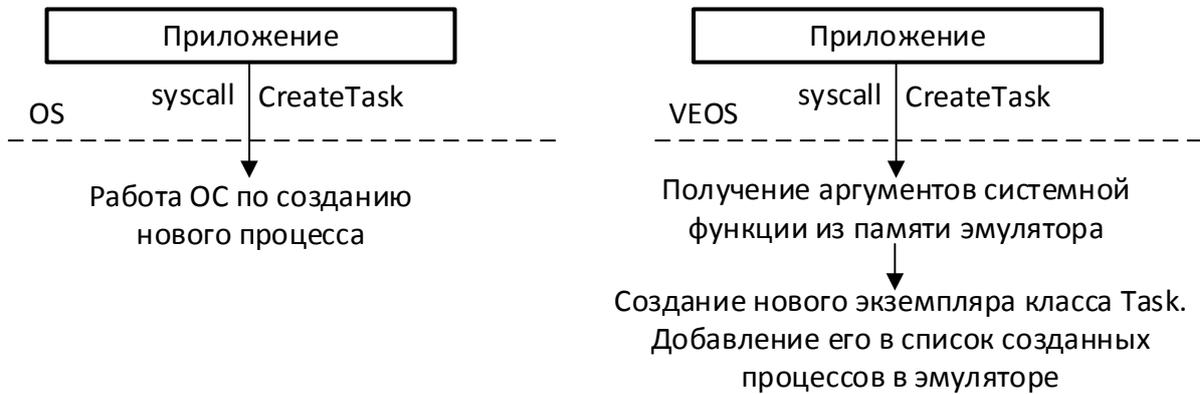


Рисунок 2 – Структурная схема обработки системного вызова CreateTask в операционной системе и в VEOS

Этот подход характерен тем, что нет необходимости полностью воссоздавать всю логику работы операционной системы – достаточно лишь выполнять задачи операционной системы аналогичным образом.

Эмулятор операционной системы (VEOS) можно представить, как стек уровней, на верхушке которого находится пользовательские приложения, а в основании – виртуальное устройство, под управлением которого работает виртуальная операционная система. На рисунке 3 приведена иллюстрация описанного выше стека.



Рисунок 3 – Структурная схема VEOS

API – это уровень, который «связывает» приложение и операционную систему и предоставляет приложениям все функции, которые предоставляет система. Через этот уровень происходит любое межпроцессорное взаимодействие. На уровне ABI (англ. Application Binary Interface) определяется набор соглашений по обмену данными между операционной системой и приложениями, например, способ передачи аргументов (через

регистры, стек и прочее), способ возврата значения из функции и так далее. Работа по управлению процессами, памятью, поддержка файловых систем, доступ к периферийным устройства осуществляется на уровне VEOS. Использование объектно-ориентированного подхода позволяет легко менять компоненты этого стека, абстрагируя их друг от друга, в частности, позволяет использовать VEOS без привязки в аппаратной платформе благодаря использованию уровня HAL.

Способы выполнения системных вызовов

Практически всегда системные вызовы осуществляются при помощи программных прерываний. На рисунке 4 приведен пример подобного вызова.

```

CreateTask
000
000
000
CreateTask

public CreateTask
proc near
mov    eax, 67h ; 'g'
int    0F0h
retn
endp
    
```

Рисунок 4 – Пример системного вызова функции CreateTask в процессорной архитектуре x86

Ниже будут рассмотрены способы перехвата системных вызовов для их выполнения ядром VEOS.

На основе счетчика инструкций

Суть этого метода заключается в том, что каждый такт работы эмулятора сопровождается проверкой значения счетчика инструкций на предмет совпадения с определенными значениями, которые совпадают с адресами начала функций обработчиков.

На рисунке 5 приведено описание этого метода.

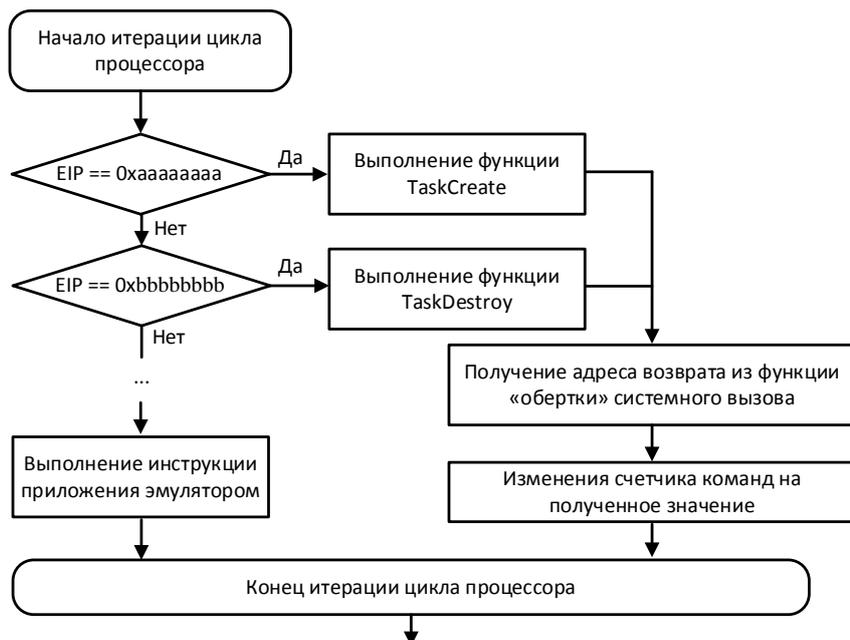


Рисунок 5 - Метод перехвата системных вызовов на основе значения счетчика инструкций

На основе обработки программных прерываний

Этот метод заключается в том, что происходит перехват программных прерываний в коде сопроцессора. В случае если сопроцессору пришел запрос прерывания, который соответствует системному вызову, то обработка этого прерывания происходит кодом VEOS, а не в бинарном коде приложения. На рисунке 6 приведена иллюстрация этого метода работы.

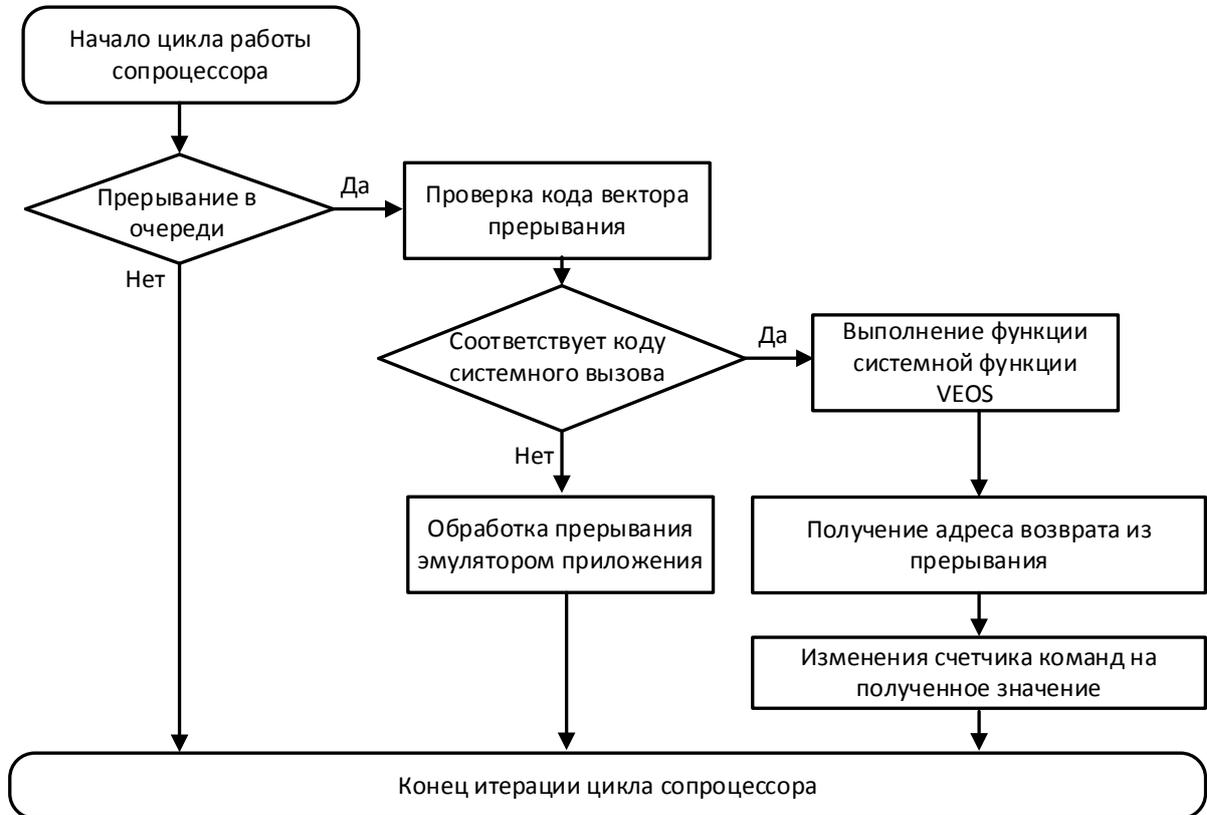


Рисунок 6 - Метод перехвата системных вызовов на основе обработчика программных прерываний

Доступ к периферийным устройствам

VEOS разрабатывался максимально абстрагировано от аппаратной составляющей, чтобы обеспечить минимальную привязку операционной системы к аппаратной платформе. VEOS представляет собой унифицированный аппаратно-независимый интерфейс доступа к периферийным устройствам, при помощи класса HAL. Базовые функции HAL – сохранение и загрузка контекста при переключении процессов и потоков. На рисунке 7 приведена диаграмма классов аппаратных абстракций класса HAL.

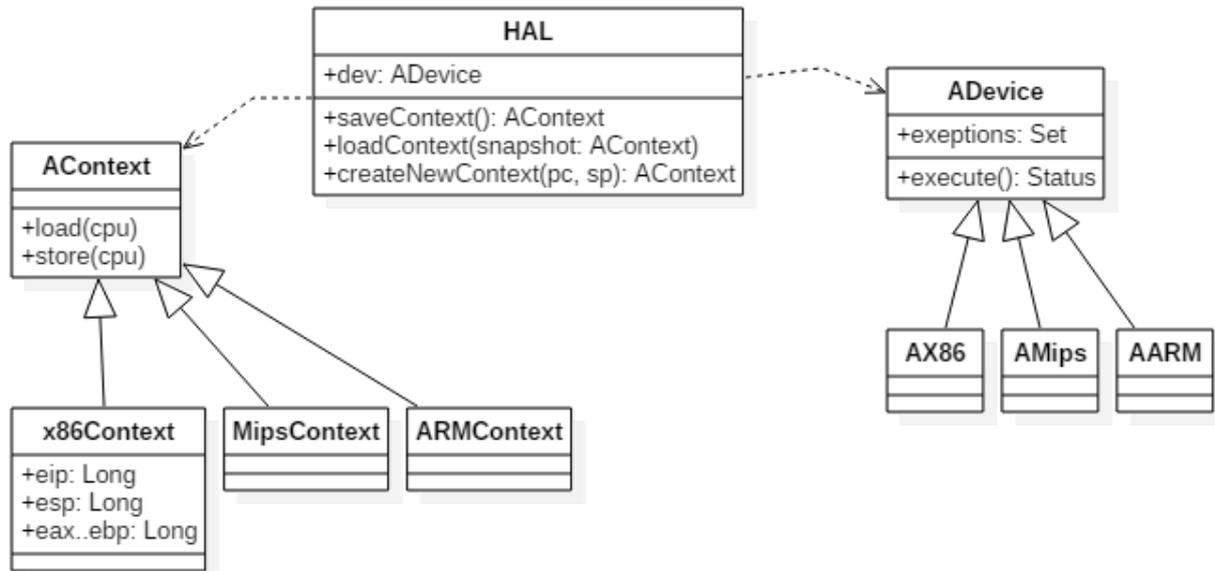


Рисунок 7 – Диаграмма классов аппаратных абстракций

Для удобства операционной системы были реализованы функции StackStream и RegisterStream, которые позволяют VEOS получать значения аргументов, которые были переданы системной функции от пользовательского приложения.

Поддержка файловых систем

Большинство операционных систем имеют поддержку множества файловых систем [3], позволяя приложениям иметь стандартизованный доступ к объектам файловых систем через системные API операционной системы. В VEOS эмуляция поддержки файловой системы сводится к использованию файловой системы основной операционной системы. Для этого используется экземпляр класса FileSystem, который предоставляет методы: open, close, read, write.

Заключение

В результате проделанной работы был разработан программный комплекс, который позволяет запускать пользовательские приложения, разработанные для определенных операционных систем при помощи низкоуровневой программной эмуляции вместе с использованием высокоуровневой эмуляции операционных систем.

Литература

1. Давыдов В. Н. Разработка методик повышения надежности и безопасности встраиваемых вычислительных систем на базе комплексной низкоуровневой программной эмуляции // Научные технологии и интеллектуальные системы - 2017 / под ред. В. А. Шахнова, А.И. Власова, В.А. Соловьева, В.Г. Перепелицына - Москва, 2017. - С. 56-62.
2. Kotlin // kotlinlang.org: Официальный сайт языка. URL: <https://kotlinlang.org/> (дата обращения: 14.01.2018).
3. Лав Роберт Разработка ядра Linux, 2008. 265с.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РИКОШЕТИРУЮЩИХ ТРАЕКТОРИЙ

Дорофеев В. С., Орлов Д. А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК 6, Москва, Россия

OPTIMAL CONTROL OF SPACECRAFT IN THE MARTIAN ATMOSPHERE AT THE USE OF RICOCHET TRAJECTORIES

Dorofeev V. S., Orlov D. A.

Supervisor: Dr., Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается задача моделирования спуска космического аппарата в атмосфере Марса для КА типа «несущий корпус» управляемого при помощи углов атаки и крена и баллистического типа. Для решения краевой задачи используется формализм максимума Понтрягина. Рассчитанные траектории обеспечивают минимум максимальной перегрузки и температуры в процессе спуска, а так же приемлемую конечную скорость.

Abstract

The problem of modeling the descent of a spacecraft in the Martian atmosphere for a spacecraft of the "bearing body" type, controlled by angles of attack and roll and ballistic type, is considered. To solve the boundary value problem, the Pontryagin maximum formalism is used. The calculated trajectories provide a minimum of maximum overload and temperature during the descent, as well as an acceptable final speed.

Введение

В данной работе исследуется оптимальное управление КА при использовании рикошетирующих траекторий для КА «несущий корпус» и баллистического типа. Для оценки эффективности снижения скорости КА до ввода в действие системы мягкой посадки, определение оптимального управления КА и определение номинальной траектории исследуются двухпараметрические способы управления спускаемыми аппаратами в атмосфере Марса при помощи совместного управления углами крена и атаки, неуправляемый спуск и спуск с балансировочным углом атаки.

Постановка задачи

Математическая модель движения космического аппарата в атмосфере планеты представляет собой систему дифференциальных уравнений в скоростной системе координат [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV}{dt} = -\frac{\rho \cdot V^2}{2 \cdot P_x} - \frac{\mu}{r^2} \cdot \sin\theta, \\ \frac{dH}{dt} = V \cdot \sin\theta, \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{\rho \cdot V \cdot K_\theta}{2 \cdot P_x} \cdot \cos\gamma - \frac{\mu}{r^2 \cdot V} \cdot \cos\theta + \frac{V}{r} \cdot \cos\theta, \\ \frac{d\lambda}{dt} = \frac{V \cdot \cos\theta}{r \cdot \cos\varphi}, \\ \frac{d\varphi}{dt} = \frac{V}{r} \cdot \cos\theta \cdot \sin\epsilon, \\ \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\rho \cdot V \cdot K_\epsilon}{2 \cdot P_x \cdot \cos\theta} \cdot \sin\gamma - \frac{V}{r} \cdot \cos\theta \cdot \cos\epsilon \cdot \operatorname{tg}\varphi, \\ r = R + H. \end{array} \right. \quad (1)$$

(2)

Управление КА в атмосфере осуществляется путем изменения углов крена γ и атаки α .

Значения γ и α могут варьироваться в пределах:

$$-\pi \leq \gamma \leq \pi, 0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \quad (3)$$

Начальная точка траектории $t = t_0$ соответствует моменту входа КА в атмосферу Марса. При этом все значения параметров КА известны.

Учитываются ограничения на максимальные значения перегрузки n_{\max} и температуры T_{\max} :

$$q = n_{\max} - n_{\text{дон}} \leq 0, q = T_{\max} - T_{\text{дон}} \leq 0 \quad (4)$$

Требуется определить программу управления углами $\alpha(t)$ и $\gamma(t)$, переводящую аппарат из начальной точки траектории в конечную при реализации экстремума критерия оптимальности J и учете ограничений. Где J – это основной критерий оптимальности минимума конечной скорости $J = V_k = \min$.

Выбранная математическая модель была реализована в программном комплексе на языке высокого уровня *Python 2.7*.

Методика оптимизации управления спуском КА в атмосфере Марса

Рассматривается конечный участок спуска КА, который начинающийся с момента достижения аппаратом максимальной высоты после полета по рикошетирующей траектории и завершающийся моментом ввода в действие системы мягкой посадки.

Согласно работам [2, 3] аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы с высокой степенью точности могут быть аппроксимированы следующими аналитическими зависимостями:

$$C_x = C_{x0} + A \sin^2(n\alpha + l), \quad C_y = C_{y0} + A \sin(n\alpha + l) \cos(n\alpha + l). \quad (5)$$

Для спускаемых аппаратов типа несущий корпус: $C_{x0} = 0.2$; $C_{y0} = -0.1$; $A = 2.3$; $n = 1.125$; $l = 5.625^\circ$.

Уравнение для определения текущих значений углов атаки в моменты проведения измерений параметров КА:

$$\alpha_i = -\frac{l}{n} + \frac{1}{2n} \arctg\left(\frac{\Psi_{2i}}{V_i \Psi_{1i}}\right), \quad (6)$$

где переменные Ψ_{1i} и Ψ_{2i} рассчитываются по формулам:

$$\Psi_{1i} = \Psi_1(t_i) = a_1 \exp\left(\frac{C_x S}{2m} \rho_i V_i \Delta t_i\right), \quad (7)$$

$$\Psi_{2i} = \Psi_2(t_i) = a_2 + \beta a_3 \rho_i V_i \Delta t_i, \quad (8)$$

при условии непрерывного измерения текущих значений скорости полета V_i и плотности атмосферы ρ_i .

Таким образом, суть методики управления спуском космического аппарата в атмосфере Марса, заключается:

- в его пространственной ориентации, управлении аэродинамическим торможением и стабилизации КА при входе в атмосферу планеты по углу крена γ , равному около π и углу атаки α , обеспечивающему максимальное аэродинамическое качество КА;
- в определении текущих значений скорости, плотности атмосферы и высоты полёта космического аппарата;
- в установлении угла крена γ равным около 0° в процессе торможения КА в атмосфере планеты;
- в осуществлении движения КА в атмосфере планеты с последующим вводом в действие системы мягкой посадки космического аппарата, отличающийся тем, что устанавливается угол крена γ равный около 0° , обеспечивающий движение КА по рикошетирующей траектории с увеличением высоты полета.

С использованием необходимых условий оптимальности принципа максимума Понтрягина определены оптимальные траектории движения при управлении КА в

процессе спуска в атмосфере Марса. В качестве критериев оптимальности рассматривались минимум конечной скорости, максимальной перегрузки и температуры КА в конце участка аэродинамического торможения.

Анализ результатов

Расчёты проводились для типов КА: баллистического типа и типа «несущий корпус». Температура КА рассчитывается по методике, предложенной в работе [4]:

$$T = \sqrt[4]{\frac{q_{\text{конв}} + q_{\text{рад}}}{\sigma \varepsilon}}, \tag{9}$$

$$q_{\text{конв}} = \frac{A_k}{\sqrt{R_k}} \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^n \left(\frac{V}{V_1}\right)^m, \quad q_{\text{рад}} = A_p \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2 \left(\frac{V}{10^4}\right)^{14} R_k, \tag{10}$$

При моделировании использовались следующие числовые значения параметров: $\rho_0 = 0.019 \text{ кг/м}^3$, $\beta = 0.07 \text{ км}^{-1}$, $H(0) = 100 \text{ км}$, $V(0) = 6 \text{ км/с}$, $\lambda(0) = 0^\circ$, $\varphi(0) = 0^\circ$, $\varepsilon(0) = 0^\circ$, $m = 2000 \text{ кг}$;

для баллистического спуска: $\theta(0) = -12.0^\circ$, $P_x = 87.0$, $K_g = 0$;

для планирующего спуска: $\theta(0) = -12.0^\circ$, $\alpha = 60^\circ$, $\gamma = 0.0^\circ$;

для управляемого спуска: $\theta(0) = -3.7^\circ$, $\alpha(0) = 5.29^\circ$, $\alpha_c = 30^\circ$, $\alpha_p = 40^\circ$, $h\pi = 85 \text{ км}$.

Реализован алгоритм управления КА с рикошетирующими траекториями при помощи углов атаки и крена при сохранении условий $V_k \rightarrow \min$, $n_{\text{max}} \rightarrow \min$, $T_{\text{max}} \rightarrow \min$ для КА типа несущий корпус.

Выше $h\pi$ угол крена принимает значение 180° , а ниже - угол крена равен 0° . Угол атаки принимает при спуске КА значение α_c , а при подъеме - α_p .

Для поиска оптимальной траектории управляемого спуска КА в условиях атмосферы Марса был применен стохастический метод оптимизации – генетический алгоритм. Основные параметры оптимальной траектории представлены на рисунке 1.

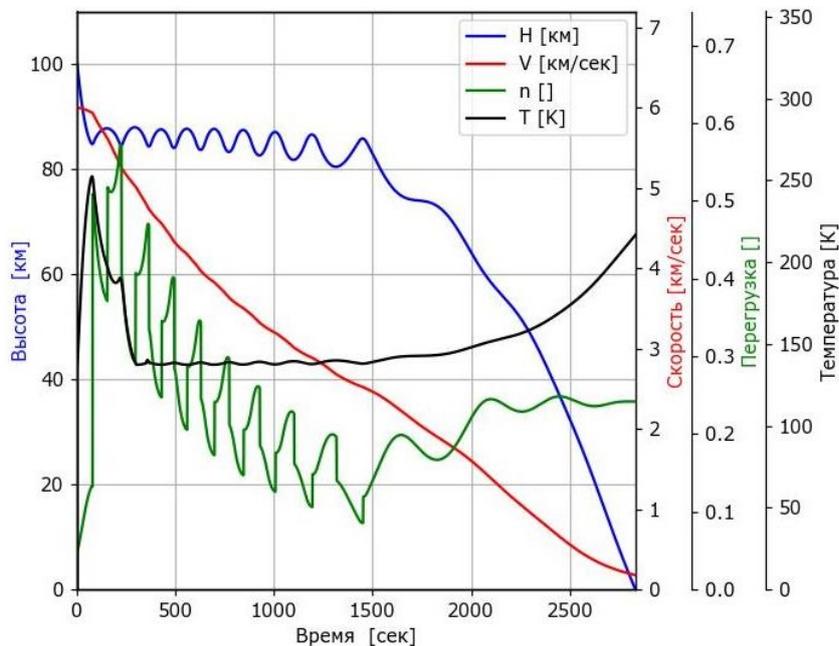


Рисунок 1 - Зависимость высоты, скорости, перегрузки и температуры от времени при спуске КА по оптимальной траектории

На рисунке 1 отчетливо видны экстремумы перегрузки в моменты переключения угла крена с 0° на 180° и обратно.

В таблице 1 приведено сравнение результатов моделирования для спусков КА баллистического типа и КА типа «несущий корпус» без управления с постоянным углом

атаки, и при использовании алгоритма управления с рикошетирующими траекториями.

Таблица 1 - Сравнения результатов моделирования

	Конечная скорость, <i>км/с</i>	Максимальная перегрузка	Максимальная температура, <i>К</i>
Баллистический спуск	0.209	8.150	432.074
Планирующий спуск	0.185	4.747	397.178
Управляемый спуск	0.177	0.572	252.312

Заключение

Разработаны методы оптимального управления КА при спуске в атмосфере Марса, учитывающие специфические особенности динамики полета.

Была получена оптимальная траектория спуска КА в атмосфере Марса при заданной конфигурации. Численное моделирование показало, что предложенный оптимальный алгоритм управления углом крена и углом атаки с рикошетирующими траекториями дает существенный выигрыш по ряду ключевых параметров при спуске КА в атмосфере Марса. Данный алгоритм позволяет:

- значительно снизить значения максимальной перегрузки по сравнению с неуправляемыми баллистическим и планирующим спусками;
- исключить перегрев корпуса КА вследствие малых значений перегрузки;
- достичь существенной максимизации продольной дальности полета;
- получить приемлемую конечную скорость КА до ввода в действие системы мягкой посадки.

Результаты исследований показывают, что рикошетирующие траектории дают возможность неограниченно максимизировать продольную дальность полета при выполнении условий по перегрузкам и конечной скорости. Использовать такой способ необходимо, когда другие пути нерациональны или невозможны.

Применение системы мягкой посадки обеспечивает дальнейшее сокращение конечной скорости при спуске КА, а низкие значения максимальной перегрузки позволяют применять данный вид управления на пилотируемых КА, т.к. полученные при моделировании значения не несут угрозы жизни и здоровью экипажа.

Рикошетирующие траектории дают широкие возможности для расширения и усложнения рассмотренной в статье математической модели спуска космического аппарата в атмосфере планеты и открывают простор для дальнейших исследований.

Литература

1. Иванов Н.М., Мартынов А.И. Управление движением космического аппарата в Атмосфере Марса. М.: «Наука», Москва, 1977, 416 с.
2. Иванов Н.М. Мартынов А.И. Движение космических летательных аппаратов в атмосферах планет. М.: Наука, 1985, с. 384.
3. Соколов Н.Л. Приближенный аналитический метод расчета пространственных маневров космического аппарата в атмосфере. Космические исследования. 1988., № 2, т. 26, стр. 209-219.
4. Иванов Н.М., Соколов Н.Л., Осокина О.А. Об эффективности использования двухпараметрического управления углами атаки и крена при спуске КА в атмосфере Земли. Космические исследования, 1998, том 36, №5, стр. 528-534.

ОБЗОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА

Фаттаев О. С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Жук Д.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

REVIEW ON HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS METHODS FOR HEART DISEASES DIAGNOSIS

Fattaev O. S.

Supervisor: Ph.D., Associate professor Zhuk D.M.
Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются стандартные подходы к анализу и оценке вариабельности сердечного ритма. Приведена стандартная классификация методов. В заключении представлены рекомендации по применению рассмотренных подходов в современных условиях.

Abstract

The paper considers the standard methods for heart rate variability analysis and estimation. The standard classification of methods is described. Recommendations on the application of the considered methods in the current realities are given in the conclusion.

Введение

Все органы и системы организма человека находятся под постоянным нервно-гуморальным контролем. Тесный симбиоз симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы и гуморальных влияний обеспечивает достижение оптимальных результатов в плане адаптации к изменяющимся условиям внутренней и внешней среды. Отклонения, возникающие в регулирующих системах, предшествуют гемодинамическим, метаболическим, энергетическим нарушениям и, следовательно, являются наиболее ранними прогностическими признаками неблагополучия пациента. Сердечный ритм является индикатором этих отклонений, а потому исследование вариабельности ритма сердца имеет важное прогностическое и диагностическое значение при самой разнообразной патологии: заболеваниях сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, эндокринной систем и психоэмоциональных (стрессовых) нарушениях. С учётом параметров вариабельности сердечного ритма (ВСР) также можно оценить качество здоровья человека, а также уровень тренированности спортсмена [1].

1 Основные методы анализа ВСР

1.1 Методы временного анализа

1.1.1 Статистические методы

На сегодняшний день существует множество методов визуального и количественного анализа ВСР, классификация которых [2] изложена ниже.

Данные методы основаны на статистическом анализе изменений длительности последовательных интервалов между двумя зубцами R электрокардиограммы (R-R интервалы) между нормальными синусовыми кардиоциклами с вычислением различных коэффициентов. Интервалы R-R между комплексами QRS нормальных кардиоциклов принято называть интервалами NN. При временном анализе ритмограммы обычно оцениваются два типа величин: длительность интервалов NN и разность длительности соединенных интервалов NN. При анализе ВСР на коротком (5-10 минут) участке записи ритмограммы используются характеристики, приведённые на рисунке 1.

Величина	Единицы	Принципы формирования
SDNN	мс	Стандартное отклонение всех NN-интервалов
SDANN	мс	Стандартное отклонение средних значений NN-интервалов, вычисленных по 5-минутным промежуткам в течение всей записи
RMSSD	мс	Квадратный корень из средней суммы квадратов разностей между соседними NN-интервалами
Индекс SDNN	мс	Среднее значение стандартных отклонений NN-интервалов, вычисленных по 5-минутным промежуткам в течение всей записи
SDSD	мс	Стандартное отклонение разностей между соседними NN-интервалами
NN50		Количество пар соседних NN-интервалов, различающихся более чем на 50 мс, в течение всей записи. Возможны три варианта вычислений: подсчет всех таких пар или подсчет только пар, в которых или первый интервал длиннее второго, или наоборот
pNN50	%	Значение NN50, деленное на общее число NN-интервалов
Триангулярный индекс ВСР		Общее количество NN-интервалов, деленное на высоту гистограммы всех NN-интервалов с шагом 7,8 мс (1/128 мс)

Рисунок 1 – Основные показатели временного анализа ВСР

1.1.2 Геометрические методы

Геометрическими методами анализа ВСР является построение и анализ гистограмм. В гистограмме распределения R-R интервалов высота каждого столбика соответствует количеству R-R интервалов, попавших во временной диапазон, соответствующий положению рассматриваемого столбика на временной шкале. При анализе гистограмм, построенных на коротких участках записи (250-500 интервалов R-R), выделяются несколько типов гистограмм, представленных на рисунке 2.

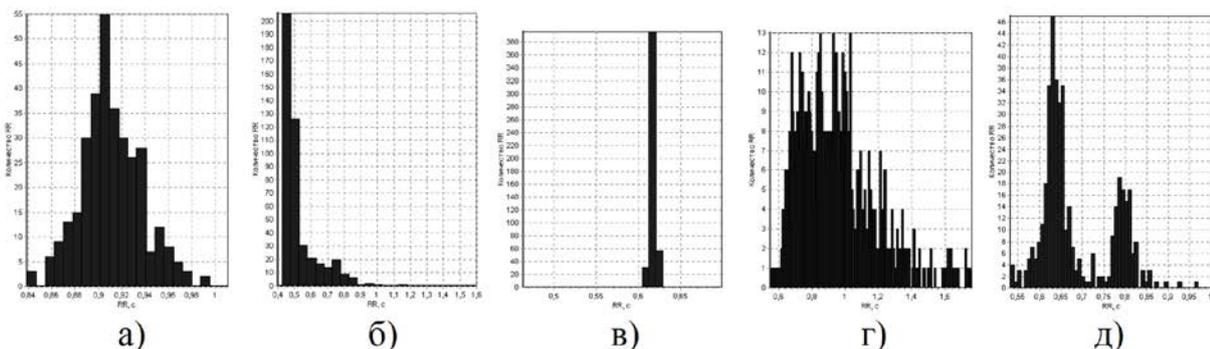


Рисунок 2 – Основные типы гистограмм в геометрических методах анализа ВСР

Нормальная гистограмма (рис. 2, а) наблюдается в состоянии покоя у здорового человека. Распределение величин интервалов R-R близко к нормальному распределению.

Асимметричная гистограмма (рис. 2, б) обычно наблюдается при переходных состояниях ритма и указывает на нарушение стационарности процесса.

Экссессивная гистограмма (рис. 2, в) характеризуется очень узким основанием и заострённой вершиной и регистрируется при стрессе и патологических состояниях.

Амодальная гистограмма (рис. 2, г) характерна для фибрилляции предсердий, частой политопной экстрасистолии, множественных артефактов. При амодальном

распределении невозможно выделить моду, т.е. наиболее вероятное или доминирующее значение длительности интервала R-R.

Полимодальная гистограмма (рис. 2, д) в типичном виде наблюдается при аллоритмии. При этом типе кардиоинтервалы распределяются так, что есть несколько выраженных, близких по высоте столбиков на гистограмме, каждый из которых мог бы считаться основным.

В связи с многообразием форм при описании гистограмм используются различные математические модели: линейные, треугольные, базирующиеся на анализе кривых второго порядка (показатели асимметрии, эксцесс) и др. Наиболее распространёнными в настоящее время методами анализа гистограмм являются методы их триангулярной интерполяции.

1.2 Частотный анализ

1.2.1 Спектральный метод

Анализ спектральной плотности мощности даёт информацию о распределении мощности в зависимости от частоты колебаний. Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний ритма сердца и наглядно графически представить соотношения разных компонентов сердечного ритма, отражающих активность определённых звеньев регуляторного механизма. Методы вычисления спектральной плотности мощности могут быть разделены на параметрические и непараметрические. К первым относится авторегрессионный анализ, ко вторым – быстрое преобразование Фурье (БПФ) (рис.3) и периодограммный анализ. В большинстве случаев обе группы методов дают сравнимые результаты. Преимуществами непараметрических методов являются простота используемого алгоритма (в большинстве случаев, БПФ) и быстрота вычислений, в то время как к преимуществам параметрических методов можно отнести более гладкие спектральные компоненты, различимые независимо от предварительно выбранной полосы частот, простая обработка полученного спектра с автоматическим вычислением низкочастотных и высокочастотных компонентов спектра и простой идентификацией основной частоты каждого компонента, а также точная оценка спектральной плотности мощности даже при малом числе образцов, где сигнал, как предполагается, стационарен. К основным недостаткам непараметрических методов можно отнести необходимость верификации того факта, что выбранная модель удовлетворяет предъявляемым требованиям, и её сложность.

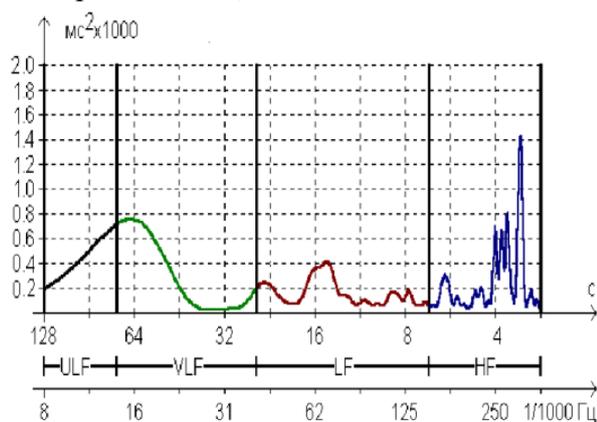


Рисунок 3 – Типичная спектрограмма ВСР при использовании БПФ

1.2.2 Оценка ритмокардиограммы

Наиболее применим визуально-логический анализ с выделением шести классов ритмограмм по Д.И. Жемайтите (1981) или четырёх классов по Е.А. Березному (1997). Ритмокардиограмма – это графическое изображение последовательного временного ряда межсистолических интервалов в виде отрезков прямой линии, эквивалентных по длине

продолжительности пауз между сокращениями сердца. Каждый из отрезков начинается на оси абсцисс, на которой откладывается число интервалов, и продолжается вверх параллельно оси ординат со шкалой времени в секундах. В норме верхний край ритмограммы неровный, соответственно постоянно меняющейся длине интервалов R-R. Рисунок этой неровности формируется тремя видами волн различной частотной характеристики: высокочастотными колебаниями (HF), низкочастотными колебаниями (LF) и колебаниями очень низкой частоты (VLF). Все три вида колебаний различимы визуально, поэтому основу метода оценки ритмограммы составляет визуально-логический и математический анализ волновой структуры сердечного ритма. Клинико-физиологическую интерпретацию показателей ВСР целесообразно проводить по методике Д.И. Жемайтиса (1981) с выделением шести классов ритмограмм. При компьютерной оценке типа ритмограммы и в практической деятельности вполне допустимым является деление ритмограмм на четыре класса по Е.А. Березному (1997).

1.3 Нелинейные методы

Методы нелинейной динамики. Многообразные влияния на ВСР, включая нейрогуморальные механизмы высших вегетативных центров, обуславливают нелинейный характер изменений сердечного ритма, для описания которых требуется использование специальных методов. Этому вопросу уделялось большое внимание как за рубежом (Goldberger A., 1990), так и в нашей стране (Флейшман А.Н., 2001; Гаврилушкин А.П., Маслюк А.П., 2001). Параметры, которые применялись для описания нелинейных свойств variability, включают масштабирование спектра Фурье на $1/f$, H-масштабирование экспоненты, кластерный спектральный анализ (CGSA). Для представления результатов использовались сечения Пуанкаре, графики аттрактора на малом числе измерений, сингулярное разложение и аттракторные траектории. Для количественного описания применялись D_2 корреляционные размерности, экспонента Ляпунова и энтропия Холмогорова. Все эти методы представляют лишь исследовательский интерес и их практическое применение ограничено [3].

Заключение

Вариабельность сердечного ритма обладает значительным потенциалом для определения влияния вегетативной нервной системы на ВСР у здоровых и у пациентов с различными сердечно-сосудистыми и другими заболеваниями. Рассмотренные подходы анализа ВСР уходят в конец 90-х годов прошлого века и начало XXI века, когда задача анализа ВСР рассматривалась наиболее активно. С тех пор кардиология и информационные технологии сделали большой шаг вперёд. Таким образом, приведённые выше факторы говорят о целесообразности возобновления исследований в данном направлении.

Литература

1. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. – Иваново, 2000. – 200 с.
2. Heart Rate Variability. Standards of measurements, physiological interpretation, and clinical use / Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. - 1996. – Vol. 93. – P. 1043-1065.
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и соавт. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии* 2001. 24. С.65–87.

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Кочев А. В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Ткачев О.А.

МАИ, кафедра 304, Москва, Россия

ANALYSIS OF ANALYTICAL PROCESSING ARCHITECTURES FOR THE INFORMATION SYSTEM

Kochev A. V.

Supervisor: Ph.D., Docent, Tkachev O.A.

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы использования OLAP систем. Подробно рассмотрены виды OLAP структур, таких как ROLAP, MOLAP, HOLAP. Произведен сравнительный анализ данных систем. На основе результатов анализов сделан вывод о применимости представленных структур.

Abstract

The article discusses the use of OLAP systems. The types of OLAP structures, such as ROLAP, MOLAP, HOLAP are considered in detail. A comparative analysis of these systems is made. Based on the results of the analysis, a conclusion is made about the applicability of the presented structures.

Введение

В современном мире каждая организация имеет свою базу данных и ведет электронный документооборот. Определены требования к форме документации, определены правила хранения и ведения архивов. Однако, эффективное использование этих данных требует обеспечение возможности обработки и доступа в реальном времени. Это приводит к необходимости в преобразовании их в электронное хранилище данных. Информационное пространство любой современной системы многомерно, поэтому наилучший способ представления этой информации является OLAP [1].

OLAP - это не отдельный программный продукт, не язык программирования, а так же не конкретная технология. Наиболее широким определением OLAP является совокупность концепций, принципов и требований, лежащих в основе программных продуктов, облегчающих аналитикам доступ к данным.

Несмотря на то, что OLAP и не является необходимым атрибутом хранилища данных, он часто применяется для анализа накопленных в этом хранилище сведений.

Постановка задачи: провести сравнительный анализ архитектур OLAP систем и выбрать оптимальный для использования в реализации информационной системы оптимизации работы отдела доставки интернет магазина.

OLAP- технологии

OLAP (Online Analytical Processing – аналитическая обработка данных в реальном времени):

- Это класс приложений и технологий, используемых для быстрой аналитической обработки многомерных данных (сбор, хранение, анализ) для исследования деятельности компании и прогнозирования будущего состояния с целью поддержки принятия управленческих решений.
- Набор способов оперативной обработки информации, включая динамическое построение отчётов в различных разрезах, анализ данных, прогнозирование показателей.

Технология OLAP используется для уменьшения сложности работ, связанных с обработкой многоцелевых накопленных данных о деятельности компании и обеспечить комфортную работу с большим объемом данных, а также превратить набор количественных показателей в качественные, что позволяет аналитикам сформировать свое собственное видение данных, используя быстрый и единообразный доступ к различным формам представления информации. Данные формы, полученные на основании первичных данных, обеспечивают пользователю возможность, сформировать полное представление о деятельности предприятия.

Применение OLAP системы позволяет автоматизировать стратегический уровень управления организацией. OLAP представляет собой мощную технологию обработки и исследования данных. Системы, построенные на основе технологии OLAP, предоставляют практически безграничные возможности по составлению отчетов, выполнению сложных аналитических расчетов, построению прогнозов и сценариев, разработке множества вариантов планов.

Разновидности OLAP систем

В общем виде, структура OLAP системы состоит из следующих элементов [2]:

- База данных. База данных это источник информации для работы OLAP системы. Вид базы данных зависит от вида OLAP системы и алгоритмов работы OLAP сервера. Как правило, используются реляционные базы данных, многомерные базы данных, хранилища данных.
- OLAP сервер осуществляет управление многомерной структурой данных и взаимосвязь между базой данных и пользователями OLAP системы.
- Пользовательские приложения. Данный элемент OLAP системы обеспечивает управление запросами пользователей и формирует результаты обращения к базе данных (отчеты, графики, таблицы).

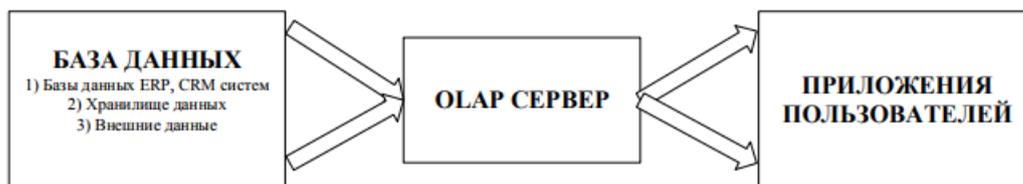


Рисунок 1 - Общая структура OLAP систем

ROLAP, Relational OLAP – реляционный OLAP

В реляционных OLAP-системах структура куба данных хранится в реляционной базе данных. Меры самого нижнего уровня остаются в реляционной витрине данных, служащей источником данных для куба. Предварительно обработанные агрегаты также хранятся в реляционной таблице [5].

Когда человек, принимающий решение, запрашивает значение меры для определенного набора элементов измерения, ROLAP-система проверяет, указывают ли эти элементы на агрегат или на значение самого нижнего уровня иерархии (листовое значение). Если указан агрегат, то значение выбирается из реляционной таблицы. Если выбрано листовое значение, то значение берется из витрины данных.

Благодаря реляционным таблицам, архитектура ROLAP позволяет хранить большие объемы данных. Поскольку в архитектуре ROLAP листовые значения берутся непосредственно из витрины данных, то возвращаемые ROLAP-системой листовые значения всегда будут соответствовать актуальному на данный момент положению дел. Другими словами, ROLAP-системы лишены запаздывания в части листовых данных.

Достоинства этого класса систем [2]:

- Возможность использования ROLAP с хранилищами данных и различными OLTP-системами;
- Возможность манипулирования большими объемами данных; объем данных могут ограничивать только лежащие в основе ROLAP системы реляционных баз данных, подход ROLAP сам по себе не ограничивает объем данных;
- Безопасность и администрирование обеспечивается реляционными СУБД.

Недостатки:

- Получение агрегатов и листовых данных происходит медленнее, чем, например, в MOLAP и HOLAP (см. Ниже);
- Функциональность систем ограничивается возможностями SQL, так как аналитические запросы пользователя транслируются в SQL-операторы выборки;
- Сложно пересчитывать агрегированные значения при изменениях начальных данных;
- Сложно поддерживать таблицы агрегатов.

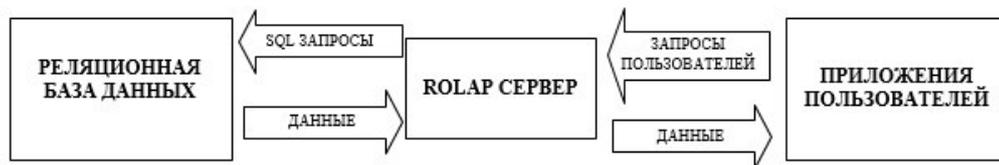


Рисунок 2 - ROLAP

MOLAP, Multidimensional OLAP – многомерный OLAP

В многомерных OLAP-системах структура куба хранится в многомерной базе данных. В той же базе данных хранятся предварительно обработанные агрегаты и копии листовых значений. В связи с этим все запросы к данным удовлетворяются многомерной системой баз данных, что делает MOLAP-системы исключительно быстрыми [3].

Для загрузки MOLAP-системы требуется дополнительное время на копирование в многомерную базу всех листовых данных. Поэтому возникают ситуации, когда листовые данные MOLAP-системы оказываются рассинхронизированными с данными в витрине данных. Таким образом, MOLAP-системы вносят запаздывание в данные нижнего уровня иерархии.

Архитектура MOLAP требует большего объема дискового пространства из-за хранения в многомерной базе копий листовых данных. Но, несмотря на это, объем дополнительного пространства обычно не слишком велик, поскольку данные в MOLAP хранятся исключительно эффективно. Достоинства MOLAP-систем:

- Все данные хранятся в многомерных структурах, что существенно повышает скорость обработки запросов;
- Доступны расширенные библиотеки для сложных функций оперативного анализа;
- Обработка разреженных данных выполняется лучше, чем в ROLAP.

Недостатки:

- Данные куба «оторваны» от базовой таблицы; необходимы специальные инструменты для формирования кубов и их пересчёта в случае изменения базовых значений;
- Сложно изменять измерения без повторной агрегации.

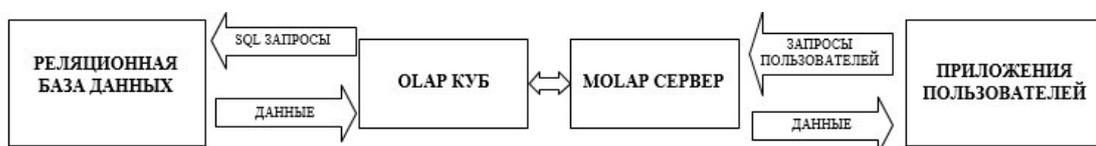


Рисунок 3 - MOLAP

HOLAP, Hybrid OLAP – гибридный OLAP

В гибридных OLAP сочетаются черты ROLAP и MOLAP, отсюда и название – гибридный. В моделях HOLAP используются преимущества и минимизируются недостатки обеих архитектур [4].

В HOLAP-системах структура куба и предварительно обработанные агрегаты хранятся в многомерной базе данных. Это позволяет обеспечить быстрое извлечение агрегатов из структур MOLAP. Значения нижнего уровня иерархии в HOLAP остаются в реляционной витрине данных, которая служит источником данных для куба.

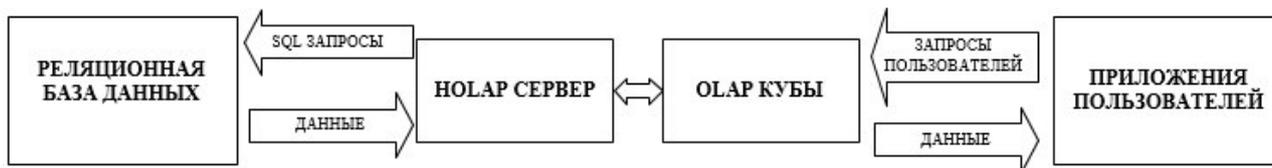


Рисунок 4 - HOLAP

HOLAP не требует копирования листовых данных из витрины, хотя это и ведет к увеличению времени доступа при обращении к листовым данным. Данные в витрине доступны аналитику сразу после обновления. Таким образом, HOLAP-системы не вносят запаздывания в работу с данными нижнего уровня иерархии. По сути, HOLAP жертвует скоростью доступа к листовым данным ради устранения запаздывания при работе с ними и ускорения загрузки данных. В связи с этим HOLAP проигрывает по скорости MOLAP. К достоинствам подхода можно отнести комбинирование технологии ROLAP для разреженных данных и MOLAP для плотных областей, а к недостаткам – необходимость поддержания MOLAP и ROLAP.

Заключение

На основе данного исследования можно сделать вывод, что наиболее подходящим для использования в клиент-серверном приложении являются HOLAP системы, так как они обеспечивают высокую скорость доступа данных и устраняют недостатки, присущие MOLAP системам.

Литература

1. Барсегян, А. Методы и модели анализа данных. OLAP и Data Mining / А. Барсегян, М. Куприянов, Степаненко Степаненко Холод В. И. Холод. - М.: БХВ-Петербург, 2012.
2. Сахаров А. А. Принципы проектирования и использования многомерных баз данных (на примере Oracle Express Server) // СУБД. - 1996 - № 5-6. - С. 47-51.
3. Han J. OLAP Mining: An Integration of OLAP with Data Mining. - IFIP, 1997
4. E. Thomsen, OLAP Solutions: Building Multidimensional Information Systems, John Wiley & Sons, New York, 1997
5. Тарасов С.В. СУБД для программиста. Базы данных изнутри. — М.: СОЛОН-Пресс, 2015.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОДУЛЬНОЙ АВИАНИКИ

Воронина П. А., Козарь А. А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра РК, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF SOFTWARE SIMULATION SYSTEMS FOR MODULAR AVIONICS

Voronina P.A., Kozar A.A.

Supervisor: Ph.D., Docent, Volosatova T.M.

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы моделирования в области модульной авионики. Подробно представлены модели продольного движения летательного аппарата и полета летательного аппарата по заданной траектории. Проведен анализ выходных данных моделей. Предложены варианты практического применения разработок.

Abstract

The article review the issue of modeling in the field of modular avionics. The models of longitudinal motion of the aircraft and flight of the aircraft on a given trajectory are presented in detail. Analyses of models output data are carried out. Variants of practical application of developments are offered.

Введение

В условиях прогресса компьютерной техники и средств моделирования имеется возможность проводить моделирование процесса полета с использованием различных технических средств. Это значительно упрощает процесс исследования и позволяет анализировать состояние без использования дорогостоящей техники.

Постановка задачи

По итогам исследования существующих данных по моделированию динамики полета летательных аппаратов [1,2], в числе основных задач разработки были выделены два основных направления: моделирование продольного движения летательного аппарата и моделирование полета летательного аппарата по заданной траектории.

Математическая модель продольного движения

При решении задачи построения модели продольного движения была реализована следующая математическая модель, основанная на линеаризированной системе дифференциальных уравнений продольного движения в аналитической форме [3].

$$\begin{cases} P \cos \alpha - X - G \sin \theta = m dV / dt \\ P \sin \alpha + Y - G \cos \theta = mV d\theta / dt \\ M_x = J_x d^2\vartheta / dt^2 \\ \theta = \vartheta - \alpha \end{cases} \quad (1)$$

При этом: V – скорость полета, Y – подъемная сила, X – сила сопротивления, G – сила веса, ϑ – угол тангажа, θ – угол наклона траектории, α – угол атаки, m – масса ЛА, P – сила тяги, M_x – суммарный момент аэродинамических сил, J_x – момент инерции ЛА, H и L – высота и дальность полета.

Математическая модель движения по заданной траектории

Для решения задачи моделирования полета ЛА по заданной траектории была использована линеаризованная математическая модель в виде пространства состояний как:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (2)$$

где x это вектор состояний, а u - входной сигнал управления.

Параметры матриц A и B приведены в [2]. Для решения задачи оптимального управления необходимо нахождение такого вектора управления, при котором поддерживается минимальное отклонение от заданной траектории при минимально возможном усилии [4]. Таким образом, главной задачей становится минимизация матрицы ошибки.

Выбор среды моделирования

Схема контура управления была выполнена с использованием программных средств MATLAB и Simulink. Выбор данных систем обуславливается широким набором предоставляемых функций, высокой точностью, а также простотой и удобством интерфейса.

Результаты моделирования продольного движения

Полная схема модели представлена на рисунке 1.

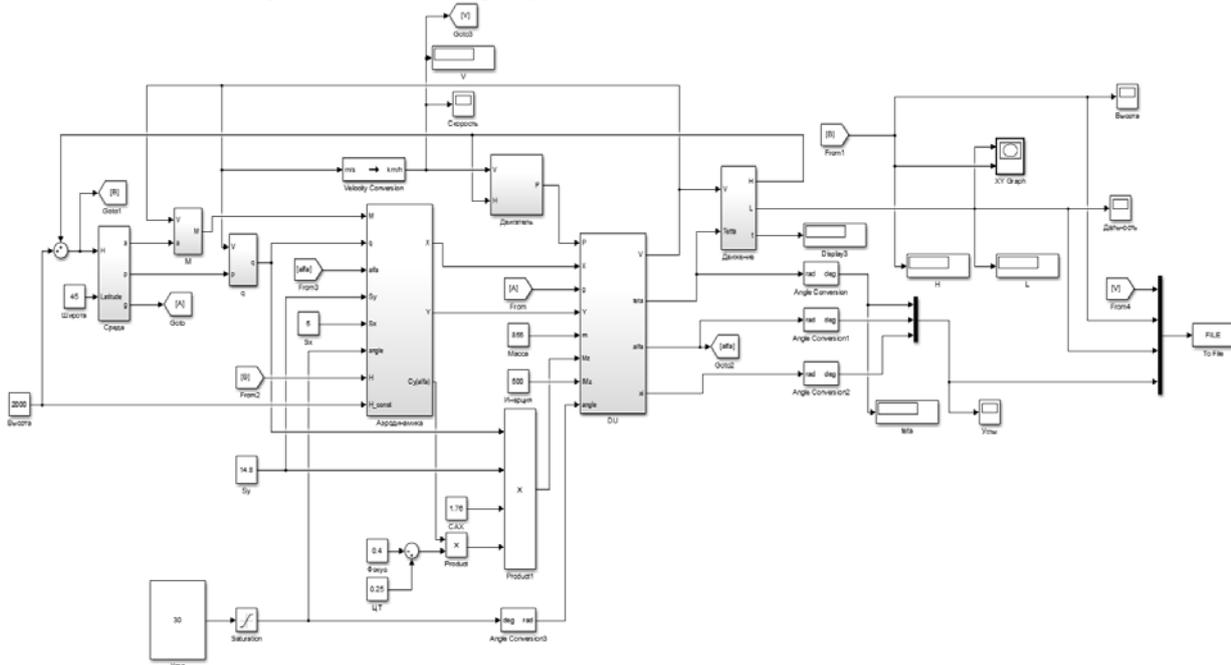


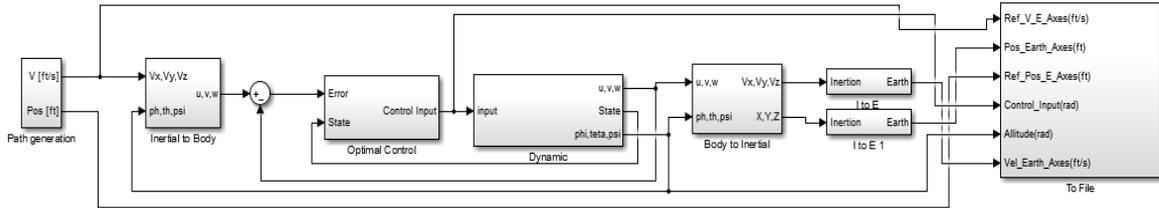
Рисунок 1 – Общий вид модели

Представленную систему можно разбить на подсистемы различного назначения:

- Подсистема дифференциальных уравнений, описывающих продольное движение;
- Подсистема уравнений аэродинамики;
- Подсистема вычисления высоты и дальности полета;
- Подсистема внешней среды (атмосферы);
- Остальные подсистемы.

Результаты моделирования движения по заданной траектории

Контур управления ЛА, представленный на рисунке 2, состоит из семи основных блоков, каждый из которых представляет собой отдельную подсистему и выполняет определенные функции.



Рисцнок 2 - Модель контура управления ЛА

Анализ выходных данных модели продольного движения

С помощью изменений величин, характеризующих полет в рамках модели состояние полета возвращается к продольному горизонтальному. В качестве возмущений принимается импульсное отклонение угла траектории в начальный момент времени. Для иллюстрации возникающих переходных процессов будут представлены графики следующих величин в зависимости от модельного времени: скорость полета, углы атаки, тангажа, наклона траектории.

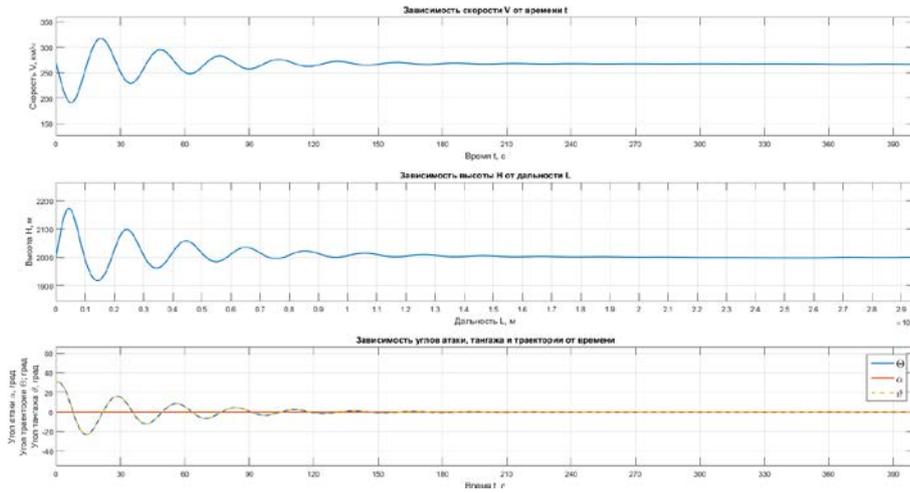


Рисунок 3 – Переходные процессы при возмущении в 30 градусов

Вместе со сменой угла тангажа самолета меняются и степени влияния сил, действующих на самолет, что приводит к дестабилизации полета[4]. Поэтому для каждого нового возмущения наблюдалось видоизменение переходных процессов.

На графиках переходных процессов скоростей при убывании угла возмущения в положительном диапазоне наблюдается уменьшение амплитуд компенсирующих скоростей. Данное явление объясняется тем, что при снижении угла, задаваемого в начальный момент времени, снижаются и дестабилизирующие факторы, нуждающиеся в компенсации[4]. Изменение скорости и угла тангажа влекут за собой соответствующее изменение высоты. Наблюдаемое на конечных моментах времени значение высоты совпадает с заданным и более не изменяется, что сигнализирует о том, что полет после переходных процессов является установившимся и горизонтальным.

Анализ выходных данных модели движения по траектории

В качестве требуемой траектории была выбрана некая синусоидальная кривая, расположенная горизонтально. На рисунках4-5 синим цветом представлены идеальные значения параметров летательного аппарата и красным цветом - полученные результаты.

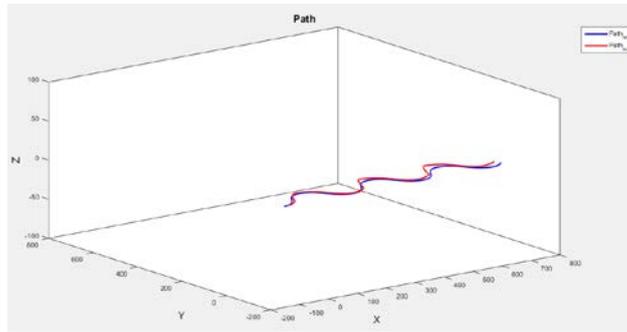


Рисунок 4 - Идеальная и полученная траектории движения ЛА в пространстве

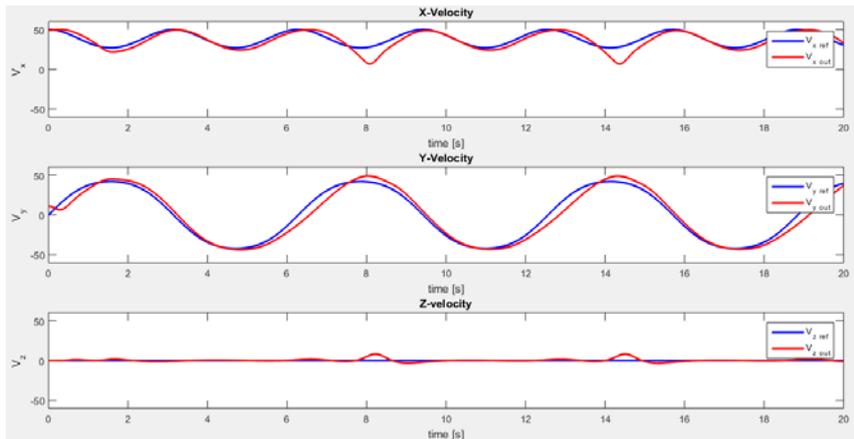


Рисунок 5 - Идеальные и полученные значения скоростей по осям координат

Полученные в результате моделирования отклонения траектории и вектора скорости лежат в области допустимых значений [3].

Заключение

Данные, полученные в результате тестирований, проведенных на основе моделей, полезны для изучения динамики движения летательного аппарата. Анализ результатов позволяет выработать рекомендации по подбору оптимальных параметров управления при продольном движении ЛА и при движении по траектории. Результаты моделирования могут быть использованы в тренажерной технике и при анализе авиационных происшествий.

Литература

1. Коровин А.Е., Практическая аэродинамика и динамика полета самолетов. - М.: ДОСААФ, 1989.
2. Волосатова Т.М., Воронина П.А., Козарь А.А., Имитационное моделирование угроз информационной безопасности систем модульной авионики: // Информационные технологии. 2017.№11. Том 23. С. 776–782.
3. Singgih S. Wibowo, Aircraft Flight Dynamics, Control and Simulation, Department of Aeronautics and Astronautics, Bandung Institute of Technology, 2004.
4. Аронин Г.С., Практическая аэродинамика.- М.: Воениздат, 1962.
5. Воробьев В.Г., Кузнецов С.В., Автоматическое управление полетом самолета: Учебник для вузов. - М.: Транспорт, 1995.
6. Вентцель Д.А., Окунев Б.Н., Шапиро Я.М., Внешняя баллистика. -Л.: Арт. акад. им. Ф.Э. Дзержинского, 1933.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БИНАРИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ, В РАМКАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТОТИПА ПРИЛОЖЕНИЯ
ПО ИНДИКАЦИИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ
СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

Козлов А. А.

Научный руководитель: Карпунин А.А.

Российская федерация, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4

**INVESTIGATION OF ALGORITHMS FOR BINARIZATION AND CLASSIFICATION
OF IMAGES, WITHIN THE FRAMEWORK OF DESIGNING A PROTOTYPE
APPLICATION FOR INDIVIDUAL DIGITAL INFORMATION FORMATS WHEN
PERFORMING ASSEMBLY AND INSTALLATION OPERATIONS**

Kozlov A. A.

The supervisor of studies: Karpunin A.A.

Moscow, Russia, Bauman MSTU

Аннотация

В работе производится исследование компьютерно-математической модели процессов обработки изображений печатной платы в системе дополненной реальности. Основное внимание акцентируется на алгоритмы бинаризации изображений и их классификации. Эксплуатация подобного рода систем обеспечивает ряд преимуществ, поскольку сборщик способен видеть цифровую информацию непосредственно в рабочей среде.

Annotation

In this work, a computer-mathematical model of image processing processes of a printed circuit board in the augmented reality system is investigated. The main attention is focused on algorithms of image binarization and their classification. Operation of such systems provides a number of advantages, as the collector is able to see digital information directly in the working environment.

Введение

В конструкторско-технологическом проектировании электронной аппаратуры трудоемкость сборочно-монтажных работ составляет 40...75% общей трудоемкости изготовления ЭА [1]. Сборочно-монтажные работы усложняются широкой номенклатурой выпускаемой продукции, преобладанием малых по размеру и массе деталей и сборочных единиц, значительным объемом в общей трудоемкости сборки проверочных и регулировочных работ, многообразием технических процессов сборки и электрического монтажа. Большинство сборочных операций выполняются вручную с использованием простой оснастки. Для повышения производительности, снижения трудоемкости и повышения качества ЭА передовые предприятия применяют средства механизации и автоматизации сборочно-монтажного процесса, гибкие производственные системы.

В настоящее время ручная сборка имеет широкое распространение, особенно в мелко серийном производстве ЭА. Применение ручной сборки экономически выгодно при производстве не более 16 тысяч плат в год партиями по 100 штук. Существенным достоинством ручной сборки является возможность постоянного визуального контроля. Таким образом основная задача сборщика состоит в оперативной и правильной установке требуемого элемента на контактную площадку (или в отверстия) на плате. Но вместе с тем человеческий фактор имеет место быть, и этому способствует ряд разного рода причин, которые приводят к снижению когнитивных функций сборщика.

Соответственно требуется бюджетное решение для опытной производственной линии по использованию дополнительных вспомогательных систем, позволяющих

отображать на экране оператора цифровую информацию непосредственно о текущей ситуации в рабочей среде оператора. Эта информация может представлять собой данные, инструкции или предупреждения, которые представлены текстовым или графическим способом на экране, иначе говоря дополненная реальность. Таким образом целью работы является исследование компьютерно-математической модели процессов обработки изображений печатной платы в системе дополненной реальности. Основное внимание акцентируется на алгоритмы бинаризации изображений и их классификации.

1 Системы дополненной реальности

Дополненная реальность – это технология, позволяющая наложить на реальный мир дополнительный контент (информация, аудио, видео и т.п.) с целью дополнения сведений об окружающем мире и обеспечения простоты восприятия информации. В данный момент дополненная реальность широко используется в разных областях, таких как медиа, военная техника, образование, полиграфия, распознавание штрих-кодов (QR-коды, Microsoft Tag), медицина и так далее. Стремительный рост технологий виртуальной и дополненной реальности и новых методов их реализации приводят к потребности их внедрения в повседневную жизнь, делая окружающий мир более информативным.

В простейшем случае для создания эффекта дополненной реальности нужны четыре основные составляющие: веб-камера, компьютер, маркер и программа. Пользователь печатает на листе бумаги специальное изображение (маркер) и подносит его к веб-камере. На компьютере должно быть запущено приложение, которое распознает маркер на получаемой с камеры картинке и отобразит на его месте какой-либо элемент - текст, фотографию, объемный объект и т.д (рисунок 1).

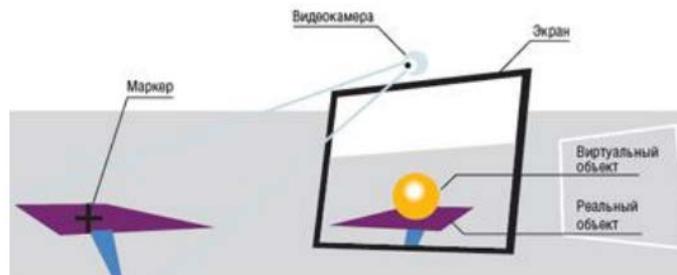


Рисунок 1 - Принцип работы дополненной реальности

Связующим звеном между двумя реальностями является так называемая координатная метка (Fiducial Marker) - лист бумаги с нанесенным на него рисунком. С ее помощью оператор может управлять различными объектами в виртуальном мире. В качестве интерфейса взаимодействия ПО и маркера используется веб-камера, передающая программе данные о местоположении, угле обзора, а также удалении и идентификаторе маркера

Движение образов является одной из значимых проблем, которая возникает в следствии изменения освещенности, цветов, масштабов, ракурсов наблюдения. Проблема устранения неоднозначности, при проектировании объемных объектов на плоские изображения также влияет на конечные результаты. Также цвет и яркость отдельных пикселей зависит от различных факторов, которые сложно спрогнозировать, таких как:

1. Источники света и их расположение.
2. Тени.
3. Интенсивность излучения и цвет.

Обзор методов идентификации объектов на изображении приводится в работе [2]. Процесс идентификации сводится к следующим этапам:

- построение контура (формы) объекта;
- построение одномерной функции из двумерной формы объекта;

- сравнение полученной функции с эталоном для ее идентификации.

Однако здесь возникает и еще одна проблема – классификация объектов для задания эталонов. Например, возьмем такой объект, как дом. К этой категории может быть отнесен и небольшой одноэтажный склад, и небоскреб. При этом эталоны таких объектов будут значительно отличаться.

На сегодняшний день существуют два принципиальных подхода для создания дополненной реальности: с использованием заранее подготовленного маркера, который нужно распечатывать и без такого. Оба подхода используя алгоритмы “компьютерного зрения” распознают объекты в кадре и дополняют их. Одним из основных методов обработки изображений в системах компьютерного зрения является бинаризация. Как правило, под бинаризацией подразумевают выделение границы объекта, содержащей исчерпывающую информацию о его форме, для последующего ее анализа и решения задачи распознавания.

2 Анализ маркеров объектов

2.1 Общие положения

В теории маркером может быть любая фигура (объект). Но на практике мы ограничены разрешением веб-камеры (телефона), особенностями цветопередачи, освещения и вычислительной мощностью оборудования (так как процесс обработки происходит в реальном времени, а потому должен выполняться быстро), поэтому выбирается обычно черно-белый маркер простой формы. Как правило, это прямоугольник или квадрат с вписанным во внутрь идентификатором-образом.

В статье [3] описаны основные типы маркеров, которые могут выглядеть так, как показано на рис. 2.

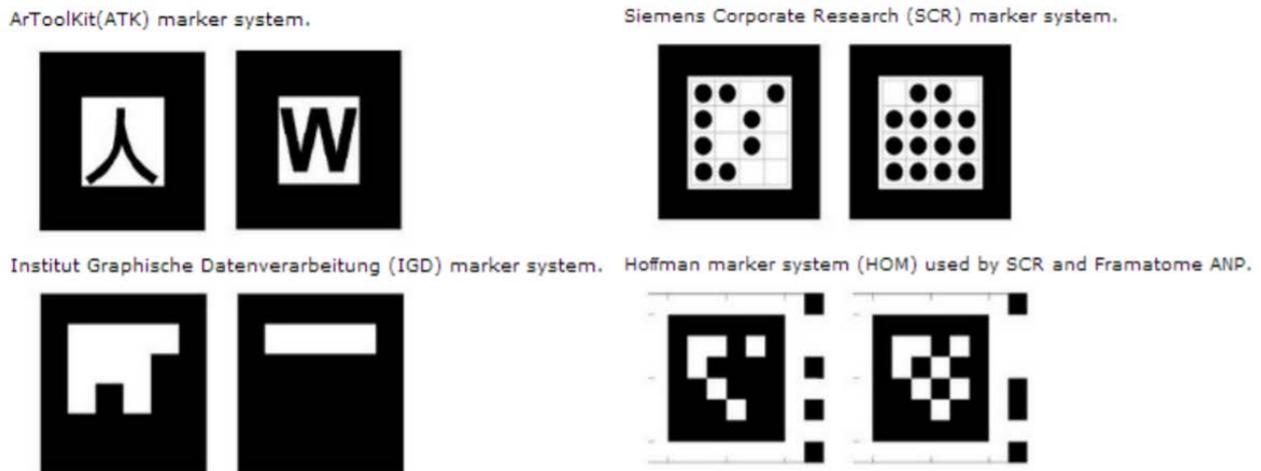


Рисунок 2 - Основные типы маркеров

В данной работе при сравнении алгоритмов бинаризации использован стандартный маркер из комплекта библиотеки ArToolKit.

2.2 Пороговая бинаризация изображения

Результат бинаризации, как правило, передается в виде двумерной матрицы с размерами, равными исходному изображению, где в качестве элементов матрицы выступают логические значения «1» или «0», с учетом соответствия «1» – граница объекта, «0» – прочая область. Данный вид представления результата процесса бинаризации является интуитивно понятным и может быть преобразован в заданный вид представления манипуляциями с матрицей. Таким образом, задача бинаризации сводится к преобразованию цветного, включая градации серого, растрового изображения в монохромное (1-битное) изображение.

Основная проблема операции порогового преобразования заключается в выборе надлежащего значения порога. Определение оптимального порога при преобразовании изображений является важной и трудной задачей, и для ее решения разработано много различных методов.

2.3 Использование фиксированного порога

Бинаризация с нижним порогом является наиболее простой операцией, в которой используется только одно значение порога:

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, & f(m,n) \geq t, \\ 1, & f(m,n) < t \end{cases}$$

Все значения вместо критерия становятся 1, в данном случае 255 (белый) и все значения (амплитуды) пикселей, которые больше порога t — 0 (черный).

Иногда можно использовать вариант первого метода, который дает негатив изображения, полученного в процессе бинаризации. Операция бинаризации с верхним порогом:

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, & f(m,n) \leq t, \\ 1, & f(m,n) > t \end{cases}$$

2.4 Использование гистограммы изображения

Очевидный способ выделения объектов из окружающего фона состоит в выборе значения порога t , разграничивающего моды распределения яркостей на изображении. Простейший из методов пороговой обработки состоит в разделении гистограммы изображения на две части с помощью единого глобального порога. После этого сегментация изображения осуществляется путем поэлементного сканирования изображения, при этом каждый пиксель отмечается как относящийся к объекту или фону, в зависимости от того, превышает ли яркость данного пикселя значение порога t или нет. Успешность этого метода целиком зависит от того, насколько хорошо гистограмма изображения поддается разделению.

Определение величины порога с помощью гистограммы яркостей является простым методом, который позволяет достичь «чистой» сегментации, если гистограмма изображения носит четко выраженный бимодальный характер. Такая форма гистограммы означает, что на изображении можно различить два вида сравнительно часто встречающихся пикселей – яркие и темные. При этом гистограмма легко разделяется с помощью одиночного глобального порога t , расположенного во впадине между пиками гистограммы (рисунок 3).

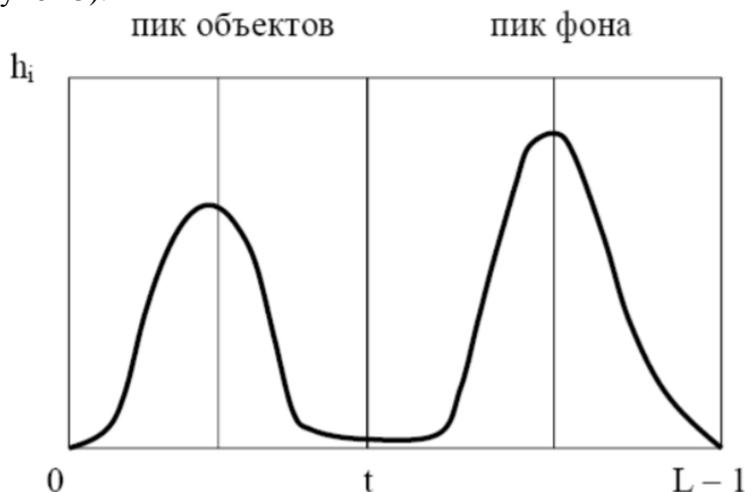


Рисунок 3 - Впадина между пиками гистограммы

При использовании такого порога изображение будет разделено на два класса – объекты и фон. Так как основная цель порогового преобразования состоит лишь в получении бинарного изображения, то выбор цвета объекта или фона – черный или белый – может быть произвольным. Поэтому для их выделения можно использовать бинаризацию с нижним или верхним порогом.

Для автоматического выбора значения порога t в случае бимодальной гистограммы может применяться следующий итеративный алгоритм:

1. Выбирается некоторая начальная оценка значения порога t .

2. Выполняется сегментация изображения с помощью порога t . В результате образуются две группы пикселей: G_1 , состоящая из пикселей с яркостью больше t , и G_2 , состоящая из пикселей с яркостью меньше или равной t .

3. Вычисляются средние значения μ_1 и μ_2 яркостей пикселей по областям G_1 и G_2 соответственно.

4. Вычисляется новое значение порога

$$t = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

5. Повторяются шаги со 2-го по 4-й до тех пор, пока разница значений порога t в соседних итерациях не окажется меньше наперед заданного параметра ϵ .

Отметим, что если объекты и фон на изображении занимают сравнимые площади, то хорошим начальным приближением для порога t является средний уровень яркости изображения. Если же занимаемая объектами площадь мала по сравнению с площадью фона (или наоборот), то одна из групп пикселей будет доминировать в гистограмме, и средняя яркость окажется не слишком хорошим начальным приближением. В подобных случаях более подходящим начальным значением t является полусумма минимального и максимального значений яркости. Параметр ϵ используется для остановки алгоритма, когда изменения на каждой итерации становятся малы по сравнению с заданным параметром. Такие меры применяются, когда важным соображением является скорость вычислений.

Следует отметить, что гистограммные методы пороговой обработки не гарантируют, что пиксели, относящиеся к одной и той же моде распределения яркостей, лежат на изображении рядом, образуя связные области. Гистограмма содержит только лишь информацию о частоте встречаемости на изображении пикселей с различными уровнями яркости, но не содержит информации об их пространственном распределении. Это является основным недостатком использования гистограмм для сегментации изображений. Однако, несмотря на то, что результаты, получаемые с помощью гистограмм, не всегда являются удовлетворительными, данный метод широко используется, так как является простым и быстрым.

2.5 Метод Отсу (определение оптимального порога)

С помощью данного метода вычисляется порог t , минимизирующий среднюю ошибку сегментации, т.е. среднюю ошибку от принятия решения о принадлежности пикселей изображения объекту или фону. Значения яркостей пикселей изображения можно рассматривать как случайные величины, а их гистограмму – как оценку плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный (в смысле минимума ошибки) порог для сегментации изображения на два класса s_0 и s_1 (объекты и фон).

В дальнейших рассуждениях предполагаем, что:

- изображение представляется с помощью L уровней яркости;

- hi – число элементов изображения, имеющих яркость $i, i = 0, 1, \dots, L - 1$;

- N – общее число пикселей на изображении;

- гистограмма изображения является нормализованной и ее можно рассматривать как распределение вероятностей

$$p_i = \frac{h_i}{H}, i = 0, 1, \dots, L - 1$$

$$\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$$

- элементы изображения делятся на два класса c_0 и c_1 с помощью порогового значения t , где класс c_0 содержит пиксели с яркостями из множества $(0, 1, \dots, t)$, а класс c_1 – пиксели с яркостями из множества $(t, t + 1, \dots, L - 1)$. Вероятности каждого из этих двух классов и средние значения их яркости описываются выражениями:

$$P_0 = \sum_{i=0}^t p_i = P_t$$

$$P_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P_t$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t \frac{i p_i}{P_0} = \frac{\mu_t}{P_t}$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{i p_i}{P_1} = \frac{(\mu_T - \mu_t)}{(1 - P_t)}$$

где $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$ означает среднюю яркость всего изображения. Можно легко проверить, что для любого t справедливо следующее соотношение:

$$P_0 \mu_0 + P_1 \mu_1 = \mu_T$$

Дисперсии каждого из классов определяются формулами:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t \frac{(i - \mu_0)^2 p_i}{P_0}$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{(i - \mu_1)^2 p_i}{P_1}$$

Определение оптимального порога можно осуществить на основе оптимизации одной из следующих функций, зависящих от порога t :

$$k = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2}$$

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2}$$

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}$$

где:

$$\sigma_B^2 = P_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + P_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 = P_0 P_1 (\mu_0 - \mu_1)^2$$
 - межклассовая дисперсия

$$\sigma_W^2 = P_0 \sigma_0^2 + P_1 \sigma_1^2$$
 - дисперсия внутриклассовая

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=0}^{L-1} \frac{(h_i - \mu_T)^2 p_i}{P}$$
 - дисперсия совокупная, причем σ_T^2 не зависит от величины порога t и

выражается формулой:

$$\sigma_T^2 = \sigma_W^2 + \sigma_B^2$$

Стоит отметить, что σ_W^2 требует использования статистик 2-го порядка (дисперсии классов), в то время как σ_B^2 – статистик 1-го порядка (средние классов). Поэтому η является наиболее простой мерой, зависящей от величины порога t . Исходя из этого, оптимальный порог t^* можно вычислить по формуле:

$$t^* = \arg \left(\max_{0 < t < L-1} (\eta(t)) \right) = \arg \left(\max_{0 < t < L-1} (\sigma_B^2(t)) \right)$$

Поскольку дисперсия является мерой разброса уровней яркости вокруг среднего значения, то большое ее значение свидетельствует о большом отклонении от среднего. В связи с этим операция нахождения максимума в формуле для определения порога означает увеличение изолированности двух классов на бинаризованном изображении. Итак, для бимодального изображения рассмотренный метод помещает порог между

средними значениями яркости объектов и фона так, чтобы максимизировать межклассовую дисперсию σ_B^2 .

3 Постановка и выполнение эксперимента алгоритмов бинаризации

На рисунке 4 показано исходное изображение с маркером для распознавания и гистограмма данного изображения.

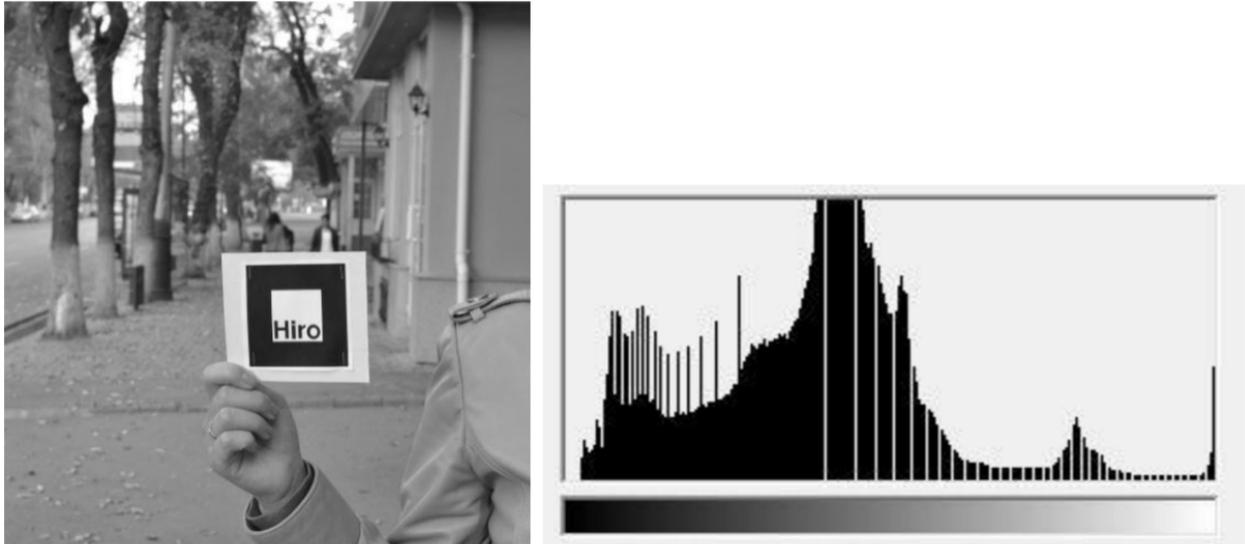


Рисунок 4 - Исходное изображение и его гистограмма

Изученные алгоритмы были реализованы на языке программирования Java. На рисунках 5, 6, 7 показаны результаты бинаризации исходного изображения данными алгоритмами. Видно, что благодаря четкому разделению деталей изображения метод бинаризации с подбором порога по гистограмме дал наиболее эффективный результат.



Рисунок 5 - Метод с фиксированным порогом



Рисунок 6 - Метод бинаризации по гистограмме изображения



Рисунок 7 - Метод Отсу

Результаты бинаризации зависят от характеристик самого изображения и используемых алгоритмов. Выбор метода бинаризации основывается на требованиях, которые ставятся перед программным обеспечением. В системах дополненной реальности алгоритмы бинаризации и последующего распознавания должны обеспечивать достаточный уровень точности при сохранении возможности обработки в реальном времени.

Предварительная обработка позволяет сократить ошибки при сегментации (разбиении изображения на маркеры и отдельные символы) и при самом распознавании. Полученное на данном этапе бинарное изображение легче обрабатывать на последующих этапах распознавания.

4 Алгоритм классификации особенностей

Классификация включает широкий спектр теоритических подходов для распознавания изображений или частей изображения. Все алгоритмы классификации основываются на предположении, что исследуемое изображение имеет одну или несколько особенностей, и каждая из этих особенностей относится к нескольким различным и отличительным классам. Эти классы могут быть определены априори исследователем (в случае управляемой классификации) или автоматически сгруппированы (в случае неуправляемой классификации) в наборы прототипных классов, где исследователь просто определяет количество необходимых категорий.

Классификация изображения анализирует численные свойства определенных особенностей изображения и группирует данные в категории [4]. Алгоритмы классификации обычно задействуют два этапа обработки: тренировка и тестирование. В начальном этапе тренировки характеризующие свойства особенностей изображения изолируются, и основываясь на этом, создаются уникальные описания каждой классифицирующей категории, т.н. тренировочные классы. В следующей фазе тестирования эти пространственные разделы используются для классификации особенностей изображения [5-8].

Описание тренировочных классов является важнейшим компонентом процесса классификации. В контролируемой классификации для извлечения дескриптора класса могут быть использованы статистические процессы (т.е. основанные на априори знании о функциях распределения вероятности) или процессы без распределения. Неуправляемая классификация основывается на алгоритмах кластеризации для автоматической сегментации данных в прототипы классов. В обоих случаях существуют следующие критерии мотивации для конструирования тренировочных классов:

- независимость, т.е. изменения в описании одного тренировочного класса не должны менять значения в другом,
- дискриминационность, т.е. различные особенности изображения должны иметь значительно отличающиеся описания,
- надёжность, все особенности изображения внутри одной тренировочной группы должны разделять общее точное описание этой группы.

Удобным способом построения параметрического описания такого типа является создание вектора $(\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n)$ особенностей, где n это число атрибутов которые описывают каждую особенность изображения и тренировочный класс. Это позволяет представить каждую особенность изображения в качестве занимаемой точки, и каждый тренировочный класс в качестве подпространства (т.е. точка, окруженная определенным распределением или отклонением) в n размерном классификационном пространстве. Таким образом, вопрос классификации является определением к какому из классов подпространства относится каждый вектор особенности.

На данном этапе необходимо определить, как численно разделить пространство особенностей так, чтобы при получении вектора особенности было возможно количественно определить к какому классу он относится. Одна из самых простых техник является использование управляемого, свободного от распределения способа известного как классификатор минимальной (усреднённой) дистанции.

5 Алгоритм классификатора минимальной (усреднённой) дистанции

Предположим, что каждый тренировочный класс представлен прототипным (или усреднённым) вектором:

$$m_j = \frac{1}{N_j \sum_{x \in \omega_j} x} \quad for j = 1, 2, \dots, M$$

где N_j – количество тренировочных векторов шаблонов из класса ω_j . Основываясь на этом можно любой шаблон x присваивать к ближайшему классу прототипа, определяя его близость к каждому m_j . Если взять измерением близости эвклидово расстояние:

$$D_{Eclid} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y)^2}$$

то дистанция до прототипа определяется через:

$$D_j(x) = \|x - m_j\| \text{ for } j = 1, 2, \dots, M$$

Не сложно показать, что это является эквивалентом вычислению:

$$d_j(x) = x^T m_j - \frac{1}{2} (m_j^T m_j) \text{ for } j = 1, 2, \dots, M$$

и x присваивается к классу ω_j если $d_j(x)$ дает наибольшее значение. На практике, классификатор минимальной (усреднённой) дистанции работает хорошо, когда расстояние между средними значениями больше по сравнению с разбросом каждого класса по отношению к его середине.

Заключение

Проведено исследование компьютерно-математической модели процессов обработки изображений в системе дополненной реальности, а именно: бинаризация и классификация изображений. Подобное исследование поможет в дальнейшей разработке системы индикации цифровой информации в рабочей среде сборщика электронной аппаратуры.

Литература

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 568 с.: ил. — (Информатика в техническом университете)
2. Гостев И.М. Методы идентификации графических объектов на основе геометрической корреляции // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2010. – Т. 41, вып. 1. – С. 49–94.
3. Eric Foxlin Head-tracking relative to a moving vehicle or simulator platform using differential inertial sensors // Proceedings of Helmet and Head-Mounted Displays V, SPIE. – 2000. – Vol. 4021. – P. 133–144.
4. Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret / Steve Henderson, Steve Feiner // Proceeding of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09). – 2009. – P. 135–144.
5. Балухто А.Н., Булаев В.И., Власов А.И. и др. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений - М.: Изд-во Радиотехника. 2003. Том 7. 192 с.
6. Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А., Кузнецов А.С. Нейрокомпьютеры: архитектура и схемотехника - Москва, Изд-во Машиностроение. 2000. Сер. 9 Приложение к журналу "Информационные технологии". 64 с.
7. Власов А.И., Зеновкин Н.В. Методы визуального управления при реализации пользовательских интерфейсов // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 23-26.
8. Алексеев М.А., Арабов Д.И. Линейные модели распознавания в системах машинного зрения // В сборнике: Будущее машиностроения России Сборник докладов Восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. 2015. С. 366-370.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕХМЕРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Козов А. В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра РКБ, Москва, Россия

MODELLING OF THE 3D COMPUTER VISION SYSTEM

Kozov A. V.

Supervisor: Ph. D., Associate Prof., Volosatova T.M.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается задача построения модели системы трехмерного компьютерного зрения для мобильного робота. Описаны технические средства получения трехмерных данных, программные средства их обработки, требования к разрабатываемой модели. Представлено описание использованных инструментов и реализованной модели.

Abstract

This paper considers the problem of design a 3D computer vision system model for a mobile robot. The paper provides an overview of hardware for obtaining three-dimensional data, software for processing them, and requirements for the developed model. The paper also considers description of the used tools and the designed model.

Введение

В последние годы произошел качественный скачок в развитии технологий компьютерного зрения и машинного обучения. Он позволил решать такие сложные задачи как создание беспилотных транспортных средств, способных самостоятельно двигаться до заданной точки по дорогам общего пользования. Одной из важнейших частей систем управления подобными наземными мобильными робототехническими комплексами (МРК) являются системы навигации и картографирования, которые невозможно построить без современных сенсорных систем и методов двух- и трехмерного компьютерного зрения. Для получения информации об окружающем пространстве в современных робототехнических комплексах применяют технологии компьютерного зрения, основанные на обработке трехмерных облаков точек (*point cloud*) [1]. Облако точек представляет собой множество координат вершин, пространственное расположение которых характеризует окружающие объекты. Обработка облаков точек применяется для распознавания городских сцен, построения цифровых моделей рельефа местности, классификации видов деревьев и других задач. В настоящее время доступны работы по использованию облаков точек в системах навигации МРК, в том числе от таких компаний как Google и Яндекс [2, 3]. Однако зачастую эти материалы не содержат подробностей используемых алгоритмов обработки и особенностей реализации систем компьютерного зрения.

Учитывая высокую стоимость натурных испытаний робототехнических систем, актуальной является задача разработки системы, позволяющей моделировать работу систем трехмерного компьютерного зрения и отрабатывать алгоритмы обработки облаков точек в модельной среде. В первом разделе приведен обзор технических средств, используемых для получения облаков точек в робототехнике, во втором – обзор программных средств обработки пространственных данных. В третьем разделе представлены требования к модели и описание разработанной модели системы трехмерного зрения МРК.

1 Технические средства получения облаков точек

Устройства получения трехмерных изображений обычно называют 3D-сканерами. В робототехнике эти устройства относят к сенсорам, поэтому в дальнейшем эти понятия будут использованы как синонимы. Применяемые в мобильной робототехнике бесконтактные устройства получения трехмерных облаков точек по принципу работы можно разделить на пассивные и активные. Пассивные сенсоры строят облако точек на основе отраженного света из окружающего пространства. Активные сенсоры используют электромагнитное излучение определенного диапазона и получают информацию об объектах благодаря отражению или прохождению излучения через объект.

Конструктивно пассивные устройства состоят из нескольких фотокамер, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. На мобильных роботах обычно используют две камеры, в этом случае два одновременно снятых кадра образуют стереопару. По смещениям пикселей изображений стереопары можно рассчитать дистанцию до объектов на кадрах и получить трехмерное представление в виде карты глубины – изображения, на котором «цвет» каждого пикселя соответствует расстоянию до соответствующей точки объекта. Хотя пассивные устройства позволяют получать достаточно плотные и точные облака точек, применение подобных устройств ограничивают зависимость от условий внешнего освещения, низкая точность на больших дистанциях и малый угол обзора.

Активные сенсоры для получения трехмерной информации о сканируемых объектах могут использовать времяпролетный метод (вычисление дистанции по времени между моментами излучения и регистрации сигнала), фазовый метод (вычисление дистанции по разности фаз излученного и принятого сигналов), структурированную подсветку, метод триангуляции. Устройства на основе первых двух методов обычно называют лазерными дальномерами или лидарами (рис. 1). Получение трехмерного изображения по технологии структурированной подсветки основано на проецировании световой или лазерной сетки в виде определенного набора линий или точек на объект. Деформация спроецированного рисунка представляет собой модель сканируемого пространства. Преимущества такого метода в скорости – вместо сканирования одной точки в один момент времени, структурированная подсветка позволяет получить одновременно множество точек.

По сравнению с сенсорами, использующими для получения облака точек структурированную подсветку, лазерные дальномеры имеют более высокую стоимость, большие габариты и требуют большего времени для получения данных. Облака точек с сенсоров на основе структурированной подсветки имеют большую плотность и точность, часто несут дополнительную информацию о цвете поверхности объектов. Однако для применения на МРК, предназначенных для работы вне помещений, наиболее существенным параметром является эффективная рабочая дистанция сенсора. Лазерные дальномеры при хороших внешних условиях (отсутствие осадков, тумана, задымления) способны различать объекты на расстоянии до нескольких сотен метров (авиационные лидары – до нескольких километров), в то время как зона действия сенсоров со структурированной подсветкой ограничена тремя-четырьмя метрами. Также важным является то, что лидары имеют угол обзора до 360°. Перечисленные особенности определяют использование лидаров в качестве основных устройств получения трехмерной информации об окружающем пространстве для МРК.

2 Программные средства работы с облаками точек

В настоящее время разработка робототехнического программного обеспечения выполняется с использованием существующих программных инструментов. Среди таких инструментов наибольшее распространение получили программные системы, расширяющие возможности операционной системы и предоставляющие многофункциональные интерфейсы взаимодействия для программных и аппаратных

компонентов. К таким мета-операционным системам относится Robot Operating System (ROS), которая на сегодняшний день является, де-факто, стандартом робототехники. Выбор ROS в качестве среды выполнения определяет общую структуру и интерфейсы взаимодействия для разрабатываемой системы компьютерного зрения, а ее внутренняя структура и составляющие компоненты зависят от используемых специализированных средств и библиотек. К таким средствам в области компьютерного зрения относят библиотеки *OpenCV* (Open Source Computer Vision) и *PCL* (Point Cloud Library).

OpenCV ориентирована прежде всего на обработку двумерных изображений, а имеющиеся в *OpenCV* средства работы с трехмерной информацией ориентированы на построение карт глубины и визуализацию, поэтому использование этой библиотеки для обработки облаков точек затруднительно.

Point Cloud Library – кроссплатформенная библиотека средств обработки облаков точек с открытыми исходными кодами. Она содержит большое число современных алгоритмов, методов и средств разработки для реализации фильтрации, извлечения признаков, сегментации и визуализации облаков точек (рис. 2). Имеющиеся программные средства позволяют фильтровать зашумленные данные, строить поверхности по имеющимся точкам и распознавать объекты по их геометрическим характеристикам. Изначально *PCL* разрабатывалась как часть ROS, но позже разработка библиотеки была выделена в отдельный проект. В настоящее время проект поддерживается сообществом, некоммерческой организацией *Open Perception* и другими заинтересованными в разработке компаниями.

3 Требования к модели и описание инструментов моделирования

Исходя из вышеизложенного можно сформулировать следующие требования к разрабатываемой модели:

- получаемые при помощи модели облака точек должны соответствовать данными, получаемым с лазерных дальномеров;
- модель должна соответствовать требованиям, предъявляемым к структуре и интерфейсам приложений ROS;
- модель должна поддерживать работу с примитивами и базовыми классами библиотеки *PCL*.

Для разработки модели используем *Gazebo* – робототехнический симулятор с открытым исходным кодом. *Gazebo* поддерживает работу с моделями, описанными в формате Unified Robot Description Format (URDF), специализированном XML формате для представления робототехнических моделей [4]. URDF описывает моделируемый объект (робота) в виде отдельных звеньев и пространственных связей между ними с заданным числом степеней свободы. Для звеньев модели могут быть заданы визуальные и инерциальные характеристики.



Рисунок 1 – 32-х лучевой лазерный дальномер HDL32 фирмы Velodyne, изображение с сайта velodynelidar.com

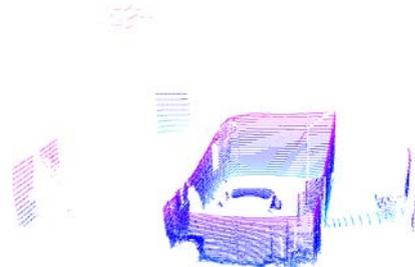


Рисунок 2 – Пример облака точек, полученного с лазерного дальномера внутри помещения, визуализация выполнена при помощи утилиты *pcl_viewer* *PCL*

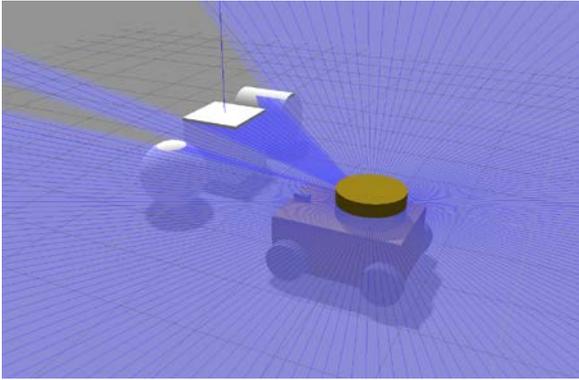


Рисунок 3 – Модель в симуляторе Gazebo

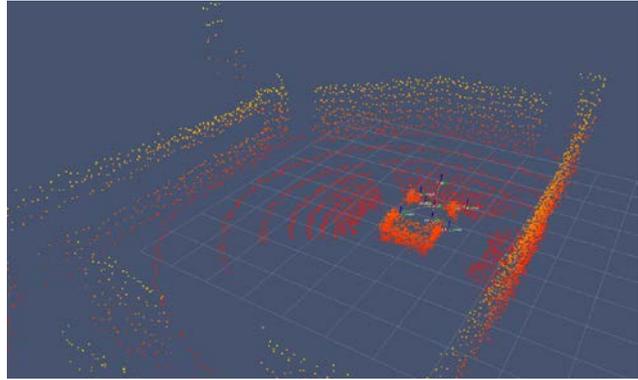


Рисунок 4 – Полученное в модельной среде облако точек, визуализация выполнена при помощи инструмента rviz

Gazebo позволяет связать описанные звенья с различными сенсорными системами, например, лазерным дальномером, характеристики которого также задаются в формате URDF. Благодаря имеющейся интеграции с ROS создаваемые таким образом модели могут быть использованы для получения облаков точек, максимально соответствующих данным с реальных сенсоров. Интеграция с ROS также обеспечивает совместимость с форматами данных библиотеки PCL. На рис. 3-4 представлены разработанная модель и облако точек, полученное с ее помощью. Проведенные эксперименты и сравнение данных с реального лидара и данных, полученных при помощи симуляции, показало, что основные ограничения модели связаны с высокими требованиями к вычислительным ресурсам при обработке сложной геометрии. Облака точек, соответствующие таким объектам как деревья или трава, практически невозможно моделировать на персональном компьютере в режиме реального времени.

Заключение

Представленный обзор технических и программных средств работы с облаками точек позволил сформировать требования к модели робототехнической системы трехмерного зрения. Для разработки модели в соответствии с требованиями были выбраны открытые инструменты, позволившие получать облака точек, соответствующие реальным данным. Разработанная модель может быть использована для проверки работоспособности алгоритмов трехмерного компьютерного зрения и для их отладки перед применением на реальных МРК.

Литература

1. Rusu R. B. Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments // KI-Künstliche Intelligenz. – 2010. – Т. 24. – №. 4. – С. 345-348.
2. Dethé S. N., Shevatkar V. S., Bijwe R. P. Google Driverless Car // IJSRSET. – 2016. – Т. 2. – №. 2.
3. Yandex.Taxi Unveils Self-Driving Car Project. Электронный ресурс: <https://yandex.com/company/blog/yandex-taxi-unveils-self-driving-car-project/> (дата обращения 18.02.2018).
4. Mahtani A., Sanchez L., Fernandez E. Effective Robotics Programming with ROS. – Packt Publishing, 2016. 468 с.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ СТАЕЙ КОШЕК

Лещев И. А.

Научный руководитель: д.ф.-т.н., профессор, Карпенко А.П.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

CAT SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

Leshchev I. A.

Supervisor: Dr., Prof., Karpenko A.P.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается популяционный алгоритм оптимизации функции нескольких параметров. Подробно описан алгоритм и исследовано качество его работы на различных тестовых функциях. Кратко представлены результаты исследования зависимости качества работы алгоритма в зависимости от его свободных параметров. В заключении представлены рекомендации по использованию свободных параметров для достижения оптимальной работы алгоритма.

Abstract

This article observes population optimization algorithm for multiparametric functions. It is spoken in detail about algorithm structure and its optimization quality of different test functions. The results of method's quality research are also shortly revealed. Recommendation of algorithm's parameter values for approaching optimal performance are proposed in conclusion.

Введение

Сегодня, множество задач, возникающих в фундаментальных и прикладных науках, сводятся к задачам непрерывной глобальной оптимизации. Как правило при решении таких задач часто встречаются «подводные камни» такие как: многоэкстремальность (мульти-modalность), недифференцируемость, высокая размерность области поиска, овражность и т.д. В 1980-х гг. для эффективного решения задач глобальной оптимизации начал интенсивно развиваться класс стохастических поисковых методов оптимизации, которые стали называться популяционными. Особенностью данного класса методов является одновременная обработка и оценка сразу нескольких вариантов решения задачи, за счет использования сразу нескольких агентов (популяции), каждый из которых эволюционирует в области поиска задачи.

Популяционные алгоритмы поисковой оптимизации, как правило, гораздо мощнее классических алгоритмов оптимизации при решении задач с высокой размерностью. Так же популяционные алгоритмы позволяют отыскивать решения близкие к оптимальным намного эффективнее классических методов. Часто достаточным является именно такое решение. Однако одним из основных недостатков популяционных алгоритмов является сильная зависимость от значений свободных параметров, число которых, как правило, велико.

В ходе работы была проведена оценка качества и эффективность относительно нового (2006 г.) популяционного алгоритма, а также исследовано влияние одного из ключевых свободных параметров алгоритма - размера обзораемой области, результаты экспериментов были представлены в качестве рекомендаций по использованию значений свободных параметров.

1 Постановка задачи

Введем следующие обозначения: $D \subset R^{|X|}$ – компактное множество допустимых значений вектора варьируемых параметров X (область поиска); $f(X)$ – скалярная целевая функция (критерий оптимальности); $f(X^*) = f^*$ - искомое оптимальное (минимальное или

максимальное) значение целевой функции $f(X)$; t – номер текущего поколения (итерация); $X(t) = X = (x_1, x_2, \dots, x_{|X|})$ – текущий вектор варьируемых параметров; $X(t+1) = X' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_{|X|})$ – вектор варьируемых параметров на следующей итерации; X^* – искомый вектор оптимальных значений компонентов вектора варьируемых параметров X ; X^{best}, X^{worst} – текущие положения лучшего и худшего агентов популяции; X_i^{best}, X_i^{worst} – лучшее и худшее положения агента $s_i, i \in [1:|S|]$ на всех итерациях с начальное по текущую включительно; $\varphi(X) = \varphi(s)$ – фитнес-функции (функция приспособленности, приспособленность) агента s ; $\varphi^{best} = \varphi(X^{best}), \varphi^{worst} = \varphi(X^{worst})$ – лучшее и худшее значения фитнес-функции; $\varphi_i^{best} = \varphi(X_i^{best}), \varphi_i^{worst} = \varphi(X_i^{worst})$ – значения фитнес-функции, соответствующие лучшему и худшему положениям агента $s_i, i \in [1:|S|]$; v_j^i – скорость изменения i -го параметра i -го агента; $|S| = N$ – размер популяции; $|X| = M$ – размерность вектора варьируемых параметров;

Рассматриваем детерминированную задачу минимизации

$$\min_{X \in D \subset R^M} f(X) = f(X^*) = f^*.$$

Полагаем, что фитнес-функция $\varphi(X)$ так же должна быть минимизирована.

2 Алгоритм стаи кошек

В общем случае алгоритм составляют два объединенных поисковых режима: режим наблюдения и режим следования [3].

Режим наблюдения заключается в исследовании агентом ближайшей окрестности с целью выявить направление, изменение параметров X в котором приведет к улучшению значений фитнес-функции. Поведение агента в этом режиме зависит от четырех следующих основных свободных параметров.

- Поисковая память агента (seekingmemorypool, **SMP**)- число исследуемых точек в окрестности каждого агента.

- Размер обозреваемой области (seekingrangeofselecteddimension, **SRD**)-величина, ограничивающая изменение параметров агента.

- Число изменяемых параметров (count of dimension to change, **CDC**)- число параметров, необходимых для обновления популяции на каждом шаге.

- Учет собственной позиции (self-positionconsideration, **SPC**)-булево значение, определяющее рассматривается ли текущий набор параметров агента как оптимальный.

Поисковый процесс в режиме наблюдения выглядит следующим образом:

1) Создаем $j = SMP$ копий текущего набора параметров агента s_i ; в том случае, если значение **SP**-истинно, создаем $j = (SMP - 1)$ копий, и один набор параметров сохраняем неизменным.

2) Для каждой копии параметров агента, в соответствии с установленным числом изменяемых параметров **CDC**, определяем измененный набор параметров, согласно выражению

$$X_{cn} = (1 \mp SRD \cdot R) \cdot X_c. \quad (1)$$

3) Вычисляем значение целевой функции для каждого из новых наборов параметров.

4) Согласно выражению

$$P_i = \frac{|FS_i - FS_b|}{FS_{max} - FS_{min}}, 0 < i < j \quad (2)$$

вычисляем вероятность выбора конкретного набора параметров.

5) Основываясь на полученных вероятностях, выбираем набор-победитель, и заменяем текущий набор параметров агента.

В формулах (1), (2) приняты следующие обозначения: X_c - текущий вектор варьируемых параметров; X_{cn} - обновленный вектор варьируемых параметров; R –

случайное число в интервале от нуля до единицы; P_i - вероятность выбора набора параметров; FS_i - значение целевой функции при обновленном наборе параметров; FS_{max}, FS_{min} - максимальное и минимальное найденные значения целевой функции соответственно; $FS_b = FS_{max}$ для рассматриваемой задачи минимизации.

Режим следования определяет следующая последовательность шагов.

1) Для каждого из агентов обновляем скорости в соответствии с выражением

$$v(t+1)_d^i = v(t)_d^i + r \cdot c \cdot (x_d^{best} - x_d^i), \quad d = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

2) Проверяем, находятся ли скорости в диапазоне допустимых значений. Если допустимые пределы нарушены, то значение соответствующей скорости устанавливаем равным максимально допустимому значению.

3) Набор параметров каждого агента в режиме следования обновляем, в соответствии с выражением

$$x(t+1)_d^i = x(t)_d^i + v_d^i(t), \quad d = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

В выражениях (3), (4) приняты обозначения: $v(t)_d^i$ - скорость агента i в измерении d на момент предыдущей итерации; $v(t+1)_d^i$ - скорость агента i в измерении d на полученная на текущей итерации; x_d^{best} - значение параметра d агента с наилучшим достигнутым значением целевой функции; $x(t)_d^i$ - значение параметра d агента k ; c - константа, устанавливаемая экспертом; r - случайная величина в интервале от нуля до единицы/

3 Программная реализация и тестирование

Программирование алгоритма выполнено в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio, позволяющей подключать сторонние расширения на различных уровнях. Для написания кода был использован объектно-ориентированный язык программирования C#. Использование данного продукта позволяет быстро создать графический пользовательский интерфейс и создавать графики разной сложности [2].

Тестирование алгоритма и программного обеспечения выполнено с использованием квадратичной функции в области $D = \{x_i \in [-10, 10], i \in [1:M]\}$ в режиме мультистарта (число стартов равно 100). При тестировании использованы следующие значения свободных параметров: $N=20$; $M \in [2, 4, 8, 16, 32, 64]$; $SMP=5,0$; $SRD=0,8$; $CDC=0,8$; $MR=0,2$; $SPC=true$; $c=2,0$; $\delta(t) = 10^{-6}$; $\Delta t = 20$.

Сходимость итерационного процесса иллюстрирует рисунок 1.

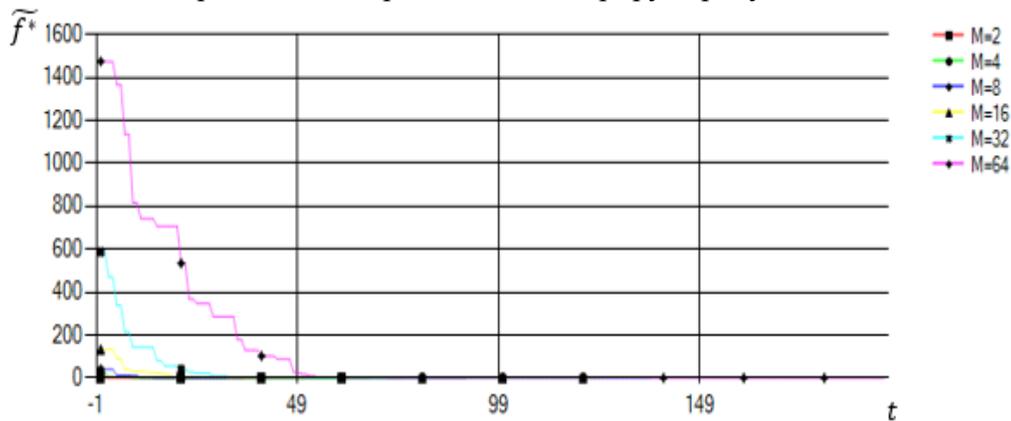


Рисунок 8 – Сходимость итерационного процесса

4 Вычислительный эксперимент

Целью вычислительного эксперимента является выявление степени влияния размера области обзора (SRD) на оценки эффективности алгоритма. Для проведения эксперимента использована невыпуклая мультимодальная функция Растригина [1]:

$$f(x) = 10 \cdot M + \sum_{i=1}^M [x_i^2 - 10 \cdot \cos(2\pi x_i)], \quad x_i \in [-10, 10], \quad i \in [1:M].$$

Результаты вычислительного эксперимента иллюстрируют рисунки 2-4.

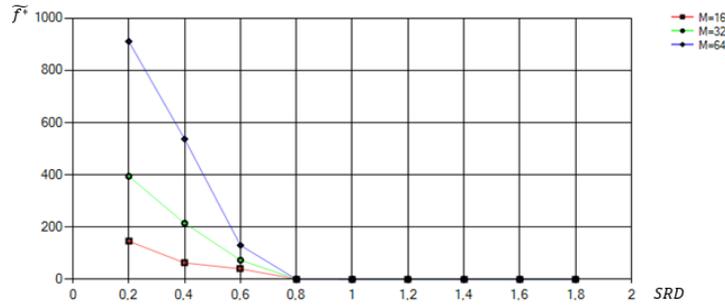


Рисунок 2 –Лучшие достигнутые значения целевой функции: $M = 16, 32, 64$

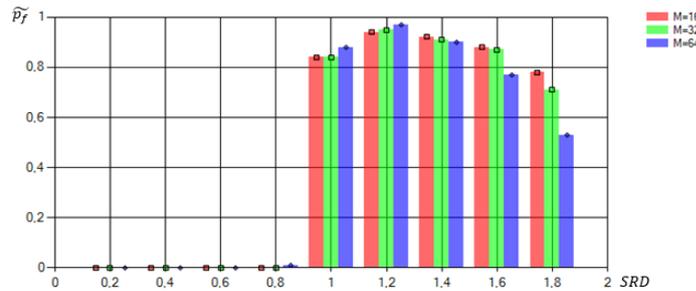


Рисунок 3 -Оценка точности локализации минимума значений целевой функции:
 $\sigma_f = 0,001; M = 16, 32, 64$

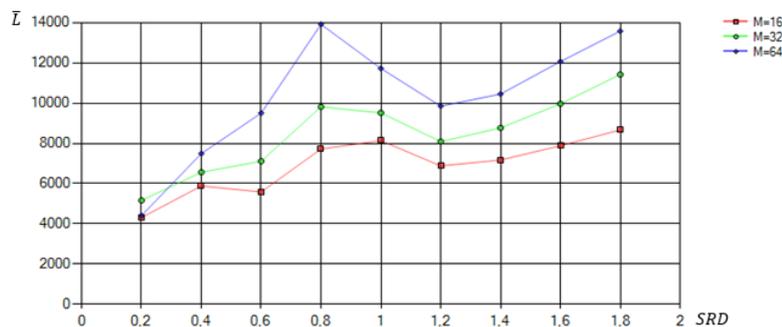


Рисунок 4 - Среднее число обращений к целевой функции

Заключение

В работе представлено описание структуры алгоритма оптимизации стай кошек, результаты сходимости итерационного процесса при различной размерности вектора варьируемых параметров и вычислительный эксперимент в результате, которого было определено оптимальное значение области обзора. Несмотря на то, что авторы алгоритма рекомендуют использовать небольшое значение (0,2) параметра области обзора [3], было установлено и показано, что наиболее эффективное качество работы алгоритма достигается при значениях параметра близким к 1,2.

Литература

1. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой // М.: Изд-во МГТУ им. НЭ Баумана. – 2014. – Т. 448.
2. International Journal of Innovative, Computing, Information and Control, Volume 3, Number 1, February 2007. – С.163-173.

АРХИТЕКТУРА СЕРВИСНОЙ ШИНЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Луценко А. Э.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РКБ, Москва, Россия*

ARCHITECTURE OF THE ENTERPRISE SERVICE BUS

Lutsenko A. E.

*Supervisor: Dr., Volosatova T.M.
MSTU, Moscow, Russia*

Аннотация

В данной статье рассматривается работа с сервисной шиной предприятия: изучается само понятие ESB, анализируются возможные архитектуры. Также поднимается вопрос о том, когда должна использоваться шина данных.

Abstract

This article discusses work with the enterprise service bus: studies the very concept of ESB, analyzes the possible architectures. It also raises the question of when a data bus should be used.

Введение

В настоящее время многим кажется, что нужно использовать сервисную шину предприятия (ESB), но есть много путаницы в отношении ее фактической выгоды и различных концепций, которые этот термин влечет за собой. В данной статье рассмотрены некоторые из наиболее важных вопросов, связанных с этим термином.

Определение ESB

Принятое определение для этого термина еще не установлено, что, скорее всего, связано с отсутствием отраслевых стандартов, тогда как стандарты, такие как BPEL и BPMN 2.0, существуют для двигателей процессов и других компонентов. Термин «Enterprise Service Bus» был придуман Gartner в 2002 году. Десять лет спустя все еще очень малосогласны с тем, что такое ESB или что она должна делать. Существуют разные определения в зависимости от производителя или источника. Среди прочего, ESB определяется как:

«Стиль архитектуры интеграции, который позволяет общаться через общую коммуникационную шину, которая состоит из множества соединений «точка-точка» между провайдерами и пользователями сервисов».

«Инфраструктура, которую компания использует для интеграции сервисов в ландшафт приложения».

«Структура архитектуры, обеспечивающая взаимодействие между гетерогенными средами с использованием служебной ориентации». (Рисунок 1)



Рисунок 1 – Демонстрация определения ESB

ESB, доступные на сегодняшнем рынке, существенно отличаются по архитектуре их систем. Как показано на предыдущем рисунке, они в основном основаны на архитектурах, которые представлены ниже.

Различные архитектуры ESB

Extended Message-Oriented Middleware (MOM). Эти системы соответствуют первоначальному определению ESB и обычно распределяют несколько узлов по всей сети, используя инфраструктуру MOM для поддержки надежной передачи сообщений и обработки событий между узлами. Хотя узлы ESB обмениваются данными с использованием проприетарного протокола, конечным точкам обслуживания не требуется знать MOM. Сервисы могут быть открыты с использованием WSDL или других протоколов.

Extended Integration Brokers. В течение последних пяти лет традиционные поставщики брокерских интеграторов добавляли поддержку веб-сервисов и репозиционирование их продуктов в виде ESB. Эти системы более совместимы со стандартами, чем когда-то, но все же имеют тенденцию быть более проприетарными, чем большинство ESB. Они также имеют тенденцию предоставлять очень централизованное решение, в котором все сообщения проходят через централизованного брокера.

Extended Application Servers. Ряд поставщиков ESB используют сервер приложений JavaEE в качестве основы для своих продуктов ESB. Эти продукты, как правило, более сильные с точки зрения создания и составления услуг, чем в унаследованной интеграции. Они, как правило, достаточно централизованы, хотя они поддерживают распределенные узлы.

Endpoint-Based Plug-In Channels. Несколько поставщиков ESB поддерживают чрезвычайно распределенную модель, которая реализует посредничество службы на конечной точке службы и поддерживает гетерогенные коммуникации с использованием архитектуры подключаемого модуля канала.

Mediation Agents. Хотя эти продукты технически не квалифицируются как ESB, поскольку предоставляется платформа обслуживания, более чем один поставщик, как известно, маркирует этот тип продукта как таковой. Средства посредничества могут быть централизованы или распространены и поддерживать посредничество в обслуживании. Существуют также связанные категории продуктов, которые реализуют части ESB, но официально не продаются как ESB производителями.

XML Gateway. Шлюзы XML - это аппаратные устройства, которые в первую очередь поддерживают посредничество службы, что является одной из ключевых особенностей ESB. На самом деле, шлюзы XML часто поддерживают возможности посредничества служб, которые ESB не поддерживают или не поддерживают, например, ускорение преобразования и дешифрование и шифрование XML-документов. Однако шлюзы XML не предоставляют платформу обслуживания, функцию, которая обычно связана с ESB.

Message-Oriented Middleware (MOM). Свяжущее ПО, ориентированное на сообщения, является промежуточным программным обеспечением, основанным на асинхронной отправке и приеме сообщений, чтобы предлагать более слабую связь между приложениями. Формат сообщений не определен, хотя на практике XML стал установленным в качестве предпочтительного формата. Продукт MOM обычно поддерживает связь через очередность сообщений и публикует / подписывается. Обычно нет необходимости в преобразовании сообщений в MOM, а интерфейс приложения к ориентированному на сообщения промежуточному программному обеспечению относительно сложный и не очень стандартизированный. MOM может использоваться в качестве основы для надежной пересылки сообщений ESB.

Integration Brokers (EAI). Некоторые разработчики традиционных инструментов EAI теперь позиционируют свои продукты как ESB. Эти продукты часто сложны и проприетарны и, как правило, основаны на архитектуре хаба и спицы. Брокер действует

как центральный обмен сообщениями (концентратор), вокруг которого отправители и получатели (спицы) расположены радиально. Соединения с брокером осуществляются через порты адаптера, поддерживающие требуемый формат сообщения.

Business Process Management Systems (BPMS). Некоторые разработчики ESB рассматривают сервисное управление и автоматизированное управление бизнес-процессами (BPEL, BPMN) как характеристики ESB, в то время как другие считают шины обслуживания отдельными продуктами, принадлежащими к категории BPMS. Это особенно важно, когда бизнес-аспекты выражаются в моделях процессов или в категории «Механизма оркестровки», когда технические процессы интеграции могут быть выражены как длинная цепочка процессов, которая вызывает услуги в определенном порядке.

Application Servers. Многие платформы ESB предлагают сервисную платформу для создания и хостинга. В этом случае ESB также является сервером приложений. Многие серверы приложений предоставляют контейнеры для операционных служб, а также предоставляют ограниченные возможности для обработки сообщений и обеспечения соблюдения правил. Адаптеры сервера приложений поддерживают интеграцию устаревших систем с помощью таких технологий, как JavaEEConnectorArchitecture (JCA). В большинстве случаев сервер приложений поддерживает только несколько протоколов, и точное разделение серверов ESB и приложений затруднено. Многим разработчикам требуется сервер приложений в качестве основы для ESB.

API Gateways. Компании и организации стремятся предоставить доступ к подмножеству своих ключевых услуг и данных деловым партнерам и клиентам в простой в использовании стандартизированной форме в виде API. Это подразумевает различные проблемы безопасности, производительности, интеграции, которые затем могут быть решены с помощью шлюзов API. Они включают функции защиты угроз для обеспечения качества обслуживания. Они не являются ESB, но обеспечивают определенное перекрытие с точки зрения возможностей. Примерами таких общих функций являются преобразования и маршруты.

Когда следует использовать ESB

Существуют ли лучшие методы для определения того, когда стоит реализация ESB? Использование ESB стоит учитывать, когда необходимо интегрировать три или более приложений или сервисов. Простая двухточечная интеграция значительно проще и экономичнее при подключении двух приложений. ESB также может быть полезна, если услуги будут внедрены у внешних поставщиков. Затем ESB можно использовать для мониторинга соглашений об уровне обслуживания, гарантируемых внешним поставщиком. Влияние корректировок на контракты на обслуживание может быть сведено к минимуму, поскольку ESB продолжает обеспечивать стабильный интерфейс при внесении необходимых изменений в сообщения.

Если многие протоколы, такие как HTTP, SOAP и FTP, должны использоваться и стандартизоваться для одного протокола, такого как SOAP, ESB может выполнить необходимое преобразование протокола. Если услуги должны быть последовательно включены в архитектуру для получения, обработки и создания сообщений, то использование ESB также подходит. Это также применимо, если необходимо получить сбор предварительно определенных компонентов и адаптеров, что позволяет стандартизовать различные протоколы и устаревшие приложения. Если сообщения должны быть надежно и безопасно обработаны, ESB может упростить реализацию потоков транзакционных сообщений между двумя гетерогенными транзакционными источниками данных.

Использование ESB может стать проблематичным, если большие объемы данных должны быть отправлены через шину в виде большого количества отдельных сообщений. ESB никогда не должна заменять традиционную интеграцию данных, как инструменты

ETL. Репликация данных из одной базы данных в другую может быть решена более эффективно с использованием интеграции данных, поскольку это будет излишне нагружать ESB.

ESB должна поддерживать потоки сообщений без состояния, если должны быть реализованы долгосрочные бизнес-процессы. Долгосрочные бизнес-процессы являются сдержанными и лучше всего реализуются с использованием BPEL и / или BPMN. Обычно они не доступны через ESB, а скорее через управление бизнес-процессами система (BPMS).

План ESB

Из-за отсутствия стандартизации рынок ESB довольно запутан. Есть много продуктов, которые претендуют на роль ESB, но предлагают совершенно разные решения и основаны на разных архитектурах. Чтобы обеспечить более эффективную оценку продуктов ESB, различные функции, назначенные ESB, были включены в план (Рисунок 2).

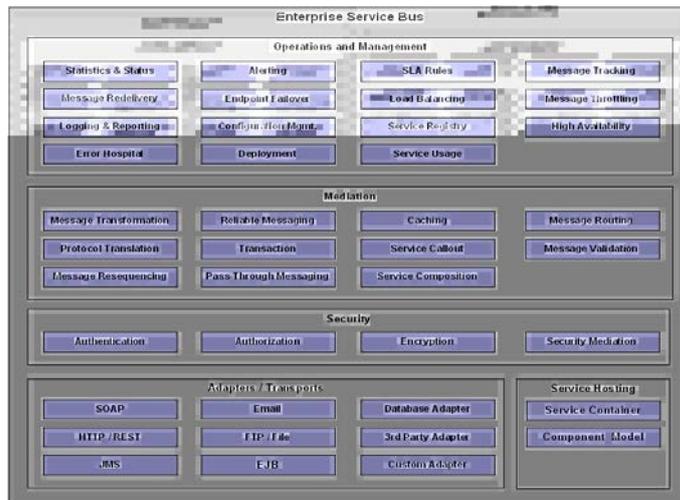


Рисунок 2 – План для сервисной шины предприятия

Схема плана ESB не включает компонент «оркестровки» или «процесс хореографии», поскольку он считается частью категории BPMS. Они предлагают выделенные среды выполнения для долгосрочных бизнес-процессов с сохранением состояния, которые оптимизированы для этого, и поддерживают такие языки, как BPMN или BPEL.

Заключение

В результате в данной статье было рассмотрено понятие сервисной шины предприятия, изучены различные архитектуры ESB. Определено, что лучше всего использовать сервисную шину предприятия лишь в случае, когда необходимо интегрировать три или более приложений или сервисов. В остальных случаях использование ESB не является рекомендуемым.

Литература

1. Корпоративная сервисная шина - "бюджетный" подход к решению задач интеграции // citforum URL: <http://citforum.ru/internet/webservice/esb/> (дата обращения: 31.10.2017).
2. Программное обеспечение websphere // IBM URL: <https://www-1.ibm.com/software/ru/websphere/> (дата обращения: 31.10.2017).
3. IBM WebSphere MQ Explorer // IBM URL: <https://www-01.ibm.com/software/integration/wmq/explorer/downloads/> (дата обращения: 30.10.2017).

АНОМАЛИИ ЭКГ И ИХ ОБНАРУЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭКС

Малышев А. П.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

ECG ANOMALIES AND THEIR DETECTION WITH THE CLUSTERIZATION OF ECS SAMPLES

Malyshev A. P.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor, Volosatova T.M.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Статья посвящена обнаружению артефактов на ЭКГ. Во время анализа данных ЭКГ почти всегда можно выявить эпизоды искажения ЭКГ сигнала – артефакты (аномалии), искусственные искажения записи. Рассмотрены основные типы возникающих искажений. Представлены шаги алгоритма классификации ЭКГ, позволяющего детектировать аномалии. В заключение произведена оценка работоспособности алгоритма.

Abstract

The article is devoted to the detection of artifacts on the ECG. It is possible to identify episodes of distortion on the ECG signal (artifacts). This is an artificial distortion of the recording. The basic types of arising distortions are considered. The steps of the algorithm for classifying the ECG, allowing to detect anomalies, are presented. In conclusion, the algorithm was evaluated.

Введение

Артефакты являются ахиллесовой пятой при Холтеровском мониторинге. Чаще всего это хорошо известные в электрокардиографии «шумы» и «наводки», определение некардиального характера которых не представляет каких-либо трудностей, но значительно усложняет чтение, увеличивает время, затрачиваемое на интерпретацию записи данных. Основные сложности в расшифровке результатов мониторинга, как правило, связаны с артефактами, имитирующими нарушения ритма сердца. Псевдоаритмии могут серьезно повлиять на результаты исследования и в конечном итоге на постановку правильного диагноза и определение всей тактики ведения больного.

Таким образом, становится актуальной задача разработки методов и алгоритмов детектирования артефактов ЭКГ.

1 Артефакты ЭКГ

Артефакты - это искусственные искажения записи. Они могут иметь разное происхождение:

Дрейф изолинии (когда ЭКГ как-бы "уплывает" за пределы ленты во время записи) - возникает при плохом заземлении ЭКГ-аппарата или при глубоком дыхании пациента и может симулировать элевацию ST.

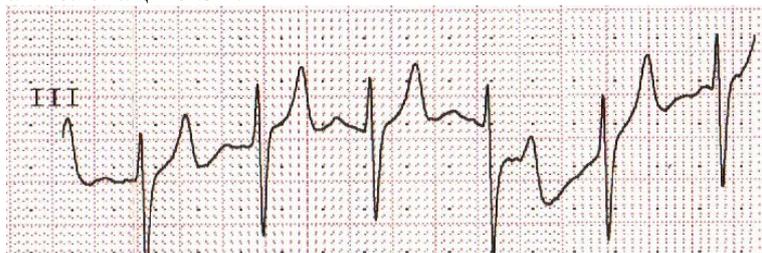


Рисунок 1 - Дрейф изолинии

Плохой контакт электродов с кожей (не увлажнили электрод, обильный волосистый покров у пациента и т.п.). Например, артефакт, имитирующий фибрилляцию желудочков, возникающий если не смочить электроды на конечностях.

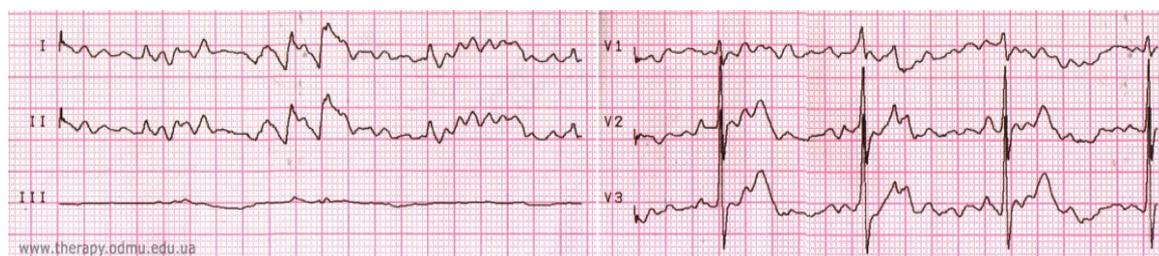


Рисунок 2 - Плохой контакт электродов с кожей

Артефакт смещения электрода V2 представлен на рисунке 3.

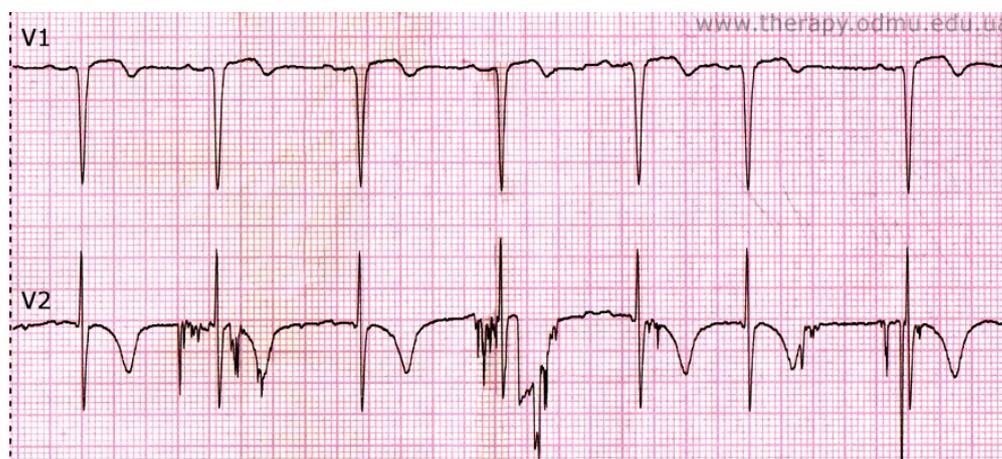


Рисунок 3 - Смещение электрода V2

Артефакт движения - может симулировать различные тахикардии или сделать ЭКГ полностью непригодной для интерпретации из-за дополнительных мышечных помех. Например, ЭКГ больного с болезнью Паркинсона и ритмичным артефактом движения кисти, имитирующим трепетание предсердий [1].

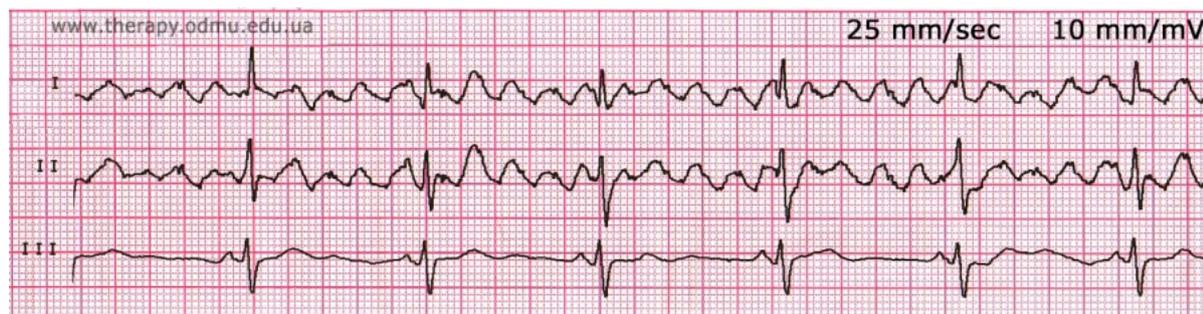


Рисунок 4 - Артефакт движения

Ошибка наложения электродов - может симулировать резкое изменение электрической оси сердца, появление признаков ишемии и т.д.

2 Подходы к распознаванию образов

Целью методов распознавания образов является назначение каждого индивидуального биения его конкретному классу или выявление патологии пациента с

использованием информации, содержащейся в характеристиках, которые могут быть измерены (например, возраст, пол, стандартное отклонение интервалов RR и т. д.) [3]. Неявная гипотеза состоит в том, что особенности лиц, принадлежащих к одному классу, имеют одинаковые значения, поэтому они занимают область в многомерном пространстве признаков, отделенную от других классов.

Общепризнано, что методы распознавания образов основаны на трех основных понятиях: извлечение, выбор, преобразование признаков, классификация и обучение [2]. Хотя классификация и обучение можно считать хорошо определенными областями, и было предложено множество алгоритмов для выбора, преобразования признаков, извлечение функций, более подходящих для конкретной области исследований, не может быть дано общей формулировкой, не зависящей от конкретной области применения.

3 Реализация алгоритма классификации

Для разбиения исходного сигнала (рис.5а) на отдельные выборки (шаблоны) необходимо, прежде всего, применить пороговый фильтр, который позволит избавиться от дрейфа изолинии и помех, вызванных работой электрических приборов. Следующий шаг состоит в поиске R-пиков, для этого используется готовый разметчик, содержащийся в библиотеке biosruu. В результате получаем фильтрованный сигнал, с определенными на нем R-пиками (рис.5б). Далее, основываясь на медицинской литературе, были определены временные границы PQRSTU-интервала ($QRS_{нач.} \approx -0.2c$ и $QRS_{кон.} \approx 0.3c$). Помножив на частоту дискретизации F_s и сложив со значением положения R-пика получаем граничные выборки PQRSTU-интервала. На рис.6 показаны все получившиеся шаблоны.

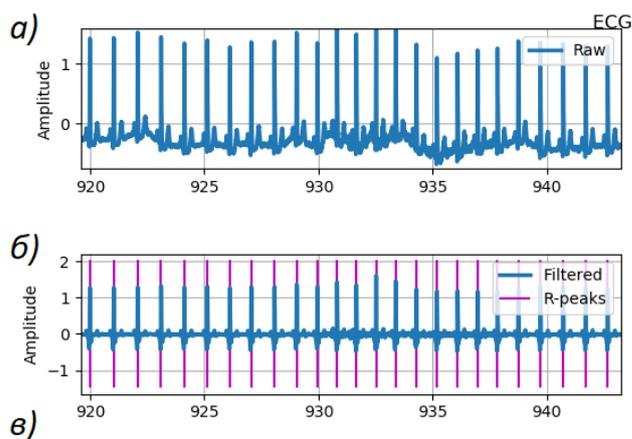


Рисунок 5 – Исходный сигнал, отфильтрованный

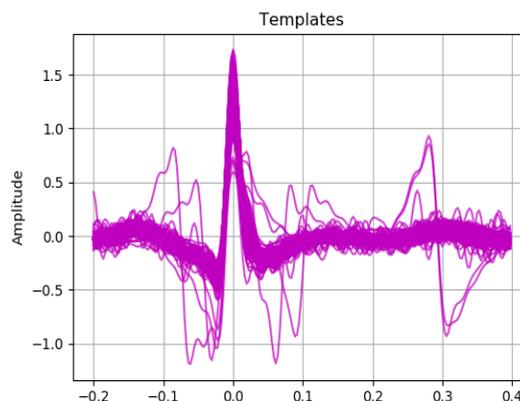


Рисунок 6 – Выборки ЭКГ

Анализ экспериментальных данных показал, что помимо группы схожих шаблонов есть и выборки, существенно отличающиеся от большинства. Их и будем считать аномалиями. Для выделения аномальных шаблонов, они кластеризуются по методу K-means.

```
SUM 0 - 184
SUM 1 - 335
SUM 2 - 342
SUM 3 - 300
SUM 4 - 246
SUM 5 - 155
SUM 6 - 2
SUM 7 - 1
SUM 8 - 300
SUM 9 - 1
sum- 1866
anomalnC1- 6 anomalnC1- 7 anomalnC1- 9 [ 44496 44712 77760 77976 77976 78192 194400 194616]
```

Рисунок 7 - Выявление аномальных кластеров

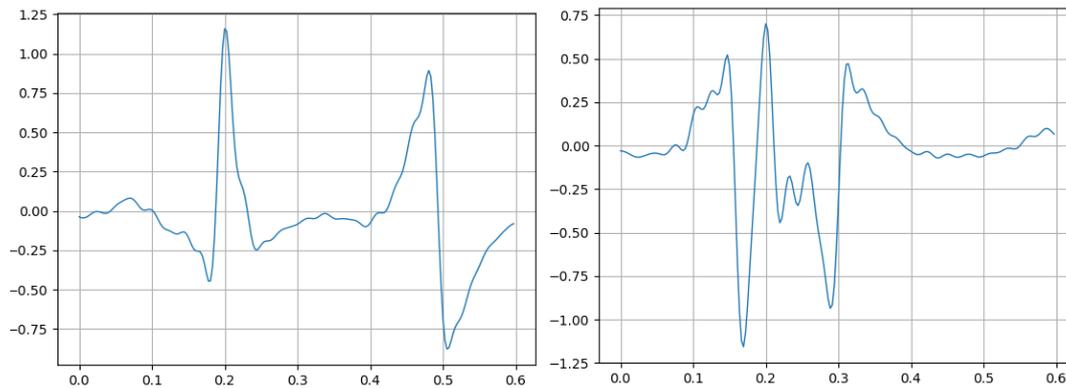


Рисунок 8 - Примеры выявленных аномальных образцов

В результате разбиения образцов в кластеры (в данном случае на 10) получается соответствие: номер шаблона - номер кластера. Посчитав сумму образцов в каждом из кластеров, назначаем кластеры с суммой меньше 0.001% от общего числа аномальными (Рис. 7). В результате работы приложения были выявлены 3 аномальных кластера 6,7,9 (Рис.8), содержащие в общей сложности 4 шаблона.

Заключение

В работе были рассмотрены аномалии, возникающие при записи ЭКГ, приведен подход к распознаванию образов, который взят за основу для алгоритма, выявляющего аномалии на записи. Разработанный в данной работе алгоритм анализа кардиосигнала при наличии ЭКС может быть использован в системах медицинского назначения, осуществляющих контроль за сердечным ритмом пациентов с имплантируемым кардиостимулятором. В результате использования алгоритма, процент аномалий на всей записи составил всего 0.215%, но их диагностирование и внесение исправлений поможет повысить точность поставки диагноза пациенту.

Литература

1. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. – 2007. – Vol. 28. – P. 1–39.
2. Федотов А.А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. М.: Радио и связь, 2013. 250 с.
3. Калакутский Л. И., Манелис Э.С. Аппаратура и методы клинического мониторинга. М.: Высшая школа, 2004. 156 с.
4. Strang G., Nguyen T. Wavelets and Filters Banks. Wellesley-Cambridge-Press, 1996. 490p.

ОБЗОР ПРОГРАММ САПР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ И РАЗРАБОТКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Грюмов С.А., Пигина Д.В., Сивкова А.С.
Научный руководитель: д.т.н., профессор, Семенов С.Г.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

REVIEW OF THE CAD PROGRAMS FOR MODELLING OF ELECTRIC CIRCUITS AND DEVELOPMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

Gryumov S.A., Pigina D.V., Sivkova A.S.
Supervisor: Dr., Prof., Sementsov S.G.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются принципы работ в программах САПР. Было подробно исследовано и анализировано несколько популярных программ для моделирования электрических схем и разработки печатных плат. Кратко описано их сравнение. В заключении представлены рекомендации по использованию наиболее удобных и практических систем автоматизированного проектирования.

Abstract

This article discusses the principles of work in CAD programs. Several popular programs for modeling of electric circuits and development of printed circuit boards have been in detail investigated and is analyzed. Their comparison is briefly presented. In conclusion, the recommendations on the use of the most convenient and practical systems of computer-aided design.

Введение

САПР программы занимают особое положение в числе других продуктов, поскольку в настоящее время любое проектирование и изготовление сложной, наукоемкой продукции не обходится без применения данной компьютерной поддержки. Как известно, основными условиями успеха в современном промышленном цикле изготовления каких-либо изделий, являются: сокращение срока выдачи продукции на рынок, снижение ее общей себестоимости и повышение стандартов качества. К числу наиболее рациональных технологий, соответствующим определенным критериям и относятся так называемые САПР программы.

Система автоматизированного проектирования (САПР) — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

Компоненты многофункциональных систем САПР традиционно группируются в три основных блока CAD, CAM, CAE. Модули блока CAD (Computer Aided Design) предназначены в основном для выполнения графических работ, модули CAM (Computer Aided Manufacturing) - для решения задач технологической подготовки производства, модули CAE (Computer Aided Engineering) - для инженерных расчетов, анализа и проверки проектных решений.

Выделим наиболее распространенные программы и дадим краткий обзор для них: Altium Designer, OrCAD, AutoCAD Electrical, Proteus, Multisim, Sprint-Layout, EAGLE, DipTrace.

1. Altium designer — это уникальное и давно уже популярное у российского пользователя программное средство, предоставляющее все необходимые инструменты для решения инженерных задач и создания электронных устройств.

В Altium Designer реализован удобный механизм передачи данных и изменений между собой. С помощью развитого механизма на любой стадии развития проекта — как в части схемы, так и печатной платы, легко связать существующие компоненты. Это позволяет вести проект одновременно нескольким разработчикам и не иметь неразрешимых проблем. Выделение объектов на схеме приводит к выделению и подсветке объектов на печатной плате. Это, и ряд других возможностей помогают сократить процесс разработки, не снижая ее качества. Для трассировки печатных плат существуют множества разных правил, в которых можно задавать: ширину дорожек, расстояние между ними, размер контактных площадок и переходных отверстий. Платы можно делать многослойные. Существует также автоматическая трассировка, но в ней есть свои минусы, дифференциальные пары получаются плохо. После того, как плата готова, её можно экспортировать в другие программы САПР для создания корпуса для устройства.

Altium Designer позволят создавать электрические схемы блоков. Различные варианты изображения условных графических изображений и их табличных представлений позволяет проектировать и изображать общие схемы в соответствии с требованиями ГОСТ. Присвоив графическим изображениям различные свойства, можно получить полноценный список компонентов для перечня элементов. В Интернете присутствует огромное количество книг и методических указаний на русском языке для работы в Altium Designer. Цена: от 200 000 руб.

2. OrCAD — пакет компьютерных программ, предназначенный для автоматизации проектирования электроники. Используется в основном для создания электронных версий печатных плат, а также для производства электронных схем и их моделирования. Название OrCAD произведено от слов Oregon и CAD. Последняя версия имеет возможность по созданию и поддержке базы данных доступных интегральных схем.

Программный пакет OrCAD имеет все необходимое для выполнения различных этапов процесса разработки: входное проектирование, функциональное моделирование, синтез, размещение, трассировка, моделирование задержек, генерация элемента. Физическое проектирование начинается с выбора библиотечного и технологического базиса.

Наиболее востребованными программами из пакета принято считать инструменты PSpice. Всего таковых три: PSpice Analog Digital, PSpice Advanced Analysis и PSpice SLPS Option. Первый используется для аналого-цифрового моделирования, второй - для параметрической оптимизации, а третий представляет собой интерфейс связи с пакетом Matlab. Для редактирования топологии печатных плат пользователи OrCAD могут использовать редактор PCB Designer, для интерактивной и автоматической трассировки - программу SPECCTRA for OrCAD, а для поиска перекрестных искажений и анализа целостности сигналов - инструмент Signal Explorer. Два последних инструмента из пакета OrCAD носят названия Capture и Capture CIS Option. Они представляют собой редактор принципиальных схем и менеджер библиотек Active Parts соответственно. Цена: от 115 000 руб.

3. AutoCAD Electrical — программное обеспечение, обладающее всеми функциональными возможностями аналогичного программного продукта AutoCAD и

включающее в себя полный набор функций САПР для проектирования электрических систем.

Программа поддерживает международные стандарты по оформлению чертежей, включает в себя обширнейшие библиотеки компонентов и условных обозначений, в частности свыше 2000 УГО элементов электрических схем стандартов ГОСТ, IEC, JIS, JIC, GB, AUS. Имеется опция самостоятельной разработки и добавления графических образов. Базы данных каталога содержат более 370 тысяч наименований изделий известных производителей, их компоновочные образы и каталожные данные.

AutoCAD Electrical содержит специальные инструменты для работы со схемами, имеющими жгутовые соединения, контакторы и реле, программируемые логические контроллеры. Все данные о клеммах проекта рассматриваются в особом «Редакторе клеммных колодок».

По данным отдельных чертежей или всего проекта в целом формируются различные отчеты, например, таблицы соединений, перечни компонентов, проводов и кабелей, таблицы сигналов ПЛК, справки о перекрестных ссылках и т.д. Кроме того, имеется возможность «тонкой» настройки пользовательских отчетов, а также их сохранения во внешних файлах форматов ASCII, Microsoft Access и Excel, XML, CSV, PDF. Для получения 3D-модели изделия предусмотрена связь с программой Autodesk Inventor.

Программное обеспечение AutoCAD Electrical имеет бесплатную 30-дневную демонстрационную версию. Также существует студенческая версия программы на 3 года бесплатного пользования. Установка программы проходит в автоматическом режиме.

Цена: от 20000 руб.(3 месяца) до 290000 руб. (3 года).

4 Proteus — пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем.

Программный пакет Proteus VSM позволяет собрать схему любого электронного устройства и смоделировать его работу, выявляя ошибки, допущенные на стадии проектирования и трассировки. Программа состоит из двух модулей. ISIS – редактор электронных схем с последующей имитацией их работы. ARES – редактор печатных плат, оснащенный автотрассировщиком Electra, встроенным редактором библиотек и автоматической системой размещения компонентов на плате. Proteus VSM включает в себя более 6000 электронных компонентов со всеми справочными данными. Система схемотехнического моделирования основывается на моделях электронных компонентов, которые приняты в PSpice. Особенность пакета Proteus VSM - возможность моделировать работу программируемых устройств (микропроцессоров, микроконтроллеров и др.).

Программа имеет инструменты USBCONN и COMPIM, которые позволяют подключить виртуальное устройство к портам USB и COM компьютера. При подсоединении к этим портам любого внешнего прибора виртуальная схема будет работать с ним, как если бы она существовала в реальности. Proteus VSM поддерживает следующие компиляторы: CodeVisionAVR и WinAVR (AVR), ICC (AVR, ARM7, Motorola), HiTECH (8051, PIC Microchip) и Keil (8051, ARM). Существует возможность экспорта моделей электронных компонентов из программы PSpice.

Существует бесплатная демонстрационная версия. Она обладает всеми функциями и возможностями платного пакета, но не позволяет сохранить или распечатать результат работы, создать свой собственный микроконтроллер. Цена: от 14 000 руб. до 337 000 руб.

5 Multisim — это уникальная возможность разработки схемы и её тестирования/эмуляции из одной среды разработки. У такого подхода есть множество преимуществ. Новичкам в Multisim не нужно беспокоиться о сложном синтаксисе SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis – программа эмуляции со встроенным

обработчиком схем) и его командах, а у продвинутых пользователей есть возможность настройки всех параметров SPICE.

Multisim выпускается в двух вариантах – Professional и Education. В Multisim входит Grapher – мощное средство просмотра и анализа данных эмуляции.

Представление в виде электронной таблицы позволяет одновременно изменять характеристики любого количества элементов: от схемы печатной платы до модели SPICE. Multisim позволят пользователям подключать к схеме виртуальные приборы. Концепция виртуальных инструментов – это простой и быстрый способ увидеть результат с помощью имитации реальных событий.

В Multisim есть несколько модификаций осциллографов, которыми можно управлять как настоящими: 2-х канальный, 4-х канальный, осциллограф смешанных сигналов Agilent 54622D, 4-х канальный цифровой осциллограф с записью Tektronix TDS 2024, спектральный анализатор (служит для измерения амплитуды гармоник с заданной частотой).

В состав Multisim входит четыре разных виртуальных прибора NI LabVIEW: микрофон (microphone), динамик (speaker), генератор сигналов (signal generator) и анализатор сигналов (signal analyzer).

Multisim оперирует с двумя категориями компонентов: реальными (real) и виртуальными (virtual). Необходимо ясно понимать различия между ними, чтобы в полной мере воспользоваться их преимуществами. У реальных компонентов, в отличие от виртуальных, есть определенное, неизменяемое значение и свое соответствие на печатной плате. Виртуальные компоненты могут не соответствовать реальным, например, как 4-х контактный элемент отображения 16-тиричных цифр, как показано ниже на рисунке. В Multisim есть и другая классификация компонентов: аналоговые, цифровые, смешанные, анимированные, интерактивные, цифровые с мультивыбором, электромеханические и радиочастотные. Цена: от 40000 руб. за 1 рабочее место.

6. Sprint-Layout — программа, благодаря которой спроектировать печатную плату стало проще, чем начертить её вручную. Она содержит все инструменты, необходимые для разводки печатных плат небольших размеров и плотности: встроенный трассировщик проводников, библиотеку наиболее часто используемых электронных элементов, функции двухслойной разработки платы, металлизации, нанесения SMD и паяльной маски, экспорта схемы в другие форматы.

Очень хорошая и широко распространенная радиоловительская программа для создания печатных плат. Русифицирована, не требует установки на компьютер (версия portable). К программе прилагается более 15000 макрокоманд.

Не каждый знает, что в программе Sprint Layout очень быстро из изображения в формате bmp можно довольно быстро развести собственную печатную плату.

Цена: лицензия от 4000 руб.

7. Eagle (Easily Applicable Graphical Layout Editor) — программный комплекс для черчения электрических схем и трассировки печатных плат электронных приборов.

Программный пакет Eagle состоит из трёх основных компонентов:

1. *Schematic Module*, предназначен для рисования электронных схем с помощью стандартных элементов.

2. *Layout Editor*, позволяющий разработать чертеж печатной платы собственными силами.

3. *AutoRoute*, предназначенный для трассировки печатной платы без участия пользователя.

Eagle имеет обширную библиотеку стандартных электронных компонентов с их кратким описанием, удобный редактор элементной базы и логические модули, проверяющие подключение и расположение компонентов на плате. Из преимуществ Eagle

над аналогичными программами специалисты отмечают возможность отката событий на любое количество шагов назад, отсутствие проблем при работе на старых компьютерах, мощный скриптовый язык, наличие драйверов для вывода результата на плоттер или принтер. Возможность экспорта результата работы в рендере POV-Ray позволяет формировать трехмерные модели плат. Существуют платные (professional, standard) и бесплатная (light) версии программы. В light-версии уменьшен размер полезной площади платы (10 на 8 см), доступны всего два проводящих слоя и один лист в редакторе схем на проект. Для большинства радиолюбительских работ этого более чем достаточно. Бесплатная версия позволяет скачивать, открывать и распечатывать чертежи, выходящие за рамки трех ограничений. Цена: от 800 руб. (1 месяц) до 60000 руб. (1 год).

8. DipTrace — простая и удобная программа, не требующая времени на освоение. Отлично подходит для небольших радиолюбительских поделок. Функции экспорта/импорта позволяет продолжить работу в других приложениях (P-CAD, PADS, OrCAD, Eagle). Поскольку разработкой DipTrace занимались отечественные программисты и радиоэлектронщики, то вполне ожидаемо, что сама программа, учебник, справка и прочие дополнительные материалы полностью на русском языке. DipTrace работает в операционных системах: Linux (Wine), Mac OS и Windows NT, 2000, XP, Vista, 7 (32- и 64- разрядных). Производитель не рекомендует запускать пакет в Windows 95, 98 и ME. В DipTrace все очень понятно и просто и, как уже отмечалось, очень удобна ручная разводка (автоматическая весьма слабовата).

DipTrace Full (версия без ограничений) - 10500 руб.

DipTrace Extended (2000 выводов, 6 слоев) - 7500 руб.

DipTrace Standard (1000 выводов, 4 слоя) - 5200 руб

DipTrace Lite (500 выводов, 2 слоя) - 1200 руб.

DipTrace Home (250 выводов, 2 слоя) - 600 руб.

Заключение

В статье были проанализированы программы САПР, их компоненты и возможности. В процессе анализа были получены знания об особенностях моделирования электрических схем и разработки печатных плат.

Литература

1. <http://www.altium-ru.com/> Altium Designer [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
2. <http://www.orcad.com/ru/resources/orcad-downloads> OrCAD [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
3. <https://www.autodesk.ru/products/autocad-electrical/overview> AutoCAD Electrical [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
4. <http://theproteus.ru/> Proteus [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
5. <http://www.ni.com/multisim/buy/> Multisim [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
6. <http://www.abacom-online.de/uk/html/sprint-layout.html> Sprint-Layout [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
7. <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview> EAGLE [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
8. <https://diptrace.com/rus/download-diptrace/> DipTrace [Электронный ресурс] Проверено: 20.02.2018
9. Сабунин А.Е. AltiumDesigner // Новые решения в проектировании электронных устройств, 2009
10. Грюмов С.А., Lee Lng-Quc, Hai Tran Altium Designer для начинающих разработчиков (от установки программы до разводки печатной платы) – Методические указания, 2018

АНАЛИЗ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА 3D-MID ИЗДЕЛИЙ

И. П. Новиков

Научный руководитель: Д. И. Арабов

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL PRODUCTION OF 3D-MID PRODUCTS

I. P. Novikov

Supervisor: D. I. Arabov

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена анализу методов и средств автоматизированного производства пространственных электронных изделий. Основное внимание уделено технологии 3DMID и выбору средств производства. Кратко рассмотрены технологии производства трехмерных коммутационных структур. Проведен анализ существующих кинематических схем для установки электронных компонентов (ЭК). Предложены варианты манипуляторов для автоматизации процессов производства электронных изделий. В результате исследования выявлены сильные и слабые стороны существующих решений и даны рекомендации по использованию многоосевых манипуляторов.

Abstract

This article is devoted to the analysis of methods and tools for the automated production of spatial electronic products. The main attention is paid to 3D MID technology and the choice of means of production. The technologies of production of three-dimensional switching structures are briefly considered. The analysis of existing kinematic schemes for the installation of electronic components is carried out. Variants of manipulators for automation of processes of electronic products manufacture are offered. As a result of the study, the strengths and weaknesses of existing solutions were identified and recommendations for the use of multi-axis manipulators were given.

Введение

Актуальность работы определяется тем, что в настоящее время тенденция развития электроники уходит от плоских монтажных оснований в сторону пространственной компоновки электронных изделий, которые обеспечивают рост функциональности и надежности при одновременном уменьшении массы и габаритов. Для этого разработаны несколько технологий:

- технология гибких ПП;
- технология гибко-жестких ПП;
- технология 3D-MID.

Трехмерная коммутационная структура - это попытка соединить трехмерные основания с системой соединения между элементами, с проводниками и с активными компонентами, которые можно располагать практически на любой поверхности. Эта идея, позволяющая использовать корпус и любой другой компонент изделия как носитель проводников, антенн, на самом деле уже не новая, она появилась в еще середине 1980-х годов в США. Уже в те годы все компании – производители электроники, в том числе бытовой, а также систем связи, оценили ее преимущества: она дает возможность сократить линейные размеры изделий и упростить их конструкцию. Быстрому ее продвижению в те годы препятствовало отсутствие единых стандартов, единых подходов к правилам проектирования и к методам изготовления продукции с использованием 3D-MID.

Соответственно требуется бюджетное решение для опытной производственной линии по созданию 3D-MID изделий и в рамках работы предложен новый способ

установки ЭК на трехмерную комутационную структуру, которая может применяться в помещениях различного размера и формы без потери эргономики.

1 Исследование предметной области создания 3D-MID изделий

1.1 Актуальность и области применения 3D-MID

Термин 3D-MID относится как к технологии создания трехмерных литых пластиковых структур токопроводящим рисунком (рисунок 1), так и к 3D основанию из литого высокотемпературного термопласта, на котором выполнены 3D проводники и контактные площадки. Поэтому его значение определяется контекстом.

3D-MID технологии			
Жидкостные		Сухие	
Струйно-аerosольное напыление	Двухшаговое литье	Газо-плазменная металлизация	
Струйное распыление	Лазерное структурирование		
3D-фотолитография		Осаждение из холодной плазмы	

Рисунок 1 – Классификация 3D-MID технологий

Существует два направления развития систем производства - серийное и мелкосерийное. В серийных решениях нет широты охвата и возможности быстрой смены объекта производства, мелкосерийные хотя и более гибкие, многономенклатурные, но как правило, слабо автоматизированные. Примерами таких технологий являются:

- LDS – метод прямого лазерного структурирования, который состоит из одностадийного литья основания под давлением, формирования макета структуры с помощью лазера, наращивание химической меди в местах активации и установка ЭК.

- 2S – метод двух стадийного литья, который состоит из литья активированным пластиком, литья неактивированным пластиком и последующее химическое меднение с установкой ЭК.

У трехмерных монтажных оснований, как правило, есть одна или несколько рабочих поверхностей различных направлений с проводящим рисунком, на который наносится монтажное средство и монтируют ЭК. Для качественной установки ЭК и нанесения монтажного средства требуется обеспечить перпендикулярность монтажной

плоскости к установочной/дозировочной головке. Таким образом, для выравнивания двух объектов при монтаже компонентов на MIDоснование в трех плоскостях необходимо шесть степеней свободы.

Потенциал 3D-MID технологии основан на свободе выбора геометрической формы в сочетании с выборочным структурированием и металлизацией. Трехмерное расположение позволяет устанавливать ЭК под определенным углом, вертикальный монтаж и точное позиционирование чипов, а также образование полостей. Таким образом, множественность расположения 3D-MID оснований позволяет интегрировать на контактную поверхность переключатели или датчики и пассивные электрические функции, например, емкость, сопротивление, индуктивность, а также антенны, электромагнитные экраны, теплоотводы [2].

Основные элементы производственной системы 3D-MID представлены на структурной схеме, рисунок 2.



Рисунок 2 – Структурная схема роботизированного комплекса

Одним из важнейших элементов схемы является установщик ЭК, потому что требуется универсальность, компактность и взаимодействие с другими элементами системы.

1.2 Кинематика установщика ЭК

Основным параметром, от которого в большей степени зависят остальные, является кинематика.

Кинематическая схема манипулятора (рисунок 3), обеспечивает максимальную гибкость в как в выборе задач, так и в вариантах ее выполнения, а также маневренность и компактность.

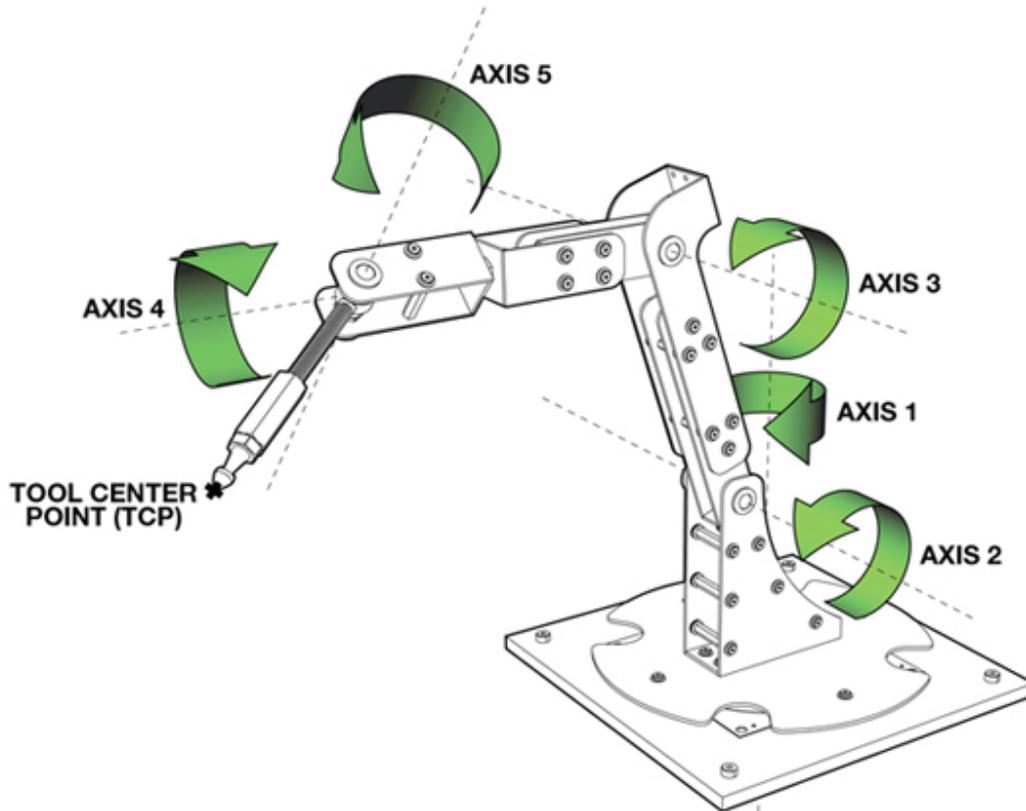


Рисунок 3 – Кинематическая схема манипулятора

Подводя итог, описанному выше, наиболее удовлетворяющая условиям задачи кинематическая схема – манипулятор, потому что обеспечивает компактность, универсальность, простоту хранения и подходит для лабораторных работ.

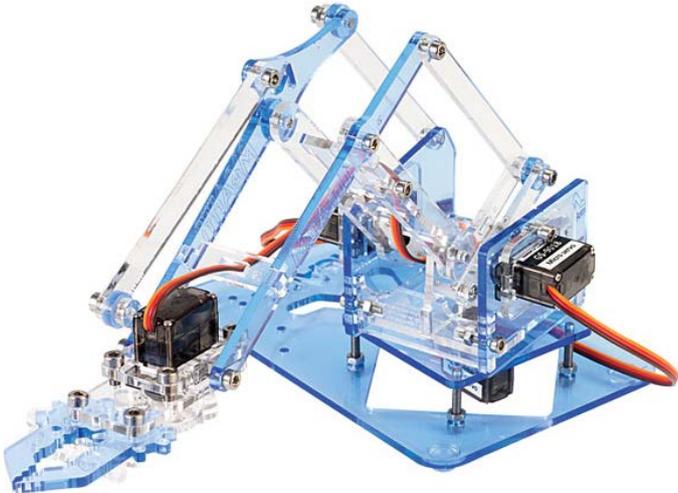
1.3 Анализ и классификация многоосевых манипуляторов

Для установки ЭК и нанесения паяльной пасты требуется универсальность и точность, таким требованиям отвечают многоосевые манипуляторы. Многоосевые манипуляторы можно условно разделить по трем критериям:

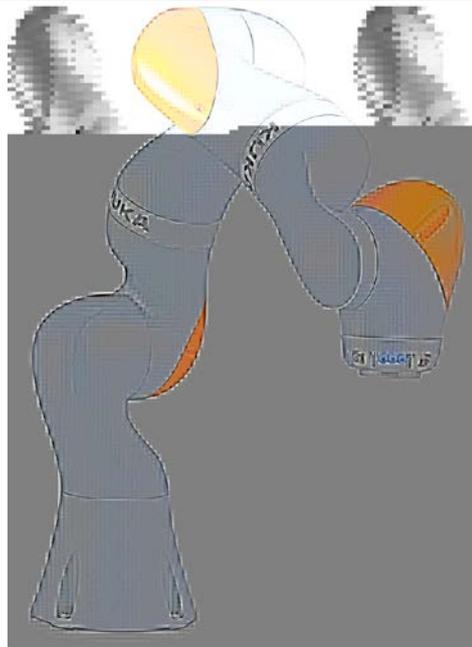
- объем разнотипных операций, которые способен выполнить манипулятор (универсальные и специализированные);
- вес, с которым может оперировать манипулятор;
- степень технического совершенства манипулятора (первое, второе и третье поколение) [7].

Из приведённой выше информации, составлен перечень манипуляторов, таблица 1.3 [9 - 12].

Таблица 1.3 – Перечень манипуляторов

Класс робота	Внешний вид
<p>Универсальный, до 1 кг, первое поколение</p>	
<p>MeArm - opensource проект многоосевого манипулятора. Открытый исходный код и файлы деталей делают данный тип манипуляторов более подходящими для обучения нежели боевых задач. Пусконаладочные мероприятия с opensource проектами могут занять очень большой срок в зависимости от задачи, так как очень многое придется делать самостоятельно. Цена готовых деталей и электроники составляет порядка 6000 рублей.</p>	
<p>Универсальный, до 5 кг, второе поколение</p>	
<p>UR5 - шести осевой коллобаративный робот-манипулятор, который возможно эксплуатировать на предприятиях любого размера. Роботу требуется устойчивое основание для работы и необходимо учесть, что роботу требуется пространство непосредственно над и под основанием. Рабочая зона UR5 достигает 850 мм и грузоподъемность в 5 кг. Вес робота составляет 15 кг, делая его легким в транспортировке. дополнение, робот имеет аналоговые и цифровые пользовательские порты, при помощи которых возможно подключение периферийных устройств. Обширная документация и виртуальная машина упрощают разработку и тестирование ПО для робота. Цена робота составляет порядка 6'000'000 рублей для модели UR5.</p>	

Универсальный,
до 7 кг, второе
поколение



KUKALB Riiwa - от английского «*intelligent industrial work assistant*» (интеллектуальный промышленный ассистент) - семи осевой коллаборативный робот-манипулятор. Обладает датчиком шарнирных моментов, что позволяет моментально распознать контакт и уменьшить усилие / скорость. Рабочая зона составляет 800 мм, вес робота – 23 кг. Робот имеет аналоговые и цифровые пользовательские порты, при помощи которых возможно подключение периферийных устройств. Цена робота составляет порядка 6'000'000 рублей для модели LBR IIWA7.

Таким образом, все роботы второго поколения удовлетворяют потребностям задачи. Окончательный выбор манипулятора остановился на UR5, потому что обладает большей рабочей зоной, меньшим весом и большей надежностью из-за шести осей (вместо семи у KUKA) за эквивалентную стоимость.

Заключение

В условиях ограниченных ресурсов цифрового инструментального производства (часто локализованного в одном помещении - мастерской) его основные компоненты (принтер для трехмерной печати, лазерные резак, прецизионные гравировано-фрезерные автоматы, системы обеспечения (вода, воздух и т.п.)) компонуются в рамках одного замкнутого пространства. Поэтому в качестве установщика ЭК для MID основания выбрана кинематическая схема манипулятора в силу компактности решения. После анализа и уточнения характеристик ряда манипуляторов был выбран манипулятор UR5 фирмы UniversalRobots. В дальнейшем, для установки ЭК манипулятору требуется вакуумный захват, оснастка, которая позволит интегрировать между собой манипулятор и вакуумный захват и СТЗ для коррекции фактического положения манипулятора и программного для совмещения системы координат робота и MID основания.

Литература

1. Камышная Э.Н., Курносенко А.Е., Иванов Ю.В. Системный анализ 3D-MID технологий. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 11. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1047.html>
2. ФранкеЙ. 3DMID. Материалы, технологии, свойства: пер. с англ. яз.; под ред. И.А. Волкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 336 с.: цв. ил.
3. Арабов Д.И., Власов А.И., Гриднев В.Н., Григорьев П.В. Концепция цифрового инструментального производства (FAB LAB) для прототипирования изделий электронной техники//Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3 (47). С. 23-34.
4. Власов А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Система 5S-технология создания эффективного рабочего места в концепции "Бережливого производства"// Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 1 (161). С. 65-68.
5. Власов А.И., Михненко А.Е. Информационно-управляющие системы для производителей электроники//Производство электроники. 2006. № 3. С. 15-21.
6. Арабов Д.И., Верясова А.Ю., Гриднев В.Н. Комплексное макетирование узлов вычислительной техники с использованием инфраструктуры цифрового производства (FAB-LAB) в условиях сквозного обеспечения качества//Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 1. С. 189-192.
7. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования специального технологического оснащения гибкого автоматизированного сборочного комплекса производства электронной аппаратуры- Москва. Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2002. 32 с.
8. Кузнецов М.М. Автоматизация производственных процессов. Под ред. Г.А. Шаумяна. Учебник для втузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа». 1978. – 431 с. сил.
9. Universal Robots. URL: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32402/UR5_User_Manual_en_Global-3.5.1.pdf
10. LBR iiwa | KUKA AG - KUKA Robotics. URL: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_lbr_iiwa_brochure_en.pdf
11. 3D-MID: области применения и технологии. Антон Нисан, ЗАО Предприятие Остек. URL: <https://ostec-group.ru/data/publication/item/51/3D-MID.pdf>
12. Mime Industries. Электронный ресурс. Адрес доступа URL: <https://github.com/mimeindustries>. Дата обращения 17.02.2018.

АВТОНОМНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Пицулин Д.Е.

Научный руководитель: Соловьев В.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

AUTONOMOUS PLATFORM FOR WAREHOUSE PREMISES

Pitsulin D.E.

Supervisor: Soloviev V.A.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В настоящее время рынок робототехники интенсивно развивается, появляются новые разработки и компании со своими разработками. Целью исследования является разработка автономной платформы для складских помещений, способного выполнять функции перевоза грузов, ориентирования в пространстве, построения маршрута, который будет работать автономно. В связи с поставленной задачей, было проведено анализ подобных платформ и автоматизированных складов. В статье представлены реализуемые системы.

Abstract

Currently, the robotics market is intensively developing, new developments and companies with their developments are emerging. The purpose of the study is to develop an autonomous platform for storage facilities that can perform the functions of transporting goods, orienting in space, constructing a route that will operate autonomously. In connection with the task, an analysis of such platforms and automated warehouses was conducted. The article presents the implemented systems.

Введение

С каждым годом товарооборот в России и мире растет, как следствие количество хранимых товаров увеличивается и затраты как логистические, так и людские растут вместе с ними. Один из способов как уменьшить эти затраты – роботизация складов. Зарубежные компании давно разрабатывают различные способы по автоматизации складов. В России данный процесс только начинает развиваться.

Переход к роботизированным складам — общемировая тенденция, вызванная необходимостью ускорения логистических процессов на огромных складах, где человеческие возможности, даже усиленные технически, похоже, достигли предела. Управление товарными запасами с помощью роботизированных систем исключает ошибки и аварии, не говоря уже об экономическом эффекте.

В статье проведено аналитическое исследование автоматизированных складов, а также представлено описание реализации автономной платформы.

1 Анализ существующих систем для автоматизации складов

Одна из наиболее известных систем по автоматизации складов принадлежит компании AmazonRobotics (рисунок 1). Товары в данной системе находятся на специальных подставках и перемещаются на специальных модулях (роботах). При запросе товара система выбирает ближайшего транспортного робота и направляет его данной подставке с помощью штрих-кодов нанесенных на полу склада. По достижении подставки, робот подводит под него захваты, поднимает, переводя в транспортное положение, после чего груз перемещается в заранее назначенное место для дальнейшей ручной обработки [2].



Рисунок 9 - Робот компании AmazonRobotics

Схожим принципом обладает российская разработка от компании Ronavi-Robotics (Рисунок 2) [3].



Рисунок 10 - Робот компании Ronavi-Robotics

Система компании RoboCV(рисунок 3) состоит из электрической паллетной тележки, оснащенной интеллектуальной системой автоматизации (RoboCV AUTOPILOT), и облачного сервиса, который оптимизирует распределение задач среди роботов в режиме реального времени. Имеется возможность внедрения клиент-серверного модуля для централизованного управления задачами роботов и мониторинга их состояния, а также интеграции с внешними IT-системами. Благодаря уникальным передовым технологиям RoboCV, роботы быстро и безопасно работают вместе с людьми. Решение позволяет осуществлять автоматизацию до 70% всех складских процессов, избегая сложного и дорогого внедрения и сопутствующих глобальных изменений в интралогистических процессах [4].



Рисунок 11 - РоботRoboCV

Еще одним видом автоматизированного склада является решения компании Hanel (рисунок 4) работает по принципу лифта или патерностера, обеспечивающего хранение широкой номенклатуры товаров, размещенных с высокой плотностью. Он позволяет

сэкономить до 75% складской площади, а также эффективно использовать высоту помещения, в котором установлен. Автоматический склад способствует повышению производительности труда – реализованный принцип «товар к человеку» практически полностью исключает необходимость передвижения работников по внутренней территории [5].



Рисунок 12 - Автоматизированный склад компании Hanel

Подробной информации о характеристиках или принципе работы в открытом доступе нет. Поскольку данное направление относительно молодое и приведенные здесь решения используются на складах по всему миру.

2 Автономная платформа

При проектировании автономной платформы необходимо предусмотреть следующие системы:

1. система активного ориентирования для избегания столкновений;
2. система построения маршрута и следование по нему;
3. система связи для обмена информацией;

Система перемещения груза на первоначальном этапе рассматриваться не будет. Для начала надо спроектировать систему управления платформой, после чего можно будет приступить к анализу и расчетам для платформы с грузом.

Система активного ориентирования

Система активного ориентирования состоит из нескольких датчиков расстояния, расположенных спереди и сзади робота. На рисунке 5 изображено схематичное расположение датчиков на роботе.

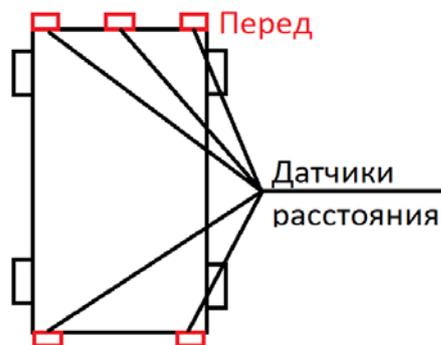


Рисунок 13 - Расположение датчиков расстояния

Данное расположение датчиков необходимо для избегания столкновений с другими роботами или препятствиями, которые могут оказаться на пути. Датчики, расположенные по краям платформы, проверяют на приближающиеся с боков препятствия.

Система построения маршрута

Так как предполагается, что на складе будет находиться несколько роботов необходим центральный компьютер, который будет управлять всеми платформами и отдавать указания, какому роботу куда ехать.

Очевидно, что необходимо прокладывать кратчайший маршрут до груза или точку куда его доставить. При этом необходимо учитывать, что какие-то пути будут недоступны из-за других платформ, или по каким-либо другим причинам. Всем перечисленным требованиям удовлетворяет алгоритм A*.

Поиск A* - алгоритм поиска по первому наилучшему совпадению в графе. Он старается пройти минимальное количество вершин. Пошагово просматривается все пути, которые могут вести от начальной вершины к конечной, пока не будет найден минимальный. Вначале оцениваются маршруты, которые ему "кажутся" ведущими к цели. Однако при выборе вершины алгоритм учитывает весь пройденный до этого путь. Алгоритм A* принимает во внимание накопленную стоимость пути.

Минимальное количество вершин достигается, благодаря тому, что алгоритм использует "оптимистичную" оценку пути. Имеется ввиду, что если алгоритм выбрал определенную вершину, то реальная стоимость результата будет не меньше оценочной стоимости. Временная сложность данного алгоритма зависит от эвристики [6].

Следовать по проложенному пути роботы будут по заранее подготовленным линиям на полу на складе с помощью 3-ех датчиков цвета, расположенных спереди платформы. Данное решение позволит обеспечить непрерывное и безошибочное следование платформы по линии.

Учитывая размеры складов для связи робота с центром необходимо использовать Wi-fi. Он обеспечивает большую дальность надежной беспроводной передачи информации. В будущем возможно использование технологии Bluetooth 5.0. На данный момент эта технология не имеет широкого распространения.

Заключение

В статье рассмотрены несколько вариантов реализации автоматизированных складов, как зарубежных, так и отечественные разработки. На основе существующих аналогов были выбраны системы, которые необходимы для автономной платформы на складских территориях и предложен вариант их реализации.

В настоящее время ведется дальнейшая работа над автономной платформой с целью ускорения работы алгоритма и создания макета, который продемонстрирует работу платформы.

Литература

1. Никифоров В.В. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок М.: ГроссМедиа, 2008, 192с.;
2. AmazonRobotics [Электронный ресурс] – URL: <https://www.amazonrobotics.com/> (Дата обращения 04.01.2018);
3. RonaviRobotics[Электронный ресурс] – URL: <http://ronavi-robotics.ru/> (Дата обращения 06.01.2018)
4. RoboCV X-MOTION NG [Электронный ресурс] – URL: <http://robocv.ru/> (Дата обращения 10.01.2018);
5. Автоматизированные склады Hanel [Электронный ресурс]– URL: <http://www.fabslog.ru/products/204/> (Дата обращения 09.01.2018)
6. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. Москва: Вильямс, 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ ВАКЦИНАЦИИ

Сахаров М. К.

Научные руководители: д.ф.-м.н., профессор, Карпенко А.П.

к.т.н., доцент, Котин В.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

INVESTIGATION OF AN EPIDEMIC MODEL WITH PULSE VACCINATION POLICY

Sakharov M. K.

Supervisor: Dr., Prof., Karpenko A.P.

Ass. Prof. Kotin V.V.

Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлены результаты исследования *SEIR* модели, используемой для анализа распространения эпидемии при наличии инкубационного периода. Проведено моделирование системы с постоянной численностью популяции при наличии процедур противоэпидемической защиты. Моделирование проводилось при различных параметрах импульсной вакцинации. Полученные результаты демонстрируют существенное влияние времени начала вакцинации и ее интенсивности на максимальное число инфицированных. Сформулирована задача двухкритериальной оптимизации с учетом экономических факторов – минимизация числа инфицированных при минимальных затратах на вакцинацию; построена аппроксимация множества Парето для данной задачи.

Abstract

This article presents investigation results of a *SEIR* model, used to analyze the epidemic's propagation and taking an incubation period into account. A system with the constant population was simulated considering various epidemiological protection means. Different parameters of pulse vaccination were used. Obtained results demonstrate a significant influence of vaccination's start time and intensity on the maximum number of infected individuals. A two-criteria optimization problem was formulated which considers economic factors – it's required to minimize both the number of infected individuals and vaccination volume; approximation of a Pareto set was calculated for this problem.

Введение

На сегодняшний день математические модели динамики заболеваемости часто используются для планирования защитных противоэпидемических процедур, к числу которых относятся вакцинация, карантин, лекарственная терапия, санитарно-гигиенические мероприятия [1]. Для успешного проведения указанных мероприятий в большинстве случаев требуется сформулировать и решить задачу оптимизации, к примеру, распределить оптимальным образом ограниченные ресурсы в процессе противоэпидемической защиты [2].

Постановка подобного рода задач может быть выполнена с использованием теории оптимального управления [3], что позволяет рассматривать защитные процедуры как некоторый вид управляющих воздействий. Целевая функция в этом случае формируется исходя из ограничений, наложенных на управляющие воздействия. Например, ограничение на максимальную скорость воздействия или доступность ресурсов. Отметим, что в настоящее время возрастающий интерес вызывает выбор экономических показателей в качестве критериев, формирующих целевую функцию [3].

Рассматриваем *SEIR* модель (рис. 1), используемую для моделирования заболевания с положительным инкубационным периодом, таких как корь или ветрянка

[1]. В отличие от простейшей *SIR* модели, модель *SEIR* позволяет учесть время развития болезни у индивида до появления симптомов.

В работе представлены результаты анализа динамики *SEIR* модели при различных параметрах импульсной вакцинации, включая ее отсутствие; сформулирована задача двухкритериальной оптимизации, когда необходимо минимизировать объем используемой вакцины и число инфицированных; построена аппроксимация множества Парето.

1 SEIR модель

Рассматриваем *SEIR*-модель с управлением (вакцинацией) [2] и постоянной численностью популяции N , которая описывается следующей системой ОДУ

$$\begin{cases} S'(t) = b \cdot N(t) - \beta \cdot S(t)I(t) - \mu \cdot S(t) - u(t)S(t) + \alpha_S - \theta_S, \\ E'(t) = \beta \cdot S(t)I(t) - \sigma \cdot E(t) - \mu \cdot E(t), \\ I'(t) = \sigma \cdot E(t) - \mu \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t) - \mu_1 \cdot I(t), \\ R'(t) = \gamma \cdot I(t) - \mu \cdot R(t) + u(t)S(t), \\ N(t) = S(t) + E(t) + I(t) + R(t). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $S(t)$ - численность группы индивидов, восприимчивых к инфекции; $E(t)$ - численность грппы бессимптомных индивидов; $I(t)$ - численность группы зараженных индивидов; $R(t)$ - численность группы приобретших иммунитет к данному заболеванию.



Рисунок 1 – Схема *SEIR* модели

В рамках работы используются следующие значения параметров модели: средняя скорость контактов инфицированных и восприимчивых индивидов $\beta = 0,0008$; средняя длительность инкубационного периода $\frac{1}{\sigma} = 2$; средняя длительность заболевания $\frac{1}{\gamma} = 10$; естественная смертность $\mu = 0,2$; рождаемость $b = 0,2$; смертность в результате заболевания $\mu_1 = 0$; входящий миграционный поток $\alpha_S = 0$; исходящий миграционный поток $\theta_S = 0$.

2 Исследование динамики системы

Выполнено исследование динамики системы *SEIR* с использованием нормализованных значений параметров. Процесс распространения инфекции моделировался в течение 40 условных единиц времени. Все вычислительные эксперименты выполнялись в среде *Wolfram Mathematica*.

На рисунке 2 представлены графики фазовых переменных при отсутствии вакцинации ($u(t) = 0$). В этом случае максимальное число инфицированных I_{max} составляет примерно половину от всей группы при ее фиксированном размере.

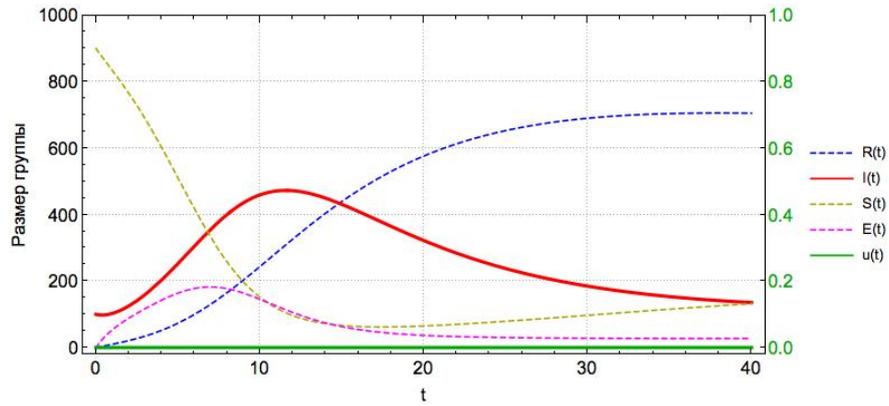


Рисунок 2 – Динамика *SEIR*-модели при уровне вакцинации $u(t) = 0$

Ожидаемо, повышение уровня вакцинации до постоянного уровня $u(t) = 0,2$ ведет к снижению максимального числа инфицированных I_{max} и ускорению переходных процессов (рис. 3).

В случае использования импульсной вакцинации (рис. 4) в виде трех одинаковых равномерно распределённых импульса с уровнем $u = 0,4$, наблюдается скачкообразное изменение численности группы индивидов R , приобретших иммунитет к заболеванию. При этом максимальное число инфицированных I_{max} лишь незначительно отличается от соответствующего показателя для случая отсутствия вакцинации.

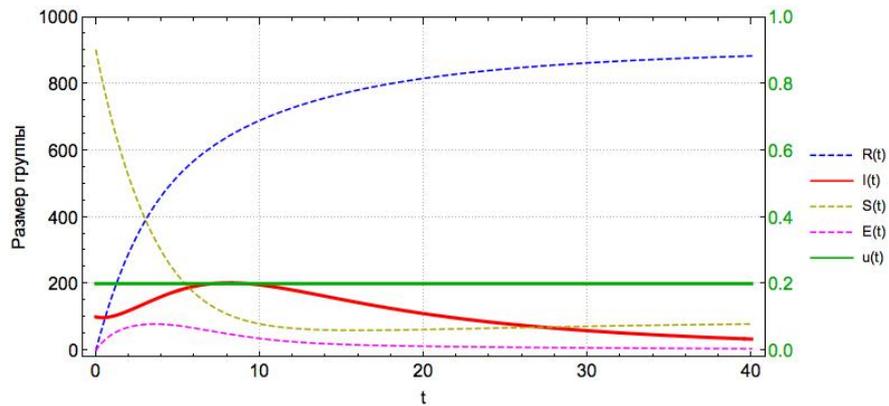


Рисунок 3 – Динамика *SEIR*-модели при уровне вакцинации $u(t) = 0,2$

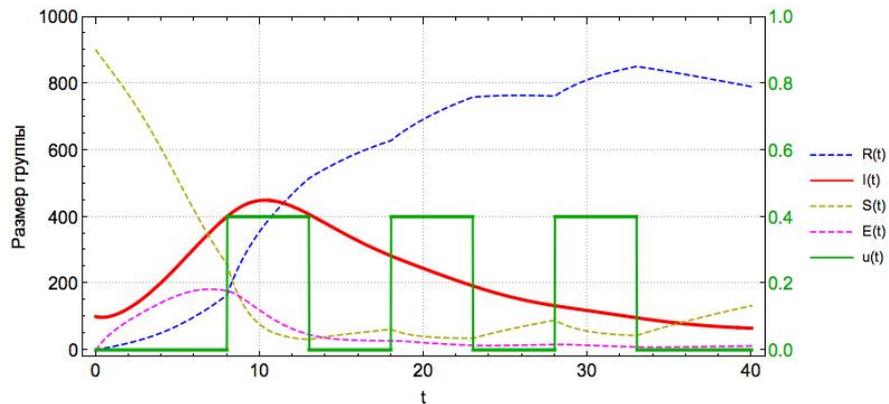


Рисунок 4 – Динамика *SEIR*-модели при равномерной импульсной вакцинации

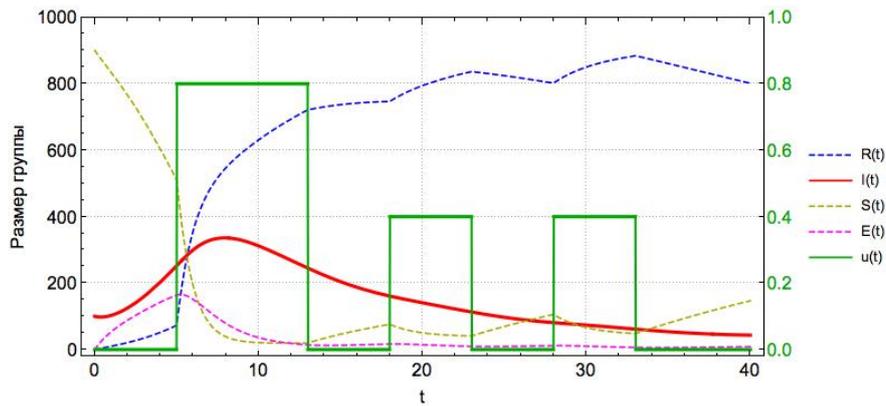


Рисунок 5 – Динамика SEIR-модели при неравномерной импульсной вакцинации

На рисунке 5 представлены результаты моделирования с использованием неравномерной импульсной вакцинации: первый импульс является более продолжительным и имеет уровень $u = 0,8$; два других импульса эквивалентны случаю с равномерной вакцинацией. Также наблюдается скачкообразное изменение численности группы индивидов R , приобретших иммунитет к заболеванию. Но, в то же время, максимальное число инфицированных I_{max} существенно меньше. Это связано не только с уровнем управления, но и с временем начала импульса - инфекция еще не успела распространиться.

3 Постановка задачи двухкритериальной оптимизации

Как отмечалось выше, в настоящее время актуально моделирование динамики распространения инфекций с учетом различных экономических факторов. В работе рассмотрена двухкритериальная задача оптимизации с целевой вектор-функцией

$$F(u) = (f_1(u), f_2(u)) \rightarrow \min_{u \in D_u} \quad (2)$$

Здесь интегральный критерий $f_1(u)$ формализует стремление минимизировать число инфицированных $I(t)$ за счет использования вакцины $u(t)$. Одновременно с этим интегральный критерий $f_2(u)$ призван минимизировать используемое количество вакцины. Решением задачи (2) является аппроксимация множества Парето, полученная одним из известных методов [3]. На рисунке 6 представлена Парето-аппроксимация для задачи (1), (2).

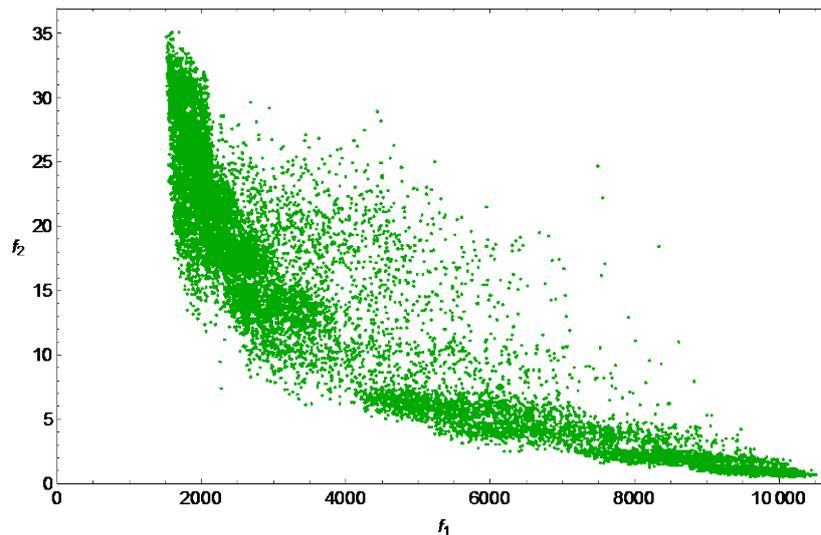


Рисунок 6 – Парето-аппроксимация для задачи двухкритериальной оптимизации

Парето-аппроксимация демонстрирует наличие двух конкурирующих критериев – для минимизации общего числа инфицированных необходимо большое количество вакцины.

Заключение

Результаты моделирования динамики *SEIR* модели при различных режимах импульсной вакцинации демонстрируют существенное влияние времени начала вакцинации и ее интенсивности на максимальное число инфицированных. В связи с этим в дальнейших исследованиях планируется постановка и решение задачи оптимального управления параметрами вакцинации для обеспечения минимального числа инфицированных индивидов.

Литература

1. Котин В.В., Литун Е.И., Литун С.И. Оптимизация последовательного режима вакцинации и оценка областей достижимости // Биомедицинская электроника. 2017. – № 9. – С.29 – 34.
2. Brauer F. Mathematical epidemiology: Past, present, and future. Infectious Disease Modelling. 2017. – vol. 2, pp.113-127. DOI:10.1016/j.idm.2017.02.001
3. Карпенко А .П. Методы оптимизации (базовый курс) // URL: <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=МО/base.cou> (дата обращения 01.02.2018).

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПО НАБОРУ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Емельяненко С. В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

STRUCTURE FROM MOTION ALGORITHM

Emelyanenko S. V.

Supervisor: Dr., Prof., Volosatova T.M.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье проведен анализ метода построения 3D модели объекта по набору изображений. Это один из наиболее точных способов воссоздания трехмерной модели объекта по фотографиям. В современном мире необходимость сканирования объекта в различных областях становится заметнее с каждым днем. В связи с этим возникает необходимость на прикладном уровне создания интерфейса между человеком и компьютером, позволяющего точно воссоздать трехмерную модель.

Abstract

In the modern world, the need to scan an object in various areas becomes more noticeable every day. In this regard, there is a need at the application level of creating an interface between a person and a computer, which allows to accurately recreate a three-dimensional model. In the article one of the most accurate ways of reconstructing a three-dimensional model of an object from photographs is considered.

Введение

Существует множество подходов к оценке структуры объекта и движения камеры (SfM), по нескольким изображениям. Большинство современных SfM алгоритмов создания трехмерных изображений являются последовательными: воссоздав по двум изображениям начальную точку реконструкции, они постепенно, методом оценки позиции и алгоритмом триангуляции, добавляют следующие кадры к реконструкции, таким образом восстанавливая полную картину. При такой реконструкции, нет гарантии, что 3D модель будет сходиться к глобальному оптимальному решению. Реализация часто опирается на заранее определенные настройки и использует жестко заданные пороги для оценки модели. В статье, в ходе построения трехмерной модели объекта будет рассмотрен алгоритм с адаптацией порогов оценки модели.

Алгоритм построения трехмерной модели:

Поиск похожих изображений методом сравнения перекрытий. В начале важно выявить похожие изображения, именно они станут основой для начала последующей реконструкции видов.

Наиболее распространенный метод сравнения — алгоритм ORB [1] (Oriented FAST and Rotated BRIEF). Это улучшенная версия и комбинация детектора ключевых точек FAST и бинарных дескрипторов BRIEF), использующий метод создания и сравнения дескрипторов. Дескрипторы — это, в общем виде, свертка характеристик и представление ключевых точек в формате доступном для проверки на совпадение. Проверка на совпадение — это сумма расстояний Хэмминга для каждого байта дескриптора. Таким образом алгоритм поиска перекрытий состоит из нескольких этапов:

- получаем ключевые точки и дескрипторы ORB, выбираем количество требуемых точек на изображении;
- полученные дескрипторы представляем в виде битовой матрицы 16x16;
- конвертируем матрицу в 64битное число;

– сравниваем и отфильтровываем хэши в заданном пределе.

Использование алгоритма SfM:

Первоначальная реконструкция начинается с двух видов, которые интерактивно расширяются путем добавления новых видов и трехмерных точек, с использованием оценки позиции камеры и триангуляции. Из-за инкрементности процесса, для минимизации накопленной ошибки (дрейфа) выполняются последовательные этапы нелинейного уточнения, такие как Bundle Adjustment и Levenberg-Marquardt. Оценка точности модели с шумовыми данными, содержащей выбросы, выполняется с помощью алгоритма *contrario* [2]. Алгоритм работы *contrario* основан на принципе Гельмгольца, когда: «наблюдаемое сильное отклонение от фоновой модели является релевантной информацией». Вычисленные пороговые значения оценки имеют высокую вероятность для того, чтобы правильно отбросить выбросы. В результате точность оценки модели имеет тенденцию роста, и уменьшает вероятность неправильной оценки. Более того, поскольку пороговые значения адаптируются к данным, они могут варьироваться в зависимости от различных изображений. Таким образом, пользователю не нужно устанавливать жесткие значения оценки.

Сопоставление найденных видов в единую модель:

- После получения трехмерных видов с похожих изображений, необходимо сопоставить их в единую модель, для этого используется:
 - список всех пар видов, которые имеют общие визуальные детали объекта из первого этапа;
 - структура видимости деталей из второго этапа;
 - характеристики камеры для вычисления ее поля зрения FOV (усеченного конуса видимости).
- Создание плотного облака точек и реконструкция сетки:

Поскольку конечной целью является получение сетки объекта, то важно иметь плотное облако точек, для этого используется случайный алгоритм соответствия для структурного редактирования изображений [3]. Имея плотное облако точек, можно создать сетку объекта, для этого возможно применить алгоритм использования информации о видимости в поверхностной реконструкции для сохранения слабо поддерживаемых поверхностей [4].

Уточнение сетки и текстурирование:

Грубую сетку полученную на предыдущим этапе с высокой точностью возможно восстановить при помощи алгоритма описанного в исследовании высокоточных многовидовых стереоскопических методов [5]. В конце, на полученную сетку необходимо нанести текстуру, так как сетка и позиции камеры содержат сдвиги, необходимо воспользоваться алгоритмом крупномасштабного текстурирования трехмерных реконструкций [6].

Заключение

В статье представлен алгоритм получения трехмерной модели объекта по фотографиям, основанный на современных исследованиях, который дает плотную текстурированную модель объекта, с минимальной погрешностью. За счет естественного расслоения алгоритма на этапы, в дальнейшем возможно легко модернизировать его, заменив его части на более точные.

Литература

1. Jian Cheng, Cong Leng, Jiaxiang Wu, Hainan Cui, Hanqing Lu. Fast and Accurate Image Matching with Cascade Hashing for 3D Reconstruction — Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014 IEEE Conference on Pages 1-8
2. Pierre Moulon, Pascal Monasse, Renaud Marle. Adaptive Structure from Motion with a contrario model estimation — ACCV 2012: Computer Vision – ACCV 2012 pp 257-270
3. Barnes C, Shechtman E, Finkelstein A, Goldman DB. PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing — ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH), August 2009
4. Michal J, Tomas P. Exploiting Visibility Information in Surface Reconstruction to Preserve Weakly Supported Surfaces — International Scholarly Research Notices Volume 2014 (2014), Article ID 798595
5. Vu HH, Labatut P, Pons JP, Keriven R. High accuracy and visibility-consistent dense multiview stereo — IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2012 May;34(5):889-901
6. Michael Waechter, Nils Moehrle, and Michael Goesele. Let There Be Color! Large-Scale Texturing of 3D Reconstructions — Computer Vision – ECCV 2014 pp 836-850.

СЕГМЕНТАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ LSTM

Спасёнов А. Ю.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

ELECTROCARDIOGRAM SEGMENTATION USING LSTM NEURAL NETWORKS

Spasenov A. Y.

Supervisor: Ph.D. assistant professor Volosatova T.M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию искусственных рекуррентных нейронных сетей для решения задачи сегментации электрокардиосигналов. Проведён анализ метода сегментации с использованием рекуррентных нейронных сетей для обнаружения информативных участков биологических сигналов в процессе съёма. Представлены результаты исследования эффективности использования рекуррентных нейронных сетей на основе LSTM.

Abstract

Research of artificial neural networks for solving the problem of electrocardiogram segmentation are examined in the article. An analysis of the approach using recurrent neural networks for the detection of informative areas of biological signals in the process of removal is carried out. The results of a study of the efficiency of the use of recurrent neural networks based on LSTM are presented.

Введение

Анализ формы и амплитуды комплекса QRS, волн P и T являются предметом исследований при любой диагностике и анализе биения сердца. Реализация надёжного алгоритма сегментации позволяет улучшить качество диагностики заболеваний.

Алгоритмы обнаружения информативных участков ЭКГ можно разделить на основные классы:

- волновое преобразование (алгоритм Пана-Томпкинса [1]);
- частотно-временные алгоритмы (на основе вейвлет-преобразования [2]);
- нейронные сети (свёрточные [3] и рекуррентные нейронные сети).

В зависимости от математического аппарата, который используется в основе алгоритма, обнаружение информативных участков может производиться после регистрации всего сигнала, или во время съёма. Одной из наиболее распространённых архитектур для анализа временных рядов в процессе регистрации сигнала является рекуррентная архитектура нейронной сети.

На текущий момент успешно используются сети Longshort-term memory, LSTM [4] для анализа сигналов, способные к обучению долгосрочным зависимостям. В сетях LSTM, в отличие от стандартных RNN, вместо одного слоя нейронной сети содержится четыре. На рисунке 1 представлена схема рекуррентной нейронной сети LSTM развёрнутая по обратной связи, где A – копия нейронной сети, x_{t-1}, x_t, x_{t+1} – входные сигналы, h_{t-1}, h_t, h_{t+1} – выходные сигналы для моментов времени $t-1, t, t+1$ соответственно.

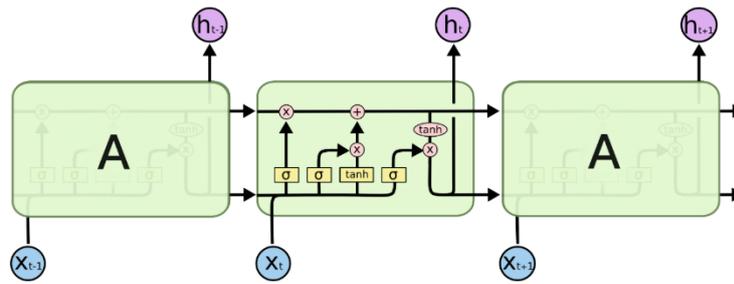


Рисунок 1 - Схема рекуррентной нейронной сети LSTM

Моделирование

В процессе сегментации электрокардисигналов необходимо каждому фрагменту записи поставить в соответствие вероятность его принадлежности к определённому классу (зубец P, Q, R, S, сегменты ST, TP). Для решения задачи классификации на выходе нейронной сети ставится softmax-функция активации, чтобы сумма значений выходного вектора вероятностей равнялась единице. При использовании сетей LSTM необходимо разбить исходный сигнал на фрагменты и последовательно подавать на вход нейронной сети для получения вероятностей. На рисунке 2 показана схема сети с фрагментами ЭКГ, где W^H – веса обратной связи нейронной сети, $W_{t-1}^X, W_t^X, W_{t+1}^X$ – веса входных сигналов, h_{t-1}, h_t, h_{t+1} – внутренние состояния сети для моментов времени $t-1, t, t+1$ соответственно.

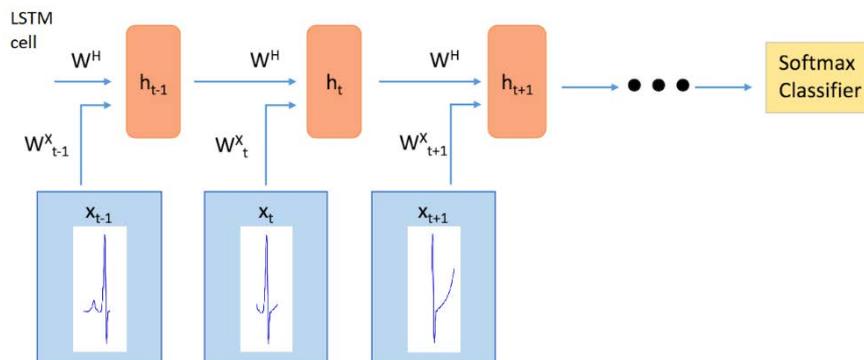


Рисунок 2 - Применение модели для фрагментов ЭКГ

Для обучения модели были использованы базы MIT-BIH Arrhythmia и European ST-T. Все электрокардиограммы были разбиты на фрагменты одинаковой длительности, и каждому фрагменту была поставлена метка класса в соответствии с файлами аннотаций. В итоговом наборе данных было сформировано для обучения 10000 объектов и для тестирования 3000 объектов. Для создания модели была выбрана библиотека pytorch и язык программирования python. С целью улучшения процесса сходимости и предотвращения переобучения нейронной сети был добавлен слой нормализации батчей, состоящих из 32 фрагментов ЭКГ, размером 16 отсчётов, и слой dropout, для исключения из сети нейронов с вероятностью $p = 0.8$. Для ускорения процесса обучения использовался GPU Geforce GTX 1070 с 8 Гб оперативной памяти. Время обучения составило 5 часов. На рисунке 3 показан результат применения модели для тестового набора данных.

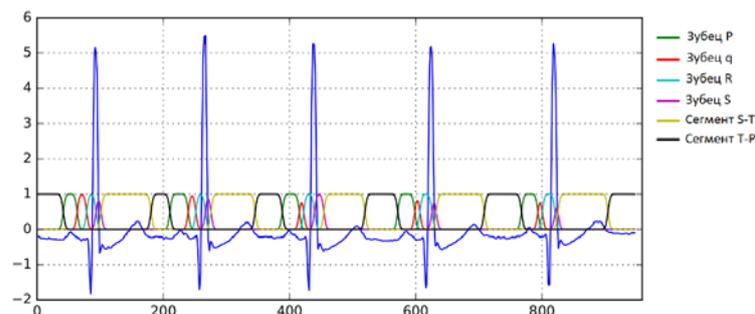


Рисунок 3 - Применение обученной модели для тестового сигнала

Анализ результатов

Полученная модель позволяет проводить анализ каждого отведения ЭКГ по отдельности. Точность определения зубца R составило более 99.6%, что является достаточно хорошим результатом для алгоритма обнаружения информативных участков в процессе съёма сигнала.

Заключение

По результатам проведённых исследований полученная модель показала хорошие результаты для решения задачи сегментации ЭКГ в процессе регистрации сигнала. Дальнейшим развитием данного подхода может служить одновременный анализ всех отведений ЭКГ и предсказание присутствия аномалий в сигнале для улучшения точности работы модели.

Литература

1. Pan J., Tompkins W. A real-time QRS detection algorithm. IEEE Transactions on biomedical engineering, 1985, no.3, pp.230-236.
2. Sayantan M., Shouvik B., Anamitra B., Nilanjan D. Wavelet Based QRS Complex Detection of ECG Signal. Journal of Engineering Research and Applications, 2012, no.2, pp.2361-2365.
3. Yande X., Zhitao L., Jianyi M. Automatic QRS complex detection using two-level convolutional neural network. BioMedical Engineering, 2018, 17 p.
4. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural Computation, 1997, no.9, pp.1735-1780.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ЭМУЛЯТОРА RISC ПРОЦЕССОРНОГО ЯДРА НА ПРИМЕРЕ V850ES

Валитов Р. Ш.

Научный руководитель: к.т.н., Гладких А.А

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ8, Москва, Россия

IMPLEMENTATION OF V850ES RISC PROCESSOR CORE SOFTWARE EMULATOR

Valitov R. S.

Supervisor: Ph.D., Gladkikh A.A

Bauman MSTU, IU8, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается создание эмулятора ядра встраиваемой вычислительной системы на базе микроконтроллера «Renesas V850ES». Представлена типовая архитектура встраиваемой системы. Подробно рассмотрена архитектура разрабатываемого эмулятора.

Annotation

The article deals with the creation of the emulator of the core of the embedded computing system based on the microcontroller "Renesas V850ES". A typical architecture of the embedded system is briefly presented. The architecture of the emulator under development is considered in detail.

Введение

Исследование внутреннего программного обеспечения (ВПО) встраиваемых систем (ВС) является трудоемким процессом, эффективное выполнение которого затрудняется отсутствием механизмов динамического анализа кода. Варианты реализации ВС ничем не ограничены, в частности из-за различных архитектур блоков управления памятью и обилия разнообразной периферии (контроллеры прерываний, аппаратная поддержка внешних интерфейсов, таймеры, порты ввода, вывода и т.д.). Использование стандартных методов отладки для решения данной проблемы зачастую крайне не эффективны из-за отсутствия в них гибкости и полного контроля над процессом выполнения инструкций и потоками данных.

Поэтому возникла необходимость в разработке эмулятора, способного воспроизводить поведение любого устройства. Для разработки был выбран язык программирования Kotlin, который превосходит классические компилируемые языки в скорости и удобстве разработки [1]. В эмуляторе должны быть предусмотрены следующие возможности: возможность получения произвольной информации о состоянии устройства в произвольный момент времени, возможность изменять данные в памяти в процессе работы устройства для эффективного исследования ВПО, способность эмулятора работать совместно с дизассемблерами (например, IDA Pro) по протоколу GDB и удобная архитектура для введения единого механизма реализации всевозможных платформ. Присутствующие в данный момент решения в виде готовых эмуляторов, например Qemu или Unicorn [2] не эффективны для исследования ВС, так как лишены необходимого функционала.

Несмотря на многообразие реализаций встраиваемых систем, можно выделить их типовую структурную схему. Пример структурной схемы ВС приведен на рисунке 1.

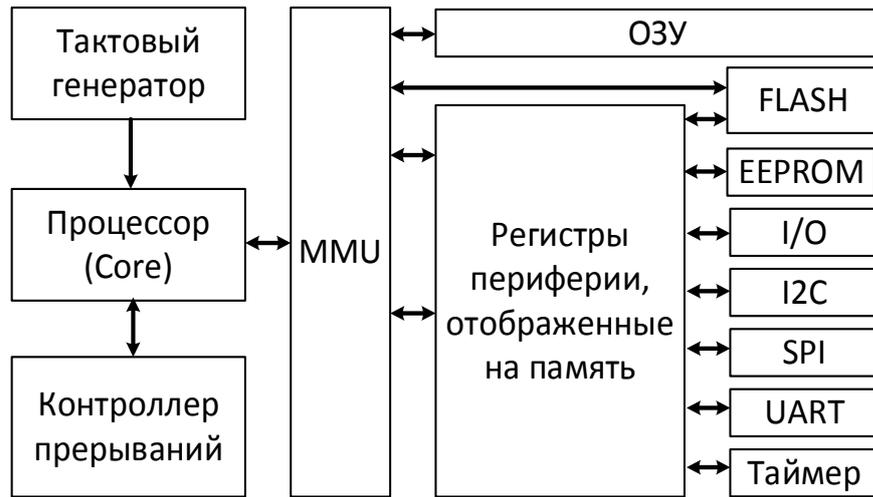


Рисунок 14 - Типовая структурная схема встраиваемых систем; ОЗУ - оперативное запоминающее устройство; Flash - Флеш-память; EEPROM - электрически стираемое перепрограммируемое ПЗУ; I/O – порты ввода и вывода; I2C - Последовательная асимметричная шина; SPI – Последовательный периферийный интерфейс; UART - Универсальный асинхронный приёмопередатчик

В любой встраиваемой системе присутствует вычислительное ядро, выполняющее машинные инструкции и управляющее всеми периферийными устройствами. Данное вычислительное ядро обычно является одним из наиболее сложных элементов системы, а его реализация требует наибольшего количества времени и усилий во время разработки эмулятора. Рассмотрим разработку эмулятора вычислительного ядра на примере 32-разрядных микроконтроллеров с RISC-ядром «Renesas V850ES» [3].

1 Описание вычислительного ядра встраиваемых вычислительных систем

Выполнение любой команды процессором состоит из пяти этапов:

1. загрузка инструкции из памяти;
2. декодирование инструкции;
3. загрузка операндов;
4. выполнение инструкции;
5. запись результата.

В реальных процессорах зачастую вычислительный конвейер имеет больше этапов, но они необходимы для увеличения быстродействия и сокращения времени простоя вычислительных ядер. Однако представленные этапы останутся неизменными.

Рассмотрим пример архитектуры вычислительного ядра процессора, способного выполнять инструкции. Типовой пример структурной схемы вычислительного ядра процессора приведен на рисунке 2.

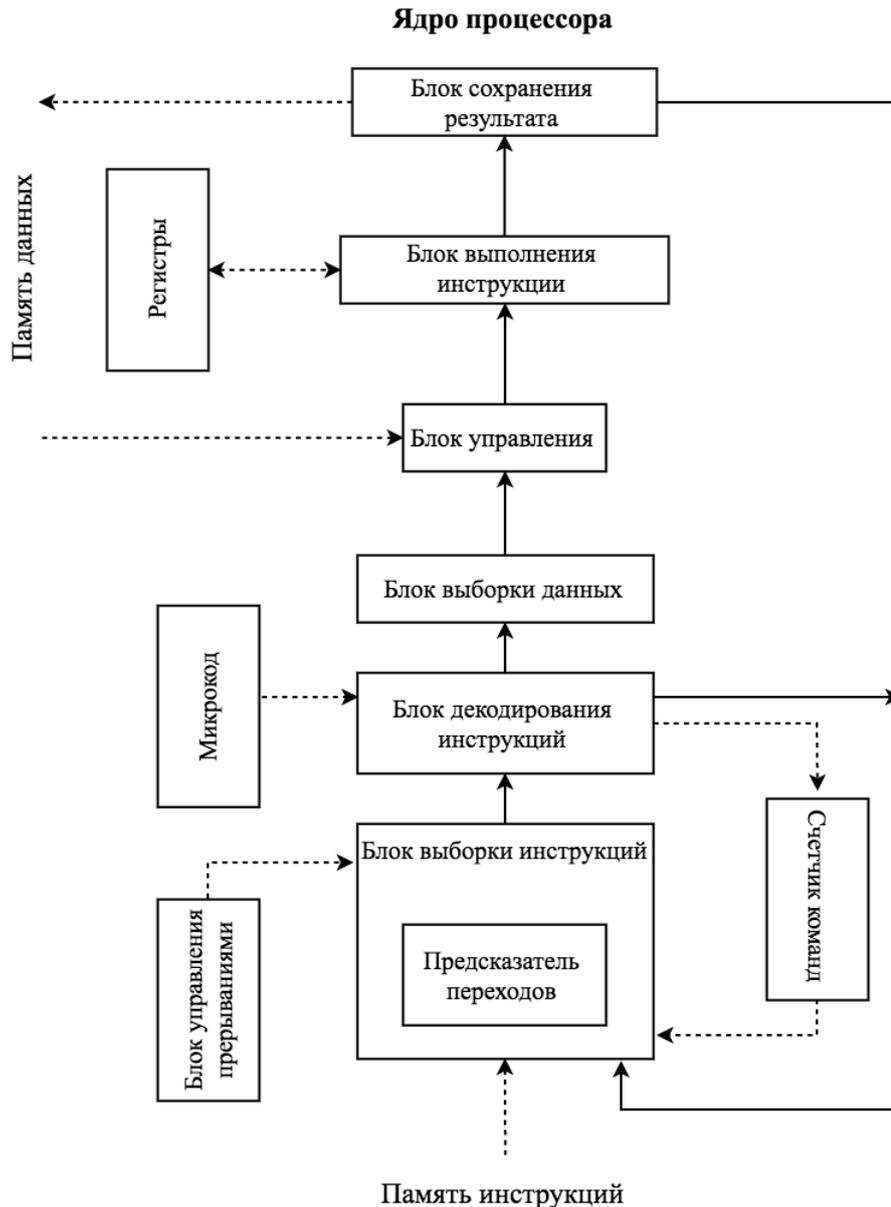


Рисунок 15 - Структурная схема ядра центрального процессорного устройства, пунктирной линией обозначены потоки данных, прямой – передача управления

Рассмотрим отдельно каждый блок, представленный на рисунке 2. Блок выборки осуществляет первый этап выполнения инструкции – загрузку инструкции из памяти. Данный блок производит выборку на основании данных из счетчика команд и блока управления прерываниями. Модуль предсказания переходов – одна из систем оптимизации, позволяющая уменьшить время простоя конвейера, встречающаяся во многих современных процессорах. Блок декодирования инструкций, блок выборки данных и блок управления последовательно подготавливают данные к для выполнения инструкции. Так как мы рассматриваем пример 32-разрядного микроконтроллера с RISC-ядром, мы заранее знаем размер инструкции, однако изменяем значение в счетчике команд после исполнения инструкции. Блок выполнения инструкций оперирует уже подготовленными данными, пришедшими из предыдущих блоков и отдает управление блоку сохранения результата.

На основе рассмотренной типовой архитектуры вычислительного ядра процессора может быть разработана программная архитектура процессора эмулятора. Она должна повторять структуру ЦПУ воспроизводя основные элементы:

- блок выборки инструкции
- блок декодирования инструкции
- блок выборки данных
- блок выполнения инструкции
- блок сохранения результата и т.д.

2 Описание структуры эмулятора ядра системы

В разработанном эмуляторе встраиваемых систем центральным является объект, реализующий интерфейс IDevice. Данный интерфейс содержит в себе ряд указателей на объекты, являющиеся реализацией различных компонентов ВС, таких как память(SystemMemory), блок управления памятью(MMU), системный таймер(CommonSystemTimer), центральное вычислительное устройство(CPU) и т.д. Подробнее ознакомиться с внутренним устройством эмулятора можно на рисунке 3, на котором представлена диаграмма классов.

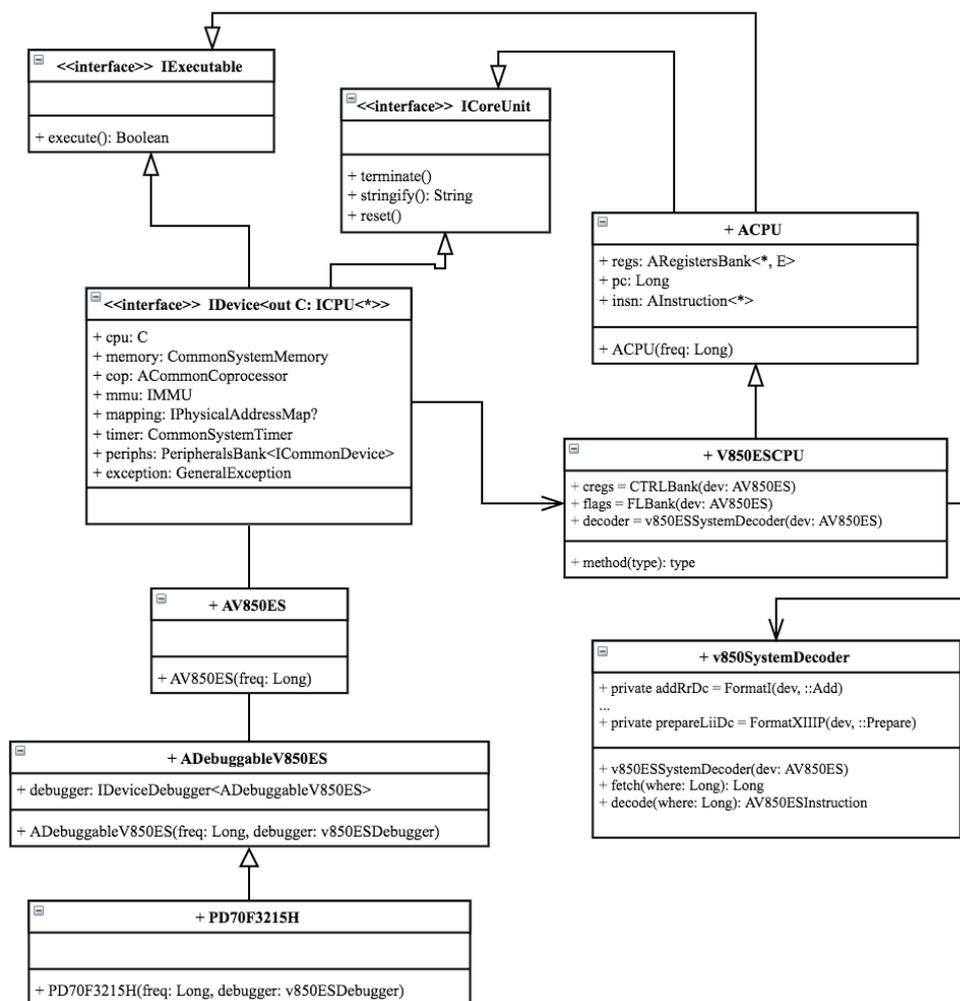


Рисунок 16 – Диаграмма классов разработанного эмулятора

Подробнее остановимся на устройстве вычислительного ядра. Класс V850ESCPU наследован от абстрактного класса ACPU, содержащего в себе указатели на банк регистров, счетчик команд и текущую инструкцию. Данный класс реализует интерфейсы

IExecutable и ICoreUnit. В свою очередь, сам класс V850ESCPU содержит указатели на декодер инструкций (v850SystemDecoder) и банки флагов и контрольных регистров.

Класс v850SystemDecoder содержит в себе указатели на объекты класса InstructionTable, которые позволяют в удобном, читаемом формате таблицы представить дерево декодирования инструкций. Это решение сделало процесс написания декодера легче и понятнее для программиста, ведь все данные, представленные в данном формате, легко соотносятся с официальной документацией.

3 Описание принципа работы эмулятора вычислительного ядра

Инструкция начинает исполнение во время вызова метода execute() класса v850CPU.

В разработанном эмуляторе вычислительного ядра реализован уже описанный ранее алгоритм выполнения инструкций процессора: для выполнения текущей инструкции необходимо вызвать метод execute() класса CPU, который последовательно выполняет операцию выборки инструкции из памяти, декодирования инструкции, выполнение инструкции и операцию инкремента значения регистра PC. Рассмотрим каждый из пунктов подробнее:

– Выборка инструкции происходит в методе fetch() класса v850SystemDecoder. В данном методе происходит запрос к области памяти, реализованной в эмуляторе в виде класса SystemMemory. Запрос происходит по адресу, значение которого появилось в регистре PC в ходе предыдущей инструкции.

– Декодирование инструкции выполнено в виде таблиц, элементы которого реализуют интерфейс ITableEntry. Ячейки таблицы могут содержать указатель на следующую таблицу декодирования, либо содержать инструкцию. Основными достоинствами данного метода являются высокая скорость декодирования и представление данных в формате, наиболее похожем с документацией.

– Инструкции исполняются в методе execute() объекта класса инструкции, созданного во время процесса декодирования. На данном этапе происходят изменения значений регистров, ячеек оперативной памяти, флагов и т.д.

– Изменение значения регистра PC на длину декодированной инструкции. В RISC архитектуредлина инструкции определена и равна 32 битам (4 байтам). Однако, не смотря на то, что мы владеем информацией о длине любой инструкции, в эмуляторе изменение значения регистра PC происходит после декодирования и исполнения инструкции. Такая структура обусловлена тем, что некоторые инструкции во время исполнения могут также изменять значение регистра PC и логически верно из функции execute() класса инструкции видеть в регистре PC адрес, вычисленный после исполнения предыдущей инструкции.

4 Оптимизация декодирования инструкций

В процессе разработки эмулятора возникла необходимость в оптимизации отдельных его компонентов. Одним из векторов оптимизации был выбран декодер, а конкретнее операция декодирования. Напомню, что дерево декодирования оформлено в виде таблицы из соображений удобства разработки и читаемости кода. Для тестирования декодера были реализованы нагрузочные тесты, позволяющие проверить скорость декодирования инструкций на входных данных различных порядков (от 10 до 10000 инструкций). В начальной реализации обход таблиц в поиске инструкции было реализовано в виде метода lookup() класса InstructionTable. В зависимости от того, к какому классу принадлежит найденный элемент таблицы происходят следующие события:

– если элемент таблицы – объект класса InstructionTable, то вызывается функция lookup() у данного объекта;

– если элемент таблицы является инструкцией, то управление передается функции `execute()` данной инструкции.

Данная структура была переписана с использованием хвостовой рекурсии и модификатора `tailrec` и с использованием обычного цикла. Каждая из реализаций прошла тестирование с результатами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица зависимости времени выполнения от длины входных данных различных реализаций метода `lookup()`

Порядок длины тестовых данных	1	10	100	1000	10000
Рекурсия, мс	31	71	291	419	1475
Хвостовая рекурсия, мс	27	67	258	405	1439
Цикл, мс	25	56	221	399	1405

Как видно из результатов тестирования, в данных оптимизациях нет необходимости. В данном случае JIT-компилятор произвел оптимизацию за нас, именно поэтому рекурсивный вызов функции работает также быстро как и функция, реализованная через цикл [4].

Заключение

В результате данной работы был разработан эмулятор вычислительного RISC-ядра микропроцессора «V850ES». Данный эмулятор прошел процесс тестирования и стабильно функционирует. В нем реализована необходимая функциональность, такая как возможность получения произвольной информации о состоянии устройства в произвольный момент времени, возможность изменять данные в памяти в процессе работы устройства для эффективного исследования ВПО, способность эмулятора работать совместно с дизассемблерами (например IDA Pro) по протоколу GDB и удобная архитектура для введения единого механизма реализации всевозможных платформ. Также с помощью данного эмулятора было протестировано ВПО реальной системы и в ней были найдены критические ошибки в реализации протокола взаимодействия по внешнему интерфейсу.

Литература

1. Kotlin // kotlinlang.org : Официальный сайт языка. URL: <https://kotlinlang.org/> (дата обращения: 6.01.2018).
2. Unicorn. The ultimate CPU emulator // [unicorn-engine.org](http://www.unicorn-engine.org/): Официальный сайт проекта. URL: <http://www.unicorn-engine.org/> (дата обращения: 24.01.2018).
3. V850 Family // [renesas.com](https://www.renesas.com/en-us/products/microcontrollers-microprocessors/v850.html): Официальный сайт. URL: <https://www.renesas.com/en-us/products/microcontrollers-microprocessors/v850.html> (дата обращения: 14.01.2018).
4. JAVA on Steroids // [blog.takipi.com](https://blog.takipi.com/java-on-steroids-5-super-useful-jit-optimization-techniques/): Любительский блог для программистов. URL: <https://blog.takipi.com/java-on-steroids-5-super-useful-jit-optimization-techniques/> (дата обращения: 29.01.2018).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОДУЛЬНОЙ АВИАНИКИ

Воронина П.А., Козарь А.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра РК, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF SOFTWARE SIMULATION SYSTEMS FOR MODULAR AVIONICS

Voronina P.A., Kozar A.A.

Supervisor: Ph.D., Docent, Volosatova T.M.

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы моделирования в области модульной авионики. Подробно представлены модели продольного движения летательного аппарата и полета летательного аппарата по заданной траектории. Проведен анализ выходных данных моделей. Предложены варианты практического применения разработок.

Abstract

The article review the issue of modeling in the field of modular avionics. The models of longitudinal motion of the aircraft and flight of the aircraft on a given trajectory are presented in detail. Analyses of models output data are carried out. Variants of practical application of developments are offered.

Введение

В условиях прогресса компьютерной техники и средств моделирования имеется возможность проводить моделирование процесса полета с использованием различных технических средств. Это значительно упрощает процесс исследования и позволяет анализировать состояние без использования дорогостоящей техники.

Постановка задачи

По итогам исследования существующих данных по моделированию динамики полета летательных аппаратов [1,2], в числе основных задач разработки были выделены два основных направления: моделирование продольного движения летательного аппарата и моделирование полета летательного аппарата по заданной траектории.

Математическая модель продольного движения

При решении задачи построения модели продольного движения была реализована следующая математическая модель, основанная на линеаризированной системе дифференциальных уравнений продольного движения в аналитической форме [3].

$$\begin{cases} P \cos \alpha - X - G \sin \theta = m dV / dt \\ P \sin \alpha + Y - G \cos \theta = mV d\theta / dt \\ M_z = J_z d^2\theta / dt^2 \\ \theta = \vartheta - \alpha \end{cases} \quad (1)$$

При этом: V – скорость полета, Y – подъемная сила, X – сила сопротивления, G – сила веса, ϑ – угол тангажа, θ – угол наклона траектории, α – угол атаки, m – масса ЛА, P – сила тяги, M_z – суммарный момент аэродинамических сил, J_z – момент инерции ЛА, H и L – высота и дальность полета.

Математическая модель движения по заданной траектории

Для решения задачи моделирования полета ЛА по заданной траектории была использована линеаризированная математическая модель в виде пространства состояний как:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (2)$$

где x это вектор состояний, а u - входной сигнал управления.

Параметры матриц A и B приведены в [2]. Для решения задачи оптимального управления необходимо нахождение такого вектора управления, при котором поддерживается минимальное отклонение от заданной траектории при минимально возможном усилии [4]. Таким образом, главной задачей становится минимизация матрицы ошибки.

Выбор среды моделирования

Схема контура управления была выполнена с использованием программных средств MATLAB и Simulink. Выбор данных систем обуславливается широким набором предоставляемых функций, высокой точностью, а также простотой и удобством интерфейса.

Результаты моделирования продольного движения

Полная схема модели представлена на рисунке 1.

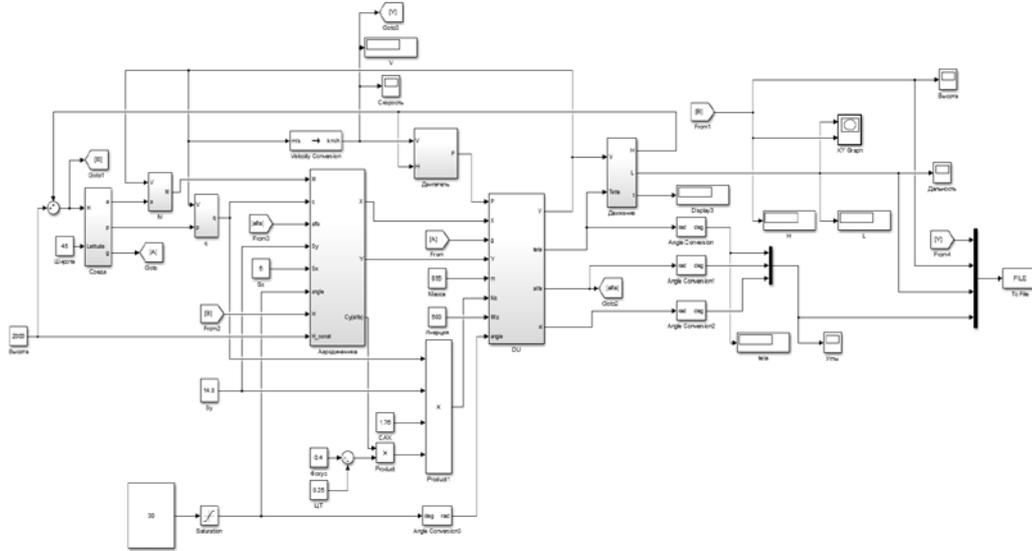


Рисунок 1 – Общий вид модели

Представленную систему можно разбить на подсистемы различного назначения:

- подсистема дифференциальных уравнений, описывающих продольное движение;
- подсистема уравнений аэродинамики;
- подсистема вычисления высоты и дальности полета;
- подсистема внешней среды (атмосферы);
- остальные подсистемы.

Результаты моделирования движения по заданной траектории

Контур управления ЛА, представленный на рисунке 2, состоит из семи основных блоков, каждый из которых представляет собой отдельную подсистему и выполняет определенные функции.

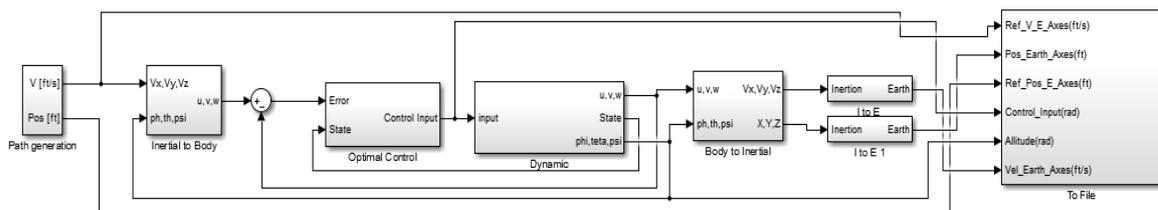


Рисунок 2 - Модель контура управления ЛА

Анализ выходных данных модели продольного движения

С помощью изменений величин, характеризующих полет в рамках модели состояние полета возвращается к продольному горизонтальному. В качестве возмущений принимается импульсное отклонение угла траектории в начальный момент времени.

Для иллюстрации возникающих переходных процессов будут представлены графики следующих величин в зависимости от модельного времени: скорость полета, углы атаки, тангажа, наклона траектории.

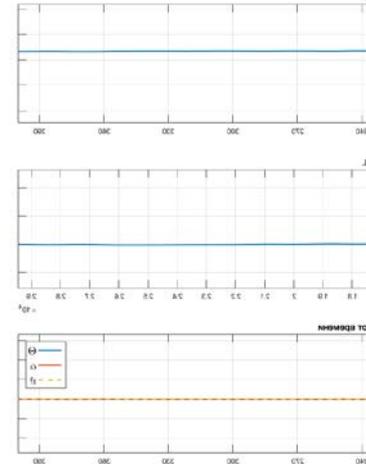


Рисунок 3 – Переходные процессы при возмущении в 30 градусов

Вместе со сменой угла тангажа самолета меняются и степени влияния сил, действующих на самолет, что приводит к дестабилизации полета [4]. Поэтому для каждого нового возмущения наблюдалось видоизменение переходных процессов.

На графиках переходных процессов скоростей при убывании угла возмущения в положительном диапазоне наблюдается уменьшение амплитуд компенсирующих скоростей. Данное явление объясняется тем, что при снижении угла, задаваемого в начальный момент времени, снижаются и дестабилизирующие факторы, нуждающиеся в компенсации [4]. Изменение скорости и угла тангажа влекут за собой соответствующее изменение высоты. Наблюдаемое на конечных моментах времени значение высоты совпадает с заданным и более не изменяется, что сигнализирует о том, что полет после переходных процессов является установившимся и горизонтальным.

Анализ выходных данных модели движения по траектории

В качестве требуемой траектории была выбрана некая синусоидальная кривая, расположенная горизонтально. На рисунках 4-5 синим цветом представлены идеальные значения параметров летательного аппарата и красным цветом - полученные результаты.

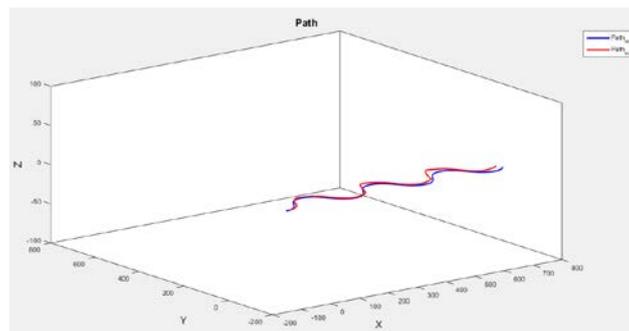


Рисунок 4 - Идеальная и полученная траектории движения ЛА в пространстве

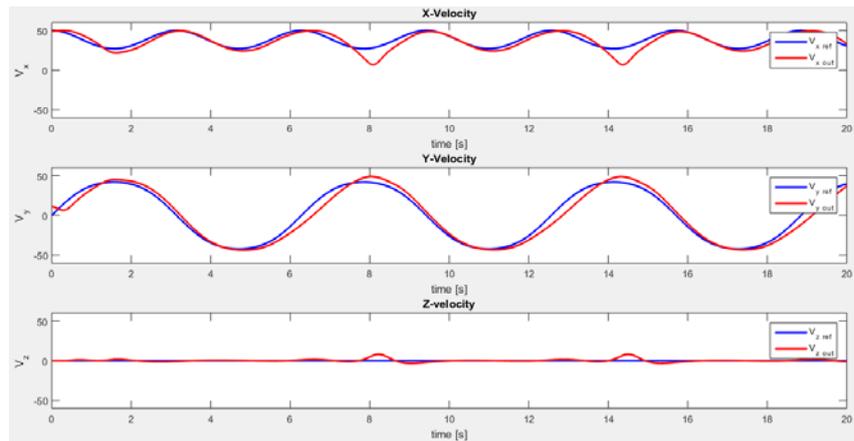


Рисунок 5 - Идеальные и полученные значения скоростей по осям координат

Полученные в результате моделирования отклонения траектории и вектора скорости лежат в области допустимых значений [3].

Заключение

Данные, полученные в результате тестирований, проведенных на основе моделей, полезны для изучения динамики движения летательного аппарата. Анализ результатов позволяет выработать рекомендации по подбору оптимальных параметров управления при продольном движении ЛА и при движении по траектории. Результаты моделирования могут быть использованы в тренажерной технике и при анализе авиационных происшествий.

Литература

1. Коровин А.Е. Практическая аэродинамика и динамика полета самолетов. - М.: ДОСААФ, 1989.
2. Волосатова Т.М., Воронина П.А., Козарь А.А. Имитационное моделирование угроз информационной безопасности систем модульной авионики // Информационные технологии. 2017. №11. Том 23. С. 776–782.
3. Singgih S. Wibowo Aircraft Flight Dynamics, Control and Simulation, Department of Aeronautics and Astronautics, Bandung Institute of Technology, 2004.
4. Аронин Г.С., Практическая аэродинамика.- М.: Воениздат, 1962.
5. Воробьев В.Г., Кузнецов С.В. Автоматическое управление полетом самолета: Учебник для вузов. - М.: Транспорт, 1995.
6. Вентцель Д.А., Окунев Б.Н., Шапиро Я.М. Внешняя баллистика. -Л.: Арт. акад. им. Ф.Э. Дзержинского, 1933.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БЕЗМАРКЕРНОГО ТРЕКИНГА

Зубова Г.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра Ркб-82, Москва, Россия

INVESTIGATION OF ALGORITHM OF UNMARKER TRACKING

Zubova G.S.

Supervisor: Dr., Prof., Volosatova T.M.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются методы построения 3D карт пространства и ориентации робота на этих картах. Детально изучены существующие реализации поставленной задачи, проведен анализ их преимуществ и недостатков. На основе изученных данных делается предположение о возможной модернизации существующих алгоритмов. В заключении приведен алгоритм, наиболее точно решающий задачу ориентации робота в пространстве.

Abstract

In the article methods of construction of 3D maps of space and orientation of the robot on these maps are considered. The existing implementations of the task have been studied in detail, and their advantages and disadvantages have been analyzed. Based on the data studied, the assumption is made of the possible modernization of existing algorithms. In conclusion, an algorithm is presented that most accurately solves the problem of orientation of the robot in space.

Введение

Применение алгоритмов безмаркерного трекинга и визуальной одометрии решает такие задачи, как: ориентирование робота в пространстве, построение 3D карты, навигация квадрокоптеров. Примером использования данной технологии могут быть задачи, требующие получения карты местности для дальнейшей её обработки. Для этого возможно применение маркерного трекинга, однако это длительный и трудоёмкий процесс. Безмаркерный трекинг, проводимый в условиях реального времени, позволяет за относительно небольшой промежуток времени получить необходимые для дальнейшей обработки данные. Основной проблемой алгоритмов безмаркерного трекинга является точность построения карты и ориентации на ней, объём хранимых данных и скорость вычислений. Для решения этих проблем разработаны и активно изучаются методы SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).

Simultaneous Localization And Mapping

SLAM – это общая методология для решения двух задач:

- 1) построение карты исследованного пространства
- 2) построение траектории движения робота на карте.

При этом необходимо выполнение нескольких условий: 1) SLAM не располагает никакими данными о среде (метки, предварительная карта), 2) среда считается статической (неподвижной).

Алгоритм работы SLAM:

- 1) сканирование окружающего пространства
- 2) определение смещение на основе сравнения текущего кадра с предыдущим
- 3) выделение на текущем кадре особенностей-меток
- 4) сопоставление меток текущего кадра с метками, полученными за всю историю наблюдений

- 5.1) обновление на основе этой информации положение робота за всю историю наблюдений
- 5.2) проверка на петли
- 5.3) выравнивание общей карты мира.

Виды SLAM

Существует 2 принципиально разных подхода к реализации SLAM методов:

- 1) Прямая одометрия
- 2) Базирующаяся на поиске ключевых элементов одометрия.

Разница между этими подходами заключается в методах поиска точек на поступающих изображениях, методах хранения информации о ключевых точках и методах триангуляции. При непрямой одометрии применяются детекторы ключевых точек, например, детекторы углов. Информация о найденных точках хранится в виде 3D-координат в пространстве. При прямой одометрии для поиска точек рассматривается всё изображение, а не отдельные его элементы и определяются точки с наибольшим градиентом интенсивности пикселей.

Реализации метода SLAM (одновременной локализации и построения карты)

Сейчас существует и разрабатывается достаточно большое количество реализаций SLAM-методов. При их изучении были выделены 3 наиболее широко используемых и хорошо иллюстрирующих различные подходы к решению данной задачи:

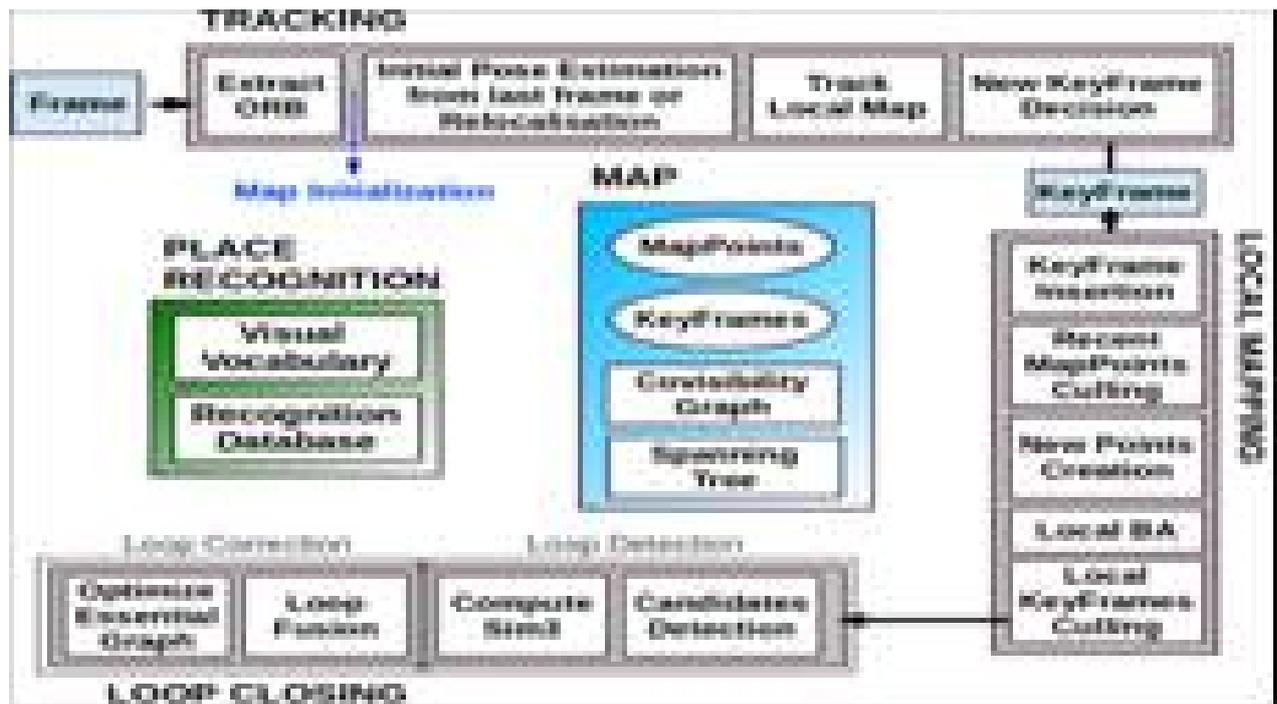


Рисунок 1 - ORB_SLAM

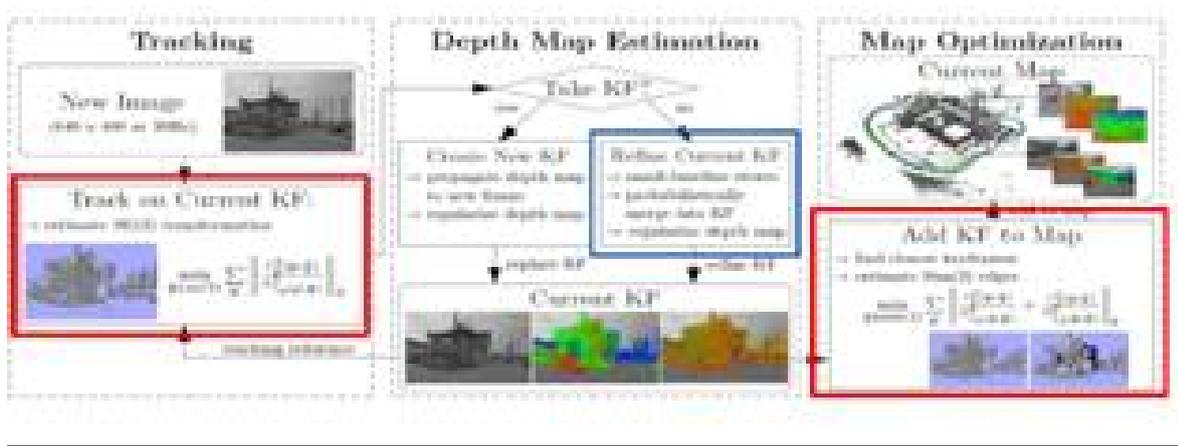


Рисунок 2 - LSD_SLAM

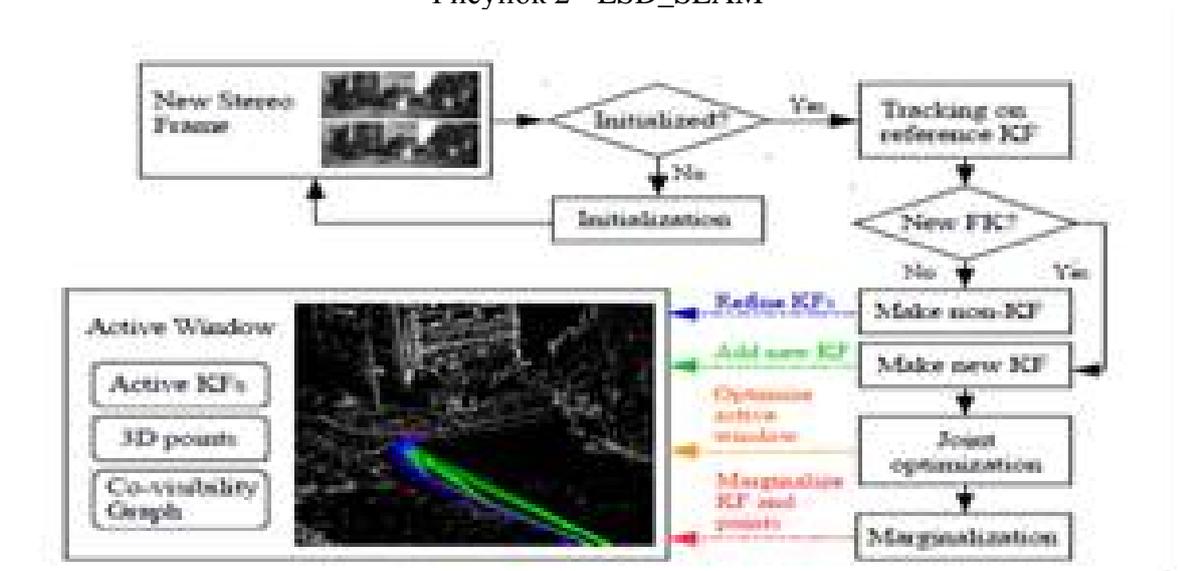


Рисунок 3 - DSO_SLAM

Метод ORB_SLAM (крупномасштабный, базирующийся на детекторе ключевых точек метод одновременной локализации и построения карты).

Это непрямой метод, базирующийся на поиске ключевых точек с помощью FAST детектора и поиска ориентированных дескрипторов. Он производится в несколько этапов: Отслеживание, построение локальной карты, отслеживание петель, релокализация, глобальная оптимизация. Этот метод достаточно эффективен, однако, так как он использует детектор углов, то дает недостаточно точные результаты, несмотря на хорошо реализованный алгоритм замыкания петель.

Метод LSD-SLAM (крупномасштабный полуплтный прямой метод одновременной локализации и построения карты).

Прямой полуразреженный SLAM. Это метод SLAM, использующий алгоритмы прямой одометрии с частично-разреженной картой. Он реализует: представление геометрии в виде частично-разреженной карты глубины, оптимизацию фотометрической ошибки, замыкание петель, релокализацию, глобальную оптимизацию. LSD-SLAM даёт более точные результаты, по сравнению с ORB-SLAM, так как при поиске ключевых точек используется не только поиск углов, а информация о особых точках всего изображения. Однако алгоритм работает существенно медленнее из-за больших объёмов данных, над которыми производятся вычисления.

Метод DSO SLAM (прямой разреженный метод одновременной локализации и построения карты).

Метод SLAM, использующий прямую одометрию и создающий разреженную карту местности. Создание разреженной карты делает его эффективнее LSD SLAM, так как повышает быстродействие и уменьшает аппаратные расходы. Метод требует достаточно серьезной начальной инициализации. Геометрическую и фотометрическую калибровки. Поиск ключевых точек ведётся по наибольшему градиенту, применяется фотометрическая коррекция изображения.

Методы, базирующейся на поиске ключевых точек:

К достоинствам методов ORB_SLAM, ORB_SLAM2 можно отнести: быстродействие; легко удаляются шумы.

К недостаткам - неточность при гладкой текстуре, не имеющей углов; использование малой части информации изображений

Прямые методы:

К достоинствам методов DSO_SLAM, LSD_SLAM2 можно отнести: использование более полной информации о изображении, в связи с чем точное нахождение ключевых точек и построение карты.

К недостаткам - необходимость хорошей инициализации; невысокая скорость, однако возможность распараллеливания.

Заключение

Изучены методы построения карты местности и ориентации на ней. При сравнении методов SLAM выявлено, что наибольшую точность дают алгоритмы с реализацией прямой одометрии. Анализ существующих реализаций алгоритмов показал, что наиболее удачное сочетание характеристик быстродействие-точность дает DSO_SLAM. Дальнейшая его модернизация путём добавления алгоритма замыкания петель лишь повышает точность и надёжность, позволяя применять алгоритм для построения достаточно сложных карт.

Литература

1. J. Engel, V. Koltun, and D. Cremers. “Direct Sparse Odometry”. In: TPAMI, 2017.
2. R. Mur-Artal, J. Montiel, and J. Tardos. “ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system”. In: Transactions on Robotics (TRO) 31.5 (2015), pp. 1147–1163.
3. Direct Sparse Odometry, J. Engel, V. Koltun, D. Cremers, In arXiv:1607.02565, 2016.
4. A Photometrically Calibrated Benchmark For Monocular Visual Odometry, J. Engel, V. Usenko, D. Cremers, In arXiv:1607.02555, 2016.
5. Raúl Mur-Artal, J. M. M. Montiel and Juan D. Tardós. ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System. IEEE Transactions on Robotics, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015. (2015 IEEE Transactions on Robotics Best Paper Award).
6. Dorian Gálvez-López and Juan D. Tardós. Bags of Binary Words for Fast Place Recognition in Image Sequences. IEEE Transactions on Robotics, vol. 28, no. 5, pp. 1188-1197, 2012.

КОГНИТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕТРИК ПРЕДФРАКТАЛЬНЫХ ГРАФОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ПОЛНЫМИ ЗАТРАВКАМИ

Барановская П.Б., Соколов П.А., Терехов В.В., Михайличенко С.С.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Л.А. Зинченко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

COGNITIVE VISUALIZATION OF PREFRACTAL FULL GRAPH SEEDS GRAPH METRICS

Baranovskaya P.B., Sokolov P.A., Terekhov V.V., Mikhaylichenko S. S.

Supervisor: Dr., Prof., Zinchenko L.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются свойства некоторых предфрактальных графов, порождаемыми полными затравками. Подробно обсуждаются возможности их сравнительного анализа. Приводятся результаты вычисления метрик для некоторых предфрактальных графов на различных этапах порождения предфрактального графа и визуализация метрик для различных узлов графа. В заключении приводится сравнительный анализ полученных данных и обсуждаются достоинства использования визуализации метрик для изучения свойств различных этапов порождения предфрактальных графов.

Annotation

The paper presents the predfractal graphs. We discuss the methods for their analysis. The results of the pilot comparison metrics predfractal graphs are presented. In conclusion, results are compared.

Введение

Для повышения работоспособности распределенных микросистем для структурного синтеза могут быть использованы самоподобные множества, в частности, фрактальные графы [1, 2]. Однако свойства предфрактальных графов еще недостаточно изучены, в связи с чем представляется актуальным сравнительный анализ метрик предфрактальных графов на различных этапах порождения предфрактального графа.

1. Предфрактальный граф

Предфрактальные графы, являющиеся конечным аналогом фрактальных графов, всё чаще находят своё применение в различных областях благодаря своей структуре и ее свойствам.

Предфрактальный граф называется (n, q, L) - графом, порожденным n -вершиной q -рёберной затравкой H .

Предфрактальный граф обозначается следующим образом [2]:

$$G_l = (V_l, E_l),$$

где V_l – множество вершин графа,

E_l – множество его ребер,

$l, l=1, 2, \dots, L$ – номер этапа порождения предфрактального графа.

Предфрактальные графы порождаются связным графом (затравкой) H путем замены каждой его вершины графом H . При этом

$$G_l = H.$$

На рис. 1, б приведен пример предфрактального графа G_2 , порожденного затравкой H - графом (рис. 1, а).

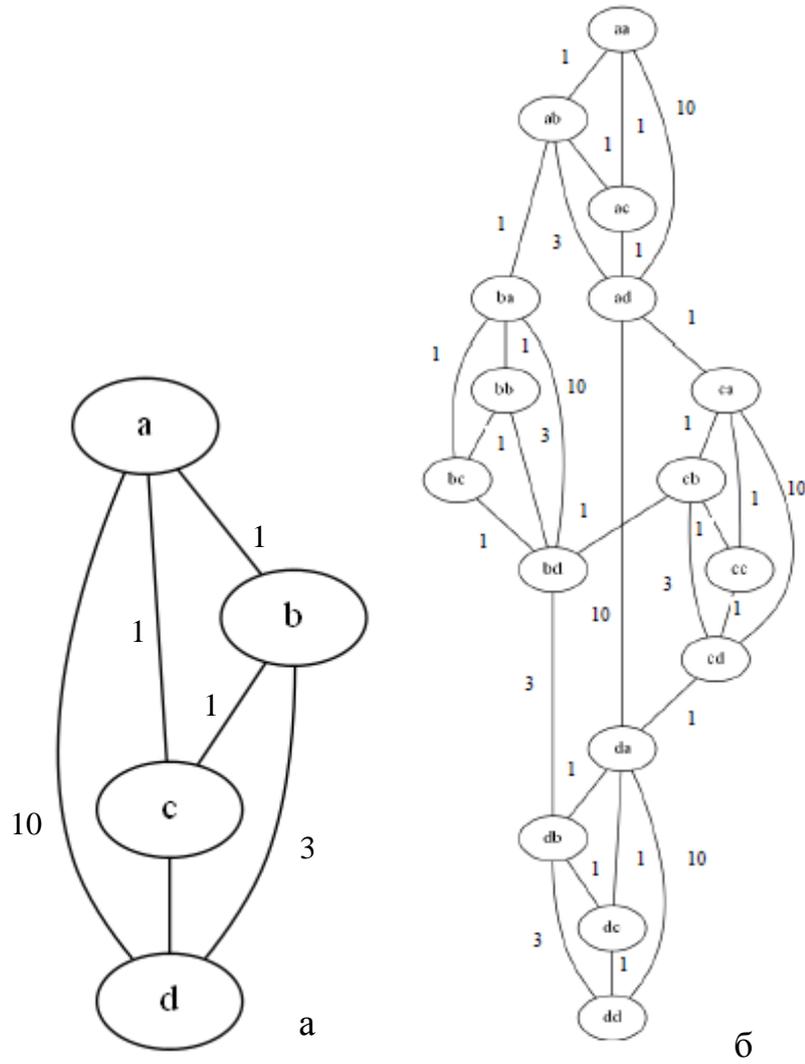


Рис.1. Затравка H и предфрактальный граф G_2

2. Метрики

Каждый граф характеризуется метриками - различными числовыми показателями, отображающими его свойства по различным критериям [3, 4].

Центральность по посредничеству показывает, сколько кратчайших путей между всеми узлами сети проходит через определённый узел. Для вычисления центральности по посредничеству данного узла берутся все возможные пары других узлов и для каждой пары вычисляется доля кратчайших путей между этими узлами, которые бы проходили через данный узел. Сумма этих долей и составляет центральность по посредничеству для данного узла [3]:

$$g(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}, \quad (1)$$

где σ_{st} - общее число кратчайших от узла s к узлу t ;
 $\sigma_{st}(v)$ - число путей, проходящих через узел v .

Центральность по близости выражает, насколько близко узел расположен к остальным узлам сети [4]. Формально центральность по близости выражается как отношение числа других узлов графа к сумме расстояний между определённым узлом и всеми другими:

$$C(x) = \frac{1}{\sum_y d(y, x)}, \quad (2)$$

где $d(y, x)$ - расстояние между вершинами x и y .

Эксцентриситетом вершины v [5] называется наибольшее геодезическое расстояние между v и любой другой вершиной графа, т.е. расстояние до самой дальней от v вершины графа:

$$\epsilon(v) = \max_{u \in V} d(v, u), \quad (3)$$

где $d(v, u)$ - расстояние между вершинами v и u .

3. Расчет метрик предфрактального графа

Для более удобного и лучшего понимания свойств предфрактальных графов можно сравнить метрики таких графов и проанализировать тенденции изменения метрик в зависимости от этапа порождения предфрактального графа.

Был произведён расчет метрик графов, представленных на рисунке 1. Результаты расчета систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 - Расчет метрик графа

	Затравка		Предфрактальный граф	
	Кол-во вершин	Значение	Кол-во вершин	Значение
Центральность по посредничеству	4	0	7	0
			2	12,33
			1	7,33
			1	9,83
			1	12,66
			1	12,83
			1	23
			1	25,83
			1	26,83
Центральность по близости	4	1	7	0,417
			4	0,469
			3	0,536
			2	0,484
Эксцентриситет	4	1	16	3

На рис. 2 визуализированы метрики каждой из вершин графа (рис. 1, б). Более темным цветом показаны вершины с большим значением соответствующей метрики. На рис. 2, а визуализированы метрики центральности по посредничеству для графа (рис. 1, б), а на рис. 2, б – метрики центральности по близости для графа (рис. 1, б).

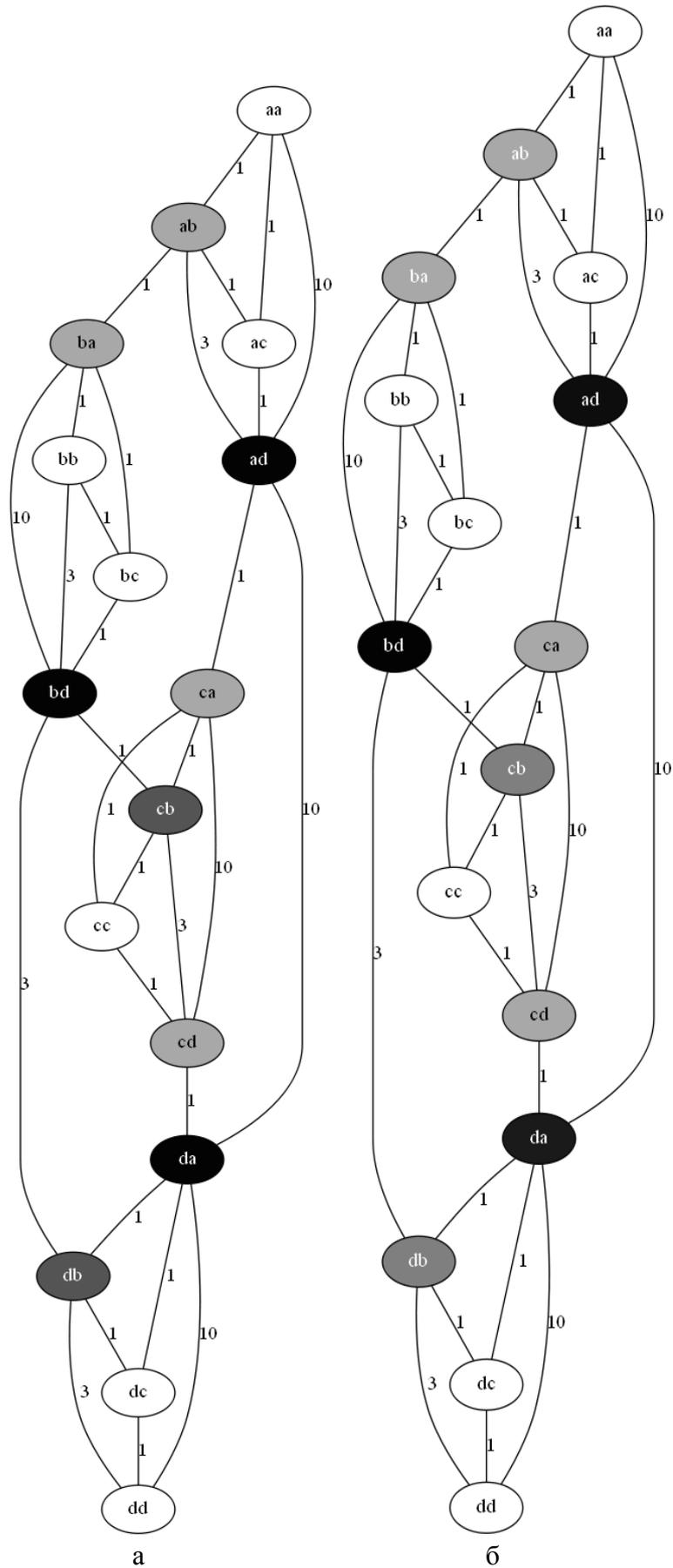


Рис. 2. Визуализация метрик предфрактального графа (рис. 1, а): изменение метрики центральности по посредничеству (а) и метрики центральности по близости (б)

Заключение

Проанализировав таблицу 1, можно сделать вывод, что значение метрик непосредственно зависит от этапа порождения предфрактального графа. На следующем этапе порождения графа центральность по посредничеству и эксцентриситет увеличиваются, а центральность по близости уменьшается. Таким образом, увеличивается роль каждой вершины графа в обеспечении связности и снижается уровень контроля сети любой вершиной по сравнению со свойствами вершин исходной полной затравкой.

Значение эксцентриситета увеличивается равномерно для всех узлов. При этом изменение метрик центральности по посредничеству и метрик центральности по близости происходит неравномерно и на следующем этапе порождения выделяются отдельные вершины, которые обладают более высокой степенью влияния в графе.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что средняя степень вершины предфрактального графа G_2 увеличивается ($deg_{av}(v)=3,75$) по сравнению с исходным полным графом G_1 ($deg_{av}(v)=3$), связность предфрактального графа даже на первом этапе порождения полными затравками уменьшается по сравнению с исходным полным графом. Плотность графа D также уменьшается. В частности, плотность предфрактального графа G_2 (рис. 1, б, $D=0,25$) уменьшается в 4 раза по сравнению с плотностью затравки G_1 (рис. 1, а, $D=1$).

Расчет и визуализация метрик графа (рис. 2) позволяют выделить критические элементы, работоспособность которых наиболее важна для сохранения связности всей совокупности распределенных микросистем. Одновременная визуализация свойств вершин графа по метрике центральности по посредничеству и по метрике центральности по сотрудничеству (рис. 2) позволяет выполнить визуальную аналитику структуры распределенных микросистем предфрактальной топологии, в частности оценить особенности использования предфрактальной топологии при синтезе распределенных микросистем и роль каждого элемента распределенных микросистем предфрактальной топологии.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что использование предфрактальных графов в задачах структурного синтеза распределенных микросистем является нежелательным в связи с потенциально высокой чувствительностью такой системы к выходу одного из узлов из работоспособного состояния.

Литература

1. Зинченко Л.А., Верстов В.А., Сорокин Б.С., Никитин И. В., Бачурин А.С., Гусев М.В., Дмитриев В.Е. Алгоритм поиска кратчайшего пути в распределенных микросистемах с предфрактальной топологией // Известия ЮФУ, №10, 2017.
2. Кочкаров А.А., Кочкаров Р.А. Параллельный алгоритм поиска кратчайшего пути на предфрактальном графе. // Журнал вычислительной математики и математической физики - 2004 - №6. с. 1147-1152.
3. Brandes U. A Faster Algorithm for Betweenness Centrality. Journal of Mathematical Sociology, 2001, 25(2). pp. 163-177.
4. Alex Bavelas. Communication patterns in task-oriented groups. J. Acoust. Soc. Am., 1950, 22(6), pp. 725–730.
5. Bouttier J., Di Francesco P., Guitter E. Geodesic distance in planar graphs, Nuclear Physics B, 2003, 663 (3), pp. 535-567.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (16-07-00676 а).

СЕКЦИЯ 2

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мультимедийная аудитория (ауд.278), гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Начало в 10.00.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИСТОЧНИКА ИОНОВ В КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ

Акопян Д.Г., Легошин Т.А., Малеванная Е.И.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ-11, Москва, Россия

RECOVERY OF THE ION SOURCE OPERABILITY IN A COMBINED MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM WITH ION ASSISTING

Akopian D.G., Legoshin T.A., Malevannaya E.I.
Supervisor: PhD, docent, Moiseev K.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается комбинированная магнетронная распылительная система с ионным ассистированием. Показаны преимущества данной системы по сравнению с другими способами реализации ионного ассистирования. Запуск источника выявил проблему в его работе, связанную с замыканием на определенном напряжении. Показано, как была решена проблема за счет увеличения зазора между катодом и анодом в источнике ионов.

Abstract

The combined magnetrons putter ing system with ion assistingis described in this article. The advantages of this system are shown in comparison with the otherway sofionassisting implementation. The technological sources witch ing-on revealed a problem in itsoperation, connected with short on a certain voltage. It is shown how the problem was solved by increas ing the gapbetween the cathode and the anode in the ion source.

Введение

На сегодняшний день существует много методов получения тонких пленок (ионно-плазменное нанесение, термическое испарение, химические методы и т.д.) [1]. В настоящее время перспективным методом является магнетронное распыление с ионным ассистированием, так как применение ионной бомбардировки обладает следующими преимуществами: низкая стоимость технологии, высокая локализация воздействия в поверхностном слое растущей пленки, широкие пределы варьирования энергии и наличие направленного воздействия [2]. Процессы упорядоченного роста в обычных условиях подавлены из-за малой длительности миграции осевших атомов и наличия диффузионного барьера для межслойного транспорта [2]. Ионная бомбардировка увеличивает миграцию атомов, позволяет управлять свойствами покрытий, а также распыляя подложку, сглаживает барьеры для эпитаксиального роста пленок [2, 3].

Метод магнетронного распыления с ионным ассистированием можно реализовать двумя способами – установкой автономного источника ионов в дополнение к магнетрону (рис. 1а) или подачей потенциала смещения на подложку (рис. 1б). Недостатком первого является высокая стоимость системы, недостатком второго – невозможность варьировать энергии ионов в широком диапазоне.

Данные недостатки можно устранить при помощи комбинированной магнетронной распылительной системы с ионным ассистированием (КМРСИА). КМРСИА представляет собой систему из магнетрона и источника ионов, совмещенных в одном корпусе. Магнетрон располагается по центру конструкции, а источник ионов кольцевого типа находится вокруг магнетрона (рис. 2).

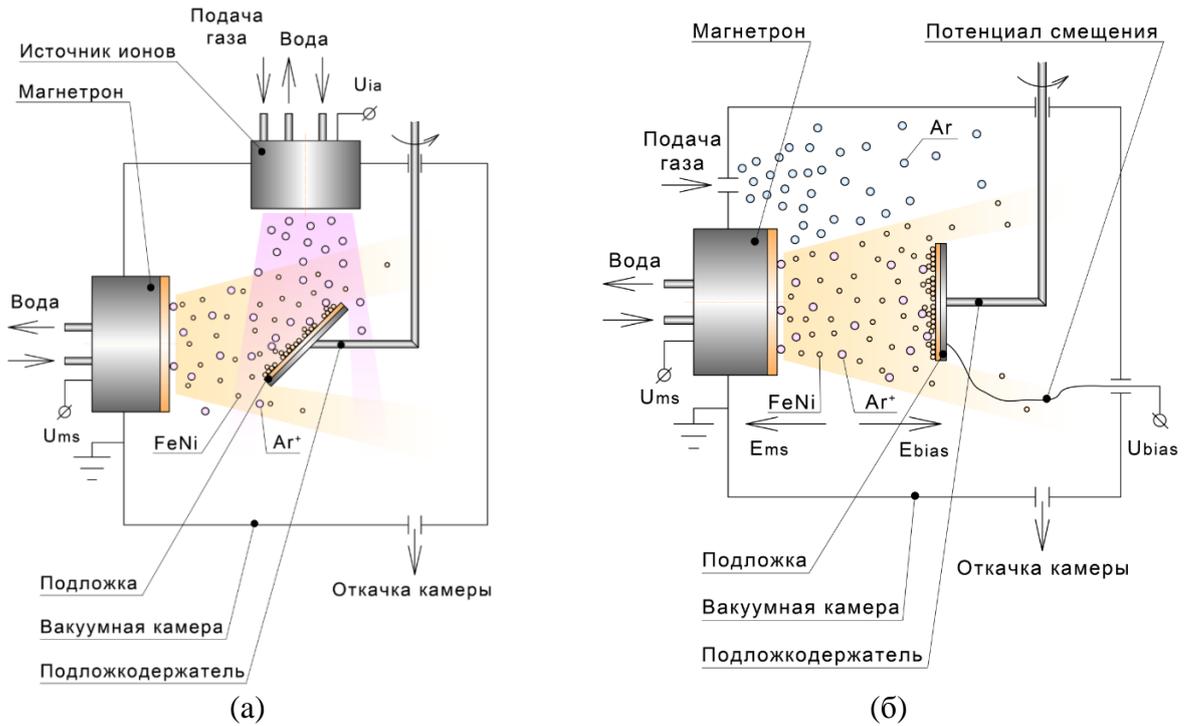


Рисунок 1 – Варианты реализации ионного ассистирования при магнетронном распылении:

а – установка автономного источника ионов, б – подача потенциала смещения на подложку

При проведении проверки работоспособности КМРСИА, а именно при исследованиирежимов работы КМРСИА при постоянном напряжении с варьированием потока газа и при постоянном потоке газа с варьированием напряжения, выяснилось, что его источник замыкает при н

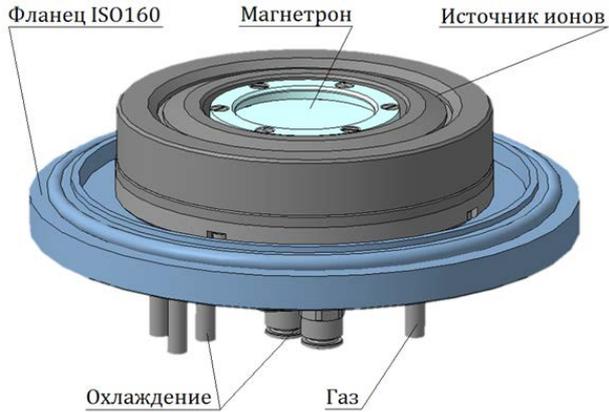


Рисунок 2 – Комбинированная магнетронная распылительная система с ионным ассистированием при напряжении в 1600 В. Параметры эксперимента представлены в таблице 1.

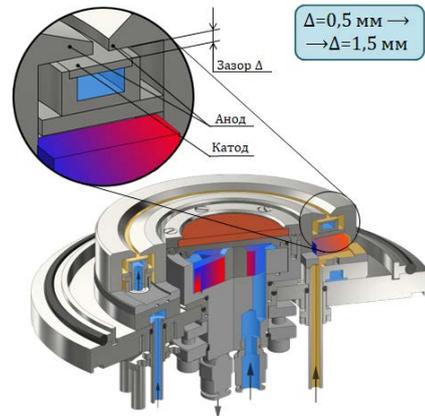


Рисунок 3 – Зазор между анодом и катодом

Таблица 1 – Параметры эксперимента

Параметры	Значение
Остаточное давление, мбар	$7,5 \cdot 10^{-5}$
Рабочее давление, мбар	$3,8 \cdot 10^{-4}$
Поток газа, В	0,3

Во время эксперимента напряжение менялось в пределах от 800 В до 1600 В с шагом 50 В. При напряжении в 1600 В источник замкнуло. Ионный ток на тот момент был равен 12 мА. Предполагается, что замыкание произошло в результате малого расстояния между анодом и катодом.

Целью работы является увеличение зазора между анодом и катодом и повторное проведение эксперимента.

Увеличение зазора между катодом и анодом в источнике, проведение экспериментальной проверки устранения замыкания в источнике

КМРСИА была полностью перебрана. При этом расстояние между анодом и катодом было увеличено на 1 мм (рис. 3). Затем эксперимент был проведен повторно. Эксперимент проводился при параметрах, указанных в таблице 1. В данном эксперименте напряжение варьировалось от 200 до 2800 В (максимальное значение, выдаваемое блоком питания), причем источник работал стабильно во всем диапазоне варьирования напряжения. Однако, при том же значении напряжения (на отметке в 1600 В) ионный ток уменьшился в 1,5 раза по сравнению с первым экспериментом.

Заключение

После увеличения зазора между катодом и анодом источник не замкнуло даже при напряжении в 2800 В. Разряд горел стабильно, немного мерцал. Ионный ток получился меньше, чем в аналогичных источниках при таких напряжениях, потоке газа и давлении: ток в них варьируется в пределах от 50 до 100 мА. Низкое значение ионного тока при работе источника могут быть связаны с недостаточностью магнитной индукции магнитной системы источника ионов. По результатам можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение расстояния от анода до катода источника ионов помогло решить проблему с замыканием источника.

2. Ионный ток уменьшилась в результате увеличения зазора между анодом и катодом. Его малые значения могут быть связаны с недостаточной величиной магнитной индукции магнитной системы.

Ответ на вопрос увеличения тока газового разряда следует искать в увеличении магнитной индукции магнитной системы источника ионов. Планируется провести моделирование магнитной системы источника, магнетрона и измерение магнитной системы с помощью миллитесламетра, для проверки взаимного влияния.

Литература

6. Панфилов Ю.В. Нанесение тонких пленок в вакууме // Технологии вэлектронной промышленности. 2007. № 3. С. 76–80.
7. Бочкарев, В.Ф. Ионно-стимулированное получение тонких пленок. [Текст]: дисс. на соиск. степ.докт. техн. наук:05.27. 06 / Бочкарев Владимир Федорович. – Ярославль, 2014. – 215 с.
8. Гугля А.Г.,Марченко И.Г. Ионно-стимулированная технология – метод создания нанокристаллических покрытий: статья. ННЦ Харьковский физико-технический институт, Украина, 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИТО ОТ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА

Акишин М.Ю., Зыков Д.Д., Малеванная Е.И., Васильев Д.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ-11, Москва, Россия

STUDY OF DEPENDENCE OF REFLECTION COEFFICIENT OF ITO COVERAGE FROM PULSE SIGNAL PARAMETERS

Akishin M.Y., Zykov D.D., Malevannaya E.I., Vasilev D.D.
Supervisor: Ph.D., docent, Moiseev K.M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются покрытия ИТО, наносимые на стекло методом магнетронного распыления в импульсном режиме. Подробно исследовано влияние коэффициента заполнения импульсного сигнала и частоты импульсов на коэффициент отражения покрытий ИТО на стекле. Представлены результаты исследования в виде графиков, значения коэффициента на различных длинах волн и зависимость данного параметра для различных длин волн от коэффициента заполнения и частоты сигнала.

Abstract

The article deals with ITO coatings applied to glass by the method of magnetron sputtering in the pulsed mode. The effect of the duty ratio of the pulse signal and the pulse frequency on the reflection coefficient of the ITO coatings on glass is studied in detail. The results of the study in the form of graphs, the coefficient values at various wavelengths and the dependence of this parameter for different wavelengths on the duty ratio of the pulse signal and the frequency of the signal are presented.

Введение

В процессе магнетронного распыления в плазме тлеющего разряда на поверхности катода происходит ионизация как рабочего газа, так и распыляемого материала. Данное явление позволяет управлять энергией осаждаемых частиц посредством напряжения смещения, а также проводить бомбардировку формирующейся пленки ионами аргона непосредственно во время напыления, что влияет на характеристики покрытия [1, 2]. Ионизация материала связана с концентрацией заряженных частиц в плазме – чем их больше, тем выше вероятность ионизации частиц материала, пролетающих через плазму. На концентрацию заряженных частиц, в свою очередь, влияют параметры сигнала, подаваемого на магнетрон. В случае импульсного сигнала это коэффициент заполнения D и частота импульсов f .

В качестве рабочего покрытия взяты пленки оксида индия, легированного оловом (ИТО). Свойства данных покрытий можно разделить на две группы, представляющие наибольший интерес: оптические и электрические [3]. В данной статье будет рассмотрено влияние коэффициента заполнения импульсного сигнала и частоты импульсов на коэффициент отражения покрытий ИТО, нанесенных на стекло.

Эксперимент

Установка ВУП-11М [4] кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э.Баумана оснащена блоком питания, который позволяет создавать импульсный сигнал с частотой от 1 кГц до 100 кГц и коэффициентом заполнения от 10% до 80%. Исходя предположения, что зависимость имеет нелинейный характер, в качестве метода исследования был выбран полный факторный эксперимент с центральным композиционным ротатабельным планом. Для эксперимента берем максимально

возможную область. Помимо пределов возможностей используемого блока, область варьирования ограничивается нестабильной работой магнетрона при минимальном коэффициенте заполнения и максимальной частоте. Принимая во внимание вышеописанные суждения, в эксперименте коэффициент заполнения будем варьировать от 17% до 79%, а частоту сигнала – от 8 кГц до 80 кГц. Расположение экспериментальных точек представлено на рисунке 1.

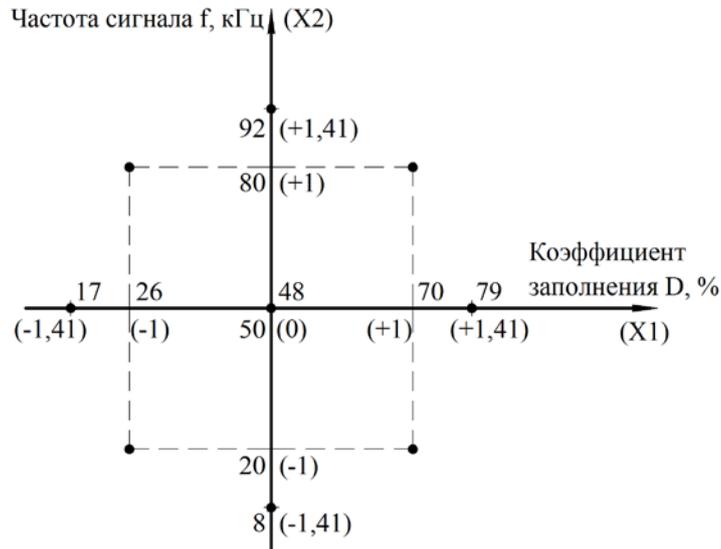


Рисунок 1 – Расположение экспериментальных точек

Эксперименты проводятся при остаточном давлении $P_{ост} = 6,5 \cdot 10^5$ мбар, рабочем давлении $P_{раб} = 2,4 \cdot 10^3$ мбар, потоке аргона в камеру $Q_{Ar} = 1,56$ л/час и фиксированной мощности $W = 120$ Вт на магнетроне диаметром 100 мм.

Результаты

Измерение коэффициента отражения проводится на спектрофотометре Epsilon. Результаты проведенных измерений в виде графиков представлены на рисунке 2. Значения коэффициента отражения на определенных длинах волн представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента отражения R в процентах полученных покрытий при различных значениях D и f

D, %	17	26	26	48	48	48	70	70	79
f, кГц	50	20	80	8	50	92	20	80	50
400 нм	23.4	23.8	20.8	10.0	19.5	21.7	11.6	29.5	24.0
450 нм	26.2	29.7	24.7	21.8	22.3	28.3	16.6	32.7	22.1
500 нм	22.4	32.7	32.3	30.9	29.4	32.7	27.8	29.4	31.1
550 нм	14.0	26.9	29.1	26.2	25.9	27.1	25.3	20.6	30.2
600 нм	10.6	20.6	23.4	19.2	20.5	20.7	19.7	15.9	26.3
650 нм	10.2	14.9	16.8	12.0	14.8	15.0	13.0	13.9	19.9
700 нм	11.5	12.5	13.0	8.6	11.7	12.6	9.4	14.2	15.3
750 нм	14.6	12.4	11.2	7.5	9.7	12.4	8.6	15.8	12.7
800 нм	16.6	13.0	11.3	8.5	9.7	13.1	8.9	17.2	11.8
850 нм	18.0	13.9	12.2	10.4	10.3	14.3	10.3	18.2	12.1
900 нм	18.9	14.9	13.1	12.1	12.2	15.5	11.9	18.9	12.8
950 нм	19.6	15.7	14.2	14.0	12.3	16.6	13.7	19.3	13.8
1000 нм	19.8	16.4	15.0	15.4	13.2	17.4	15.0	19.6	14.7

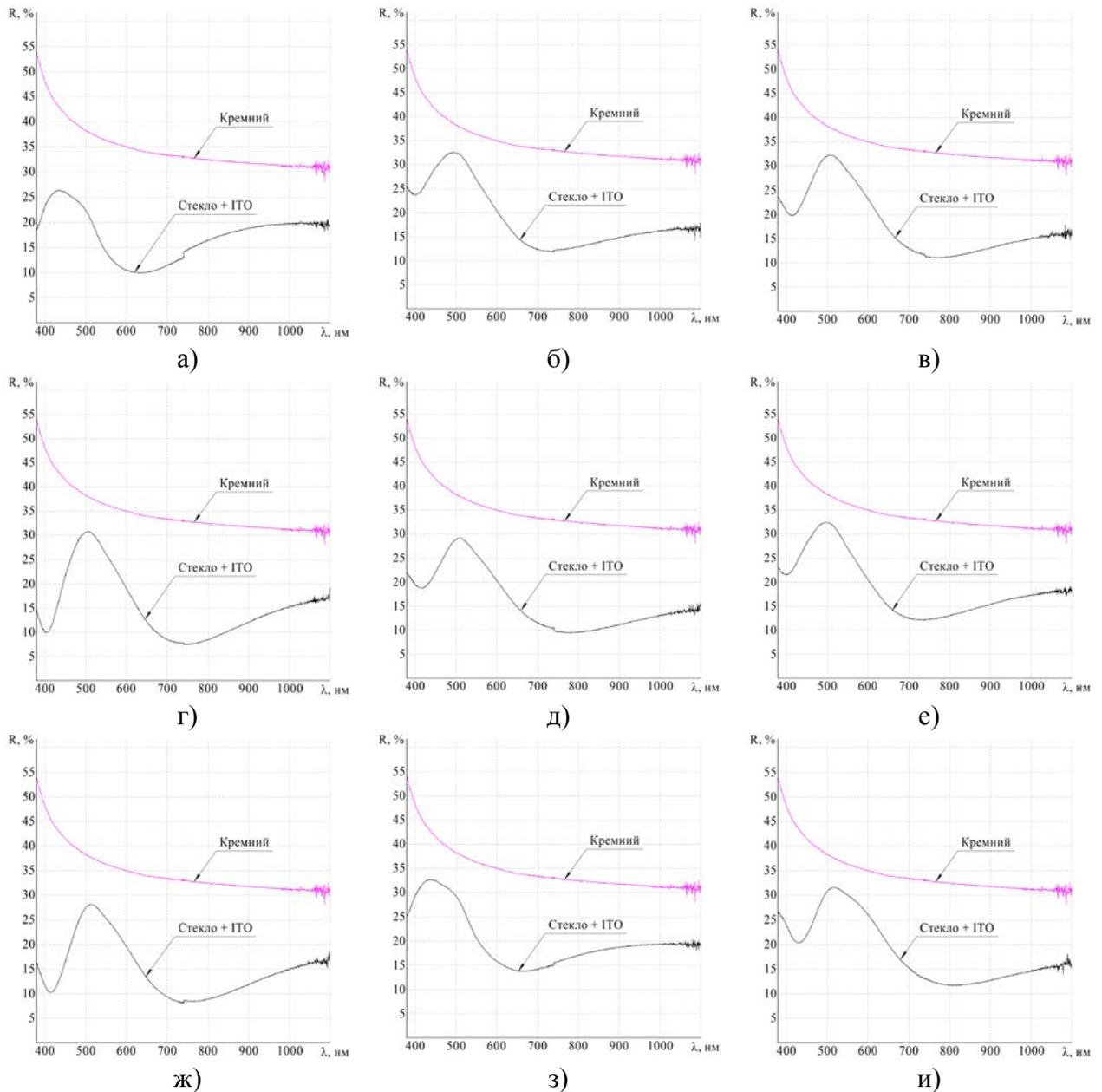


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента отражения покрытия ИТО от длины волны при:
 а) $D=17\%$, $f=50$ кГц; б) $D=26\%$, $f=20$ кГц; в) $D=26\%$, $f=80$ кГц; г) $D=48\%$, $f=8$ кГц;
 д) $D=48\%$, $f=50$ кГц; е) $D=48\%$, $f=92$ кГц; ж) $D=70\%$, $f=20$ кГц; з) $D=70\%$, $f=80$ кГц;
 и) $D=50\%$, $f=79$ кГц

Результаты по каждой из представленных длин волн были обработаны согласно центральному композиционному ротatableльному плану, откуда были получены зависимости (1-13).

$$R_{400} = 19.5 - 0.33X_1 + 3.93X_2 + 5.23X_1X_2 + 2.51X_1^2 - 1.41X_2^2, \quad (1)$$

$$R_{450} = 22.3 - 1.36X_1 + 2.54X_2 + 5.28X_1X_2 + 1.26X_1^2 + 1.71X_2^2, \quad (2)$$

$$R_{500} = 29.4 + 0.56X_1 + 0.47X_2 + 0.50X_1X_2 - 1.01X_1^2 + 1.52X_2^2, \quad (3)$$

$$R_{550} = 25.9 + 1.60X_1 - 0.15X_2 - 1.73X_1X_2 - 1.63X_1^2 + 0.65X_2^2, \quad (4)$$

$$R_{600} = 20.5 + 1.73X_1 + 0.14X_2 - 1.65X_1X_2 - 0.85X_1^2 - 0.10X_2^2, \quad (5)$$

$$R_{650} = 14.8 + 1.11X_1 + 0.88X_2 - 0.25X_1X_2 + 0.22X_1^2 - 0.56X_2^2, \quad (6)$$

$$R_{700} = 11.7 + 0.43X_1 + 1.37X_2 + 1.08X_1X_2 + 0.92X_1^2 - 0.48X_2^2, \quad (7)$$

$$R_{750} = 9.7 - 0.24X_1 + 1.62X_2 + 2.10X_1X_2 + 2.03X_1^2 + 0.17X_2^2, \quad (8)$$

$$R_{800} = 9.7 - 0.62X_1 + 1.62X_2 + 2.10X_1X_2 + 2.03X_1^2 + 0.17X_2^2, \quad (9)$$

$$R_{850} = 10.3 - 0.74X_1 + 1.46X_2 + 2.40X_1X_2 + 2.36X_1^2 + 1.01X_2^2, \quad (10)$$

$$R_{900} = 12.2 - 0.73X_1 + 1.25X_2 + 2.20X_1X_2 + 1.79X_1^2 + 0.77X_2^2, \quad (11)$$

$$R_{950} = 12.3 - 0.64X_1 + 0.97X_2 + 1.78X_1X_2 + 2.13X_1^2 + 1.43X_2^2, \quad (12)$$

$$R_{1000} = 13.2 - 0.50X_1 + 0.75X_2 + 1.50X_1X_2 + 1.94X_1^2 + 1.52X_2^2, \quad (13)$$

где R_λ – коэффициент отражения на длине волны λ , %,

X_1 – нормированный коэффициент заполнения сигнала,

X_2 – нормированная частота импульсов.

Значения коэффициентов X_1 и X_2 вычисляются по формулам (14)

$$X_1 = \frac{D - 48}{22}, \quad X_2 = \frac{f - 50}{42}, \quad (14)$$

где D – коэффициент заполнения сигнала, %,

f – частота импульсного сигнала, кГц.

Коэффициент отражения покрытий ИТО, нанесенных на предметное стекло лежит в диапазоне от 8% до 32%. Наибольшие значения коэффициента отражения наблюдаются при $D = 70\%$ и $f = 80$ кГц, наименьшее – при $D = 70\%$ и $f = 20$ кГц.

Заключение

В дальнейшем планируется провести аналогичные эксперименты для исследования влияния параметров блока питания на поверхностное сопротивление покрытий ИТО.

Литература

- 1 Гусева М.Б. Ионная стимуляция в процессе образования тонких плёнок на поверхности твёрдого тела // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – №10. – С. 106-112.
- 2 Manova D., Gerlach J.W., Mändl S. Thin film deposition using energetic ions // Materials. – 2010. – № 3. – P. 4109-4141.
- 3 Бажин, А.И. Влияние режима магнетронного распыления и состава реакционного газа на структуру и свойства пленок ИТО / А.И. Бажин, А.Н. Троцан, С.В. Чертопалов, А.А. Стипаненко, В.А. Ступак // Физическая инженерия поверхности. – 2012. - № 4. – С. 342-349.
- 4 Моисеев К.М. Многопозиционные вакуумные технологические установки // Наноинженерия. – 2014. – № 8. – С. 18-21

АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ RIP, BGP И OSPF НА CISCO CSR 1000V

Антонова Д.О.

Научный руководитель: Соловьев В.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ANALYSIS OF DYNAMIC ROUTING PROCEDURES RIP, BGP AND OSPF ON CISCO CSR 1000V

Antonova D.O.

Supervisor: Soloviev V.A.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена анализу протоколов динамической маршрутизации RIP, BGP и OSPF на Cisco CSR 1000V. Основное внимание уделено конфигурированию рассматриваемых протоколов на оборудовании компании Cisco. Собраны стенды, на которых произведено тестирование работы сетевой среды, использующей динамическую маршрутизацию для организации прохождения трафика. Выявлены основные преимущества и недостатки исследуемых протоколов.

Abstract

This article is devoted to analysis of the dynamic routing protocols RIP, BGP, and OSPF on the Cisco CSR 1000V. The focus is on the configuration of the considered protocols on the Cisco. Collected stands, which made the testing of the network environment that uses dynamic routing for the organization of traffic. The main advantages and disadvantages of the studied protocols are revealed.

Введение

В 21 веке актуальна проблема передачи данных в сетевом пространстве. В корпоративной сети, да и не только, требуется организация информационного трафика таким образом, чтобы пакеты на пути от одного сетевого устройства к другому не терялись и достигали получателя [1-4]. Для решения данной проблемы были разработаны устройства протоколы маршрутизации [4-12]. Одним из лидеров в сфере высоких технологий и производства сетевого оборудования высокого уровня, является компания Cisco, которая как раз начинала свой путь в области корпоративных маршрутизаторов.

Целью данной работы является анализ основных существующих протоколов динамической маршрутизации, выявление преимуществ и недостатков данных протоколов, а также сбор стендов тестирования этих протоколов на основе маршрутизатора Cisco CSR 1000V для организации трафика между сетями [13-16].

1 Анализ типов маршрутизации

Каждое устройство для функционирования в сетевой среде имеет уникальный IP-адрес, но это не является достаточным условием для того, чтобы эти устройства могли обмениваться информацией друг с другом. Для того чтобы сетевые устройства обменивались пакетами, они должны знать маршруты к другим участникам этого обмена. Это будет гарантировать, что информация достигнет получателя. Для этой цели в сетевом пространстве помещается устройство, которое имеет список всех других устройств сети с указанием их местонахождения – *маршрутизатор (router)* [1]. Функциями маршрутизатора являются:

- прием от источника пакетов и определение оптимального пути до получателя – процесс *маршрутизации*;
- определение нахождения IP-сети или подсети, как внутри автономной сети, так и вне ее, например, в глобальной сети Internet.



Рисунок 1.1 – Маршрутизация между сетями 192.168.0.0/24 и 172.16.0.0/24 посредством роутера Cisco CSR 1000V

В таблице маршрутизации указываются не только маршруты к определенной сети, но и маршруты к конкретному хосту, а также *маршрут по умолчанию (default gateway)*. Маршрутизация бывает двух типов: статическая и динамическая. В свою очередь статическая маршрутизация может быть изменяющаяся во времени и не изменяющаяся. При статической маршрутизации всевозможные пути для организации обмена пакетами между сетевыми устройствами задаются административно [1,2]. На рисунке 1.1 представлен собранный стенд обмена трафиком между двумя хостами в двух разных сетях (192.168.0.0/24 и 172.16.0.0/24) с помощью статической маршрутизации, организованной на роутере Cisco CSR 1000V. В таблице маршрутизации указывается следующая информация: адрес сети, маска сети, маршрут по умолчанию (адрес шлюза), метрика маршрута. Также в некоторых маршрутизаторах указывается интерфейс, на который посылается пакет, а также другие дополнительные условия передачи. Недостатком такого типа маршрутизации является в первую очередь то, что при организации сетей только используя статические маршруты, эти сети были бы трудны в администрировании, так как редко бы реагировали на неисправности и изменение топологии. Для решения этой проблемы были разработаны протоколы динамической маршрутизации, которые представляют собой алгоритмы, сообщаящие маршрутизатору информацию о путях в компьютерных сетях, требуемую для конфигурации таблицы маршрутизации. Так как при динамической маршрутизации исключается ручной ввод маршрутов, это приводит к минимизации количества ошибок, обеспечивает согласованную работу всех маршрутизаторов в сетевом пространстве, а также снижает нагрузку с системных администраторов [2].

В свою очередь протоколы динамической маршрутизации градируются по нескольким признакам (рисунок 1.2) [3].



Рисунок 1.2 – Классификация протоколов динамической маршрутизации

Ключевой момент работы *дистанционно-векторных протоколов (Distance Vector Algorithm - DVA)* заключается в том, что маршрутизаторы рассылают друг другу т.н. вектор расстояний, в котором содержится информация (расстояние), это может быть любой параметр метрики, от маршрутизатора источника до всех соседних (известных) ему сетей. После получения маршрутизатором вектора расстояний, он обновляет свои данные, выбирает из нескольких возможных путей наилучший и рассылает новое значение вектора

по сети, вследствие чего, все маршрутизаторы обо всех сетевых устройствах и о расстоянии до них через соседствующие маршрутизаторы. Основной недостаток данного протокола – высокое качество работы при его использовании можно обеспечить только в относительно небольших сетевых пространствах. Самым распространенным таким протоколом является протокол маршрутной информации – *RIP (Routing Information Protocol)* и *BGP (Border Gateway Protocol)* [2].

Главная особенность *протоколов состояния каналов связи (Link State Algorithm - LSA)* — это то, что все маршрутизаторы получают информацию, требующуюся для построения подробного графа связей сети. Так как все маршрутизаторы основываются на одинаковых графах, от они быстрее реагируют на изменения в сетевой среде и быстрее вычисляют оптимальные маршруты следования по выбранным критериям (метрике). Если при алгоритме DVA маршрутизаторы обмениваются широковещательными пакетами, то в случае LSA они общаются короткими пакетами HELLO, которые содержат данные только о состоянии линий связи. По этой причине данный протокол более удобен в использовании при больших составных сетевых средах. Одним из самых распространенных протоколов данного типа является протокол *OSPF – (Open Shortest Path First)* [2].

Стоит упомянуть, что в классификации Cisco, протоколы динамической маршрутизации делятся на два основных класса: *протоколы внутренних шлюзов (Interior Gateway Protocols –IGP)* и *протоколы внешних шлюзов (Exterior Gateway Protocols - EGP)*.

2 Анализ протоколов RIP и BGP

Одним из самых старых и в то же время распространенных протоколов на основе метода вектора расстояний является протокол маршрутной информации RIP (рисунок 2.1).

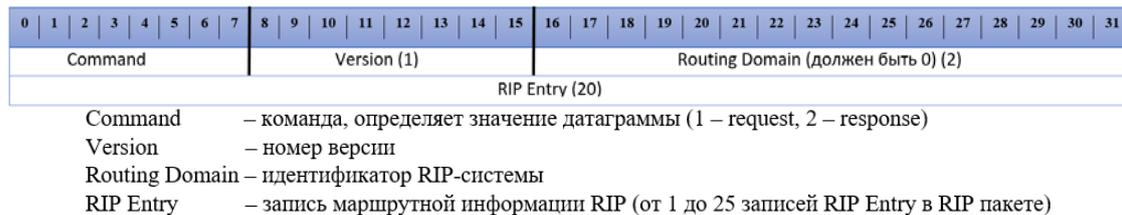


Рисунок 2.1 – Формат RIP пакета

Первая версия данного протокола была реализована в начале 80-х годов прошлого века в рамках протокола RUP компании Xerox. Его популяризации поспособствовало включение его в состав UNIX-версии BSD (Berkley Systems Distribution) в роли протокола маршрутизации. В качестве метрики RIP протокол использует подсчет количество переходов между маршрутизаторами, при этом максимальное число переходов в RIP может быть равным 15. Если появляются маршруты длинее 15 переходов, то они снабжаются тэгом недостижимого, установив счетчик переходов в значение 16. От маршрутизатора информация в протоколе RIP распространяется с использованием UDP протокола и порта 520.

На данный момент существует протокол RIPv1 (рисунок 2.2) и RIPv2 (рисунок 2.3). Протокол RIPv2 определен в RFC 2453 [7].

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Address family identifier (2)																Must be zero (2)															
IPv4 address (4)																															
Must be zero (4)																															
Must be zero (4)																															
Metric (4)																															

Address family identifier (AFI) — тип адреса, обычно поддерживается только запись AF_INET, которое равно 2 (т. е. используется для протокола IP).

Must be zero — должно быть нулём.

IPv4 address — IP адрес места назначения (хост или сеть)

Metric — метрика маршрута

Рисунок 2.2 – Формат RIP Entry для протокола RIPv1 (поле Version = 1)

Различие между двумя версиями протоколов заключается в том, что RIPv1 является классовым протоколом и не поддерживает передачу информации о сетевых масках, в то время, как RIPv2 это бесклассовый протокол, поддерживающий *CIDR-адресацию* (*Classless Inter-Domain Routing*), маски переменной длины, суммирование маршрутов, а также имеет аутентификацию по ключу MD5 и возможность защиты нешифрованного трафика [2].

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Address family identifier (2)																Router Tag (2)															
IPv4 address (4)																															
Subnet mask (4)																															
Next hop (4)																															
Metric (4)																															

Address Family Identifier (AFI) — тип адреса, обычно поддерживается только запись AF_INET, которое равно 2 (т.е. используется для протокола IP).

Route Tag (RT) — тег маршрута. Предназначен для разделения «внутренних» маршрутов от «внешних», взятых, например, из другого IGP или EGP

IP Address — IP адрес места назначения.

Subnet Mask — маска подсети

Next Hop — следующий хоп. Содержит IP адрес маршрутизатора к месту назначения.

Значение 0.0.0.0 — хопом к месту назначения является отправитель пакета. Необходимо, если протокол RIP не может быть запущен на всех маршрутизаторах

Metric — метрика маршрута

Рисунок 2.3 - Формат RIP Entry для протокола RIPv2 (поле Version = 2)

На рисунке 2.4 представлен собранный стенд обмена трафиком между двумя хостами в двух разных сетях (155.1.1.0/24 и 55.1.1.0/24) с помощью RIPv2 маршрутизации, организованной на роутере Cisco CSR 1000V слева и конфигурация самого роутера справа.

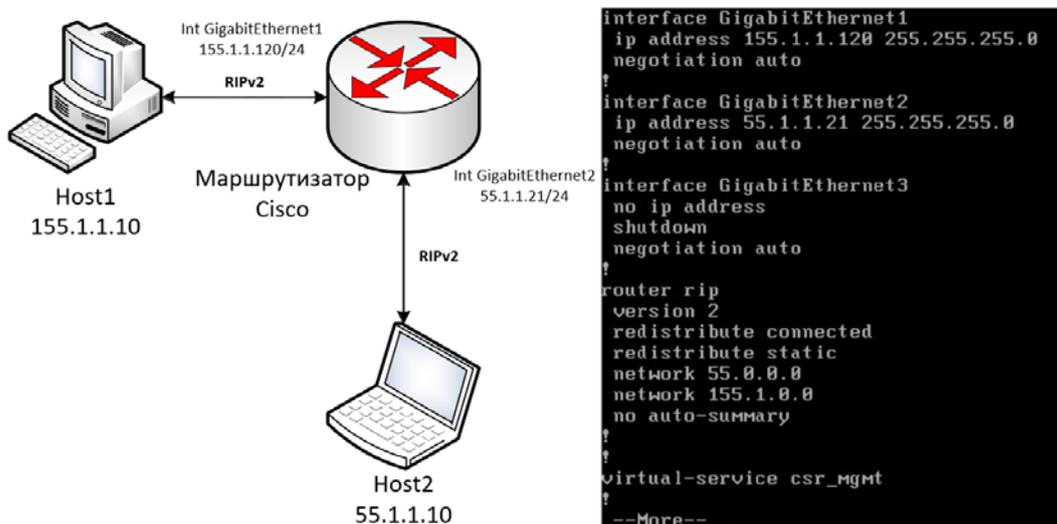


Рисунок 2.4 – Стенд и конфигурация Cisco маршрутизатора CSR 1000V при RIPv2 маршрутизации

Аутентификация настраивается на каждом выходном интерфейсе маршрутизатора, за которыми установлены соседние маршрутизаторы. При включенной аутентификации производится обработка только тех сообщений, которые содержат правильный аутентификационный код.

Протокол BGP является основным протоколом динамической маршрутизации в сети Internet. Как уже выше было сказано, он предназначен для обмена пакетами о достижимости сетей между *автономными системами* (*Autonomous System – AS*) или доменами маршрутизации [2]. Основным преимуществом данного протокола является то, что он гарантирует отсутствие заикливания обмена информацией между автономными системами. На сегодняшний момент имеется уже четыре версии BGP протокола: BGPv1 (RFC 1105) [8], BGPv2 (RFC 1163) [9], BGPv3 (RFC 1267) [10], BGPv4 (RFC 4271) [11]. Еще одна особенность BGP заключается в его использовании в качестве транспортного протокола протокол TCP и порт 179, не вводя свой собственный. Сначала устанавливается TCP-соединение, после чего маршрутизаторы начинают обмен пакетами. Формат сообщений, используемый при BGP маршрутизации представлен на рисунке 2.5. Существует четыре типа сообщений, которые передаются при установлении соединения, начинающиеся с заголовка: “*Open*” – *Открытие* / “*Update*” – *Обновление информации* / “*Notification*” – *Оповещение* / “*Keepalive*” – *Сохранение соединений*.

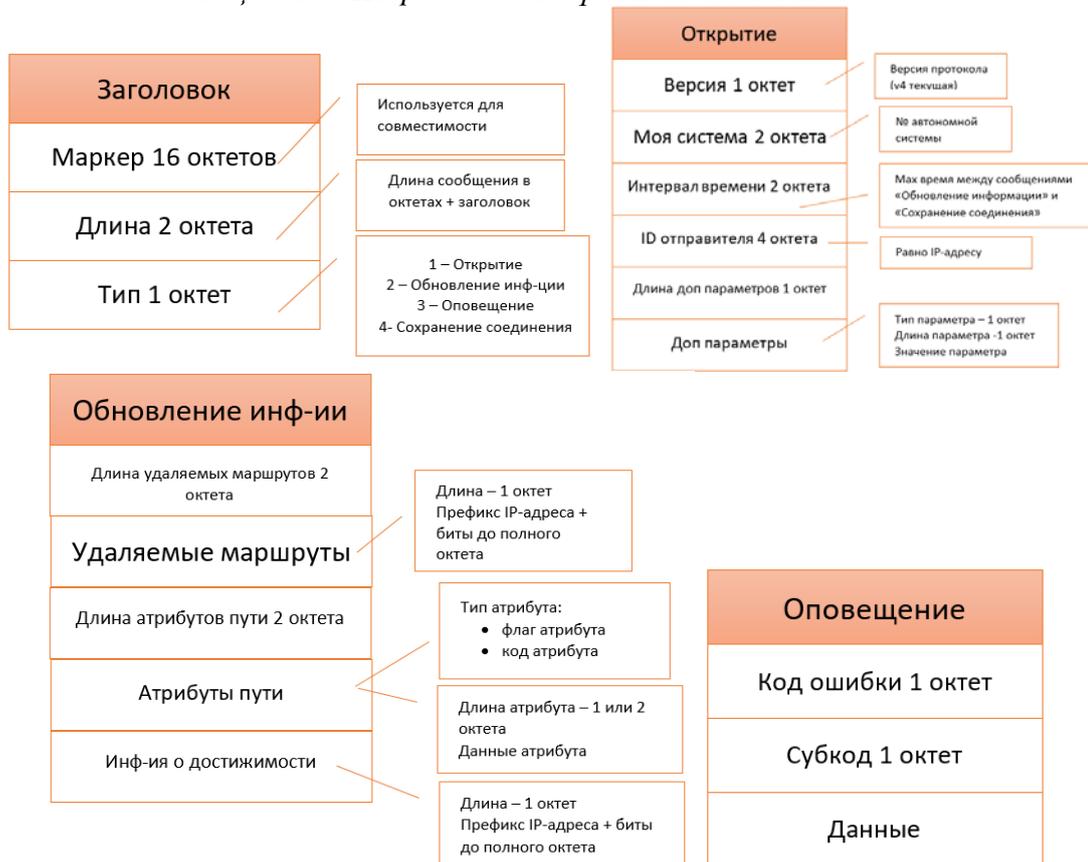


Рисунок 2.5 – Структура сообщений при BGP маршрутизации

Сообщение «Сохранение соединений» (не содержит дополнительных полей) посылается не реже чем раз в 1/3 max интервала времени между сообщениями, но не чаще чем раз в секунду. При этом, если интервал равен нулю, то сообщение не должно периодически рассылаться. Сообщение «Оповещение» посылается при обнаружение ошибки, после чего соединение закрывается. На рисунке 2.6 представлен собранный стенд обмена трафиком между двумя хостами в двух разных сетях (155.1.1.0/24 и 55.1.1.0/24) с помощью BGP маршрутизации, организованной на роутере Cisco CSR 1000V слева и конфигурация самого роутера справа.

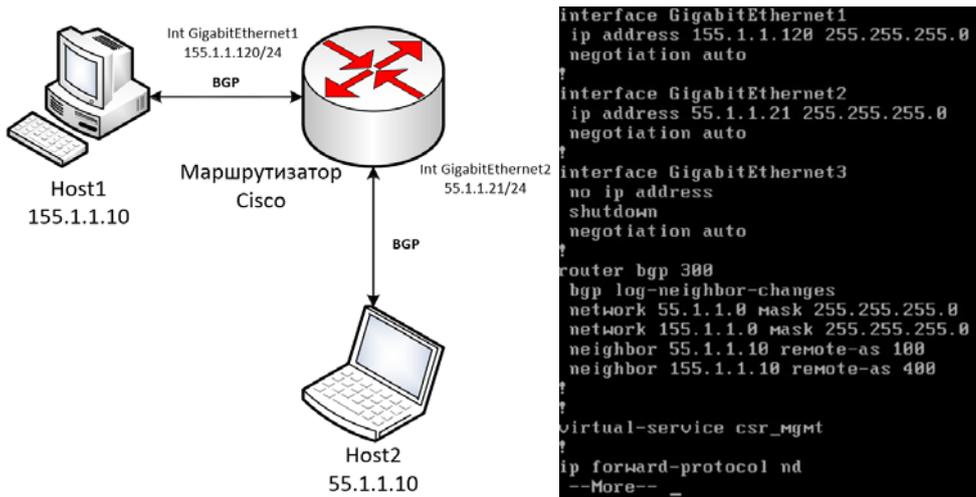


Рисунок 2.6 – Стенд и конфигурация Cisco маршрутизатора CSR 1000V при BGP маршрутизации

Два соседних маршрутизатора, обменивающиеся пакетами с использованием BGP маршрутизации в терминах Cisco называются *одноранговыми узлами*. При организации данной маршрутизации имеется возможность настройки разного вида аутентификации [2].

3 Анализ протокола OSPF

В отличие от предыдущих двух протоколов, протокол OSPF основывается на технологии отслеживания состояния канала и использует для нахождения кратчайшего пути алгоритм Дейкстры, использование которого, как считается, не защищает IP-сеть от перегрузок, что побуждает к реализации дополнительных мер по снижению вероятности нагрузки. Данный протокол был спроектирован в конце 80-х годов прошлого века в ответ на потребности IP-сетей в поддержке масок подсетей переменной длины, аутентификации источников маршрутов, быстрой сходимости, тэгирования маршрутов, получаемых через внешние протоколы маршрутизации и многоадресной рассылки извещений о маршрутах. В настоящее время OSPFv3 (RFC 2328) [12] является последней версией протокола, отличаясь от OSPFv2 тем, что поддерживает IPv6 маршрутизацию. Использование OSPF позволяет сегментировать сеть (разбить ее на зоны, создав иерархическую систему из маршрутизаторов) [2]. Маршрутизаторы, использующие данный протокол в отличие от маршрутизаторов на RIP, которые сообщают о своих маршрутах только соседним узлам, посылают свои сообщения о состоянии каналов всем маршрутизаторам, находящимся в рамках одной иерархической области. При установлении соединения маршрутизаторы обмениваются HELLO-пакетами через все интерфейсы, на которых используется OSPF, для нахождения DR (основного маршрутизатора) (рисунок 3.1-3.2).

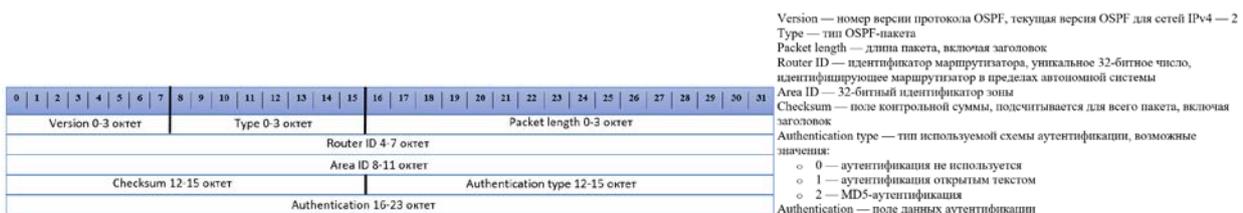


Рисунок 3.1 – Формат заголовка пакета OSPF

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Version							Type = 1							Packet length																	
Network mask 24-27 октет																															
Hello interval 28-31 октет														Options 28-31 октет							Router priority 28-31 октет										
Router dead interval 32-35 октет																															
Designated router 36-39 октет																															
Backup designated route 40-43 октет																															
Neighbor ID 44-47 октет																															

Network mask — сетевая маска интерфейса, через который отправляется hello-пакет
 Hello interval — интервал задающий частоту рассылки приветственных сообщений для обнаружения соседей в автономной системе
 Options — 8-битное поле опций, описывает возможности маршрутизатора
 Router priority — приоритет маршрутизатора
 Designated router (DR) — IP-адрес DR
 Router dead interval — период времени, в течение которого маршрутизатор ожидает ответа соседей;
 Backup designated router (BDR) — IP-адрес BDR
 Neighbor ID — идентификатор соседа

Рисунок 3.2 – Формат HELLO пакета OSPF

Далее маршрутизаторы предпринимают попытки перейти в состояние смежности со своими соседями. Отправляется пакет “*Database Description*”, и пара маршрутизаторов, находящихся в смежности, синхронизируют между собой базу данных (БД) состояния каналов, после чего признается соседство (рисунок 3.3).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Version							Type = 2							Packet length																	
Interface MTU 24-27 октет														Options							I	M	M	S							
DD sequence number 28-31 октет																															
LSA headers																															

Interface MTU — размер в байтах наибольшей IP дейтаграммы, которая может быть послана через данный интерфейс без фрагментации
 I-бит — устанавливается для первого пакета в последовательности
 M-бит — указывает наличие последующих дополнительных пакетов
 MS-бит — устанавливается для ведущего, сбрасывается для ведомого
 DD sequence number — в начальном пакете устанавливается на уникальное значение, при передаче каждого последующего пакета увеличивается на единицу, пока не будет передана вся база данных
 LSA headers — массив заголовков базы данных состояния каналов

Рисунок 3.3 - Формат Database Description пакета OSPF

Пакеты OSPF “*Link State Request*” (Type=3), “*Link State Update*” (Type=4) и “*Link State Acknowledgment*” (Type=5) предназначены для запроса части базы данных соседнего маршрутизатора, рассылки объявлений о состоянии канала и подтверждения получения пакета Link State Update, соответственно. Таким образом, после синхронизации БД маршрутизаторы отправляют “Link State Update”. Каждый маршрутизатор, получивший пакет записывает информацию в БД состояния каналов и рассылает копию пакета другим смежным с ним маршрутизаторам (за счет этого все маршрутизаторы внутри одной OSPF-зоны, то есть совокупности всех устройств, имеющих одинаковый идентификатор, строят одинаковую БД состояния каналов маршрутизатора). Далее каждый маршрутизатор использует алгоритм Дейкстры для вычисления графа – дерева кратчайших путей, после чего все маршрутизаторы строят таблицу маршрутизации из своего дерева. На рисунке 3.4 представлен собранный стенд обмена трафиком между двумя хостами в двух разных сетях (155.1.1.0/24 и 55.1.1.0/24) с помощью OSPF маршрутизации, организованной на роутере Cisco CSR 1000V слева и конфигурация самого роутера справа.

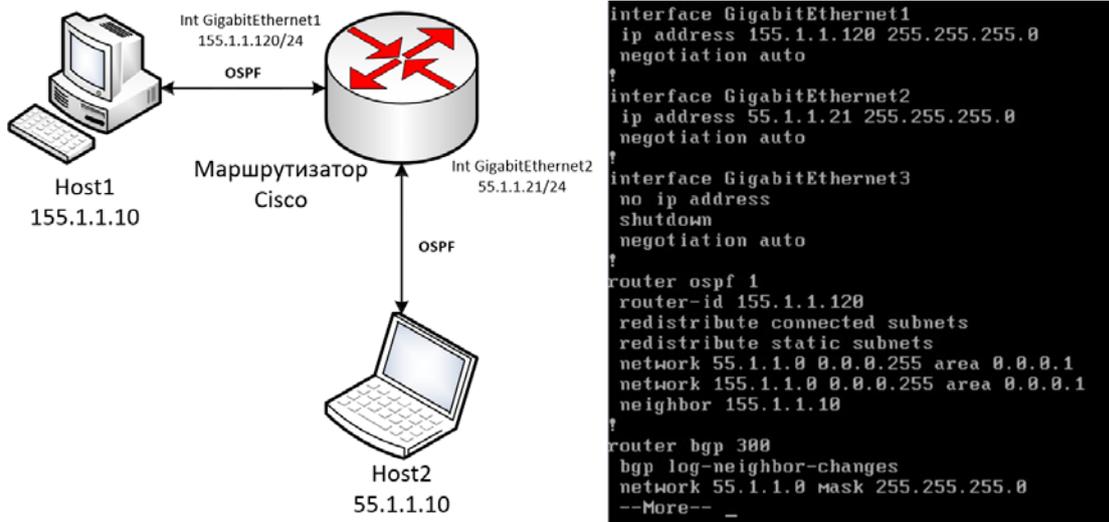


Рисунок 3.4 – Стенд и конфигурация Cisco маршрутизатора CSR 1000V при OSPF маршрутизации

Как приведено выше на рисунках 3.2 и 3.3, ключевой момент при использовании OSPF, процесс формирования соседства между соседними маршрутизаторами с помощью DR и BDR, используя LSA, так как они являются единственными устройствами, генерирующими LSA. Таким образом все не DR-маршрутизаторы формируют соседство с DR.

Заключение

В результате проведенного анализа было выявлены следующие преимущества и недостатки рассматриваемых протоколов:

- протоколы RIP и BGP отличаются вычислительной простотой кратчайшего маршрута с помощью алгоритма вектора расстояний, однако протокол BGP передает маршруты к каждому пункту назначения, в то время, как RIP объявляет пересылку к получателю;
- протокол RIP может работать только с маршрутами, имеющими не более 15 переходов;
- главным преимуществом протокола BGP при работе в сети Internet является уменьшение транзитного трафика;
- протокол OSPF характеризуется оптимальным использованием пропускной способности, так как, в отличие от RIP и BGP, рассчитывает маршруты по алгоритму Дейкстры, однако с другой стороны, считается, что использование этого метода не защищает IP-сеть от перегрузок, что побуждает к реализации дополнительных мер по снижению вероятности нагрузки.

Работа данных протоколов была протестирована на разработанных стендах, включающих в себя маршрутизаторы Cisco CSR 1000V, на которых была задана конфигурация для организации передачи трафика в рассматриваемом сетевом пространстве.

Литература

1. Амато В. Основы организации сетей Cisco, том 1. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. – 512 с. : ил. – Парал. тит. англ.
2. Леинванд А., Пински Б. Конфигурирование маршрутизаторов Cisco, 2-е изд. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 386 с. : ил. – Парал. тит. англ.
3. Cisco Systems, Inc. Руководство по междоменной многоадресатной маршрутизации. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 320 с. : ил. – Парал. тит. англ.
4. Cisco [Электронный ресурс] // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Cisco> - Дата обращения 26.01.2018.
5. Официальный сайт компании Cisco [Электронный ресурс] // URL: https://www.cisco.com/c/ru_ru/index.html - Дата обращения 26.01.2018.
6. Антонова Д.О. Анализ МЭ Cisco ASA и Check Point FireWall-1 // Наука через призму времени. – 2017. - №9. – с. 13-27.
7. RFC 2453 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2453> - Дата обращения 26.01.2018
8. RFC 1105 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1105> - Дата обращения 26.01.2018
9. RFC 1163 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1163> - Дата обращения 26.01.2018
10. RFC 1267 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1267> - Дата обращения 26.01.2018
11. RFC 4271 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4271> - Дата обращения 26.01.2018
12. RFC 2328 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2328> - Дата обращения 26.01.2018
13. Муравьев К.А., Терехов В.В. Математические модели и методы комплексного мониторинга распределённых телекоммуникационных систем // В сборнике: "Перспективные технологии в средствах передачи информации" - ПТСПИ-2017 Материалы 12-ой международной научно - технической конференции, в 2-х томах. 2017. С. 13-15. 0
14. Муравьев К.А., Терехов В.В. Методы управления сетевым трафиком гетерогенных распределённых телекоммуникационных систем // Проектирование и технология электронных средств. 2017. № 2. С. 15-21.
15. Муравьев К.А., Терехов В.В. Программно-аппаратный комплекс мониторинга распределённых телекоммуникационных систем // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 1. С. 324-329.
16. Власов А.И., Иванов В.В., Косолапов И.А. Методы упреждающего прогнозирования состояния широкополосной сети связи // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 3-6.

ГЕТЕРОГЕННЫЕ ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В МЕДИЦИНСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Артемьев И. Б.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ECG ANOMALIES AND THEIR DETECTION WITH THE CLUSTERIZATION OF ECS SAMPLES

Artemiev I. B.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor, Vlasov A.I.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Статья посвящена исследованиям и разработке ионизационной камеры для мониторинга ионизирующих излучений в медицинской и промышленной диагностике.

Abstract

Research and development of X-ray detectors, control methods and metrology software for medical imaging techniques and industry.

Введение

Ранее два метода: рентгенометрический и рентгеноскопический разделяли, однако на сегодняшний день, от данного разделения уходят, т.к. в обоих направлениях все новое оборудование использует как цифровое преобразование для обработки первичного сигнала, так и графическое представление для результатов измеренного параметра радиометрического контроля (диаграммы, графики и др.) которые значительно облегчают восприятие результатов. Рассмотрим в качестве примера рентгеновскую толщинометрию - метод, применяемый для контроля толщины металлического проката толщиной от десятых долей микрона до десятков миллиметров из материалов с эффективным атомным номером $Z = 12 \dots 72$ в процессе производства и без вмешательства в уже существующий технологический процесс. Данный метод обладает набором положительных свойств: бесконтактный, экологически чистый (в отличие от изотопного), однако, он является косвенным методом измерения, что накладывает определенные ограничения на минимизацию погрешности результатов измерения, которая появится в том случае, если будет изменен химический состав контролируемого изделия и (или) его плотность. Для достижения необходимой точности измерения, были созданы новые детекторы ионизирующего излучения – многослойные гетерогенные камеры. Данные камеры обладают энергетической чувствительностью. Такое решение позволяет во-первых расширить динамический диапазон измерения толщины, во-вторых корректировать погрешность, которую вносит в процесс измерения нестабильность рентгеновского излучения, а так же избежать влияния изменения спектра излучения на точность измерения. Подобные проблемы возникают так же и при рентгенографических исследованиях, даже при в том случае, если в качестве регистрирующего носителя информации будет использована рентгеновская пленка. Однако, стоит отметить, что из-за ее неоднородности и относительно малого времени экспозиции по сравнению с рентгенотелевизионными установками проблема стабилизации рентгеновского потока не стоит так остро. Таким образом для получения максимального динамического диапазона и повышения точности измерений необходимо иметь точные данные по параметрам потока

зондирующего излучения, т.е. если в качестве источника излучения применяются рентгеновские аппараты с анодным напряжением и токе трубки.

1 Сравнение однородных и гетерогенных ионизационных камер

Однородные ионизационные камеры широко используются в дозиметрии, так как они имеют широкий динамический диапазон регистрации дозы и мощности дозы, при этом погрешность измерений незначительная, она вызывается изменением температуры окружающей среды. Серьезным недостатком таких камер, используемых для дозиметрического контроля, является их невысокая эффективность в сравнении с полупроводниковыми детекторами ионизирующего излучения. Этот недостаток не преодолим, так как в самой постановке задачи дозиметрического контроля, ионизационные камеры должны быть или воздушно-эквивалентными или ткане-эквивалентными. При этом их стенки выполняются из материалов с эффективным атомным номером $Z_{\text{эфф}} \sim Z_{\text{возд}}$ или $Z_{\text{эфф}} \sim Z_{\text{ткани}}$, а так как для фотоэлектрического поглощения $Z_{\text{возд}} = 7,64$ и $Z_{\text{ткани}} = 7,42$, то их чувствительность не превышает:

$$K_{\text{ч}} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ (А с)} / (\text{Р см}^3)$$

Для повышения чувствительности, в расчете на единичный объем детектора, были разработаны гетерогенные ионизационные камеры. В качестве материала покрытия был использован висмут ($Z=83$). Данное решение позволило повысить чувствительность практически на два порядка по сравнению с ионизационными камерами используемыми для дозиметрического контроля при воздушном заполнении рабочего объема. Камеры с $Z \gg Z_{\text{возд}}$ являются гетерогенными, так как атомный номер материала стенок существенно отличается от атомного номера газа заполняющего ее измерительный объем. Камеры с висмутовым покрытием электродов нашли широкое применение в качестве детекторов рентгеновского излучения в рентгеновской медицинской диагностике, в частности при разработке и серийном выпуске автоматизированных систем дозиметрического контроля экспозиции, а так же в промышленных установках с использованием рентгеновского излучения и рентгеновской толщинометрии.

Автоматическое экспонирование в рентгенодиагностике обеспечивает повышение качества изображения и ведет к снижению радиационной нагрузки на пациента или иной объект контроля за счет исключения брака в экспозиции и, следовательно, исключения необходимости проведения повторных снимков.

Ионизационные камеры используются в системах автоматического экспонирования в качестве детекторов рентгеновского излучения устанавливаются непосредственно перед приемником рентгеновского излучения (кассетой с рентгеновской пленкой, плоской цифровой панелью, запоминающим флуоресцентным экраном). Малая толщина и высокая рентгенопрозрачность позволяет устанавливать подобные камеры в современные рентгеновские аппараты без ухудшения качества рентгеновских снимков [1,2]. Применение ионизационных камер в системах автоматического экспонирования гарантирует оптимальное качество снимка независимо от напряжения на излучателе, толщины пациента, фокусного расстояния и других факторов при минимально возможной лучевой нагрузке на пациента для любого типа детекторов: пленка, фосфорные пластины или твердотельные панели.

В системах экспонетрии ионизационная камера под действием рентгеновского излучения генерирует ионизационный ток, который пропорционален интенсивности рентгеновского излучения. Затем усиленный и проинтегрированный ток камеры попадает в систему автоматического экспонирования. По достижении предварительно заданного уровня разности потенциалов, соответствующего оптимальной дозе рентгеновского излучения в основном детекторе, система автоматического экспонирования выдает сигнал на выключение излучения.

Ионизационная камера состоит из трех чувствительных к рентгеновскому излучению измерительных полей, поля представляют собой плоскопараллельную

ионизационную камеру с воздушным наполнением. Каждое поле по отдельности или все вместе подключаются к предусилителю, сигнал с которого поступает на систему автоматического экспонирования.

Очень малая величина ионизационного тока с измерительных полей камер ($I \sim 10^{-11}$ А) не позволяет передать эти токи без искажений до систем автоматического экспонирования, расположенных на значительном расстоянии от ионизационных камер (до 20 м). В связи с этим ионизационные камеры (рис.5,6) снабжаются предусилителем для усиления передаваемого сигнала. Предусилитель преобразует ионизационный ток камеры в усиленный дифференциальный потенциальный сигнал, который без заметных искажений поступает в систему автоматического экспонирования. Предусилитель конструктивно совмещается с источником питания ионизационной камеры (преобразователем напряжения), обычно, напряжением несколько сот вольт. Это позволяет не подводить питание камеры извне и использовать кабель, соединяющий предусилитель с системой автоматического экспонирования с низковольтными жилами.

Типоразмеры выпускаемых камер*:

Толщина 6 мм	Толщина 10 мм
465 x 465 мм	465 x 465 мм
382 x 374 мм	380 x 356 мм
421,5 x 380 мм	

Напряжение питания камер: +250В для камер толщиной 10 мм +150В для камер толщиной 6 мм.

Чувствительность каждого измерительного поля при напряжении на трубке рентгеновского аппарата 80кВ и алюминиевом фильтре 23,5 мм:

(6-8) • 10^{-11} А С / Гр для камер толщиной 6 мм

(9-1 2) 10^{-11} А С / Гр для камер толщиной 10 мм

Рентгенопрозрачность камеры, выраженная в алюминиевом эквиваленте < 1,0 мм.

Отклонение спектральной чувствительности в диапазоне напряжений на трубке рентгеновского аппарата от 50кВ до 125кВ и алюминиевом фильтре 23,5 мм: не более +20%

Еще одна задача, это необходимость стабилизации потока зондирующего излучения по спектру и по интенсивности. Создание техногенных источников рентгеновского излучения генераторного типа для задач радиометрии успешно решается с помощью гетерогенных камер [5]. Размещение камеры за объектом контроля, даже при относительном постоянстве анодного напряжения источника, излучения приводит к серьезному изменению спектрального распределения энергии излучения падающего на камеру (на рис. 1 приведено спектральное распределение рентгеновского излучения за медными фильтрами различной толщины).

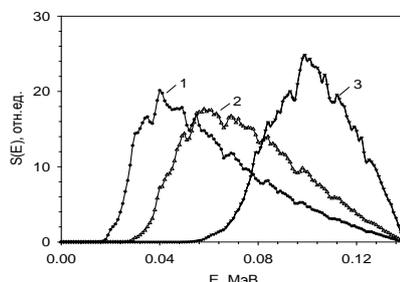


Рисунок 1 - Спектральные распределения рентгеновского излучения за листами меди различной толщины. Анодное напряжение рентгеновской трубки – 140кВ. Толщина контролируемого листа: 1–50мкм; 2 – 500мкм; 3 – 5000мкм

Поэтому необходимо, в рамках данной задачи, минимизировать отклонение спектрального распределения энергии излучения от используемого в процессе калибровки.

3 Техническая реализация системы

Для питания рентгеновских трубок используются высоко стабилизированные источники постоянного напряжения. Требуемая погрешность измерения дозы излучения 0,1...0,05%. Для обеспечения такой погрешности на протяжении длительного периода времени (в течении суток и более) требует не только обеспечить питание рентгеновской трубки от высоко стабильного источника, но получить постоянство потока излучения, в связи с тем, что геометрия электродов рентгеновской трубки изменяется под действием температуры, а при использовании их в реальных условиях контроля, от вибрации и ударных нагрузок. В долговременную нестабильность параметров излучения вносит вклад: колебания и дрейф напряжения и частоты питающей электрической сети, изменение фокусировки пучка электронов внутри трубки за счет перераспределения статического заряда на диэлектрических элементах конструкции, падение эмиссии катода. Испарение материала мишени с последующим оседанием атомов тяжелого металла, как правило, вольфрама на стеклянном или бериллиевом окне выхода излучения, так же изменяет эффективную энергию излучения. Данная проблема эффективно решается использованием для преобразования излучения детекторов обладающих энергетическим разрешением.

Для некоторых применений (например, рентгеновской толщинометрии и медицинской рентгеновской диагностики) очень важно не допустить изменения не только интенсивности потока, особенно его эффективной энергии. Компенсация, достаточная для рентгенографических применений может быть получена введением в зондирующий поток однослойного рентгенопрозрачного реперного детектора по своим свойствам аналогичного основному (рис.2). Сигнал основного детектора нормируется на сигнал получаемый от реперного детектора. Подобный подход позволяет понизить погрешность измерения от нестабильности анодного тока и напряжения. Он удобен, если нет необходимости дифференцировать изменения эффективной энергии потока и интенсивности потока. В противном случае, когда для получения минимальных погрешностей измерения важно знать точное значение эффективной энергии потока, необходимо иное решение.

Для решения этой задачи на базе гетерогенной камеры была разработана система автоматической коррекции нестабильности спектра и потока источника зондирующего излучения.

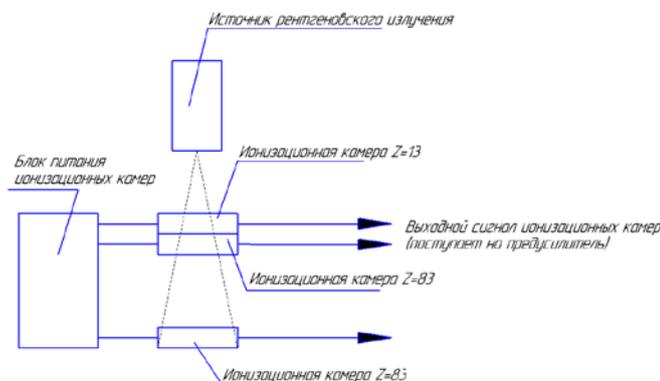


Рисунок 2 - Блок схема системы автоматической коррекции нестабильности спектра и потока источника зондирующего излучения

Основой системы является двухсекционная комбинированная гетерогенная рентгенопрозрачная камера (рис.2) установленная непосредственно на окне анода

рентгеновской трубки. Одна секция камеры имеет эмиссионное покрытие с $Z = 13$, а вторая $Z = 83$. За счет разности атомных номеров эмиссионных покрытий данная камера обладает энергетическим разрешением. График функции не зависит от величины потока излучения

$$f(E_i) = K I_1/I_2 \quad (1)$$

где: E_i – значение эффективной энергии потока излучения;

K - коэффициент пропорциональности;

I_1/I_2 - ток первой и второй секций реперной рентгенопрозрачной камеры.

и является функцией его эффективной энергии. Камера (рис.2) установленная за калибровочными образцами и контролируемым объектом имеет эмиссионное покрытие с $Z = 83$ идентичное второй секции первой камеры, что делает их согласованными по спектру поглощаемого излучения. Сигнал второй камеры нормируется на сигнал, снимаемый с выхода второй секции первой камеры, при изменении интенсивности потока первичного излучения I_0 , и на величину $f(E_i)$ при изменении эффективной энергии потока квантов. Тем самым изменения потока зондирующего излучения вызванные изменением толщины контролируемого объекта дифференцируются от изменений потока излучения вызванных нестабильностью источника. Для уменьшения погрешности измерения сигналы, поступающие со всех камер, считываются синхронно, при помощи трех канального интегрирующего АЦП. Хотя находясь в одном пучке и будучи ориентированы параллельно плоскостям нормальных оси пучка зондирующего излучения камеры охватывают одинаковые телесные углы, их сигналы будут различаться, так как спектр излучения (рис.1) изменяется под воздействием фильтрации в материале контролируемого изделия.

На графике рис.3 видно, что независимо от степени фильтрации спектра излучения и тока трубки функция $f(E_i)$ определена однозначно, и зависит только от эффективной энергии $E_{эф}$. Разброс характеристик отдельных экземпляров камер менее 5% по абсолютному значению чувствительности, стабильны во времени и не стареют под воздействием рентгеновского излучения.

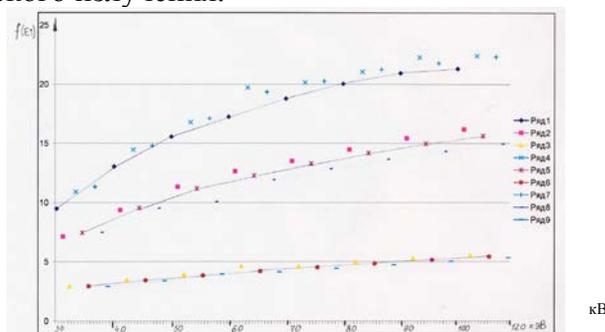


Рисунок 3 - График зависимости $f(E_i)$ от напряжения кВ на аноде рентгеновской трубки для трех экземпляров камер и различных толщин первичного фильтра излучения. Ряды 4,1,7 – прямой пучок, ряды 2,5,8 – 50мкм (Cu), ряды 3,6,9 – 500мкм (Cu)

Кривые не имеют экстремальных точек и участков с отрицательной дифференциальной характеристикой в широком диапазоне эффективных энергий, что позволяет получить чувствительность к изменению эффективной энергии не менее 1% в диапазоне энергий от 30 до 120 кВ. Экспериментальные исследования показали, что степень влияния нестабильности напряжения и тока источника излучения на результаты измерений, при использовании многослойной камеры в качестве реперного детектора, уменьшилась более чем в 10 раз при снижении дисперсии сигнала в 30 раз, среднеквадратичного отклонения почти в 20 раз и стала не различима на фоне квантовых флуктуаций.

3 Конструкция камеры

Полость камеры (рис.4) герметична от окружающей среды и заполнена газом, поэтому влажность в полости камеры постоянна и не зависит от изменения давления и влажности окружающей среды. Следствие этого - постоянны геометрические размеры внутри камерных электродов и межэлектродных расстояний, что обеспечивает стабильность длины свободного пробега электронов, вышедших из электродов, в промежутки между электродами при заданной энергии рентгеновского излучения. Суммарное число высоковольтных и собирающих электродов равно значению N . Чем больше число N , тем больше чувствительность камеры. Однако N выбирается исходя из габаритов камеры вдоль ее продольной оси и величины h , которая определяется энергией квантов рентгеновского излучения и пропорциональна длине свободного пробега электронов, поэтому назначается также исходя из соображений увеличения чувствительности камеры. Например, при напряжении генерирования рентгеновского излучения $U=100$ кВ оптимальная величина h воздушных промежутков между электродами равна примерно 10 мм, при этих условиях рациональное количество четыре электрода высоковольтных (шесть покрытий) и три электрода собирающих (шесть покрытий). Напряжение питания камеры не превышает $U=300$ В, которое подается на высоковольтные электроды. Покрытия 4, 5 наносятся на пластины 3 методом химического осаждения или вакуумного напыления. На чертеже (рис.4) показана конструкция гетерогенной ионизационной камеры. Камера состоит из охранного электрода 1 и 2, выполненных в виде металлического цилиндра и диска выполняющих одновременно функции корпуса камеры, первого и второго высоковольтных электродов 4 и 5, собирающего электрода, расположенного между высоковольтными электродами в срединном поперечном сечении и рентгенопрозрачных антивибрационных электроизоляционных стоек 6 и 7 обеспечивающих постоянство расстояний между электродами h . Постоянные геометрические размеры камерных электродов и межэлектродных расстояний обеспечивают стабильность длины свободного пробега электронов, вышедших из электродов, в промежутки между электродами при фиксированной энергии рентгеновского излучения.

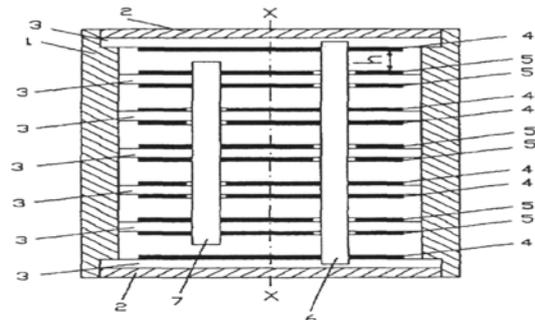


Рисунок 4 - Многоэлектродная гетерогенная ионизационная камера - конструкция.



Рисунок 5 - Ионизационная камера для мониторинга дозы и мощности дозы рентгенодиагностических аппаратов с анодными напряжениями от 40 до 200 кВ



Рисунок 6 - Квази-воздухоэквивалентная ионизационная камера для мониторинга дозы и мощности дозы рентгенотерапевтических аппаратов с анодными напряжениями от 10 до 300 кВ

Количество высоковольтных и собирающих электродов ограничено только внешними размерами камеры. Чем больше их число, тем выше чувствительность камеры, но с ростом числа электродов чувствительность детектора растет не линейно по экспоненциальному закону.

Заключение

Применение подобных детекторов перспективно в приборах осуществляющих контроль объектов требующих минимальных лучевых нагрузок при высокой временной и температурной стабильности и минимальных погрешностях измерений дозы и мощности дозы.

Литература

1. Проходная ионизационная камера. Патент на полезную модель RUS № 163274, Кантер Б.М., Владимиров Л.В., Владимиров Ю.Л., Артемьев И.Б., Черний А.Н.
2. Патент RUS №2194332, Рентгенопрозрачная ионизационная камера. Артемьев Б.В., Владимиров Л.В., Мишкинис Б.Я. и др.
3. Возможности многоэлектродных гетерогенных ионизационных камер для рентгеновской толщинометрии. Дефектоскопия. – 2006 - №5. С.80-86. Артемьев Б.В. Маслов А.И.
4. Владимиров Л.В., Артемьев И.Б. Козлов А.А. Особенности проектирования систем автоматического экспонирования для рентгеновских аппаратов медицинской диагностики // Сборнике Проблемы взаимодействия ВУЗов, НИИ и РАН по подготовке инженерных и научных кадров по неразрушающему контролю и технической диагностике. ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр». 2015. С. 102-108.
5. Клюев В.В., Артемьев Б.В., Артемьев И.Б., Клюев З.В. Рентгеновская толщинометрия в прокатном производстве цветных металлов //Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 7 (664). С. 67-78.

**РОССИЯ ВЫХОДИТ ИЗ ТРАДИЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА?
ИНДУСТРИЯ 4.0. ЦИФРОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В РОССИИ**

Балинец В.Н.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Журавлева Л.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

**IS RUSSIA LEAVING TRADITIONAL PRODUCTION?
INDUSTRY 4.0. DIGITAL REVOLUTION IN RUSSIA**

Balinets V.N.

Supervisor: Ph.D., Docent Jyravleva L.V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе были рассмотрены недостатки традиционного производства, причины, обуславливающие переход к цифровой экономике и технологии, используемые в цифровом производстве.

Abstract

This paper describes the disadvantages of traditional production, the reasons of transition to the digital economy and the technologies of digital production.

Введение

28 июля 2017 года поступило распоряжение Правительства РФ по программе «Цифровая экономика Российской Федерации». Разработанная в рамках реализации Стратегии развития информационного общества на 2017-2030 годы.

Роль информации в современном мире возрастает, данные становятся самым ценным ресурсом. Развитие интернета и информационных технологий преобразило многие сферы жизни человека – коммуникацию, образование, накопление и распространение знаний.

1 Общие принципы

Проблемы инновационного развития России обсуждаются на всех уровнях. Прорывные технологии вытесняют традиционное производство, но его развитие, безусловно, необходимо, если есть рынок сбыта производимой продукции. Особенности традиционного производства представлены в таблице 1.

Таблица 1 Особенности традиционного производства

Традиционное производство			
Люди	Материальная собственность	Интеллектуальная собственность	Система управления людьми
Основа работы производства, без человека не имеет возможности существовать (рабочие, руководители, специалисты).	То, с чем работает производство. Природные материалы, созданные человеком оборудование, инструменты, либо деньги и ценные бумаги.	Используемые технологии и методики, использующиеся много лет и не обладающие новизной.	Группа людей управляющая предприятием, т.е. управляющая другой группой людей.

Основная проблема в том, что в традиционном производстве используется устоявшаяся во времени технология, давно себя зарекомендовавшая и не имеющая никакой новизны. Ярко выражены социальные аспекты трудовых отношений и необходимость их постоянного регулирования.

2 Специфика перехода к цифровому производству

На крупных предприятиях быстро принимать решения и управлять всей системой технической подготовки (технологической, конструкторской и пр.) продуктивно становится невозможно, высок риск человеческих ошибок, необходимы все большие затраты на обучение персонала, новые рабочие места. Необходима комфортная среда, рабочее пространство для человека. Рабочее место – это первичное звено производства от качества работы которого зависят результаты деятельности всего предприятия [4-7].

Помещение для работы создается согласно стандартам требований по организации и безопасности на предприятии и в офисе, определяемых законодательными актами и профильным ГОСТ 12.2.032-78. Сотрудники компаний проводят много времени непосредственно на своих рабочих местах, являющихся жизненным пространством для многих людей, поэтому от качества их организации зависит отношение работников к своим обязанностям. Эффективность труда, лояльность сотрудников к компании определяется мерой заботы руководства о соблюдении условий работы каждого человека.

Поэтому в развитых странах происходит переход на “новое производство”, так называемая Индустрия 4.0 создаются предприятия где работу выполняет уже не человек, а автоматика, внедряется новое программное обеспечение, появился “интернет вещей” - симбиоз физических объектов и цифровых технологий (датчики, сенсорные системы, мобильная и интернет связь и прочие средства для подключения объектов к виртуальным сетям), благодаря этому возникает обратная связь, с помощью которой осуществляется мониторинг и оптимизация предприятия на самом детальном уровне. Информацию в цифровом виде легче преобразовывать и передавать, что существенно сокращает сроки разработки. Технологические процессы, описанные в цифровом виде, позволяют массово применять оборудование, работающее в автоматическом режиме. В целом выгоды от использования концепции цифрового производства состоят, в первую очередь, в снижении количества ошибок в реальном производстве за счет их обнаружения и устранения на ранних этапах подготовки в виртуальной среде. В свою очередь, сокращение ошибок в реальном производственном процессе благоприятно сказывается на

затратах на производство (стоимость устранения реальных ошибок всегда выше, чем виртуальных), а также на времени подготовки производства.

Структурная схема перехода к цифровому производству представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 Структурная схема перехода к цифровому производству

Что произойдет с рабочим местом человека в результате цифровой революции? Рабочее место будет иметь уже совсем другой смысл - “Цифровое рабочее место”. Это уже будут технологии и методы работы, которые позволяют людям объединяться, общаться и взаимодействовать, не обязательно находясь лицом к лицу. Бизнес-приложения, электронная почта, интернет и веб-конференции являются типичными элементами цифрового рабочего места.

Идет ориентация на:

- применение новых технологий (Big Data, облачные решения, дроны и пр.) в отдельных областях деятельности, чтобы с помощью ИТ повысить конкурентоспособность бизнеса;
- 3D-моделирование, прототипирование;
- внедрение аналитических систем для принятия более оптимальных решений в реальном времени;
- использование современного программного обеспечения по подготовке производства (CAD/CAM/CAE/PDM)²;
- Создание на промышленном предприятии единого информационного пространства (Machine Data Collection³);
- систематизацию данных, автоматизацию процесса выпуска рабочей документации и анализ проектных ошибок;
- системный подход к хранению информации и сокращению сроков на ее поиск.

Можно предположить, что российская промышленность пока далека от уровня США и Европы: просто потому, что у нас меньше корпораций, которые могут позволить себе внедрение сложных систем аналитики и оптимизации. В России на 10 тыс. работников приходится всего один промышленный робот⁴. Это в 70 раз ниже, чем в среднем в развитых странах. Например, в Южной Корее на 10 тыс. работников приходится 531 промышленный робот, в Японии — 305, в Сингапуре — 398.

² **Computer Aided Design.** Система автоматизированного проектирования (САПР) — программный пакет, предназначенный для создания чертежей.

³ Сбор машинных данных.

⁴ Исследование Национальной ассоциации участников рынка робототехники (НАУРР)

Заключение

Для реализации программы требуется появление государственных компаний-лидеров – современных предприятий, развивающих “сквозные” технологии, что возможно только благодаря правильному взаимодействию государственной политики, исследовательских коллективов, науки и бизнеса. Можно сделать вывод, что создание цифровых производств невозможно, пока не создана соответствующая инфраструктура, среда, не подготовлен персонал. Только качественная организация процесса позволит достичь успеха, поэтому так важна правильная постановка цели, грамотное построение стратегии, взаимодействие разных участников процесса, отслеживание, управление и понимание сущности происходящих изменений.

Литература

1. Инновационный менеджмент. 2011. №3. С. 51-55.
2. Деловой портал «Управление производством» <http://www.up-pro.ru/>
3. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации" от 28 июля 2017 г. №1632-р.
4. Арабов Д.И., Власов А.И., Гриднев В.Н., Григорьев П.В. Концепция цифрового инструментального производства (fab lab) для прототипирования изделий электронной техники // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3 (47). С. 23-34.
5. Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Козлова А.Ю. Комплексная методика автоматизированного технологического проектирования в среде САМ350 // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 2 (166). С. 55-66.
6. Арабов Д.И., Верясова А.Ю., Гриднев В.Н. Комплексное макетирование узлов вычислительной техники с использованием инфраструктуры цифрового производства (FAB-LAB) в условиях сквозного обеспечения качества // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 1. С. 189-192.
7. Власов А.И., Гриднев В.Н., Милешин С.А., Козлова А.Ю. Маршрут технологической подготовки производства печатных плат в среде САМ350 // Технологии инженерных и информационных систем. 2017. № 1. С. 14-45.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИНТЕРРОГАТОР ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК

Дьяконов А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Аминев Д.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

HIGHSPEED INTERROGATOR OF FIBER OPTIC SENSOR SYTEMS BASED ON BRAGG GRATINGS

Diakonov A.V.

Supervisor: Ph.D., Docent Aminev D.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Необходимость использования различных методов неразрушающего контроля для решения задач мониторинга технических комплексов и систем обусловлена увеличением количества их структурных элементов, усложнением алгоритмов функционирования, старением находящегося в эксплуатации оборудования и их значительной протяжённостью. Большие объёмы информации, получаемой с различных датчиков систем мониторинга, требуют значительных вычислительных ресурсов для ее оперативной обработки и формирования отчетов о состоянии системы для оценки ее остаточного ресурса. Выбор контролируемых параметров объекта в общем случае индивидуален и может включать в себя целый ряд физических величин. В рамках данной статьи затрагиваются лишь температура и деформация. С точки зрения контроля температуры и деформации существует несколько подходов: с применением традиционных сенсоров, пьезоэлектрических сенсоров или оптоволоконных сенсорных систем. Проведён анализ возможности контроля с использованием оптических сенсорных систем, построенных на основе брэгговских решеток. В статье сделан акцент на высокоскоростной (более 10 кГц) цифровой обработке данных после оптико-электронного преобразования.

Abstract

The need to use various methods of nondestructive testing and technical diagnostics for solving problems of monitoring technical complexes and systems is due to the increase in the number of their structural elements, the complexity of the functioning algorithms, and the aging of equipment in operation by their considerable extent. Large amounts of information obtained from various sensors of monitoring systems require significant computational resources for its rapid processing and generation of reports on the state of the system to assess its residual resource. The choice of the monitored parameters of the object is generally individual and can include a number of physical quantities. In this article, only temperature and deformation are affected. From the point of view of temperature control and deformation, there are several approaches: with the use of traditional sensors of piezoelectric sensors or fiber optic sensor systems. The analysis of control possibility with the help of optic sensor systems based on Bragg gratings was carried out. The article emphasizes high-speed (> 10 kHz) digital signal processing after optoelectronic transformation.

Введение

Благодаря развитию номенклатуры и характеристик современных датчиков появилась возможность распределённого контроля состояния объектов. Так называемые интеллектуальные материалы являются результатом встраивания датчиков различного типа и сенсорных систем в структуру исследуемого объекта [1].

Широкое распространение получили датчики на основе волоконно-оптических сенсорных систем. В соответствии с критерием локализации выделяют точечные, распределённые и квазираспределённые волоконно-оптические датчики (ВОД). Также ВОД можно классифицировать по использованию оптического волокна в качестве линий связи для передачи измерительной информации или непосредственно сенсоров [2].

Одними из наиболее распространённых систем интерактивного контроля состояния объектов являются волоконно-оптические сенсорные системы (ВОСС) на основе

брэгговских решеток (ВБР) [3]. Интерактивность предполагает постоянный опрос системы с целью её непрерывного мониторинга, в нашем случае минимальная требуемая частота опроса составляет 10 кГц, что обусловлено возможностями оптической части проектируемого устройства. Данные системы нечувствительны к электромагнитным помехам, обладают устойчивостью к внешним механическим воздействиям, не требуют подвода электрического питания к контролируемым точкам, а также имеют минимальные массогабаритные параметры. Реализация ВОСС на основе брэгговских датчиков как квазираспределённой системы позволяет осуществлять мониторинг состояния контролируемого объекта на значительных расстояниях с минимальной потерей точности. Опрос контролируемой системы с последующей обработкой данных, полученных с датчиков, производится специализированными оптико-электронными устройствами – интеррогаторами.

1 Снижение погрешности измерения в ВОСС

Элементарная сенсорная система на основе брэгговских датчиков имеет структуру, представленную на рисунке 1. Источник излучения по оптическому волноводу отправляет сигнал на брэгговский датчик, сигнал претерпевает отражение, возвращаясь на приёмное устройство интеррогатора, который по смещению спектра исходного излучения интерпретирует показания датчика.

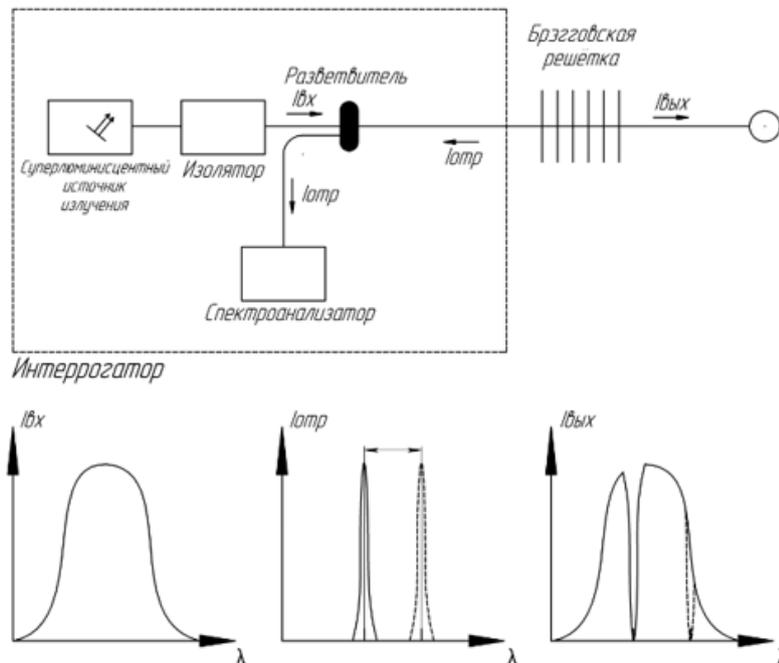


Рисунок 1 – функциональная схема ВОСС на БД

При обработке данных, полученных от ВОСС на основе ВБР, необходимо с высокой точностью определять смещения пиков отражения брэгговских решёток. Современные ВБР обеспечивают измерение температуры с чувствительностью 10 пм/°С и измерение деформации – $1,2 \cdot 10^{-6}$. Соответственно погрешность при измерении изменений положения брэгговских пиков должна составлять единицы пикометров.

Снижение погрешности измерений может быть достигнуто путём использования априорных данных при обработке сигнала. В качестве априорных данных принимается известная форма спектра излучения, отражённого от ВБР – гауссов пик. Выбор типа устройства, обрабатывающего информацию, полученную при опросе ВОСС, определяется методом обработки данных. При оцифровке, полученной с датчиков информации при помощи различных АЦП, выходной сигнал приобретает шумы квантования,

пропорциональные величине младшего значащего бита, которые можно минимизировать за счет рационального выбора метода обработки. В комплексе с этим, нивелирование влияния шумов позволит достичь максимально-возможного увеличения чувствительности при измерении величины смещения пиков.

2 Поиск брэгговских пиков отражения. Метод центроид

Для уменьшения влияния шумов используют различные методы аппроксимации полученных результатов, а также корреляционные методы определения смещения брэгговских пиков [4]. Предварительное сравнение методов [4] показало, что наиболее простым в реализации является метод центроид, удовлетворяющий метрологическим требованиям разрабатываемой системы - интеррогатора.

Одним из важнейших узлов интеррогатора ВОСС на основе ВБР является спектроанализатор. Оптический каскад спектроанализатора представляет собой стандартный полихроматор (IBSEN PHOTONICS I-MON 512 OEM) с установленной в плоскости изображения линейкой ФД. Оптическая схема задаёт первичное разрешение по длине волны – 167 пм/пиксель. На рисунке 2 изображён качественный вид спектрального распределения интенсивности, отражённой от брэгговской решётки, причём соответствующая ось выражена в пикселях фотоприёмника полихроматора. Данные, полученные при помощи АЦП, можно представить в виде гистограммы. Ширина столбца определяет ширину пикселя фотоприёмного устройства, а высота – уровень освещённости. Для определения максимума имеющегося пика предположим, что он совпадает с центром тяжести фигуры, образованной участками гистограммы. То есть

$$x_m = \frac{\sum_i(x_i u_i)}{\sum_i(u_i)}, \text{ где}$$

x_m – координата пика гауссового распределения,

x_i – координата середины i -го столбца,

u_i – амплитуда сигнала с i -го столбца.

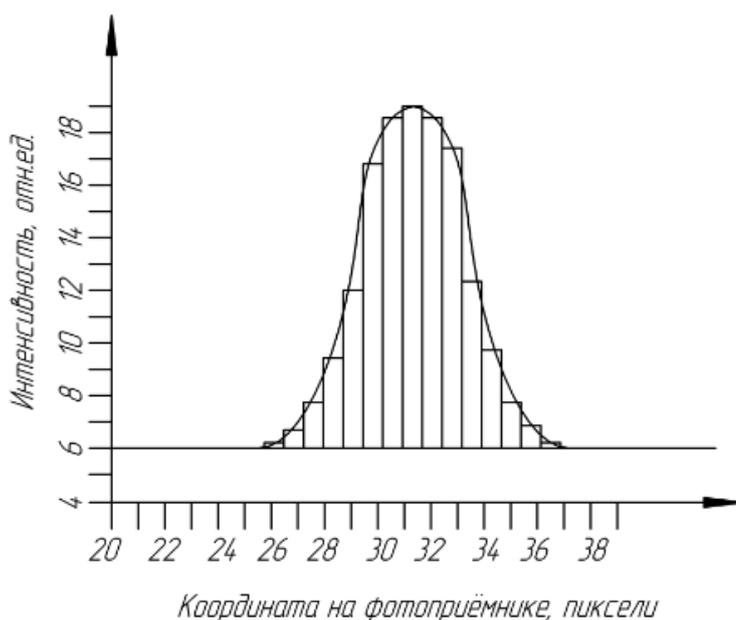


Рисунок 2 – вид гауссового распределения брэгговского пика

Как показывает моделирование [4], данный метод демонстрирует низкий уровень погрешности при условии большого количества измерений, что определяется уровнями дискретизации при цифровой обработке полученных с ВОСС данных. Однако, при всех своих преимуществах метод центроид имеет существенный недостаток – подверженность влиянию шумов входного сигнала, что приводит к необходимости дополнительной предобработки.

В соответствии с методом центроид была разработана математическая модель, реализованная в среде MATLAB. Для её эффективной реализации были введены следующие допущения:

- форма пика: гауссово распределение;
- полная ширина пика на полувысоте стандартной сенсорной ВБР 3 нм;
- минимальное расстояние между соседними пиками: не менее 3 нм.

Суть модели заключается в следующем (рисунок 3): в качестве данных, полученных с линейки фотодиодов полихроматора, генерируется массив из 512 элементов (по количеству пикселей фотоприёмного устройства), состоящий из гауссовых функций, имитирующих стандартные ВБР с заданными параметрами. При помощи окна сканирования размером в 16 пикселей (так как в среднем спектр ВБР имеет величину 3-5 нм, а один пиксель соответствует 170 пм) производится поиск центра тяжести гауссового распределения. Повторяя операцию сканирования с шагом в один пиксель, можно сформировать массив координат с разделением на группы, каждая из которых соответствует одному пику. Среднеарифметическое значение координат каждой из групп является искомой координатой целевого пика. Предварительно были определены минимальные расстояния между центрами пиков для исключения их взаимного наложения, что накладывает ограничение на максимальное число датчиков в одной сенсорной линии. Также были использованы пороговые значения разности координат соседних точек, позволяющие сформировать массив координат для дальнейшего получения конечных центроид.

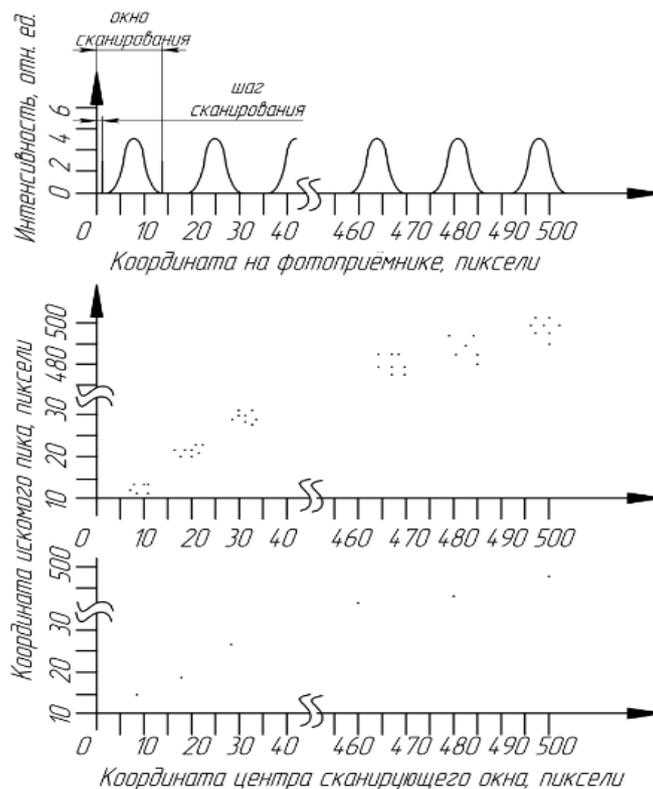


Рисунок 3 – схема алгоритма поиска брэгговских пиков

Для случая идеального сигнала в отсутствии шумов при моделировании была получена погрешность в 2 пм. При наложении на сигнал гауссового белого шума значение погрешности возросло до 9 и 11 пм при отношениях сигнал/шум, равных 60 и 45 дБ соответственно.

Для аппаратной реализации алгоритма поиска брэгговских пиков были опробованы два варианта. Изначально опрос и обработка полученных данных проводились с помощью микроконтроллера stm32f429 (тактовая частота – 180 МГц). Экспериментально было установлено, что максимальная частота опроса линейки фотодиодов при использовании микроконтроллера составляет не более 200 Гц, что не удовлетворяет заданным параметрам по быстродействию. Пробная реализация аналогичной обработки сигнала на более производительной платформе - ПЛИС EP4CE22F17C6N фирмы “Altera” – позволила получить максимальную частоту опроса в 17 кГц. Апробация алгоритма производилась при помощи среды моделирования ПЛИС “Modelsim” [5].

Заключение

При разработке интеррогатора ВОСС на основе ВБР был использован метод центроид, как оптимальный при относительно высокой (более 10 кГц) частоте опроса линейки фотодиодов. С целью увеличения скорости опроса были использованы априорные данные о форме пиков отражения ВБР. Аппаратно алгоритм поиска брэгговских пиков был смоделирован на языке “Verilog” для последующей реализации на ПЛИС, что позволило достичь частоты опроса в 17 кГц при погрешности в 2 пм при отсутствии шума. Полученные характеристики интеррогатора способны обеспечить достаточную скорость и точность обработки информации об объекте мониторинга в реальном времени.

Литература

1. Проведение научных экспериментов в нанотехнологиях. Под ред. В.А.Шахнова. - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2015. 129 с.]
2. Лазарев В. А., Шелестов Д. А. РАЗРАБОТКА Многоканальных квазираспределенных информационно-измерительных систем на основе наноразмерных волоконно-оптических датчиков механических напряжений // Наука и образование, №4, апрель 2012.
3. A.V. Lazarev. Structural monitoring system with fiber Bragg grating sensors: Implementation and software solution // IOP Science 2015. №3. URL: <http://iopscience.iop.org/1742-6596/594/1/012049>.
4. В.Л. Веснин. Метод гауссовской аппроксимации пика спектра отражения волоконно-оптического брэгговского датчика. Известия Самарского научного центра РАН, т.5, №1, 2003.
5. Власов А.И., Назаров А.В. Основы моделирования микро- и наносистем - Москва, 2011. Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Библиотека "Нанотехнология". Том 14. 142 с.

ВИЗУАЛИЗАТОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ “ДРЕВО ЗНАНИЙ”

Иванов В.А.

Научный руководитель: Арабов Д.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MULTIPHYSICS TRANSFORMATION IN MULTISCALE MODELLING OF MOEMS

Ivanov V.A.

Supervisor: Dr., Prof., Arabov D.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Образовательная траектория - это путь приобретения компетенций (hardskills) и метакомпетенций (softskills). Компетенция в общем смысле - это композиция из знаний, навыков, умений, личных качеств и опыта.

Abstarct

An educational trajectory is a way of acquiring competencies (hard skills) and metacompetence (soft skills). Competence in the general sense is a composition of knowledge, skills, skills, personal qualities and experience.

Введение

Очень большое количество студентов жалуется на отсутствие мотивации к обучению. Мы решили разобраться из-за чего происходит такое явление.

По собственному опыту и опыту друзей одной из важнейших причин было недостаточное понимание того, что вообще происходит и для чего я сижу за этой партой. Причиной этому служит недостаточное введение в специальность и не наглядность учебной программы. Из-за этого, курсе на четвертом, к студенту приходит понимание и мысль: "А что я собственно здесь делаю? Я же совсем не хочу этим заниматься."

Еще одной причиной служит отсутствие больших целей, которых человек хочет достичь. И пары, сами по себе, не дают понимание того, на что способен студент после курса. А после обучения многие встают перед вопросом, а чем собственно мне теперь заниматься. Данный эффект происходит из-за отсутствия общей картины.

Мы предлагаем решение данных проблем при помощи инструмента под названием Древо знаний. Он призван для того, чтобы упростить понимание всех учебных программ, которые написаны при помощи сложных для понимания таблиц и обозначений.

1 В чем проблемы?

1.1 Проблема студента

Студенты зачастую не имеют целей для развития и/или не представляют путь к их достижению. Следствие этого - отсутствие мотивации в образовании. Доля причины этой проблемы заключается в том, что отсутствуют наглядные инструменты визуализации пути. В микрооптоэлектромеханических системах [6] можно выделить три основные подсистемы: оптическую, механическую и электрическую.

1.2 Учебный план

Такое оформление не наглядно и слишком трудно для восприятия студентом. Открыв такую вещь на сайте, ее сразу хочется закрыть, а не начать разбираться в ней. Оно скорее уменьшает мотивацию студента, ставя такое огромное количество необходимых к прохождению учебных дисциплин.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН
специальности
014200 - "Биохимическая физика"

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Физический факультет

Квалификационная специальность: **Физик**
Срок обучения: **5,5 лет**

Итого: **154 33 4 19 23 51 282**

Учебный план: оборотная сторона

Индекс	Наименование дисциплины	Распределение по семестрам				Часы										Распределение по курсам и семестрам (всего часов в неделю)													
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Дисциплины специализации:																												
1	Основы биологии																												
2	Биохимическая физика																												
3	Квантовая химия и теория строения молекул																												
4	Биофизика																												
5	Молекулярная биология и генетика																												
6	Биофизика и другие																												

Составлен в соответствии с Государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по специальности 014200 "Биохимическая физика"

ПРИМЕЧАНИЕ

1. Курсовые работы рассматриваются как вид учебной работы по дисциплине и выполняются в пределах часов, отводимых на ее изучение.
2. Общий физический практикум и другие практические занятия проводятся в лабораториях факультета и выполняются самостоятельной работой студентов под наблюдением преподавателей.
3. В специализированных и лабораторных, где студенты работают с источниками радиоактивного, лазерного, ультрафиолетового и СВЧ-излучения, высоким напряжением и вакуумными установками, учебная группа устанавливается не более шести человек.
4. Учебный процесс в X семестре производится одновременно с производственной практикой.

Совет физического факультета имеет право в соответствии с Государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по специальности 014200 "Биохимическая физика"

- изменять число часов по дисциплинам учебного плана и последовательность их изучения;
- изменять формы отчетности и заменять одну дисциплину другой;
- устанавливать ежегодно наименование и объем дисциплин по выбору;
- утверждать программы по этим дисциплинам;

Утверждено
Ученым Советом физического факультета МГУ
"31" *06.01.2017*

Декан физического факультета профессор: *В.И. Трухин*

Обо всех изменениях сообщать в управление академической политики и организации учебного процесса и на первом занятии - студентам.

Все изменения должны соответствовать нормам отчетности.

Проректор Московского государственного университета профессор: *В.В. Миرون*

Рисунок 1 - Пример учебного плана

1.3 Расписание семестра

С расписанием сталкивается любой студент в любом случае. Главная проблема расписания в том, что оно дает понимание того, какие умения ты получаешь на каждом предмете и как разные предметы связаны между собой. Так же большим минусом является то, что довольно затруднительно увидеть, какие пары с других курсов ты мог бы посещать. А главное, какими бы умениями ты мог бы поделиться со студентами с тех курсов, которые уже успели эти умения позабыть.

	ИУ4-51 (Б)	ИУ4-52 (Б)	ИУ4-53 (Б)
101	ИУ4-51-01	ИУ4-52-01	ИУ4-53-01
102	ИУ4-51-02	ИУ4-52-02	ИУ4-53-02
103	ИУ4-51-03	ИУ4-52-03	ИУ4-53-03
104	ИУ4-51-04	ИУ4-52-04	ИУ4-53-04
105	ИУ4-51-05	ИУ4-52-05	ИУ4-53-05
106	ИУ4-51-06	ИУ4-52-06	ИУ4-53-06
107	ИУ4-51-07	ИУ4-52-07	ИУ4-53-07
108	ИУ4-51-08	ИУ4-52-08	ИУ4-53-08
109	ИУ4-51-09	ИУ4-52-09	ИУ4-53-09
110	ИУ4-51-10	ИУ4-52-10	ИУ4-53-10
111	ИУ4-51-11	ИУ4-52-11	ИУ4-53-11
112	ИУ4-51-12	ИУ4-52-12	ИУ4-53-12
113	ИУ4-51-13	ИУ4-52-13	ИУ4-53-13
114	ИУ4-51-14	ИУ4-52-14	ИУ4-53-14
115	ИУ4-51-15	ИУ4-52-15	ИУ4-53-15
116	ИУ4-51-16	ИУ4-52-16	ИУ4-53-16
117	ИУ4-51-17	ИУ4-52-17	ИУ4-53-17
118	ИУ4-51-18	ИУ4-52-18	ИУ4-53-18
119	ИУ4-51-19	ИУ4-52-19	ИУ4-53-19
120	ИУ4-51-20	ИУ4-52-20	ИУ4-53-20
121	ИУ4-51-21	ИУ4-52-21	ИУ4-53-21
122	ИУ4-51-22	ИУ4-52-22	ИУ4-53-22
123	ИУ4-51-23	ИУ4-52-23	ИУ4-53-23
124	ИУ4-51-24	ИУ4-52-24	ИУ4-53-24
125	ИУ4-51-25	ИУ4-52-25	ИУ4-53-25
126	ИУ4-51-26	ИУ4-52-26	ИУ4-53-26
127	ИУ4-51-27	ИУ4-52-27	ИУ4-53-27
128	ИУ4-51-28	ИУ4-52-28	ИУ4-53-28
129	ИУ4-51-29	ИУ4-52-29	ИУ4-53-29
130	ИУ4-51-30	ИУ4-52-30	ИУ4-53-30
131	ИУ4-51-31	ИУ4-52-31	ИУ4-53-31
132	ИУ4-51-32	ИУ4-52-32	ИУ4-53-32
133	ИУ4-51-33	ИУ4-52-33	ИУ4-53-33
134	ИУ4-51-34	ИУ4-52-34	ИУ4-53-34
135	ИУ4-51-35	ИУ4-52-35	ИУ4-53-35
136	ИУ4-51-36	ИУ4-52-36	ИУ4-53-36
137	ИУ4-51-37	ИУ4-52-37	ИУ4-53-37
138	ИУ4-51-38	ИУ4-52-38	ИУ4-53-38
139	ИУ4-51-39	ИУ4-52-39	ИУ4-53-39
140	ИУ4-51-40	ИУ4-52-40	ИУ4-53-40
141	ИУ4-51-41	ИУ4-52-41	ИУ4-53-41
142	ИУ4-51-42	ИУ4-52-42	ИУ4-53-42
143	ИУ4-51-43	ИУ4-52-43	ИУ4-53-43
144	ИУ4-51-44	ИУ4-52-44	ИУ4-53-44
145	ИУ4-51-45	ИУ4-52-45	ИУ4-53-45
146	ИУ4-51-46	ИУ4-52-46	ИУ4-53-46
147	ИУ4-51-47	ИУ4-52-47	ИУ4-53-47
148	ИУ4-51-48	ИУ4-52-48	ИУ4-53-48
149	ИУ4-51-49	ИУ4-52-49	ИУ4-53-49
150	ИУ4-51-50	ИУ4-52-50	ИУ4-53-50

Рисунок 2 - Пример расписания на семестр

2 Возможное решение проблемы

2.1 Геймификация

В компьютерных играх пользовательский интерфейс и удобство пользования играет важнейшую роль. Благодаря этому разработчики хотят удержать игроков как можно дольше за монитором и мотивировать вернуться в игру снова.

Древо навыков - это наиболее часто используемая система для развития своего персонажа в ролевых играх. Данный жанр очень тесно пересекается с реальной жизнью и хочет быть как можно больше похожим на нее. Принципы, используемые в таких играх можно с большой эффективностью переложить на развитие студента при путешествии по курсам в университете.

Так же возможно связать успехи студента в реальном мире с развитием персонажа в видеоигре.

2.2 Skyrim

Ролевая игра с огромной базой фанатов, которые возвращаются в этот мир на протяжении многих лет после ее выхода. Данная игра имеет отличную базу для создания модификаций под нее. В нашей проблеме может помочь система поднятия уровня, которая построена внутри этой игры.

2.3 Повышение уровня

При переходе на новый уровень вы на выбор увеличиваете свое здоровье, магию или запас сил. Также вы получаете одно очко способностей, которое можете потратить немедленно или отложить на потом.

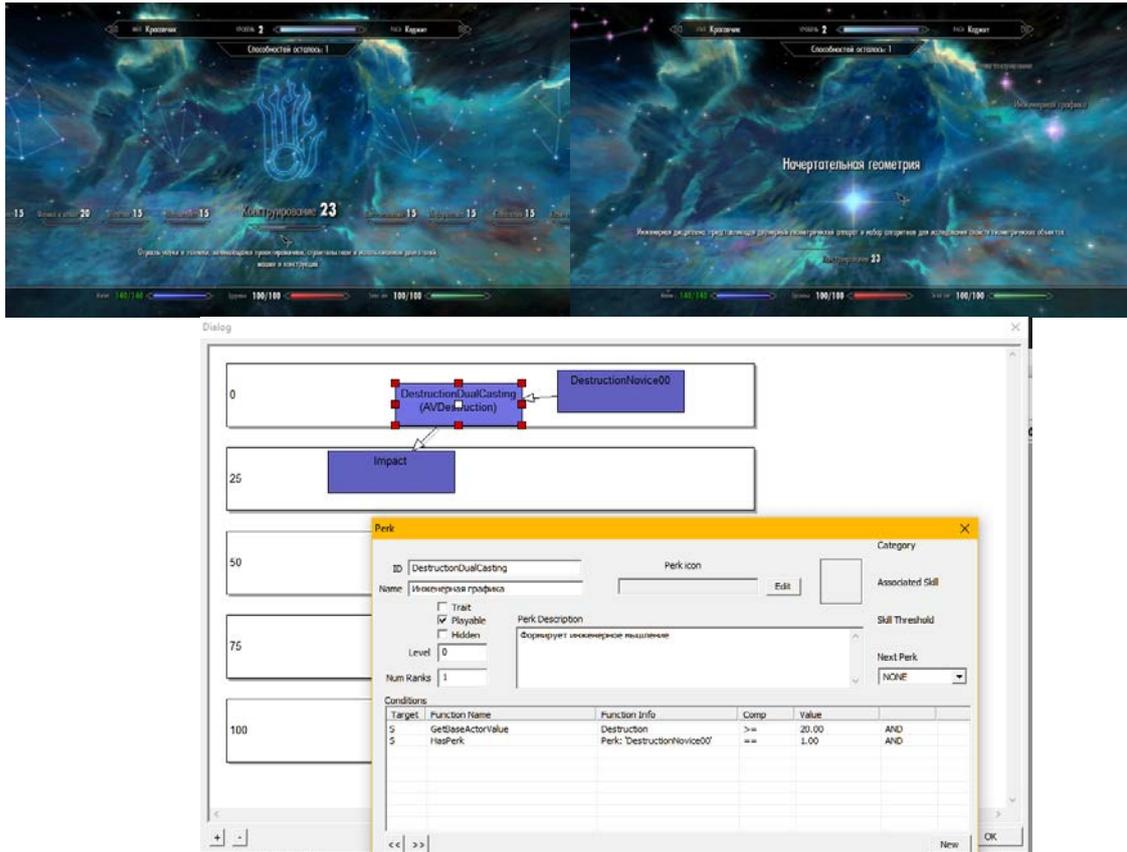


Рисунок 3 - Интерфейс creation kit

Доступные способности в каждом созвездии выделены белым цветом.

2.4 Creationkit

У данной игры есть инструмент для создания модификаций. Он называется creationkit. Благодаря ему можно почти полностью поменять игру и использовать только лишь графическую ее часть.



Рисунок 4 - Инструмент для создания модификаций

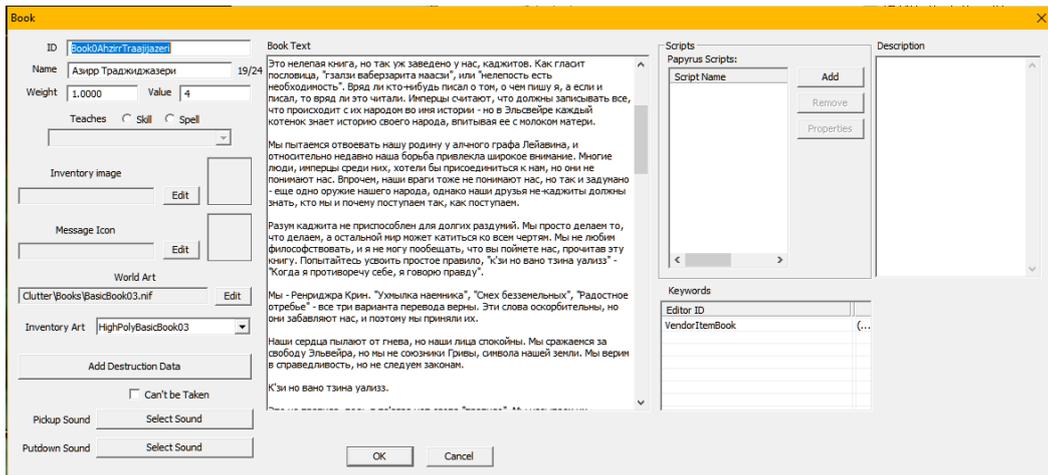


Рисунок 5 - Панель настройки

Игрок будет помещен в виртуальный замок. В разных его частях будут разбросаны книги, за прочтение которых игрок будет зарабатывать навык владения предметом. Текст у книг можно редактировать

Заключение

Разработка методов визуализации учебного плана, выявление достоинств и недостатков этих методов, а также их применение для решения практических задач.

Преимуществом использования такого рода визуализации, является повышенная мотивация студента к обучению и к жизни кафедры в целом.

Литература

1. Карта тегов для Math.SE (<https://math.meta.stackexchange.com/questions/6479/a-graph-map-of-math-se>)
2. Карта курсов MIT (<https://ocw.mit.edu/courses/curriculum-map/>)
3. Еще один вариант карты курсов MIT (<http://crosslinks.mit.edu/>)
4. Хордовая диаграмма Xoces (<https://github.com/wombats-writing-code/xoces>)

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АБСОРБЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНВЕРСНЫХ СТРУКТУР

Галаганова Е.Н.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Панфилова Е.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

INCREASING THE ABSORBING ABILITY OF ABSORBERS WHEN USING INVERSION STRUCTURES

Galaganova E. N.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor, Panfilova E.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной работе рассматривается применение коллектора солнечной энергии. Кратко описаны проблемы, возникающие при разработке технологии изготовления тонкопленочного абсорбера солнечной энергии. Приведены способы получения пористых наноструктур.

Abstract

In this paper we consider the use of solar energy collectors. The problems arising in the development of manufacturing technology of thin-film solar energy absorber are briefly described. Methods of obtaining porous nanostructures are given.

Введение

Географическое расположение России расширяет возможность применения альтернативных источников энергии. Солнечную энергетику можно отнести к самому мобильному виду получения тепла и электричества. Для подключения солнечного коллектора не требуется возводить какие-либо сооружения, например, ветряную мельницу. Также данное устройство может работать в местности, которая лишена возможности проведения ЛЭП.

1 Задача о создании эффективного коллектора

При использовании солнечного коллектора в труднодоступных местах, например, в отдаленных районах Крайнего севера, необходимо решить задачу об изготовлении устройства с максимальной эффективностью при наименьшем размере, которая напрямую связана с логистическими возможностями доставки оборудования [1].

В разработке эффективного коллектора солнечной энергии есть несколько путей решения данной проблемы. Во-первых, научно-исследовательский подход обеспечивает разработку материала абсорбера с максимальным коэффициентом поглощения. Технологическим подходом к этой проблеме является выбор конфигурации абсорбера солнечного коллектора и назначение режимов его изготовления.

В данной работе рассматривается абсорбер солнечного коллектора с инверсной конфигурацией внедренной в него фотоннокристаллической структуры. Тонкопленочный абсорбер выполнен из оксинитрида титана и получен методом магнетронного нанесения. Инверсная структура сформирована опаловой матрицей. Применение технологии интеграции структур поверхности приводит к повышению эффективности всего устройства (рис.1) [2].



Рисунок 1 - Разрабатываемая инверсная структура

В данной работе рассматривается абсорбер солнечного коллектора с инверсной конфигурацией внедренной в него фотоннокристаллической структуры. Тонкопленочный абсорбер выполнен из оксинитрида титана и получен методом магнетронного нанесения. Инверсная структура сформирована опаловой матрицей. Применение технологии интеграции структур поверхности приводит к повышению эффективности всего устройства(рис.1) [2].

2 Физический процесс в тонкопленочном абсорбере

Производительность коллектора напрямую зависит от эффективной площади поглощающих слоев коллектора. Эффективная площадь определяется конфигурацией поверхности абсорбера и отличается от фактической площади, так как она определяется размером корпуса устройства. При изготовлении абсорбера по технологии интеграции структур поверхность обретает поры, сформированные сферами опала после удаления опаловой матрицы с поверхности тонкой пленки оксинитрида титана. Полученная поверхность образует структуру, представляющую высокий интерес с точки зрения оптики. Луч, попадающий на такую поверхность, «запирается» в полусфере (рис. 2).

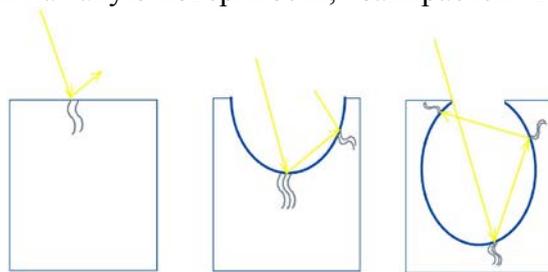


Рисунок 2 - Схематичное описание падения света на ровную поверхность, полусферу и идеальный инверсный абсорбер

Данное явление геометрическим путем повышает коэффициент поглощения покрытия и эффективность всего устройства.

3 Создание инверсной структуры

Для производства абсорбера необходимо разработать технологичный метод формирования пористой структуры. Удаление опаловой матрицы с поверхности пленки оксинитрида титана может осуществляться химическим путем, то есть травлением опала плавиковой кислотой, и механическим способом – отделением опаловой матрицы клейкой лентой методом «скотч-тест». В рамках данной работы используется механический способ, что накладывает ограничение на конфигурацию поверхности. На рис. 3 изображен профиль идеальной поверхности, в котором «запирание» луча может произойти вероятнее всего.



Рисунок 3 - Инверсная структура, полученная травлением

В результате анализа рельефа требуемой поверхности было выявлено, что на целостность полученного образца непосредственно влияет его размер, толщина тонкой пленки и глубина полусферы, полученной от опаловой матрицы. Ранее были получены образцы тонкопленочного покрытия оксинитрида титана толщиной ок. 220 нм. без формирования инверсной структуры. Исходя из этого опыта, предположим, что в разрабатываемой технологии толщина поглощающего покрытия H не будет превышать 300 нм. Для того чтобы добиться получения инверсной структуры, необходимо подобрать такой диаметр глобул d опаловой матрицы, при котором эффективная площадь поглощающих слоев абсорбера S коллектора солнечной энергии была бы максимальна, избегая эффекта охрупчивания образца. Помимо эффективной площади абсорбера необходимо найти оптимальную толщину основного поглощающего слоя h для избежания стагнации поверхности. Решение совокупности поставленных задач лежит в ряде вычислительных операций и серии экспериментов (рис. 4).

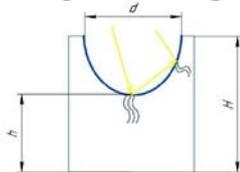


Рисунок 4 - Инверсная структура, полученная механическим способом

С помощью программного обеспечения, создана математическая модель образца инверсного абсорбера, что позволяет сократить количество экспериментов. Математическое моделирование с помощью среды *Mathcad* часто используется для решений задач в оптике [3]. В качестве исходных данных имеется образец с известной фактической площадью абсорбера. Задачей является нахождение диаметра глобулы, при котором можно достичь максимума эффективной площади абсорбера. Осуществить оптимизацию рельефа поверхности можно путем варьирования параметров S , H и h , а также проведением контрольных экспериментов.

Заключение

В работе кратко рассмотрены методы получения инверсной структуры поглощающих тонкопленочных покрытий и поставлены задачи об оптимизации их поверхности. В качестве решения предложено создать математическую модель образца абсорбера и увеличивать его эффективную площадь, варьируя толщину пленки, диаметр глобул, а также экспериментальным путем определить эффективную толщину поглощающего слоя. На основании полученных параметров образца следует провести корректировку технологии изготовления тонкопленочного инверсного абсорбера солнечной энергии.

Литература

1. Макова А. Н. Солнечная батарея как альтернативный источник энергии // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html> (Дата обращения: 13.02.2018).
2. Галаганова Е.Н. Изготовление абсорберов солнечной энергии и перспективы применения структур с использованием опаловых матриц // Всероссийский форум научной молодежи «Богатство России»: сборник докладов / Министерство образования и науки Российской Федерации, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 341 с.
3. А.П. Смирнов, Д.А. Абрамов, А.Ю. Пименов. Компьютерное моделирование оптических систем. Часть 1. Линзовые устройства. С-Пб НИУ ИТМО. 2012.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И КАМНЯ

Гусев М.В.

Научный руководитель: Артемьев Б.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

REVIEW OF MODERN ULTRASONIC DEFECTOSCOPES AND METHODS OF MONITORING STRUCTURES FROM REINFORCED CONCRETE AND STONE

Gusev M.V.

Supervisor: Artemiev B.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются принципы работы ультразвуковых дефектоскопов и их назначение в промышленности и гражданском строительстве. Рассмотрены различные методы контроля конструкций из железобетона и камня. Приведен сравнительный анализ существующих решений на рынке дефектоскопов, их преимуществ и недостатков.

Abstract

The article deals with the principles of operation of ultrasonic flaw detectors and their purpose in modern industry. Various methods of controlling structures made of reinforced concrete and stone are considered. The review of existing solutions in the market of flaw detectors, their advantages and disadvantages is given.

Введение

Применение неразрушающего контроля в сфере строительства необходимо как на стадии непосредственно строительства зданий и сооружений, так и в процессе их эксплуатации.

Правильно выполненный контроль на стадии возведения объекта гарантирует безопасную и длительную его эксплуатацию. Особенно это касается трубопроводов, опор мостов и др. Ультразвуковой контроль позволяет оценить плотность грунтового основания, качество и прочность бетонного фундамента и кирпичной кладки, правильность конфигурации и качество сварных соединений арматурного каркаса и т.п.

Не менее важно не забывать о неразрушающем контроле и впоследствии: многие сооружения в промышленном и гражданском строительстве (здания, мосты и другие объекты), изготовленные из бетона, металла и железобетона, нуждаются в обязательной периодической проверке в целях определения соответствия их структуры и прочности эксплуатационным требованиям. Это имеет особенно большое значение в районах с высокой сейсмической активностью, а также для оценки целостности структуры сооружения после его длительной эксплуатации или сильного незапланированного воздействия (взрыв, пожар, затопление и т.п.).

Отсутствие своевременного контроля или его некачественное выполнение могут привести к авариям, крушениям, экологическим катастрофам и человеческим жертвам.

1 Методы контроля конструкций из железобетона и камня.

В промышленном и гражданском строительстве применяют испытания как неразрушающие (не повреждают бетон или металл), так и частично повреждающие поверхность бетона. В последнем случае поверхность должна быть восстановлена после испытания.

Диапазон свойств, которые могут быть оценены неразрушающими или частично разрушающими испытаниями, очень широк и включает: определение прочности и твердости бетона, целостности его структуры, качества изготовления, обнаружение пустот, трещин или расслоений, выявление наличия и расположения арматуры в железобетоне, оценку качества сварки арматуры и пр.

К наиболее распространенным сферам применения НК в промышленном и гражданском строительстве относятся:

- контроль качества сборочных единиц и монолитных конструкций из бетона и железобетона;
- входной контроль поступающих материалов и изделий;
- пооперационный контроль в процессе изготовления конструкций;
- контроль механических напряжений;
- определение мест расположения арматуры в железобетонных изделиях, ее диаметра или глубины залегания;
- обнаружение трещин, пустот, непроработанных зон в бетоне и оценка их размеров;
- контроль изменения эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных конструкций (мониторинг);
- проверка текущего состояния сооружения или конструкции после незапланированной перегрузки, внешних или внутренних замен, пожара, затопления, урагана и пр.;
- обследование строительных конструкций для целей страхования или в случае изменения формы собственности.

Вначале УЗ контроль железобетонных конструкций вели исключительно методами прохождения (теньевыми). По времени распространения и реже по амплитуде УЗ сигнала, прошедшего сквозь конструкцию, судили о наличии в ней внутренних дефектов. Однако во многих случаях доступ к обеим противоположным поверхностям конструкции отсутствовал или был трудноосуществимым, как, например, в случае стены туннеля или высотного здания. Метод продольного профилирования обеспечивал поиск лишь приповерхностных дефектов. Метод волны удара (импакт-эхо метод) позволял обнаруживать только очень крупные объёмные дефекты или трещины, параллельные доступной поверхности [5].

Для контроля изделий из железобетона применяются различные методы дефектоскопии, которые позволяют вовремя отследить процессы деградации, протекающие в конструкциях из железобетона. К таким методам относятся:

1) Электромагнитный метод контроля – данный метод контроля конструкций из железобетона основан на использовании магнитного или электромагнитного полей. Эти поля взаимодействуют со стальной арматурой конструкции. Благодаря данному методу контроля возможно определить соответствие исполнения проектной документации, определить толщину защитного слоя, расположение и диаметр используемой арматуры. Недостатком метода является невозможность контроля конструкций с маленьким шагом арматуры, а также влияние на результат контроля сильных внешних электромагнитных полей, создаваемых, например, трансформаторами или ЛЭП.

2) Ультразвуковой метод контроля – данный метод основан на свойстве ультразвуковых волн, а в частности на их способности отражаться от объектов различных плотностей под разными углами. На данный момент используют три различных способа.

Первые два это - метод сквозного прозвучивания, когда датчики располагаются с разных сторон тестируемого образца, и метод поверхностного прозвучивания, когда датчики располагаются с одной стороны. Они позволяют сделать выводы не только о прочности, а также о наличии внутренних дефектов материала. Третий метод - это Эхо-метод, он является самым информативным, а также не требует двустороннего доступа к материалу, что является важным преимуществом [1]. Результатом сканирования этим методом является томограмма, показывающая внутреннее строение сканируемого объекта.

3) Метод радиолокации – метод основан на излучении сверхкоротких электромагнитных импульсов, которые, проходя через проверяемую конструкцию, отражаются от различных неоднородностей и предметов. Эхо импульсы поступают на приемник, преобразуется в цифровой код и обрабатывается. Метод радиолокации и УЗ эхо-метод сходны, но существуют и отличия: метод радиолокации хуже работает при наличии влаги в бетоне; используется только для дефектоскопии; обладает высокой производительностью.

4) Механический метод дефектоскопии – для определения глубины трещин, выходящих на поверхность, используются шупы, а для определения ширины используются оптические микроскопы с 20-30 кратным увеличением [2].

5) Электрохимический метод дефектоскопии – предназначен для контроля скрытых процессов коррозии, протекающих в арматуре в толще бетона. Основан на применении микрогальванической пары, т.к. коррозия представляет собой электрохимический процесс с эффектом гальванического элемента. С помощью микрогальванической пары измеряется протекающий внутри железобетонной конструкции электрический ток, что позволяет определить места возникновения коррозии.

Также существуют такие методы как инфракрасный, вибрационно-акустический, акустико-эмиссионный, но их применение в рамках данной статьи не рассматривается.

2 Физические принципы работу УЗ дефектоскопов и их назначение

Ультразвуковая дефектоскопия сварных швов и металлоконструкций основана на принципах отражения и преломления акустических волн на границе раздела двух сред. Методы УЗ-толщинометрии, а также измерение размеров и координат дефектов основаны на измерении времени прохождения импульса между конкретными точками. Кроме этого в строительстве УЗ-методы используют для мониторинга изменений свойств бетона в процессе эксплуатации, определения модуля упругости и динамического коэффициента Пуассона бетона.

Метод незаменим при обнаружении пустот, трещин и дефектов, возникших в процессе производства и эксплуатации конструкций, при технологическом контроле и обследовании сложных объектов. Самым распространенным является ультразвуковой эхо-метод. Данная технология основана на излучении импульсов с частотой около 20000 Гц в материал изделия и последующей регистрации амплитуды и времени прихода эхо-сигналов, отраженных от поверхности царапин, пустот и других неровностей [3]. На рисунке 1 представлена схема сканирования эхо-методом и её отличие от схемы сквозного сканирования. Отраженный звуковой импульс отображается на дисплее прибора как функция времени, и дефектоскопист может представить наглядно поперечное сечение образца и глубину залегания элементов, отражающих звук [6].

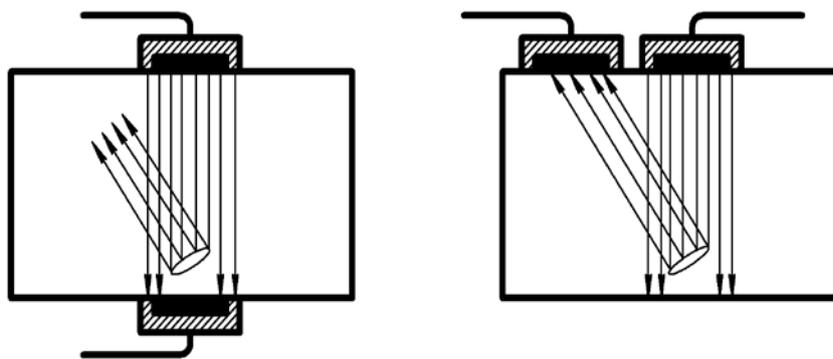


Рисунок 1 – Слева – схема УЗ сквозного сканирования; справа – сканирование эхо-методом

Данный метод позволяет использовать различных типов волн. Поперечные применяются для контроля сварных швов, продольных для контроля основного тела металла. Ультразвуковым методом возможно производить такие исследования, как поиск приповерхностных дефектов в бетонных сооружениях по аномальному уменьшению скорости или увеличению времени прохождения ультразвука в исследуемом материале. Оценка степени анизотропии композитных материалов, несущей способности бетонных столбов и опор, глубины трещины, пористости и трещиноватости материала [4]. Пример визуализации приведен на рисунке 2.

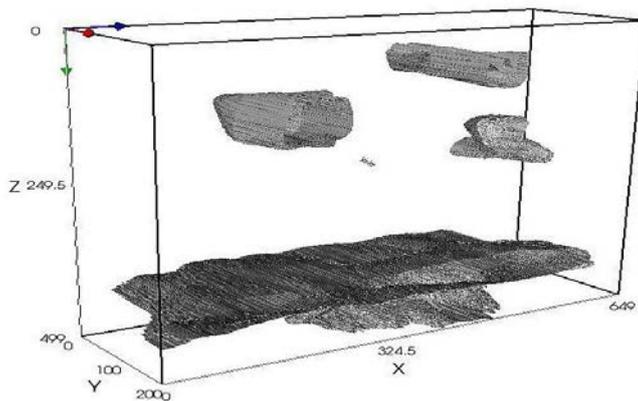


Рисунок 2 – Томограмма

Преимуществами данного метода контроля являются:

- простота в использовании, необходимо иметь доступ к сканируемой конструкции только с одной стороны, а также не требуется подготовка поверхности к контролю.
- высокая точность измерений и чувствительность к различным отражателям.
- возможность визуализации полученных данных в виде внутренней структуры объекта контроля.

3 Ультразвуковые преобразователи с сухим точечным контактом

За последние годы развитие эхо-метода для дефектоскопии бетона шло по пути совершенствования алгоритмов обработки УЗ сигналов. Способ же излучения и приёма этих сигналов: с помощью апертурных преобразователей продольных волн с жидкостным контактом, оставался неизменным. В то же время, надёжную акустическую связь УЗ преобразователя с твёрдым телом можно обеспечить и без жидкой промежуточной среды, если площадь контакта сделать много меньше длины волны. Общий недостаток таких концентраторов в том, что они, являясь резонансными элементами, существенно искажают и затягивают передаваемый сигнал. Поэтому такой способ акустического

контакта нашёл пока достаточно ограниченное применение, главным образом в приборах для измерения времени прохождения УЗ сигналов через материал.

Более логично генерировать колебания не на значительной площади и затем собирать их в точку контакта, а сразу в этой точке, то есть, в идеале, генерировать сосредоточенную силу. Это можно сделать, если выполнить пьезоэлемент преобразователя достаточно малых размеров в плоскости, параллельной поверхности объекта контроля. Высота протектора преобразователя, акустически связывающего пьезоэлемент с объектом контроля, должна быть существенно меньше длины волны УЗ колебаний в материале протектора. Это делает его почти аperiодическим.

Основываясь на этих принципах, нам удалось разработать УЗ преобразователи с СТК, генерирующие на поверхности твёрдого тела нормальную или касательную к ней колебательную силу. При точечном акустическом контакте УЗ преобразователя с поверхностью твёрдого полупространства при любом направлении смещений точки контакта в объём полупространства и вдоль его поверхности излучаются все основные типы объёмных и поверхностных акустических волн. Ориентация вектора смещений точки контакта влияет на преимущественные направления излучения этих волн. Это относится и к режиму приёма. Поэтому преобразователи с точечным контактом можно называть преобразователями продольных или поперечных волн лишь условно, подразумевая под этими названиями то, что они способны излучать по нормали к поверхности полупространства, соответственно, продольные или поперечные УЗ волны.

На рис. 3 приведены диаграммы направленности преобразователей с СТК, полученные на специальном полусферическом образце мелкоструктурного бетона [7]. Лепестки диаграмм пронормированы на максимумы сигналов соответствующих типов волн. Из диаграмм видно, что направленность полей излучения данных преобразователей весьма широкая. У преобразователя поперечных колебаний в плоскости, перпендикулярной вектору смещений, она вообще отсутствует. Эти свойства преобразователей поперечных колебаний открывают дополнительную возможность измерений скоростей продольных и поперечных волн в материалах способом поверхностного прозвучивания.

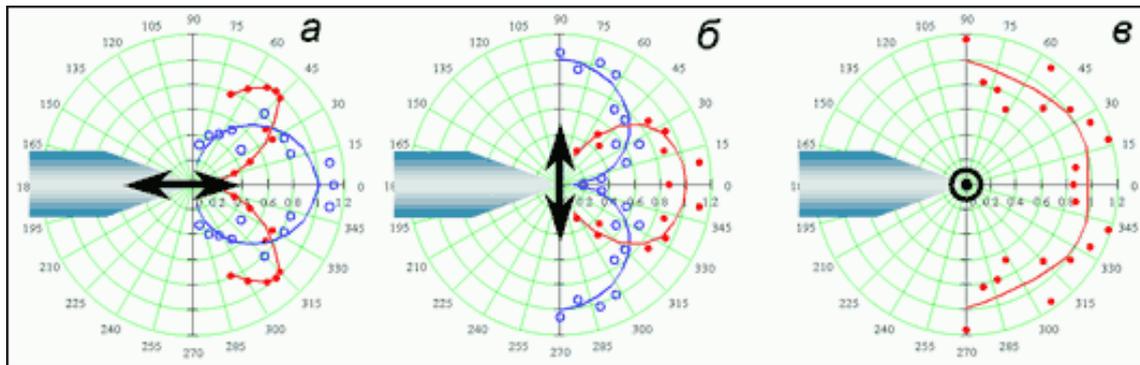


Рисунок 3 - Диаграммы направленности УЗ преобразователей с СТК продольных (а) и поперечных (б, в) колебаний протектора:

а - вектор смещений горизонтален, б - вертикален, в - перпендикулярен плоскости чертежа

На рис. 4 показан типичный вид сигналов и спектров разработанных преобразователей.

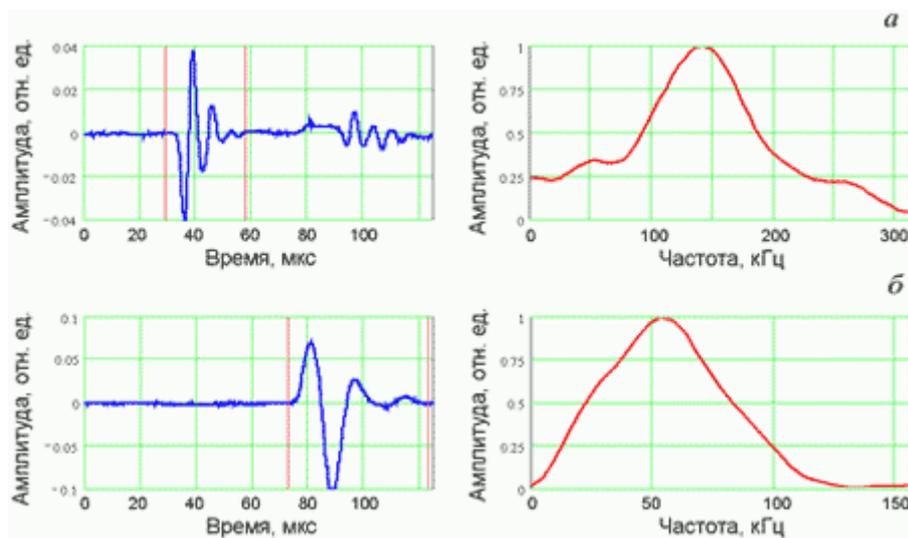


Рисунок 4 - Сигналы и спектры УЗ преобразователей с СТК продольных (а) и поперечных (б) колебаний протектора

Верхняя осциллограмма получена от преобразователей с продольными колебаниями протектора, нижняя - от преобразователей с поперечными колебаниями. Справа от осциллограмм приведены амплитудные спектры импульсов продольной (вверху) и поперечной (внизу) волн. Спектры вычислены на интервалах, содержащих принятые сигналы и выделенных вертикальными линиями. Сигналы имеют малое число периодов заполнения. Их спектры незначительно искажаются при распространении волн в бетоне.

4 Поперечные ультразвуковые волны при дефектоскопии бетона

Исходя из рассмотренных исследований соотношений уровней полезных сигналов, структурного шума и прочих помех при эхо-импульсном контроле бетона продольными и поперечными УЗ волнами показали, что при использовании поперечных волн можно добиться лучших характеристик дефектоскопической аппаратуры [8, 9].

На рис. 5 представлены результаты измерений амплитуд донных сигналов, эффективных значений структурного шума $s_{ш}$ бетона и уровней различных акустических помех. Если сравнить эти соотношения сигналов и помех, то можно заключить, что помеховая ситуация при контроле бетона поперечными волнами более благоприятна.

Однотипные помехи от поверхностных волн, независимо от используемых преобразователей, имеют одинаковые времена прихода на приёмный преобразователь при равных базах, тогда как эхо-сигналы для одинаковых глубин располагаются на оси времени по-разному, поскольку скорости продольных и поперечных волн отличаются почти вдвое.

Уровни донных сигналов с одинаковых глубин приблизительно равны, поскольку различие только в длине волны при отражении от плоскости и точечных излучателе и приёмнике не играет роли. Однако уровни Рэлеевских помех у преобразователей поперечных колебаний примерно на 10 дБ меньше. Это можно объяснить тем, что Рэлеевская волна сильнее действует на преобразователь продольных колебаний, чем поперечных, так как нормальные смещения точек поверхности в Рэлеевской волне в 1,4 - 1,6 раза больше касательных.



Рисунок 5 - Соотношения уровней сигналов и помех при эхо-импульсном контроле бетона УЗ преобразователями с СТК продольных (а) и поперечных (б) колебаний протектора:

1 - структурный шум, 2 - помеха от Рэлеевской волны, 3 - помеха от SH волны, 4 - донный сигнал.

Кривая структурного шума у преобразователей поперечных колебаний проходит на 10 - 12 дБ ниже кривой шума, снятой преобразователями продольных колебаний. Это можно объяснить тем, что при любом направлении возбуждающей полупространство силы больше энергии источника уходит в объём в виде поперечных волн, а не продольных. Следует добавить, что волновые размеры локальных отражателей для поперечных волн почти вдвое больше, чем для продольных. Таким образом, применение поперечных УЗ волн для дефектоскопии бетона эхо-методом более предпочтительно, чем продольных.

Заключение

На ранних этапах развития данной области, до появления ультразвуковой дефектоскопии, главным методом контроля сварных соединений металлических конструкций была радиография, а железобетонных конструкций - механические испытания и визуально измерительный метод. Широко распространенный в некоторых отраслях промышленности радиографический контроль достаточно эффективен, но не подходит для контроля сварных соединений арматуры и малоэффективен при контроле сварных швов металлических конструкций большой толщины. При успешном применении ультразвуковой дефектоскопии в некоторых отраслях промышленности, было выявлено, что она может эффективно использоваться для контроля практически всех типов сварных соединений строительных и железобетонных конструкций.

Дальнейшее развитие эхо-импульсной дефектоскопии бетона представляется в виде следующих усовершенствований аппаратуры, визуализирующей внутреннюю структуру бетона:

- селекция отражённых сигналов по поляризации волн, на которую влияет ориентация протяжённых дефектов;
- анализ фазы отражённого сигнала для определения характера дефекта по знаку скачка импеданса на границе среда - дефект;
- синтез томограмм с адаптацией к форме отражателей, то есть изменение фокусировки апертуры на разные типы дефектов: точечные, объёмные, плоские, протяжённые и т. д.

Отдельные результаты исследований получены в рамках проекта МОН РФ
№. 14.579.21.0142 UID RFMEFI57917X0142

Литература

1. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г., Козлов В.Н. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхо-методом: состояние и перспективы // В мире НК. 2002. № 2(16). С.6-10.
2. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология бетона, строительных изделий и конструкций - М.: Изд-во АСВ, 2004.
3. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности;
4. Артемьев Б., Азизова Е., Азизова А., Эйнав И. Неразрушающий контроль в строительстве. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Автоматизация технологических процессов и производств (строительная отрасль)" - Москва, РОНКТД. 2012.
5. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Возможности ультразвуковой томографии бетона // Предотвращение аварий зданий и сооружений.
6. “Акустография” бетона: не виртуальная реальность, Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. // NOT World Review №4(42) December 2008
7. Шевалдыкин В. Г., Самокрутов А. А., Козлов В. Н. Новые аппаратурно-методические возможности ультразвукового прозвучивания композитов и пластмасс // Заводская лаборатория. 1998. № 4. С. 29 – 39.
8. Shevaldykin V. G., Kozlov V. N., Samokrutov A. A. Inspection of Concrete by Ultrasonic Pulse-Echo Tomograph with Dry Contact. 7th European conference on Non-Destructive Testing. Copenhagen, 26 - 29 May, 1998.
9. Shakhnov V.A., Vlasov A.I., Knyazev V.S. Hardware and software integrated system for processing signals for monitoring signals and analyzing the state of different level technical systems // Тезисы докладов 3-ей международной конференции "Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике". - Москва. 2002. С. 123.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ РАДИАТОРОВ В СИСТЕМЕ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Гусева П.А.

Научный руководитель: доцент, Курносенко А.Е.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

RESEARCHING INTERNAL BUILT-IN RADIATORS IN A COOLING SYSTEM

Guseva P.A.

Supervisor: assistant professor, Kurnosenko A.E.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается влияние формы канала и типов внутренних радиаторов на характеристики теплообмена в системе жидкостного охлаждения приемо-передающего модуля активной фазированной антенной решетки. Проведена оценка того, как встроенные радиаторы позволяют увеличить площадь теплообмена и улучшить перемешивание охлаждающей жидкости, тем самым интенсифицировав теплообмен. В заключении представлены рекомендации по изготовлению такого рода каналов со встроенными радиаторами с применением перспективных аддитивных технологий.

Abstract

In this article the influence of tube shape and form, type of inner radiator on heat exchange parameters of cooling system of a receiving-transmitting module in active phased array antenna is researched. Calculation of how the increased heat exchange area of built-in radiators improve mixing of cooling liquid and intensify the heat exchange is done. In conclusion, recommendations for manufacturing of such tubes with built-in radiators by means of advanced additive technologies are given.

Введение

В настоящее время в ПАО «НПО «Алмаз» ведутся работы по созданию высокопотенциального антенного устройства (АУ) на базе активной фазированной антенной решетки (АФАР). АФАР состоит из приемо-передающих модулей (ППМ), содержащих полупроводниковые выходные усилители мощности (ВУМ) СВЧ излучения с высоким уровнем тепловыделения. Удельное тепловыделение ВУМ может достигать в расчете на поверхность теплоотвода 15 кВт/м^2 при допустимой температуре этой поверхности до $+(70...80) \text{ }^\circ\text{C}$. Кроме ВУМ в составе ППМ имеются вторичные источники питания (ВИП) и другие тепловыделяющие элементы. Общее тепловыделение всех ППМ АФАР имеет порядок сотен киловатт, а теплостоком является окружающий воздух с температурой до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$. Обеспечить нормальный тепловой режим АФАР во всем диапазоне температуры окружающей среды непосредственным воздушным охлаждением ППМ практически невозможно. Поэтому в системе обеспечения теплового режима (СОТР) в качестве основной используется система жидкостного охлаждения (СЖО) [1].

Один из вариантов исполнения теплоотвода от ВУМ в ППМ реализован следующим образом: в несущей конструкции (НК) ППМ (шасси из сплава Al-Li) размещена медная трубка, образующая канал для ОЖ. На трубку с обеих сторон шасси симметрично устанавливаются ВУМ и ВИП, как изображено на рисунке 1.

Предлагается следующий вариант канала жидкостного охлаждения с внутренними радиаторами. Широко известно, что применение радиаторов улучшает теплообмен за счет увеличения площади теплообмена.

Целью проведения данной исследовательской работы является оценка влияния внутренних радиаторов, встроенных в канал жидкостного охлаждения.

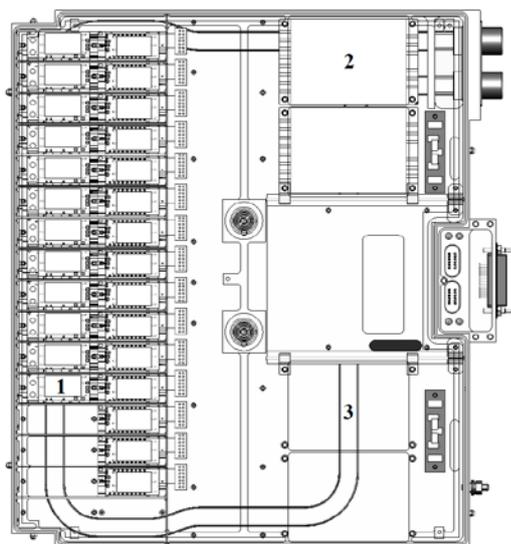


Рисунок 1 – Модуль ППМ (условно показаны не все ВУМ и ВИП): 1-ВУМ, 2-ВИП, 3-трубка для ОЖ

В данной работе рассмотрены следующие типы радиаторов: пластинчатый, штырьковый с рядным расположением штырьков и штырьковый с шахматным расположением штырьков.

В качестве исходных данных для теплового расчета были взяты: материал корпуса алюмо-литиевый сплав В-1461 Т; расход охлаждающей жидкости ОЖ-65, составляющий 10 л/мин, и температура ОЖ на входе канала 35°С, так же было принято во внимание давление в канале в размере 607950 Па. Конвективный теплообмен с окружающей средой (используется адиабатная модель), а также другие источники тепла условно отсутствуют. Такое допущение делается для упрощения расчета и является справедливым для сравнительного анализа.

Расчет проводился в три этапа: подготовка расчетной модели, сам расчет и анализ полученных результатов. Подготовка расчетной модели заключалась в упрощении несущей части конструкции путем устранения геометрии отверстий, сложных элементов, не оказывающих влияния на тепловой режим модели. Для решения задачи использовался программный пакет SOLIDWORKS Flow Simulation, моделирование велось методом объемных элементов.

После проведения расчета результаты решения тепловой задачи были представлены в виде изображений цветового распределения температур в корпусе ППМ.

На рисунке 2 представлено цветовое распределение температур в корпусе ППМ без использования внутренних радиаторов.

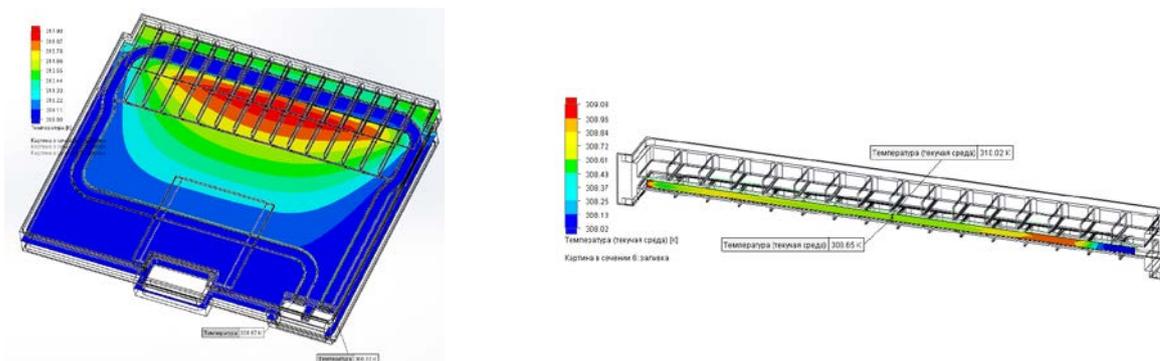


Рисунок 2 – Результат теплового расчета без радиаторов

На данном рисунке можно наблюдать, что основная зона тепловыделения концентрируется в месте расположения ВУМов. Детальный послойный анализ канала показывает, что пограничные слои ОЖ нагреваются больше, чем срединный слой. Максимальный перегрев ВУМа составил 10,2 К.

Далее были установлены радиаторы различных типов.

На рисунке 3 представлено цветовое распределение температур в корпусе ППМ со встроенными пластинчатыми радиаторами.

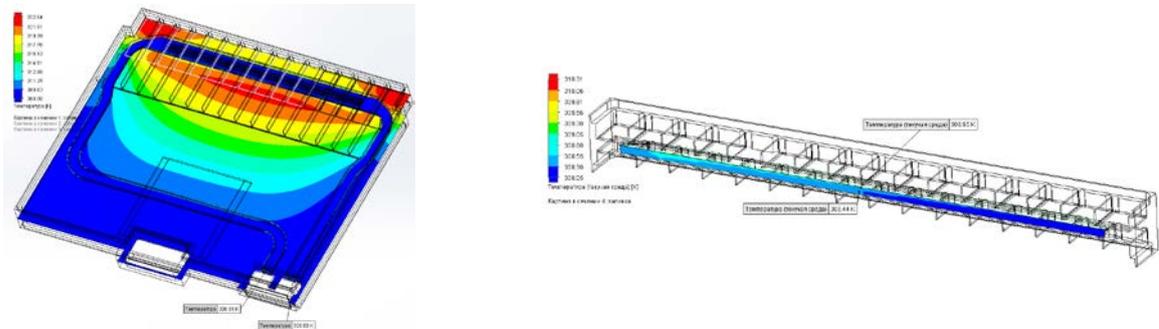


Рисунок 3 – Результат теплового расчета с пластинчатыми радиаторами

Из рисунка видно, что данная диаграмма качественно не отличается от диаграммы, представленной на рисунке 2. Отличие заключается в количественных показателях, например, максимальный перегрев ВУМов составил 7,61 К.

Далее представлено цветовое распределение температур в корпусе ППМ со встроенными штырьковыми радиаторами с рядным расположением штырьков (рисунок 4), где перегрев ВУМов составил 5,67 К.

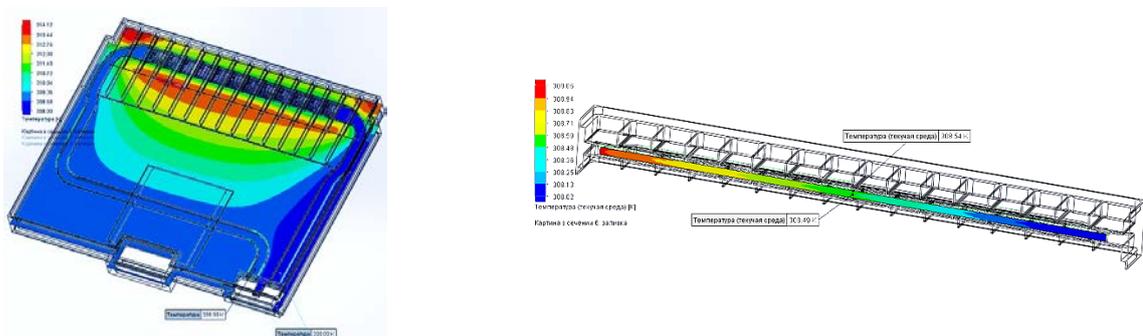


Рисунок 4 – Результат теплового расчета с штырьковыми радиаторами с рядным расположением штырьков

Результаты расчетов штырькового радиатора с шахматным расположением штырьков существенно не отличается от результатов расчета штырькового радиатора с рядным расположением штырьков, и перегрев составил 4,50 К (рисунок 5).

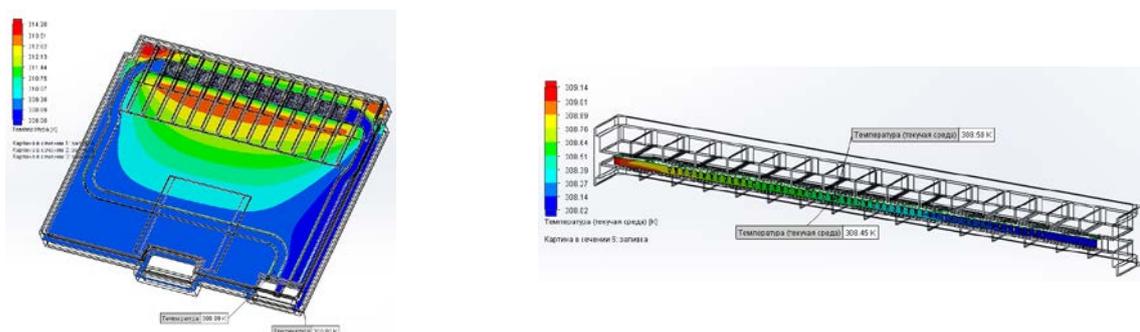


Рисунок 5 – Результат теплового расчета с штырьковыми радиаторами с шахматным расположением штырьков

Сводные результаты расчетов указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная таблица результатов

Вид радиаторов	Без радиатора	Пластинчатые радиаторы	Штырьковые радиаторы с рядным расположением штырьков	Штырьковые радиаторы с шахматным расположением штырьков
Параметр				
Температура на поверхности ВУМ, К	318,20 К	315,61 К	313,67 К	312,20 К
$\Delta T_{\text{эфф}}$, К	10,2 К	7,61 К	5,67 К	4,50 К
Эффективность применения радиаторов, %	–	25,4 %	44,4 %	55,9 %

Здесь $\Delta T_{\text{эфф}}$ – перегрев ВУМ относительно начальной температуры 308 К. Эффективность применения радиаторов рассчитывается относительно $\Delta T_{\text{эфф}}$ без радиатора, взятое за 100%.

Можно также предположить, что применение радиаторов позволило равномерно нагревать весь поперечный профиль канала, уменьшив разницу температур пограничного и срединного слоев ОЖ. Это также положительно могло сказаться на эффективности теплообмена.

Изготовление корпуса ППМ со встроенными штырьковыми радиаторами стандартными методами изготовления с применением операций фрезерования представляет собой трудновыполнимую технологическую задачу. Решить эту проблему можно с помощью аддитивных технологий. Они представляют собой технологию послойного наращивания материала, что позволило бы за единый технологический процесс «вырастить» корпус вместе со встроенными радиаторами. На данный момент существуют различные аддитивные технологии. Для решения данной задачи предполагается применение технологии Bed Deposition. С целью повышения технологичности конструкции корпуса ППМ для Bed Deposition потребуется введение дополнительных технологических отверстий для продувки оставшегося свободного порошка, после эти отверстия можно будет закрыть для герметизации канала [2].

Проведенные исследования лишь показывают возможные перспективы применения описанных технологий. Однако для их практического применения потребуется провести еще ряд исследований, таких как, например, исследование гидродинамических свойств канала с радиаторами и в целом прочностных свойств материалов, получаемых по технологии Bed Deposition.

Литература

1. Аверин И.Б., Елисеев А.Д., Журавлев В.Г., Столбовской В.Н. Система обеспечения теплового режима АФАР. – Морские комплексы и системы ПВО-ПРО: сборник докладов научно-технической конференции ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» к 80-летию со дня образования ОАО «МНИИРЭ «Альтаир». – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2013. – С.233-236.
2. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 200 с.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС САПР И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

Кириленко В.Д.

Научный руководитель: Юдин А.В.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

SOFTWARE SYSTEM WITH CAD AND CNC MACHINE CONTROL CAPABILITIES

Kirilenko V.D.

Supervisor: Yudin A.V.

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Moscow, Russia

Bauman Moscow State Technical University, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В работе представлен проект комплекса программного обеспечения для станков с ЧПУ, включающего возможность непосредственного создания чертежа детали и последующего управления инструментом станка для ее изготовления. Особенностью проектирования является уход от привычного способа создания чертежей большинства инженерных САПР в сторону комбинации существующих принципов разработки с более широкими возможностями «программирования» деталей. Рассмотрены предпосылки разработки, описаны ее этапы и принципы работы ПО, указаны дальнейшие шаги по проекту.

Abstract

The paper presents a project of a software system for CNC machines, including direct part drawing and the subsequent machine tool control for its manufacturing. The peculiarity of the design is a departure from the usual way of creating drawings of the majority of engineering CAD systems in the direction for a combination of existing development principles with more extensive "programming" of the designed parts. The prerequisites of the development are considered, its stages and principles of software operation are described, the further steps of the project are indicated.

Введение

В современных условиях происходят изменения привычных производственных процессов в связи с научно-техническим прогрессом. Автор занимается в учебной лаборатории цифрового производства [1] и уже на этом уровне заметны наиболее интересные для него тенденции к переходу к индивидуальному, мелко-серийному производству. Такое производство отличает необходимость быстрой переналадки, подготовки станков и инструментов для изготовления очередного, уникального проекта пользователя лаборатории, в основном для своих собственных нужд (поскольку лаборатория учебная, большую часть проектов в ней составляют учебные, но возможности оборудования позволяют решать и более серьезные задачи при достаточном объеме знаний и умений).

При работе на станках в лаборатории очень часто проявляются их ограничения. Например, время работы со станком лазерной резки можно сократить за счет автоматизации отдельных технологических переходов при изготовлении деталей. Это в свою очередь может помочь в сокращении очередей, которые выстраиваются в пиковые часы работы лаборатории при большом количестве одновременно проводимых проектов учащимися. Другим примером, может служить перерасход материала вследствие неопытности большинства новичков. Эти задачи можно успешно решать как в рамках имеющихся станков, так и разрабатывая новые, более совершенные станки по запросу пользователей лаборатории (в том числе и сторонних, например студенческих лабораторий цифрового производства [2] и входящих в международное движение FabLab[3][4]). Возможности подобных лабораторий в связи с производством деталей рассмотрены также в статье коллеги автора, учащегося лаборатории [5].

Известна разработка автора в учебной лаборатории [6][7]⁵, посвященная автоматизации фокусировки лазерного луча для станка лазерной резки. Техническое устройство использовало датчик и систему управления приводом фокуса оптической системы фокусировки лазера на базе микроконтроллера. Подобные модули могли бы разрешить названные проблемы и качественно дополнить имеющееся или вновь разрабатываемое производственное оборудование.

При использовании или создании любых станков с ЧПУ, а также дополнительных модулей, расширяющих их функционал, возникает два основных вопроса:

- как управлять имеющимися устройствами с целью их эффективного взаимодействия;
- в какой программе наиболее удобно создавать чертежи.

Данный программный комплекс (далее в тексте - KIVICode) призван ответить на оба вопроса, а также уйти от привычного метода создания чертежей. Комплекс можно разбить на две части: среда разработки чертежей с функцией отправки данных на станок и часть, которая управляет непосредственно станком.

Рассмотрим наиболее популярные на данный момент способы создания чертежей:

- геометрическая параметризация - самый распространенный вариант. Так создаются геометрические фигуры с определенными размерами. Используется в таких программах, как CorelDraw (рис. 1), SolidWorks (рис. 2);
- вариационная параметризация - в этом случае, помимо рисования геометрических фигур, задаются соотношения некоторых размеров, вертикальность или горизонтальность двух объектов и т.п. Используется в таких программах, как SolveSpace [8] (рис. 3);
- иерархическая параметризация - наименее распространенный среди рассматриваемых методов в среде проектирования инженерного назначения. Чертеж чаще всего создается путем наложения операторов-функций, выполняющихся один за другим (иерархии фильтров). Используется в Grasshopper [9].

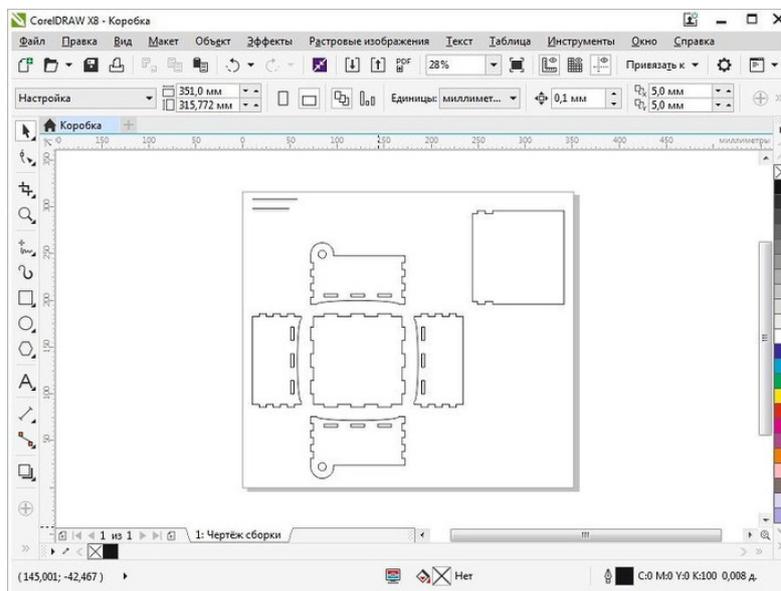


Рисунок 1 – САПР CorelDraw

⁵ Работа была удостоена Диплома 3 степени на Балтийском Научно-Инженерном Конкурсе в 2017 году.

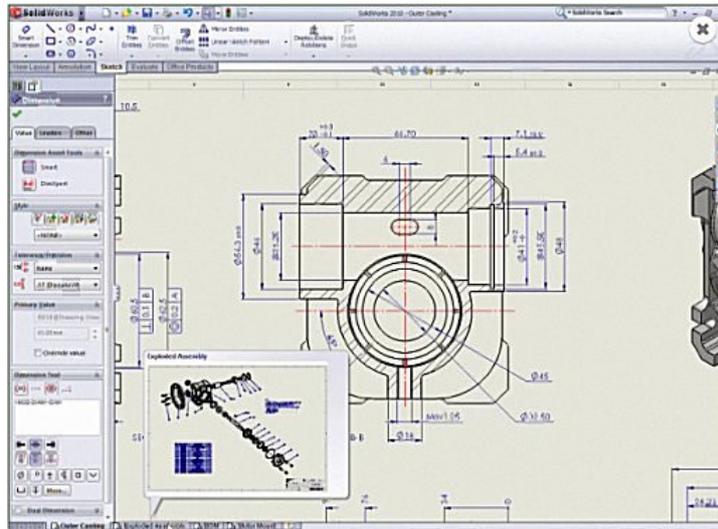


Рисунок 2 – САПР SolidWorks

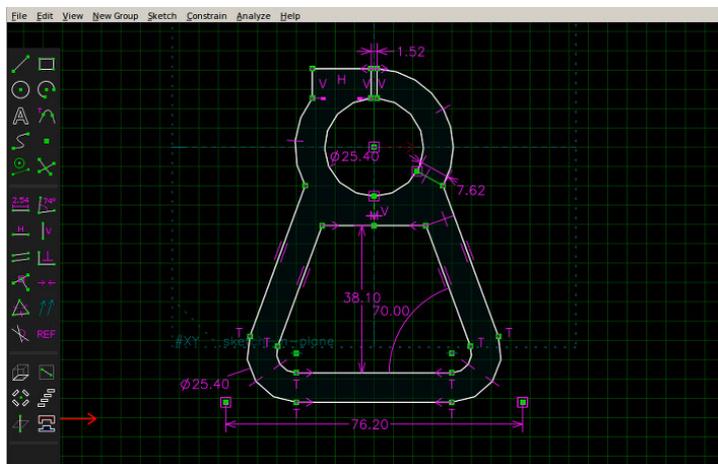


Рисунок 3 – САПР SolveSpace

Следует также отметить, что большинство существующих САПР являются решениями исключительно сложными, с большим количеством инструментов и как следствие очень дорогими продуктами. Большинство функций таких САПР не востребованы в условиях учебных лабораторий цифрового производства, а использование некоторых простых САПР с открытым исходным кодом [8] (бесплатных для пользователя) на протяжении нескольких лет позволяет утверждать, что можно (и нужно) разработать наиболее удобный и доступный инструмент для нужд учебных лабораторий, учитывающий специфику наиболее распространенного используемого оборудования. Найти подобный универсальный, удобный и бесплатный продукт автор не смог.

Данная работа посвящена пересмотру традиционных инженерных подходов к созданию чертежей деталей с целью упрощения некоторых типичных операций проектирования, часто встречающихся при разработке проектов в учебной лаборатории автора. Для этого предлагается комбинация существующих принципов разработки с более широкими возможностями «программирования» деталей.

Для написания ПО был использован язык программирования Processing, ввиду удобства работы с графической информацией.

Автор благодарит лабораторию робототехники Центра Технического Образования Дворца Пионеров на Воробьевых горах (ГБПОУ «Воробьевы горы» [1]), где велась описываемая разработка, а также Центр Технологической Поддержки Образования лаборатории цифрового производства «ФабЛаб» при НИТУ «МИСиС» [2] за мотивацию и

возможность знакомства с передовыми принципами работы подобных лабораторий и оборудования.

Цели и задачи

Цель проекта - создать программный комплекс удобного и быстрого создания чертежей деталей (САПР) в условиях учебной лаборатории цифрового производства с учетом наиболее востребованных станков лаборатории и специфики разработки чертежей деталей для них.

Предусмотреть в процессе разработки возможность дальнейшей модернизации программного обеспечения с целью добавления в комплекс собственной системы управления сетями приводов для упрощения создания новых станков, лучше отвечающих требованиям лаборатории цифрового производства и заказчика.

Задачи проекта:

- изучить современные способы создания чертежей и существующие доступные станки с ЧПУ, представленные в лабораториях цифрового производства;
- провести анализ типичных механических схем станков, их управления и требуемого перемещения инструмента (в технопарке Центра технического творчества [1]);
- на основании полученных данных анализа выбрать базовую кинематическую схему станка для последующей реализации управления используемыми движениями;
- на основании полученных данных анализа предложить подход к наиболее удобной и по возможности простой разработке деталей для изготовления на наиболее востребованных в лаборатории станках;
- разработать удобную среду проектирования деталей (САПР), включая инструменты создания контуров, их «сложения» и «вычитания»;
- реализовать возможность визуального непосредственного задания геометрических примитивов и дальнейшего «программирования» итоговой детали с помощью системы фильтров, и с помощью встроенного языка «программирования» геометрии;
- реализовать экспорт чертежа детали в наиболее популярные форматы данных, для использования на существующих станках учебной лаборатории;
- провести экспериментальное изготовление детали;
- предложить вариант организации системы управления приводами станка на базе выбранной кинематической схемы;
- сделать выводы о дальнейшей целесообразности продолжения проекта.

Общее описание системы, принципов работы и используемых технологий

Рассмотрим среду разработки чертежей KIVICode: основным преимуществом данного решения является возможность свободно переключаться между вариационной параметризацией и фильтрами, как между двумя изолированными программами с общим выводом.

Фильтры представляют собой блоки со входами и выходами. На входы подаётся фигура или различные значения параметров, заложенных внутри фильтра. На выходе получаем сгенерированную фигуру с заданными параметрами изменения.

Пользователь может создавать собственные фильтры, используя встроенный редактор и созданный автором высокоуровневый язык «программирования» геометрии.

Одной из особенностей является наличие двух встроенных фильтров, которые на вход получают две фигуры и либо “Вычитают” одну из другой, либо “Складывают” их (рис. 5). Данные фильтры значительно упрощают создание сложных фигур с вырезами или выпуклыми частями, когда на создание подобных фигур в других редакторах может

уйти значительно больше времени. Примечание: на рис. 4 красным обозначено “Вычитание”, а синим “Сложение”.

Однако не всегда удобно работать с фильтрами, например при изготовлении простых деталей. Тогда можно воспользоваться графическим редактором, в котором можно задавать размеры фигур, соответствие точек, расстояние между ними, горизонтальность и вертикальность, что помогает быстро и качественно создать детали средней и низкой сложности.

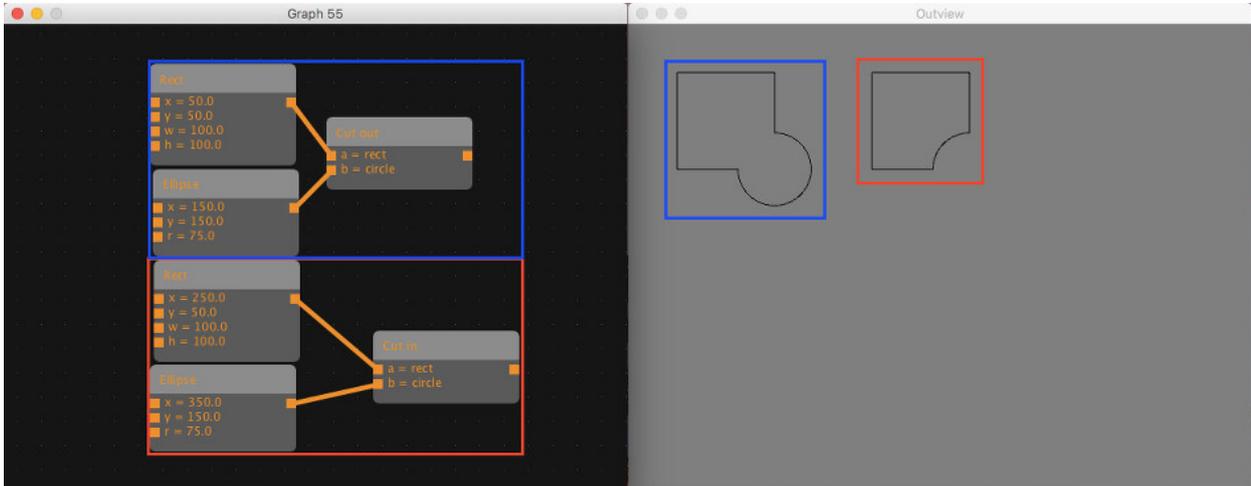


Рисунок 4 – “Сложение” и “Вычитание” фигур с помощью иерархии «фильтров»

Поскольку наиболее востребованный в учебной лаборатории оказался станок лазерной резки (до 80% всех работ лаборатории выполняется на нем) было решено работать с контурами фигур в плоскости, поскольку это хорошо отражает специфику технологического процесса изготовления деталей на данного вида станках.

Программа экспортирует полученный чертеж в наиболее популярные форматы, используемые существующими станками, такие как DXF, GCode, SVG, PDF, PNG и DVG.

Исследовательская часть

Исследовательская часть в данном проекте состояла в нахождении оптимального алгоритма “Сложения” и “Вычитания” фигур и в нахождении наиболее удобного формата “общения” компьютера и станка.

Главной сложностью в создании алгоритма было нахождение способа получить непосредственно контур сплошной фигуры, созданной подпрограммой.

На рис. 5 представлен примерный алгоритм работы KIVICode.

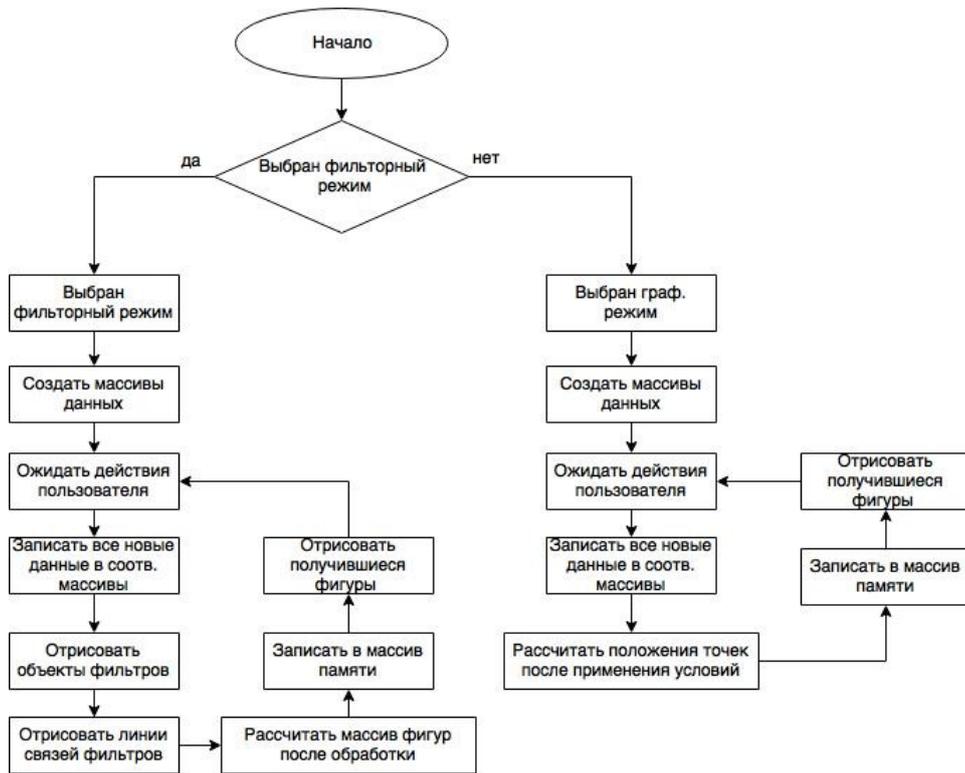


Рисунок 5 – алгоритм работы KIVICode

Подход к организации системы управления приводами станка

Как упоминалось выше, алгоритм “общения” компьютера и станка был реализован максимально просто для понимания. Способ непосредственно отправки данных на станок выглядит следующим образом: компьютер - парсер(конвертер) - управляющая электроника (в данном случае - raspberry pi) - станок (имеется ввиду именно конструкция), схема изображена на рис. 6.

Простота способа передачи чертежа состоит в том, что данные отправляются на станок в виде набора команд с параметрами. Например, для того, чтобы что-то вырезать необходимо отправить на станок строки следующего формата: “l(0,0,100,100);” и “r(100,100,50,50);”. Данная строка обозначает, что станку необходимо вырезать линию из точки (0,0) в точку (100,100) и прямоугольник с левой-верхней вершиной в точке (100,100) и со сторонами 50 и 50.

Такая форма передачи данных будет удобна как для разработчика, так и для самого станка. В данном примере “l” и “r” является обозначениями команд выреза линии и квадрата соответственно, а в скобках через запятую перечисляются параметры заданных фигур.

Подобные команды пользователь может создавать самостоятельно с помощью возможностей встроенного языка «программирования» геометрии под самые разные задачи.

Данные между компьютером и преобразователем передаются по протоколу RS-232(Com port), а между преобразователем и raspberry pi передаются по протоколу, представленном ниже. На рис. 6 блоками серого цвета обозначены команды, отправляемые компьютером, а белого - преобразователем. Условные обозначения: SYNC - команда синхронизации, PACK - отправка строки с данными, SUC - подтверждение успешной операции, POS - отправка текущей позиции курсора станка, FIN - команда завершения сессии.

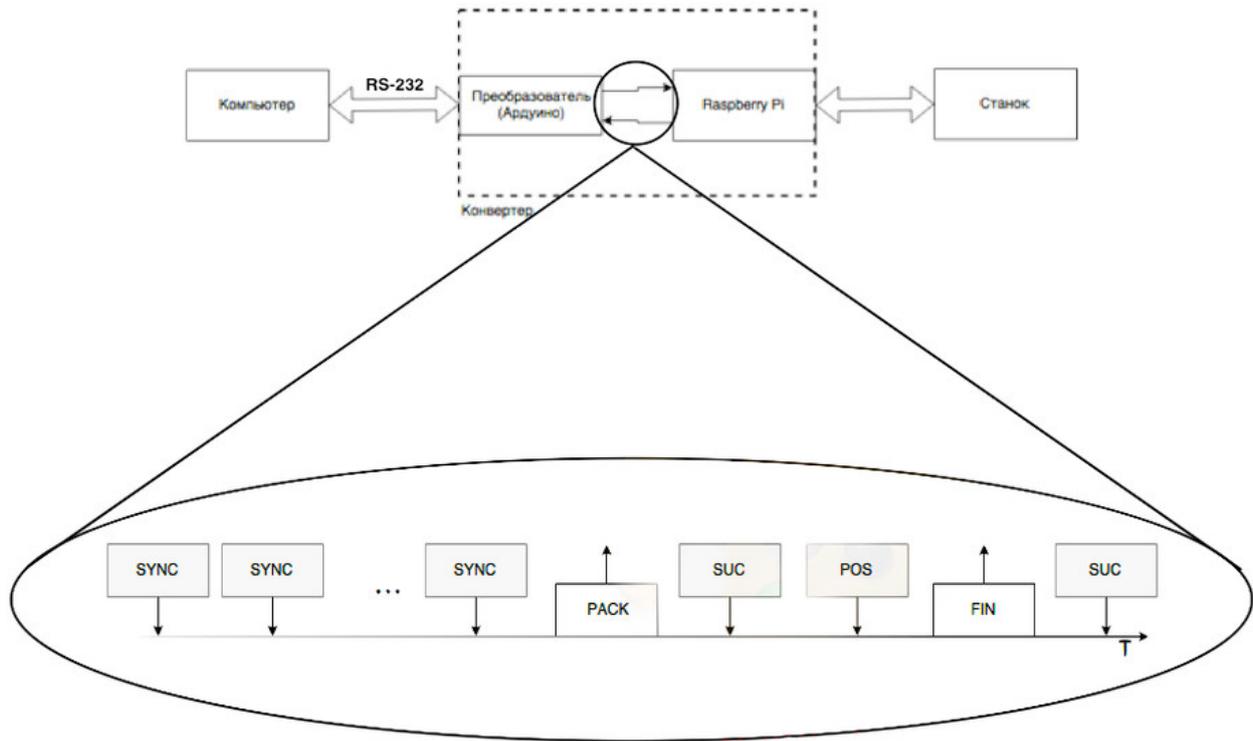


Рисунок 6 – блок-схема передачи данных между станком и компьютером

Требуется дальнейшая работа по разработке устройства сетевого взаимодействия нескольких приводов станка таким образом, чтобы иметь возможность «программирования» их взаимного поведения, используя описываемую среду как интегрированную. В этом случае пользователь сможет создавать необходимое поведение станка используя предложенный вариант «изменяемого g-кода».

Анализ показал, что на данном этапе наиболее целесообразно сконцентрироваться на 3 степенях свободы в схеме обработки детали инструментом, поскольку подавляющее большинство востребованных станков имеют похожую кинематическую схему (подвижный в плоскости стол и перемещаемый по вертикали инструмент или подвижный в плоскости инструмент и перемещаемые по одной координате стол).

Заключение

Во время работы было выявлено значительное преимущество языка программирования Processing перед остальными языками. Он изначально направлен на работу с графикой и позволяет сконцентрироваться реализации программной логики.

Разработка сборки ПО для станков с ЧПУ имеет большой потенциал внедрения во множестве лабораторий цифрового производства. Автор планирует продолжить работу и развивать проект в сторону увеличения функционала САПР, а также дополнить его возможностью «программирования» сетевых приводов вновь создаваемого станка.

Поскольку существуют и известны проекты по созданию самодельных станков с ЧПУ [10], дальнейшая работа автора может быть востребована в том числе и в многочисленном международном сообществе разработчиков подобных решений.

Литература

1. Сайт Центра Технического Образования, ГБПОУ «Воробьевы горы». – Электронный ресурс. Режим доступа: http://vg.mskobr.ru/add_edu/centr_tehnicheskogo_obrazovaniya/. - Проверено 20.01.2018.
2. Сайт лаборатории цифрового производства «ФАБЛАБ» НИТУ «МИСиС». – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fablab77.ru>. - Проверено 20.01.2018.
3. N. Gershenfeld, "How to make almost anything, the digital fabrication revolution," Foreign Affairs, vol. 91, no. 6, 2012. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.foreignaffairs.com/articles/138154/neil-gershenfeld/how-to-make-almost-anything>. - Проверено 20.01.2018.
4. N. Gershenfeld, "The third digital revolution," presented at the Solid 2014 Conference, San Francisco, CA, USA, May 21–22, 2014. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://solidcon.com/solid2014/public/schedule/detail/35425>. - Проверено 20.01.2018.
5. Лапшинов С.А. Актуальность технологических возможностей лаборатории цифрового производства при разработке мобильного робота // сборник научных трудов. 19-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.255-263.
6. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Тезисы проектов Балтийского научно-инженерного конкурса. Секция «Техника». – Санкт-Петербург, 30 января – 2 февраля 2017.
7. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Сборник научных трудов. 18-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2016". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 20 апреля 2016 г. – с.234-239.
8. Параметрическая САПР 2Д/3Д моделирования с открытым исходным кодом . - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://solvespace.com> – Проверено 20.01.2018.
9. Алгоритмическое моделирование с помощью Grasshopper - Электронный ресурс . Режим доступа: <http://www.grasshopper3d.com> – Проверено 20.01.2018.
10. Проекты самодельных станков, разработанных в лаборатории цифрового производства – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://cba.mit.edu/projects/mtm/>. - Проверено 20.01.2018.
11. Платформа прототипирования и разработки электронных устройств Arduino. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.arduino.cc>– Проверено 20.01.2018.
12. Руководство разработчика по языку Processing. – Электронный ресурс. Режим доступа: <https://processing.org/reference/>. - Проверено 20.01.2018.
13. Григорьев П.В., Егоркин К.С., Кириллов А.В., Костюченко С.В., Лобанов В.С. Мехатронный модуль с органом технического зрения // Сборник научных трудов. 14-ая молодежная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2012". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25-26 апреля 2012 г. – С.202-208.

МОДУЛЬНОЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМИНАЛОВ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Косолапов Д. А.

Научный руководитель: Юдин А. В.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

МГТУ им. Н. Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MODULAR MEASUREMENT DEVICE FOR DETERMINATION OF NOMINALS OF COMMON ELECTRONIC COMPONENTS

Kosolapov D. A.

Supervisor: Yudin A. V.

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Moscow, Russia

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье приводятся предпосылки создания устройства, позволяющего при соответствующей настройке и наличии специальных модулей определять номиналы электронных компонентов, и их последующему распределению. Данное устройство имеет модульную архитектуру, благодаря чему библиотеку проверяемых компонентов можно расширять путем разработки новых модулей. Процесс самостоятельной сборки данного устройства может быть полезен начинающим разработчикам, работающим в сфере лабораторий цифрового производства.

Abstract

In this article are given prerequisites for creating a device, that with proper installment can be used to measure denominations of electronic components, and their further sorting. This device has a modular architecture, which is used to expand it's functionality by creating new modules. Process of creating this device can be useful for starters.

Введение

В большинстве современных лабораторий цифрового производства можно встретить большое количество кассетниц, содержащих наиболее популярные электронные компоненты для проектов пользователей лаборатории. Хранение компонентов в легко доступном для всех месте иногда приводит к перемешиванию компонентов и несоответствию поясняющих надписей и содержимого кассетниц. На рис. 1 в качестве примера изображено скопление утилизированных компонентов, требующих рассортировки.

Обычно для решения этой проблемы используется мультиметр, но он имеет ряд недостатков, из-за чего на процесс определения номиналов электронных компонентов требуется больше времени, а также возникают случаи невозможности проверки некоторых типов компонентов в связи с отсутствием подобной функции в приборе.

В данной работе предлагается решение для проверки, определения номиналов и типа электронных компонентов в виде удобного измерительного технического устройства.

В устройстве используется модульная архитектура, что позволяет упростить внешний вид устройства, снизить его себестоимость и облегчить воспроизводство в лабораториях цифрового производства. Существует возможность добавления новых, не представленных в работе измерительных модулей, благодаря разработанному аппаратно-программному интерфейсу и описанному способу передачи информации.

Предлагаемое устройство позволит пользователю проверить правильность набранных для пайки электронных компонентов, что в свою очередь поможет избежать

осложнений в отладке собранного изделия вследствие ошибок в набранных номиналах компонентов.



Рисунок 7 – типичная “кучка” не рассортированных электронных компонентов

Цель работы – разработать архитектуру модульного измерительного устройства для нужд школьных и студенческих производственных лабораторий, принципов работы с ним. Для демонстрации работы устройства – представить стенд с набором модулей для измерения номиналов электронных компонентов. Предусмотреть в процессе разработки возможность дальнейшей модернизации устройства путем смены модулей измерения компонентов, дополнения системы управления модулями датчиков, а также возможность самостоятельной сборки устройства в условиях лаборатории цифрового производства.

Задачи проекта:

- Изучить способы измерения номиналов различных компонентов;
- Разработать платы модулей с возможностью построения новых плат на их основе (базовые модули);
- Изготовить и собрать устройство;
- Провести проверку устройства;
- Сделать выводы о дальнейшей целесообразности доработки устройства.



Рисунок 8 – Концепт-арт устройства

Стандартный мультиметр в большинстве случаев – портативное устройство, в то время как устройство, описанное здесь является стационарным, что должно ускорить процесс проверки компонентов за счет измененного процесса использования.

Данное устройство состоит из четырех основных частей:

Центральный контроллер – Основная часть устройства, выполняющая необходимые вычисления для определения компонента. На нём расположен дисплей, выводящий номиналы проверяемых компонентов.

Измерительные электроды – Площадки, необходимые для образования контакта между проверяемыми компонентами и центральным контроллером.

Разъем для модулей – Связующая часть между 1 и 2 частью. В данный разъем вставляется модуль для соответствующего измеряемого компонента.

Подсвеченные ячейки для компонентов – Данная часть является последним звеном перед распределением компонентов в их окончательные места.

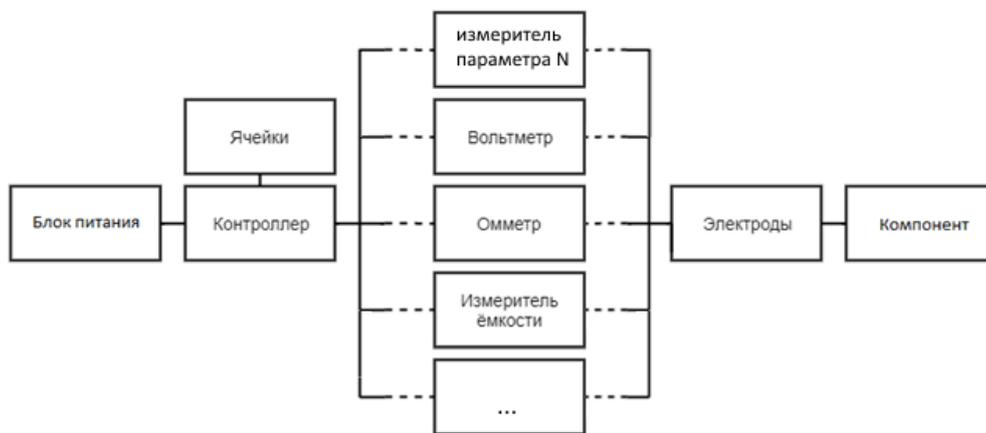


Рисунок 9 – Блок-схема устройства

Модульная архитектура устройства

Во время процесса проверки компонента необходимо установить специальную связь между проверяемым компонентом и вычисляющим контроллером. Эта связь, в большинстве случаев является электрической цепью. Данная связь и является кардинальным отличием в процессе измерения номиналов разных электронных компонентов. Данное устройство, как сказано ранее, имеет модульную архитектуру, соответственно различные связи между компонентами и контроллером выполнены в виде этих самых модулей.

Модуль представляет из себя одностороннюю печатную плату, содержащую часть электрической цепи, необходимой для осуществления вычисления номинала проверяемого компонента. Основное преимущество данной архитектуры заключается в возможности расширения библиотеки проверяемых компонентов. Для этого необходимо разработать новый модуль на основе имеющихся, и соответственно добавить элемент кода, отвечающего за него в прошивку контроллера.



Рисунок 10 – собранные модули

На рисунке 4 представлены готовые, работоспособные модули, сделанные на фрезерном станке Modela MDX-15. Так же были успешные попытки создания модулей методом травления. Работоспособность практически не зависит от ширины текстолита и типа компонентов, используемых в нём. Единственное, что следует соблюдать во время создания модуля – расстоянием штекеров относительно друг друга. Следует отметить, что двухсторонние платы еще не были испробованы, но в теории особых трудностей не должно возникнуть при попытке их создания и использования.

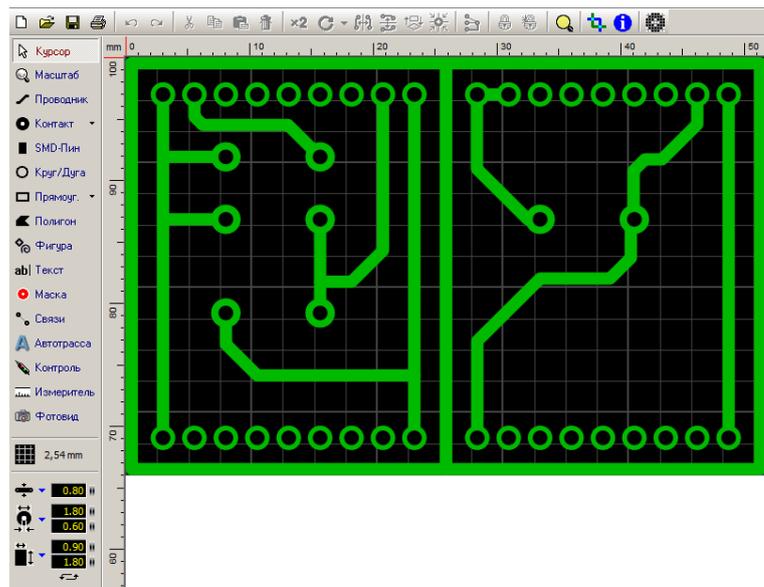


Рисунок 11 – процесс разводки плат модулей

На рисунке 5 показан процесс разводки плат этих модулей в программе Sprint layout 6.

Для создания нового модуля достаточно открыть исходники уже существующих, и построить их на их основе. Процесс создания не представляет особого труда, поэтому для этой цели даже не требуется создавать шаблон.

Платы так же можно развести с нуля, в том числе и в другой, более профессиональной программе, что рекомендуется делать, если создаваемый модуль имеет большее количество соединений, так как в Sprint Layout можно легко запутаться. Стоит отметить, что при создании с нуля нужно обязательно следовать расположению выводов на плате. Представить их пока что нет возможности, так как с их расположением мы еще окончательно не определились.

Так же хочу отметить, что выводы, расположенные с одной стороны – все зарезервированы под коммуникацию модуля с контроллером, а с другой стороны на данный момент были использованы только два вывода – под измерительные электроды. Оставшиеся выводы планируется частично использовать с такой же целью, как и выводы на противоположной стороне, и частично использовать для дополнительных электродов, так как многие электронные компоненты имеют более двух электродов (например транзисторы).

Крайне важно всегда при создании модулей чертить их принципиальную схему. Это упростит сборку модуля, так как при создании без принципиальной схемы могут возникнуть значительные проблемы.

Так же крайне важной является функция контроллера определять находящийся в ней модуль. Это осуществляется за счет делителя напряжения (Рис. 5), в котором номинал R1 в каждом модуле разный. За счет этого, подаваемое напряжение снижается, определяется контроллером и в зависимости от разницы напряжений определяется типа модуля. Хочу отметить, что в представленных здесь схемах модулей он отсутствует.

Вариантное исполнение модулей:

1. Омметр.
2. Измеритель ёмкости.
3. Вольтметр.
4. Определитель типа транзистора.
5. Термометр.

Модуль измерения сопротивления

Принцип работы модуля измерения сопротивления основан на делителе напряжения. Он состоит в том, что номинал подтягивающего резистора R2 нам известен, а R1 – проверяемый резистор, номинал которого нужно узнать. Так же известно $U_{вх}$ и $U_{вых}$. – измеряется контроллером.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_2 = I \\ U_{вх} = U_1 + U_2 \\ U_2 = U_{вых} \\ U_1 = I_1 R_1 = IR_1 \\ U_2 = I_2 R_2 = IR_2 \\ U_{вх} = IR_1 + U_{вых} \\ IR_2 = U_{вых} \\ I = \frac{U_{вых}}{R_2} \\ U_{вх} = \frac{U_{вых}}{R_2} \cdot R_1 + U_{вых} \\ R_2 = \frac{U_{вых} \cdot R_1}{U_{вх} - U_{вых}} \end{array} \right.$$

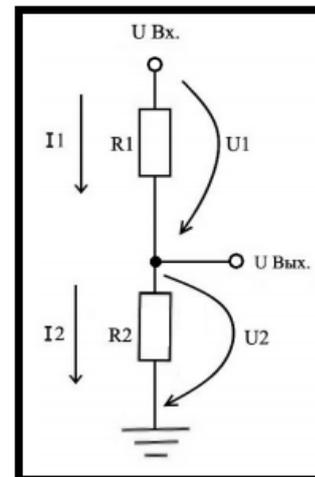


Рисунок 12 – Формула вычисления сопротивления

Рисунок 13 - Делитель напряжения

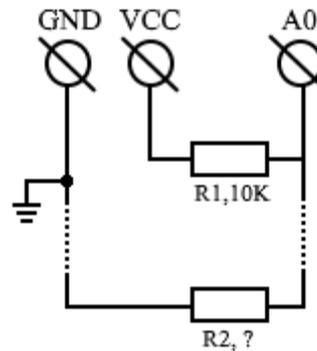


Рисунок 14 – Принципиальная схема модуля измерения сопротивления

Арифметические вычисления, необходимые для вычисления сопротивления, исходя из данной нам информации, представлены на рисунке 7.

Ускорение процесса распределения компонентов.

В процессе изучения проблемы, описанной в данной работе, я пришел к выводу, что последнюю стадию процесса – распределение компонентов в их окончательные места – можно в той или иной мере автоматизировать. Предлагаемое решение заключается в том, что каждая ячейка, содержащая компоненты оснащена светодиодом. Далее в процессе определения номинала компонента контроллер подает сигнал, и над ячейкой соответствующего диапазона номиналов (например, 1-10 ом в случае резистора, или 1-10 мкФ в случае конденсатора) загорается светодиод, что позволит пользователю мгновенно определить ячейку, в которую нужно положить проверяемый им компонент.

Стоит отметить крайне важную деталь: подсвечиваемые ячейки не являются окончательным местом хранения компонента, так как каждая ячейка предназначена для сразу нескольких типов компонентов (приводя всё тот же пример, 1-10 ом и 1-10 мкФ расположены в одной ячейке), подразумевается, что после определения номиналов компоненты будут разложены по независимым от данного устройства ячейкам. Соответственно при пользовании крайне рекомендуется соответствовать следующему процессу:

- разделить компоненты по их типам;
- определить номиналы всех компонентов одного типа и соответственно разложить их по ячейкам;
- переложить все проверенные компоненты в их окончательные места;
- повторить пункты 2 и 3 уже с компонентами другого типа.

Самостоятельная сборка

Проект является открытым. После завершения основной разработки, все необходимые схемы для самостоятельной сборки будут легко доступны в интернете. Любой желающий сможет собрать такое устройство и использовать его в дальнейшем.

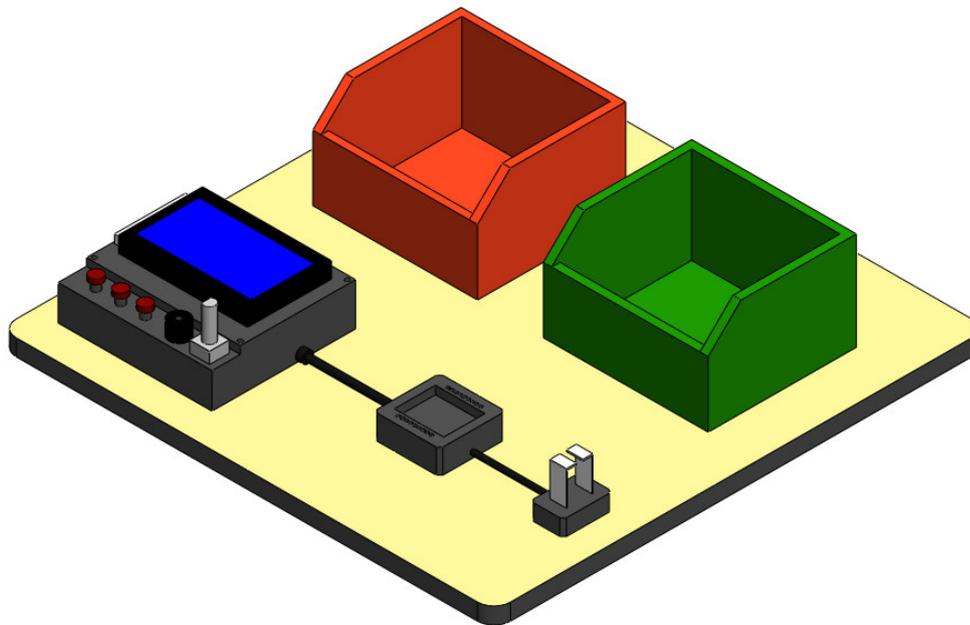


Рисунок 15 – 3D-модель устройства

Так как данное устройство имеет не очень сложную структуру, его созданием могут заняться даже начинающие.

Заключение

На данный момент удалось построить прототип данного устройства на базе Arduino Uno. Результат довольно успешен, так как уже удалось решить описанную в начале текста проблему, в некоторых домашних лабораториях.

Далее, после завершения создания проекта планируется выложить его чертежи в открытый доступ, чтобы любой разработчик проектов мог собрать данное устройство и использовать его в дальнейшем. Помимо этого открытый доступ нужен для привлечения внимания разработчиков для расширения библиотеки функционала и осуществления главной задачи модульной архитектуры.

Полученный практический результат показывает целесообразность дальнейшей работы над добавлением широкой номенклатуры измерительных модулей для определения как можно большего количества типов электронных компонентов. Следует проработать эргономику устройства сортировки для обеспечения удобного и интуитивно понятного интерфейса пользователя.

Литература

1. Электронная публикация о создании измерителя ёмкости. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/CapacitanceMeter> – Проверено 10.01.2018.
2. Электронная публикация о создании измерителя сопротивления. Режим доступа: <http://littleredrat.blogspot.ru/2013/02/arduino.html> – Проверено 10.01.2018.
3. Электронная публикация о создании измерителя ёмкости. Режим доступа: <http://cxem.net/arduino/arduino165.php> – Проверено 10.01.2018.
4. Среда разработки печатных плат. Режим доступа: <https://www.electronic-software-shop.com/lng/en/electronic-software/sprint-layout-60.html> – Проверено 10.01.2018.
5. Сайт ГБПОУ «Воробьевы горы». Режим доступа: <http://vg.mskobr.ru> – Проверено 10.01.2018.
6. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле 12-е изд., испр. и доп. М.: ЛитРес, 2014. 318 с

7. Колесников М.А., Вожаев А., Феофантов К.В., Юдин А.В. Система по отслеживанию наполненности мусорных баков и автоматизации сбора мусора // Сборник научных трудов. 18-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2016". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 20 апреля 2016 г. – с.392-397.
8. Косолапов Д.А. О возможностях создания системы сопровождения команд для организации соревнований мобильных роботов // сборник научных трудов. 19-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.245-251.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПУТЕМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА

Лапшинов С. А.

Научный руководитель: Юдин А.В.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DEVICE FOR AUTOMATED MANUFACTURING OF PRINTED BOARDS BY MILLING THE CONDUCTIVE PATTERN

Lapshinov S.A.

Supervisor: Yudin A.V.

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Moscow, Russia
Bauman Moscow State Technical University, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В работе представлен проект компактного и мобильного фрезерного станка с ЧПУ, разрабатываемого в условиях учебной лаборатории цифрового производства для изготовления малых серий печатных плат с удобным интерфейсом управления и аппаратной настройкой. Рассмотрены предпосылки разработки, описаны этапы создания опытной версии устройства, указаны дальнейшие шаги по проекту.

Abstract

The paper presents a project of a compact and mobile CNC milling machine developed in the conditions of an educational digital fabrication laboratory for the purpose of production of small series of printed circuit boards with an easy-to-use control interface and hardware tuning. The prerequisites of development are considered, the stages of creation of the experimental version of the device are described, the further steps for the project are indicated.

Введение

Современные тенденции персонализации, индивидуализации производства и перенос части производственных мощностей в так называемые лаборатории цифрового производства приводят к необходимости замены дорогостоящего производственного оборудования на более дешевые и в то же время достаточно функциональные производственные установки, реализующие операции достаточного для пользователя качества.

Имея возможность посещать современные лаборатории цифрового производства [1][2], а также принимать участие в организации выездных мастер-классов по разработке мобильных роботов, автор остро ощущает необходимость в обеспечении подобного производственного процесса компактными вариантами существующих станков (например, лазерная резка, изготовление печатных плат, 3D-печать).

На рис. 1 представлено оборудование, используемое автором в учебной лаборатории цифрового производства. Центральное место на этом рисунке занимает автономный мобильный робот для соревнований, как наиболее технически сложное устройство, которое возможно использовать в процессе обучения техническим наукам.

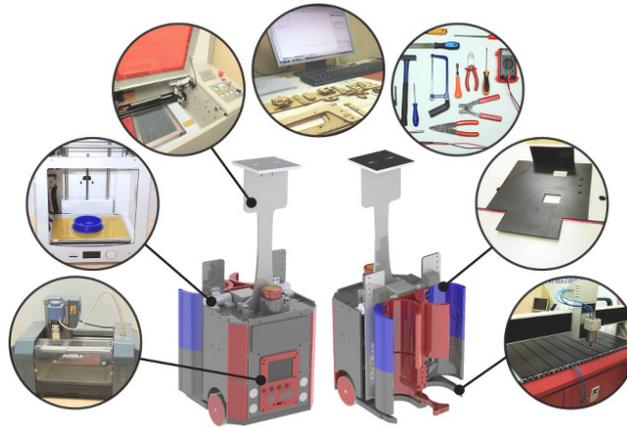


Рисунок 16 – Состав оборудования учебной лаборатории цифрового производства

Для учебного процесса также всегда будут важными такие параметры технического обеспечения как безопасность, универсальность и стоимость (в том числе в процессе эксплуатации). В мире подобные попытки энтузиастов сливаются в движение мобильных лабораторий цифрового производства [3]. Решения в рамках этого движения иногда принимают необычные формы, как например, fablab на велосипеде [4, 5] (когда требуется мобильная лаборатория, ограниченная по размеру тем, что способен перевезти человек на велосипеде).



Рисунок 17 – Пример мобильной и ультра-мобильной лабораторий цифрового производства⁶

Существующие станки, доступные для изучения, имеют большие габариты и специализированы по принципу изготовления детали. Известны случаи разработки самодельных станков [6], но по большей части подобные проекты не выдерживают проверку временем и исчезают не найдя широкой аудитории пользователей по разным причинам.

На ЧПУ станках выполняется широкий круг работ, что обеспечивается наличием контурной системы числового программного управления. Данный проект предполагает совмещение нескольких типов обработки деталей в едином корпусе за счет смены модуля инструмента. Система управления перемещением инструмента в этом случае разрабатывается с учетом необходимых режимов работы для каждого варианта обработки (инструмента), что позволяет снизить общие затраты на разработку разных типов станков за счет единой механической базы и системы команд перемещения инструмента.

Использование современной элементной базы также позволяет дать оптимистичный прогноз к дальнейшему расширению линейки модулей обработки материала, органично вписывающихся в выбранные массо-габаритные характеристики станка.

⁶ Фотографии взяты из публичного доступа в сети Интернет.

Эргономичность и простота использования также являются одними из важнейших требований к результату проекта – станку. Станком должно быть одинаково удобно пользоваться независимо от подготовленности пользователя. Для этих целей предполагается использовать программное обеспечение собственной разработки и ряд модулей датчиков, сигнализирующих о типичных ошибках оператора или позволяющих автоматизировать ряд операций выполняемых обычно пользователем вручную (например, известна одна из разработок учебной лаборатории автора [7][8]⁷). По объективным причинам недостаточной проработанности на текущем этапе эти вопросы в данном описании рассматриваться не будут.

В работе представлено устройство станка, способного обеспечить потребность в производстве малых серий односторонних и двусторонних печатных плат. Рассмотрены такие вопросы как: конструкция и механика станка, технические элементы системы управления и способ управления станком, описаны технологические особенности изготовления печатных плат методом фрезерования.

Автор благодарит лабораторию робототехники Центра Технического Образования Дворца Пионеров на Воробьевых горах (ГБПОУ «Воробьевы горы» [9]), где велась описываемая разработка, а также Центр Технологической Поддержки Образования лаборатории цифрового производства «ФабЛаб» при НИТУ «МИСиС» [10] за помощь в изготовлении деталей.

Цель проекта - разработать в условиях современной лаборатории цифрового производства компактный и мобильный фрезерный ЧПУ станок для изготовления малых серий печатных плат с удобным интерфейсом управления и аппаратной настройкой. Предусмотреть в процессе разработки возможность дальнейшей модернизации станка путем смены модулей обработки материала, дополнения системы управления модулями датчиков, а также воспроизводимость деталей конструкции станка в условиях лаборатории цифрового производства.

Задачи проекта:

1. Изучить существующие доступные станки с ЧПУ, представленные в лабораториях цифрового производства;
2. Провести анализ типичных востребованных способов изготовления деталей в учебной лаборатории цифрового производства (в технопарке Центра технического творчества);
3. На основании полученных данных анализа выбрать геометрию рабочей зоны станка, совмещающую функцию фрезерования печатных плат с одной из наиболее схожих и востребованных функций учебной лаборатории;
4. Подобрать элементную базу для реализации механических и электронных узлов станка;
5. Провести 3D-моделирование станка и получить чертежи для изготовления деталей станка;
6. Изготовить и собрать станок;
7. Провести экспериментальную проверку станка (с усеченной системой управления);
8. Сделать выводы о дальнейшей целесообразности доработки конструкции станка или о переходе к разработке полноценной системы управления станком.

⁷ Работа была удостоена Диплома 3 степени на Балтийском Научно-Инженерном Конкурсе в 2017 году.

Разработка элементов станка

Процесс изготовления деталей для разрабатываемого устройства начинается с разработки чертежей деталей в одной из САПР (Система Автоматизированного Проектирования). Для создания 3D-модели станка использовалась САПР SolidWorks (рис. 3). Параметры корпуса определены размерами внутренних компонентов – необходимые габариты рабочего стола станка, шаговыми моторами моторами и различными механизмами.

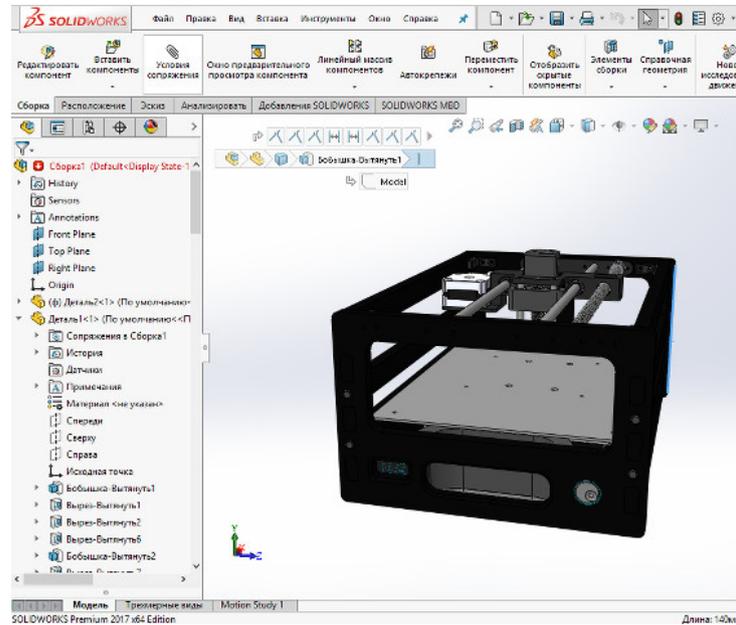


Рисунок 18 – Моделирование устройства станка в САПР

В данной конструкции размер стола составляет 290x200 мм. Стол передвигается по оси X станка за счет винтовой передачи (рис. 4). Бесколлекторный мотор для вращения фрезы вместе с механизмом его передвижения по оси Z передвигается по оси Y станка за счет винтовой передачи. Корпус станка разрабатывается максимально компактным, поэтому стол перемещается только по одной оси.

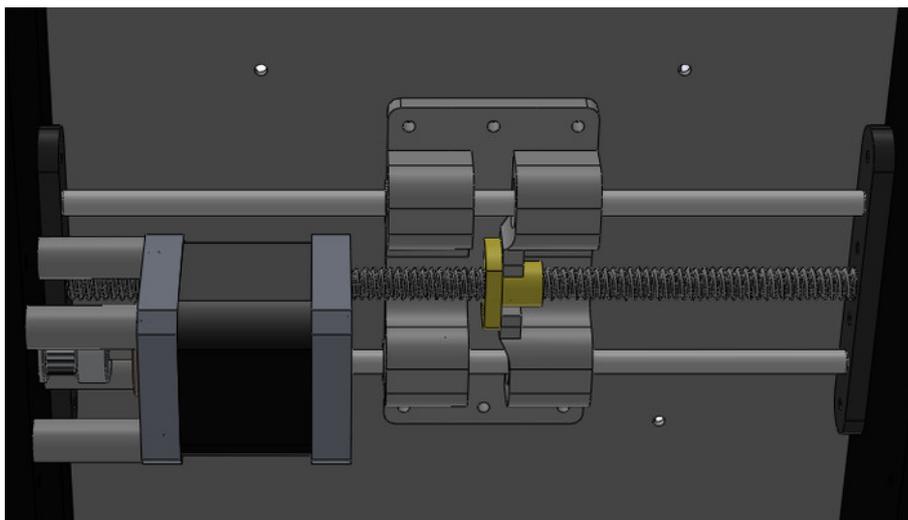


Рисунок 19 – механизм перемещения стола смоделированный в САПР

Механизм перемещения модуля инструмента

Разработанная конструкция позволяет опускать модуль инструмента (рис. 5) внутрь корпуса станка так, чтобы сторона корпуса представляла собой плоскость без

выступающих частей – для уменьшения габаритов и удобства при транспортировке. В рабочем состоянии этот модуль обработки материала с крепежом может выступать из корпуса при установке соответствующего инструмента.

Бесколлекторный мотор используемый в данной конструкции имеет широкий диапазон скоростей (2500-25000 оборотов/мин) а также точный регулятор оборотов и за счет этого можно подбирать наиболее подходящие режимы резания для различных материалов.

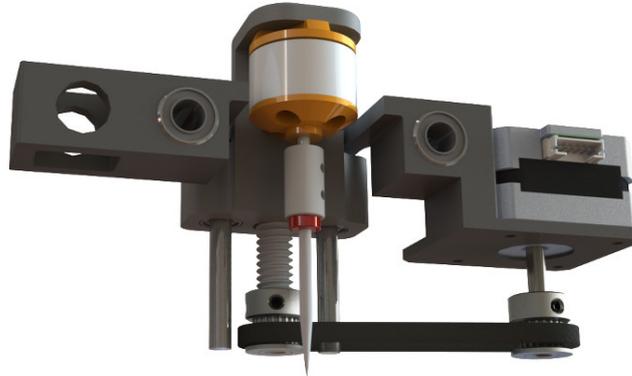


Рисунок 20 – механизм перемещения бесколлекторного мотора и его крепёж в САПР

Для удобства транспортировки предусмотрена ручка для транспортировки станка которая органично вписана в одну из сторон станка.

Разработка 2D деталей осуществлялась в САПР CorelDraw. Далее чертежи деталей экспортировались в общую 3D сборку станка в САПР SolidWorks.

Изготовление деталей станка

Наиболее востребованными автоматизированными станками лаборатории цифрового производства при разработке механических элементов являются: станок лазерной резки и 3D-принтер. Также при изготовлении деталей использовались: токарный станок, станок гибки пластика, фрезерный станок для изготовления печатных плат и фрезерный станок для изготовления деталей корпуса.

Если детали на станке лазерной резки изготавливаются достаточно быстро (типичное время изготовления детали исчисляется несколькими минутами), то изготовление деталей по 3D-моделям на соответствующих принтерах (рис. 6) может занимать часы или даже дни в зависимости от желаемого качества поверхности и прочности изделия. Для изготовления 2D деталей толщиной более 8 мм использовался фрезерный станок.

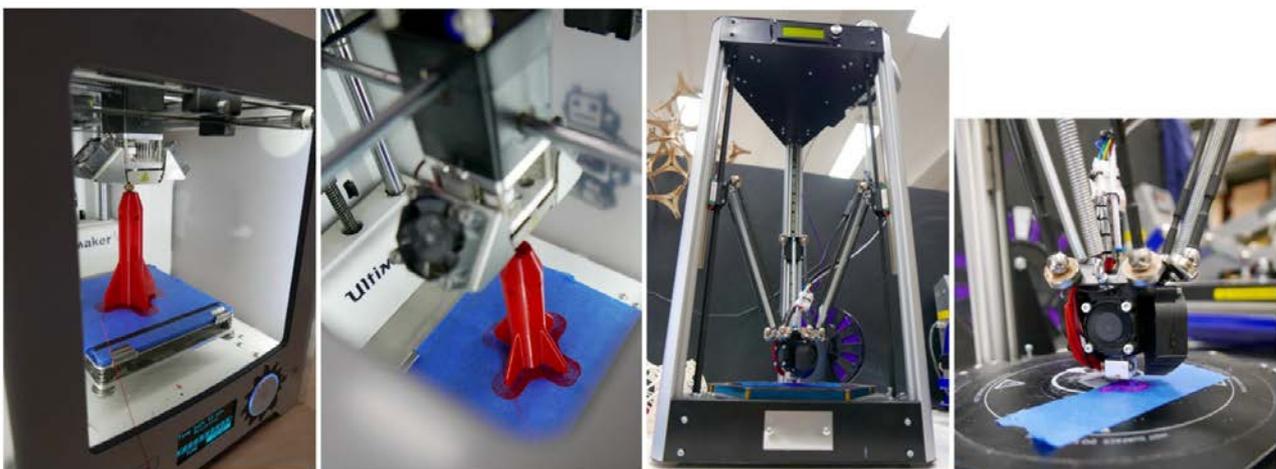


Рисунок 21 – изготовление деталей на 3D принтерах

Изготовление корпуса осуществлялось на фрезерном ЧПУ станке (рис. 7). Стенки корпуса изготовлены из ПВД (полиэтилен низкого давления). Корпус из этого материала обеспечивает достаточную жесткость конструкции, при этом он достаточно легкий для удобной транспортировки.



Рисунок 22 – Изготовление деталей на фрезерном станке с ЧПУ

Для управления станком используется САПР ArtCAM. Чертежи необходимых деталей корпуса (несущие стенки) для обработки и создания программы для фрезерного станка были получены из общей сборки 3D-модели станка (рис. 8).

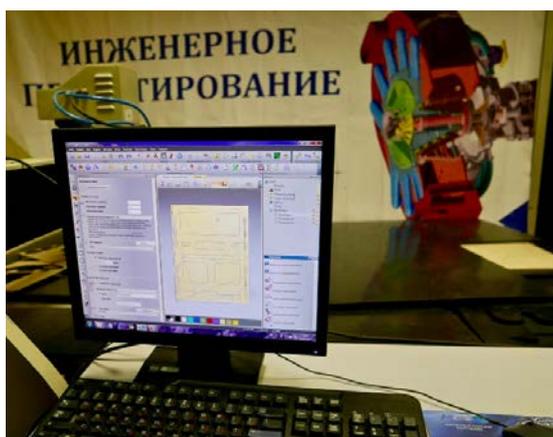


Рисунок 23 – Обработка чертежей в ArtCAM

На токарном станке была изготовлена втулка (рис. 9) для соединения фрезы с диаметром хвостовика 3.175 мм (наиболее распространенный номинал) и вала бесколлекторного мотора. Для фиксации вала и фрезы используются стопорные винты М3.

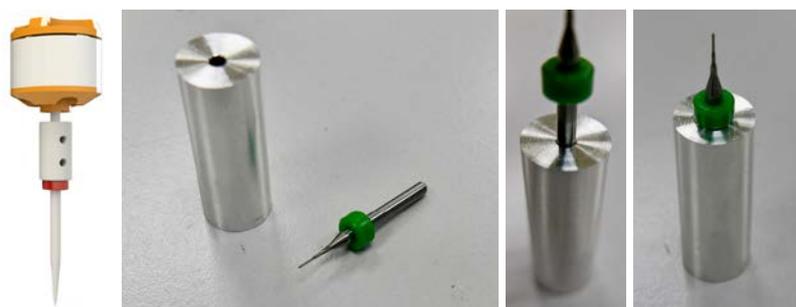


Рисунок 24 – Фреза, втулка изготовленная на токарном станке и бесколлекторный мотор

Печатные платы для электроники управления станка разработаны в САПР Eagle (рис. 10). Итогом разработки является изображение контуров и проводящего рисунка печатной платы.

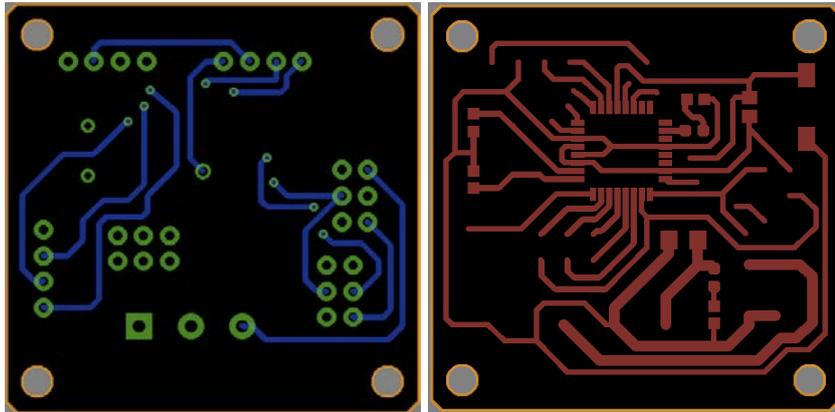


Рисунок 25 – Печатаная плата, разработанная в САПР Eagle

Процесс изготовления печатных плат (ПП) на прецизионном фрезерном станке занимает около часа (рис. 11). При этом стоит отметить, что в отличие от лазерной резки и 3D-печати этот технологический процесс имеет несколько этапов или переходов, которые должен осуществить оператор станка прежде, чем изделие будет готово. Переходы – это установка фрезы нужного диаметра, для первого этапа фрезеровки проводящего рисунка обычно используют фрезу диаметром порядка 0.4 мм, а для второго этапа вырезки контуров и сверловки отверстий ПП обычно используют фрезу диаметрами от 0.5 до 0.8 мм.

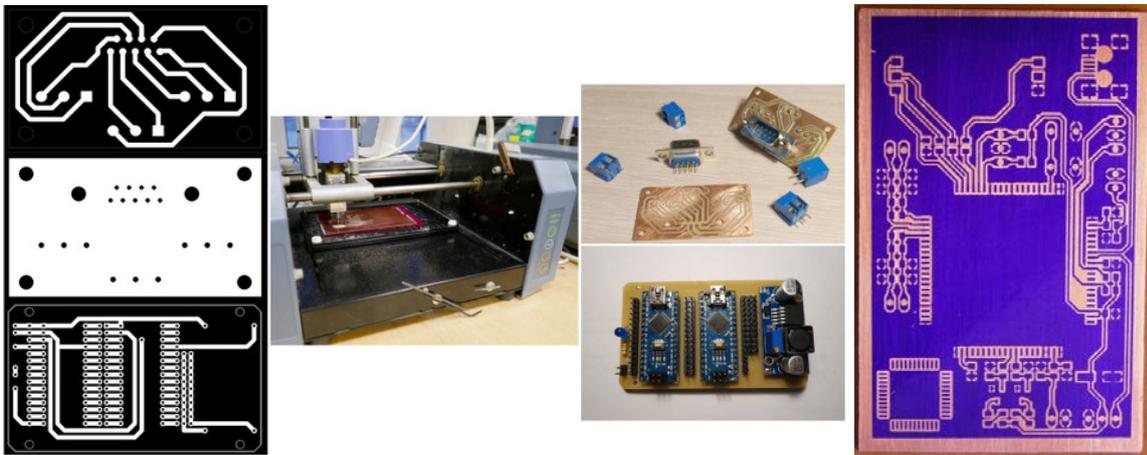


Рисунок 26 – Изготовление печатной платы на прецизионном фрезерном станке

Немаловажным этапом в изготовлении качественной печатной платы является нанесение паяльной маски для защиты дорожек от окисления (рис. 12). При изготовлении плат использовалась однокомпонентная паяльная маска, которая наносится на плату и затвердевает при воздействии ультрафиолетовых лучей.

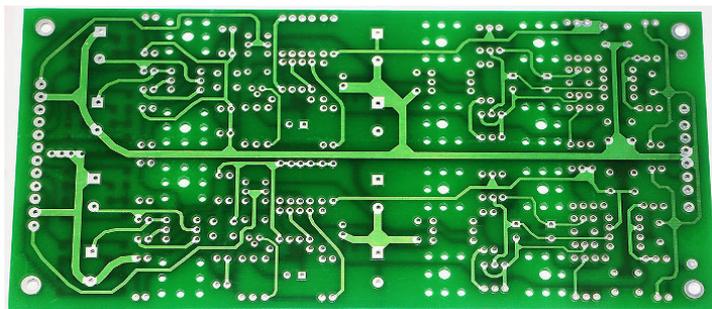


Рисунок 27 – Печатная плата с нанесенной паяльной маской

Процесс изготовления ПП при помощи травления с использованием фоторезиста занимает больше времени, а результат при этом не лучше, чем при изготовлении печатных плат на прецизионном фрезерном станке. При изготовлении ПП методом травления проводящий рисунок не фрезеруется на плате, а вытравливается в различных растворах (медный купорос, персульфат аммония) по трафарету который получается в результате засвечивания фоторезистивной пленки ультрафиолетовыми лучами.

Стоит отметить, что в промышленных масштабах, при неукоснительном соблюдении технологии, используется метод травления. Достичь подобных результатов в условиях учебной производственной лаборатории не представляется возможным по целому ряду причин.

Электроника и алгоритм работы

Для прототипирования программной части удобно пользоваться платформой Ардуино, которая дает возможность в считанные часы опробовать механизмы станка в автоматизированном режиме.

Для управления ЧПУ станком разрабатывается печатная плата на основе микроконтроллера STM32 и драйверов шаговых двигателей TB6650. Плата имеет следующие аппаратные интерфейсы для получения файлов и настройки: USB, Ethernet, bluetooth.

После включения станка необходимо передать файл с программой для изготовления необходимой детали. После этого происходит автоматическая калибровка станка и начинается процесс изготовления. Состояния, в которых может находиться станок и его система управления показаны на рис. 13.

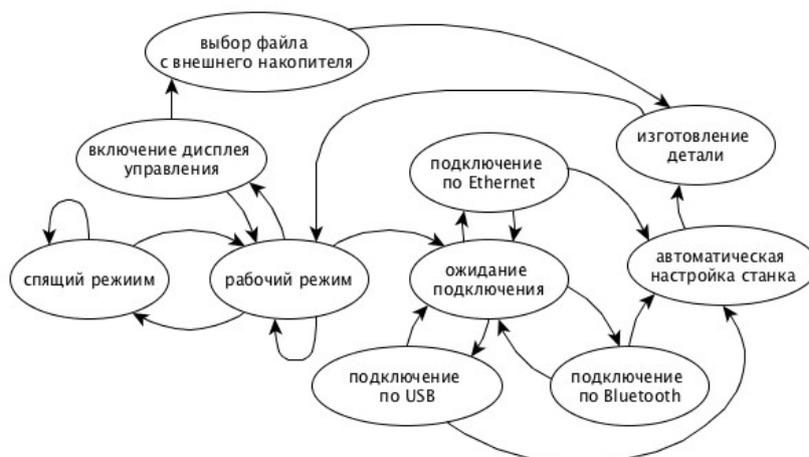


Рисунок 28 – Машина состояний устройства

На станке установлены три шаговых мотора типа нета 17 которые обеспечивают точную работу и драйвер для этих моторов. Также установлен бесколлекторный мотор с регулятором оборотов для вращения фрезы. См. рис. 14.

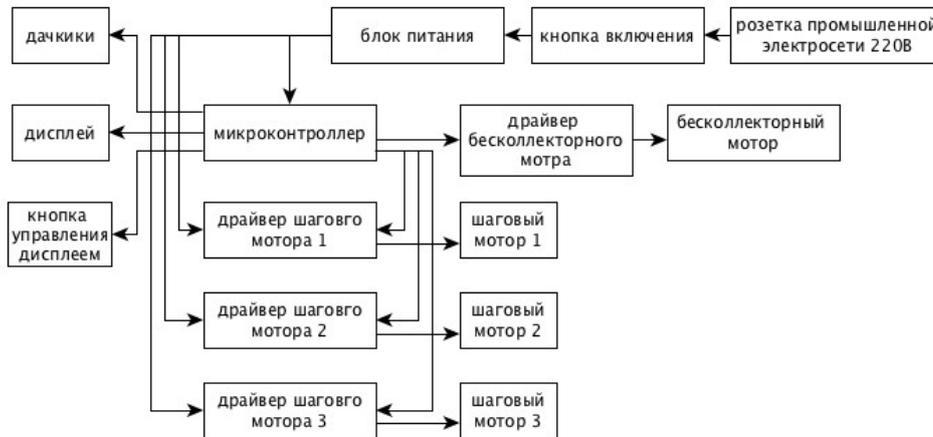


Рисунок 29 – Структурно-функциональная схема системы управления

Взаимодействие с пользователем

Для изготовления на данном станке подготовленную деталь можно передать на станок следующими способами:

1. С помощью USB накопителя;
2. С помощью USB соединения с компьютером;
3. С помощью соединения по Локальной сети;
4. С помощью bluetooth соединения.

Станок оснащен OLED дисплеем с диагональю 1 дюйм для вывода необходимой информации о состоянии станка, его настройке и выбора способа получения файла для работы (рис. 15). Управление меню дисплея осуществляется за счет колесика управления, расположенного рядом с дисплеем. Для удобства транспортировки предусмотрена ручка которая располагается на средней части корпуса станка в виде прорези в самом корпусе.



Рисунок 30 – передняя панель станка с OLED дисплеем, ручкой для транспортировки и колесиком управления станком

Основной результат работы – оригинальное техническое устройство, ЧПУ станок с возможностью модернизации (рис. 16).



Рисунок 31 – внешний вид разработанного фрезерного станка с ЧПУ

Для удобства использования и повышения скорости изготовления на станке калибровку фрезы относительно поверхности фрезеруемого материала предполагается автоматизировать. На данном этапе эта операция проводится вручную.

Заключение

Разработку отличает небольшая себестоимость, использование современных технических решений и доступных материалов, компактные размеры, удобная транспортировка и воспроизводимость в лабораториях цифрового производства. Наличие элементов оригинальной системы управления станком позволит в дальнейшем доработать ее до потребительского уровня с учетом требований проекта и заказчика.

В ходе разработки были выявлены новые задачи, связанные с модификацией шпинделя станка. В будущем планируется расширение функционала устройства за счет использования сменных модулей для различных задач. Планируется добавить модуль для лазерной резки и гравировки, а также ряд модулей с использованием датчиков для автоматизации переходов, используемых в технологическом процессе. Планируется разработка для мобильных платформ для настройки и передачи данных непосредственно со смартфона.

Автор отмечает, что повышение технологической грамотности и практика работы на современных станках дает возможность юному разработчику научиться со временем значительно сокращать сроки разработки и повышать эффективность используемых технических решений, т.е. стать настоящим инженером. Данный проект посвящен в том числе и распространению современных производственных технологий, что особенно актуально в условиях, политической обстановки и напряженных отношений с наиболее передовыми в технологическом отношении странами.

Литература

1. N. Gershenfeld, "How to make almost anything, the digital fabrication revolution," *Foreign Affairs*, vol. 91, no. 6, 2012. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.foreignaffairs.com/articles/138154/neil-gershenfeld/how-to-make-almost-anything>. - Проверено 20.01.2018.
2. N. Gershenfeld, "The third digital revolution," presented at the Solid 2014 Conference, San Francisco, CA, USA, May 21–22, 2014. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://solidcon.com/solid2014/public/schedule/detail/35425>. - Проверено 20.01.2018.
3. Описание мобильной лаборатории цифрового производства – Электронный ресурс. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_fab_lab. - Проверено 20.01.2018.
4. Сайт проекта ультра-мобильной лаборатории цифрового производства – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.fabbike.cc>. - Проверено 20.01.2018.
5. Проект ультра-мобильной лаборатории цифрового производства – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://diy3dprinting.blogspot.ru/2014/05/mobile-fab-bicycle-recycling-and-3d.html>. - Проверено 20.01.2018.
6. Проекты самодельных станков, разработанных в лаборатории цифрового производства – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://cba.mit.edu/projects/mtm/>. - Проверено 20.01.2018.
7. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Тезисы проектов Балтийского научно-инженерного конкурса. Секция «Техника». – Санкт-Петербург, 30 января – 2 февраля 2017.
8. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Сборник научных трудов. 18-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2016". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 20 апреля 2016 г. – с.234-239.
9. Сайт Центра Технического Образования, ГБПОУ «Воробьевы горы». – Электронный ресурс. Режим доступа: http://vg.mskobr.ru/add_edu/centr_tehnicheskogo_obrazovaniya/. - Проверено 20.01.2018.
10. Сайт лаборатории цифрового производства «ФАБЛАБ» НИТУ «МИСиС». – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fablab77.ru>. - Проверено 20.01.2018.
11. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — М: Наука, 1997. — 320 с.
12. Введение в математическое моделирование. Учебное пособие. Под ред. П. В. Трусова. — М.: Логос, 2004. 200 с.
13. Мышкис А. Д., Элементы теории математических моделей. — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. 150 с.
14. Лапшинов С.А. Актуальность технологических возможностей лаборатории цифрового производства при разработке мобильного робота // сборник научных трудов. 19-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.255-263.

РАЗРАБОТКА БЮДЖЕТНОГО ПАРАШЮТНОГО ВЫСОТОМЕРА

Смирнов Н.А.

Научный руководитель: Сухоцкий В.А.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF BUDGET SKYDIVING ALTIMETER

Smirnov N.A.

Supervisor: Sukhotsky V.A.

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Moscow, Russia

Аннотация

В работе представлен парашютный высотомер, для парашютного спорта, соответствующим требованиям по безопасности и функциональности. Устройство выполнено из не дефицитных и не дорогих компонентов, что обеспечивает его не высокую стоимость в сравнении с аналогами. В ходе работы были проведены испытания в реальных условиях в качестве дублирующего высотомера, при прыжках с парашютом. Разработчиком прибора является парашютист-спортсмен, который параллельно занимается робототехникой.

Abstract

This work presents altimeter for parachute related sports that answers all requirements in safety and functionality. Device is made from not scarce and not expensive materials comparing to it's analogs. During the study, tests in real conditions as a duplicating altimeter took place. Developer of the device is active skydiver-sportsman that is currently studying robotics.

Введение

Парашютизм все больше набирает популярность среди молодежи, интересующейся экстремальными видами спорта. Фрифлай, фристайл, скайсерфинг, свуп, прыжки в Вингсьюте – все эти и остальные дисциплины современного парашютного спорта, требуют необходимой экипировки, обязательным элементом которой является высотомер. На рынке товаров для парашютного спорта можно найти разнообразные модели и модификации высотомеров (альтиметров) – аналоговые и цифровые. Как правило, эти приборы импортного производства и имеют высокую стоимость.

Цель данного проекта создание бюджетного варианта многофункционального цифрового парашютного высотомера. Задачей проекта является изготовление тестового варианта высотомера из бюджетных комплектующих элементов. Прибор должен обеспечивать вывод на дисплей в реальном времени значения высоты над уровнем площадки приземления, а также - сохранение в памяти прибора показатели давления у поверхности земли и времени свободного падения парашютиста.

Обзор предметной области

Парашютный высотомер – устройство для измерения высоты над площадкой приземления, с помощью которого парашютист определяет когда нужно раскрыть парашют. Высотомеры различаются по принципу устройства. Высотомеры бывают электронными(цифровыми) и аналоговыми (механическими). Электронные высотомеры дают более точные значения, но имеют относительно большую цену.

Аналоговые парашютные высотомеры имеют принцип определения давления такой же, как и у барометра-анероида. В них установлен анероид т.е. герметичная металлическая коробочка имеющая форму цилиндра, которая под действием атмосферного давления сжимается или наоборот разжимается. На цифровых высотомерах установлен чувствительный элемент, который под действием давления меняет своё сопротивление.

Как известно атмосферное давление изменяется относительно высоты линейно, одному метру высоты примерно соответствует 10 паскалей. По разнице давления между площадкой приземления и парашютистом программно определяется высота.

При свободном падении с задержкой более 10 секунд парашютист обязан пользоваться высотомером. Ниже приведён некоторый список высот, которые необходимо знать и учитывать при совершении прыжков

- высота раскрытия основного парашюта – не ниже 800м;
- высота для окончательного решения по введению запасного парашюта – 600 метров;
- высота для аварийного покидания летательного аппарата – выше 600 метров.

Обзор электронных парашютных высотомеров.

Среди зарекомендовавших себя на рынке данных товаров американская фирма Alti-2, немецкая Varigo, датская компания **Larsen&Brusgaard**. Приборы этих компаний отличает компактность, высокая точность и прочность, современный дизайн и удобство в использовании, но при этом - высокая стоимость (от 19000 до 29000 руб.). Например, цифровой высотомер «AloXsot» фирмы «Parasport» имеет Logbook на 300 прыжков. В запись идет: номер прыжка, дата, время, высота отделения и открытия, время свободного падения, максимальные и средние скорость свободного падения, время под куполом и максимальная скорость под открытым куполом. Применение интеллектуальных электронных компонентов и методов, позволяет прибору работать с низким потреблением энергии, и питаться от одной, распространенной, недорогой литиевой батареи - CR2032. Цена прибора – от 19000 рублей. А последняя разработка компании **Larsen&Brusg**-цифровой компьютер Altitrack (электронный высотомер) стоит более 30000 рублей.

Этапы проекта.

- Изучение предметной части парашютных высотомеров;
- Проектирование двухсторонней печатной платы в программе SprintLayout;
- Технологическая подготовка фрезерования платы в программе ArtCam;
- Изготовление и пайка готовой платы ;
- Проектирование деталей прибора в программе SolidWorks;
- Изготовление деталей на 3D принтере;
- Сборка прибора;
- Программирование прибора;
- Тестирование в реальных условиях.

Основные комплектующие прибора.

- Микроконтроллер - ATmega 32u4;
- Барометр - BMP 180;
- Миниатюрная и экономичная батарея - LP502540;
- Контроллер заряда батареи - MCP73831T-2ACI/OT;
- 8-ми битные сдвиговые регистры для управления LCD дисплеем - 74HC595D;
- LCD дисплей - ITH-G0824SRNP;
- Порт mini USB.

Оборудование и методы изготовления.

Электронный парашютный высотомер является достаточно сложным устройством с большим количеством электронных элементов. Для производства качественной модели требуется высокоточное программное обеспечение и оборудование.

Проектирование платы велось в программе «Sprint layout». При работе парашютного высотомера недопустимы ошибки и сбои в работе, поэтому на всех этапах сборки проводилась тщательная проверка приобретённых компонентов и качества изготовления печатной платы. В следствии этого устройство работало без нареканий. На рис.1 и рис.2 предоставлена разводка двух слоёв платы.

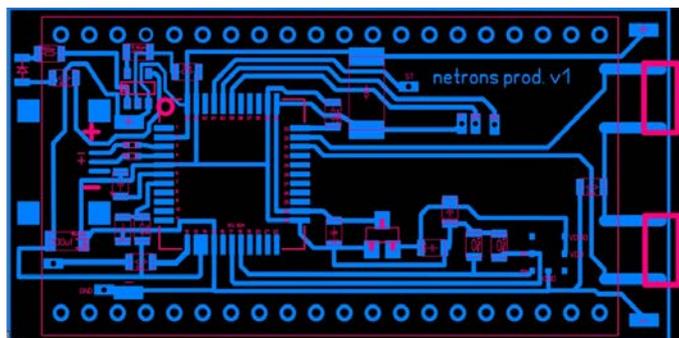


Рисунок 1 – Верхний слой

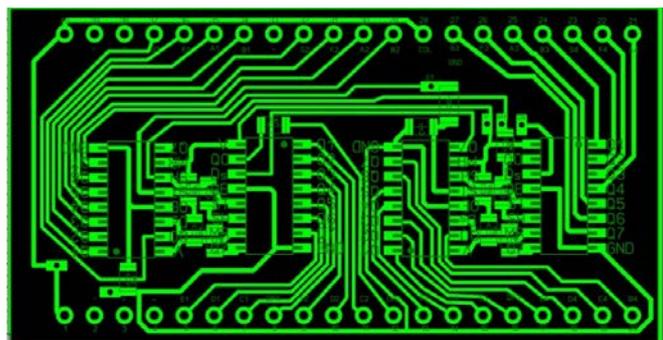


Рисунок 2 – Нижний слой

Одним из этапов производства было изготовление платы на фрезерном станке с ЧПУ. Программа фрезеровки была написана в среде «ArtCAM».

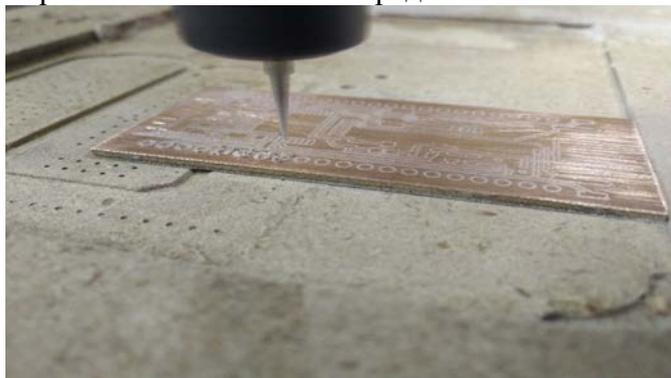


Рисунок 3 – Процесс фрезеровки

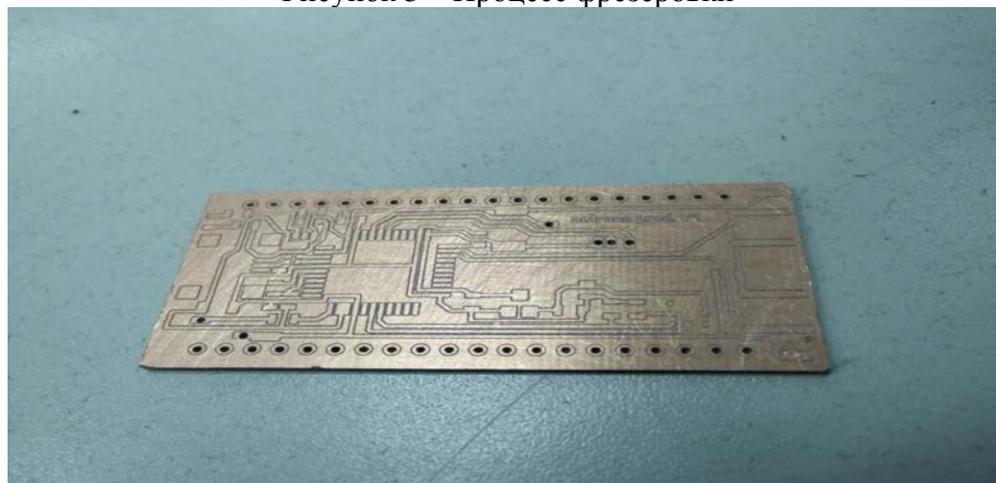


Рисунок 4 – Плата после фрезеровки

Высотомеры эксплуатируются в условиях с высокой влажностью и с резкими перепадами температур. В следствии этого требуется нанесение специального защитного слоя, так называемой паяльной маски. Без защитного слоя возможен отказ работы прибора в момент свободного падения.

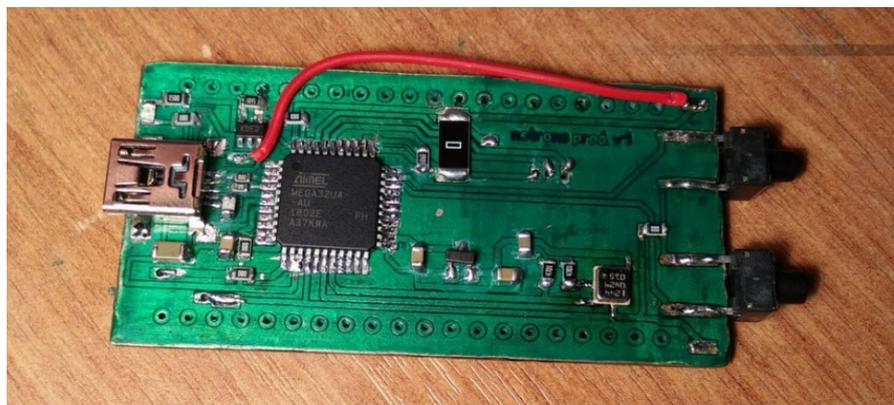


Рисунок 5 – Верхний слой с нанесённой маской и компонентами

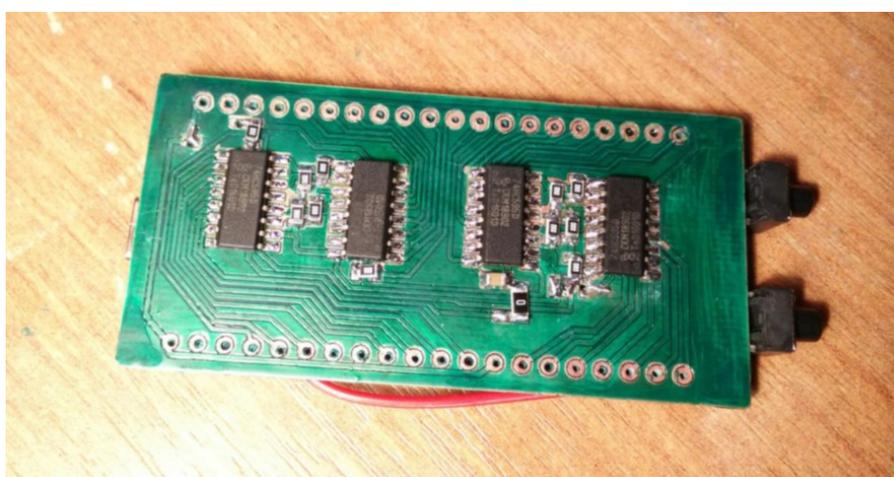


Рисунок 6 – Нижний слой с нанесённой маской и компонентами

Моделирование производилась в программе «SolidWorks». На рисунке 7 предоставлена 3-D модель.

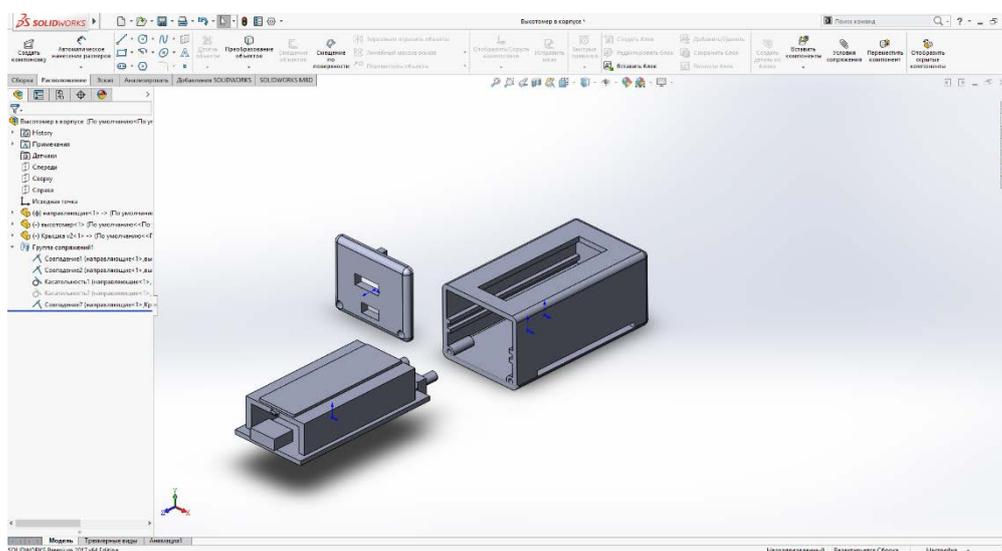


Рисунок 7 – 3D модель

Важное значение имеет способ крепления высотомера. Недопустимы элементы, которые могут помешать раскрытию парашюта. Прибор должен быть закреплён на руке или на грудной перемычке подвесной системы, для того чтобы парашютист смог посмотреть на прибор в свободном падении и определить высоту. Всё это было учтено при проектировании корпуса высотомера и системы крепления. Корпус был изготовлен на 3-D принтере MakerBot.



Рисунок 8 – Корпус с платой



Рисунок 9 - Плата в корпусе

Программирование.

В качестве микроконтроллера был использован ATmega 32u4. Программирование велось в среде «Arduino».

Результаты исследования и их обсуждение.

Первые испытания проходили на Аэродроме Волосово. Тестирование было проведено пилотом самолёта АН-2. На протяжении всего полёта сравнивались показания с аналоговым высотомером самолёта. В дальнейшем работа прибора была проконтролирована инструкторским составом и членами аэроклуба Волосово. При спуске показания прибора совпадали с показаниями основного прибора. Отсутствовали резкие изменения в показаниях высоты. После приземления высотомер показывал высоту 0 метров.

Себестоимость прибора составила примерно 2500 руб.

Заключение

Доступность компонентов, простота в изготовлении и программном обеспечении позволят значительно удешевить прибор. Целесообразно доработать проект для мелкосерийного производства.

В дальнейшем планируется изменить элемент питания на дисковую литиевую батарею, это уменьшит габариты прибора. Также нужно поменять дисплей, на котором сегменты имеют больший размер, для улучшения видимости цифр на приборе

Литература

1. Печатные платы. Выбор базовых материалов. Г. В. Мылов. 2015 г.
2. Воздушная оболочка Земли. Погосян Х.П. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1962. – 294 с
3. Журнал "Alpinismus" №6, Мюнхен, июнь 1970 г. Пит Шуберт
4. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах. БЕЛОВ А.В. – 2008 год.
5. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы ATMEL. ЕВСТИФЕЕВ А.В. – 2008 год.
6. Григорьев П.В., Егоркин К.С., Кириллов А.В., Костюченко С.В., Лобанов В.С. Мехатронный модуль с органом технического зрения // Сборник научных трудов. 14-ая молодежная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2012". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25-26 апреля 2012 г. – с.202-208.
7. Кириленко В.Д. Устройство автофокусировки лазерного луча для модификации станка лазерной резки // Сборник научных трудов. 18-ая молодежная международная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2016". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 20 апреля 2016 г. – с.234-239.
8. Сайт Объединенного Студенческого Конструкторского Бюро. Режим доступа: <http://class.skycluster.net> – Проверено 10.02.2018г.
9. Vlasov A., Yudin A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science. 2011. Т. 156 CCIS. С. 180-192.

**СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
ВОСПРОИЗВОДИМАЯ В УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ ЦИФРОВОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Затекин Д.В.

Научный руководитель: Сухоцкий В.А., Юдин А.В.

ГБПОУ «Воробьевы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

**MOBILE ROBOT POSITIONING SYSTEM TO REPRODUCE IN EDUCATIONAL
DIGITAL FABRICATION LABORATORIES**

Zatekin D.V.

Supervisor: Sukhotskiy V.A., Yudin A.V.

State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Moscow, Russia
Bauman Moscow State Technical University, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

Проект посвящен разработке системы позиционирования мобильных роботов на основе замера времени прохождения ультразвуковых волн от активных маяков до робота. Система служит элементом навигации мобильных роботов в ограниченном пространстве и может быть использована в робототехнических соревнованиях, для роботов удаленного присутствия, роботов помощников и т.п. Основные требования при проектировании – безопасность, невысокая стоимость, возможность тиражирования в условиях учебных лабораторий. Система апробирована в реальных условиях робототехнических соревнований EUROBOT и детских массовых мероприятий в московском Дворце пионеров на «Воробьевых горах».

Abstract

The project is dedicated to the development of the system that determines position of mobile robots by measuring time that ultrasonic waves take to travel from active beacons to the robot. Such system is a navigational element of mobile robots in a limited space in circumstances of robotics competitions, for robots that are distantly controlled, robot assistants etc. Main features required are safety, low cost, and ability to be reproduced in educational workshops. The system was tested in Eurobot mobile robots competitions and mass youth events in state budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori".

Введение

Существует множество методов определения координат мобильных роботов (МР). Данный проект разрабатывается для позиционирования роботов, разрабатываемых школьниками и студентами в учебных лабораториях. Поэтому одно из важнейших условий- это недопустимость отрицательных воздействий на здоровье участников. В связи с этим метод на основе лазерного излучения не рассматривался изначально. Второе условие, это невысокая стоимость компонентов и возможность тиражирования в условиях учебных лабораторий. Учитывая опыт участия во всевозможных робототехнических мероприятиях, в проект были включены методы на основе ультразвуковых (УЗ) и инфракрасных (ИК) датчиков, которые не дороги и наиболее популярны среди начинающих разработчиков робототехнических устройств.

В литературе немного статей с примерами определения координат МР по ИК и УЗ датчикам. В интернете были найдены несколько статей по позиционированию с помощью активных маяков, в которых показана возможность определения координат робота методами триангуляции и трилатерации.

Система позиционирования МР по методу трилатерации

Для проекта была выбрана система позиционирования с помощью стационарных маяков, которая не очень удобна при монтаже оборудования, но дает не плохие результаты при определении координат и помехоустойчива при отражении УЗ от подвижных и неподвижных объектов.

Схема управления маяками представлена на рис.1. Маяки включают в себя радиоприемник и ультразвуковой (УЗ) излучатель. На роботе установлен центральный узел управления. Робот активирует радиосигналом УЗ передатчик на маяке, фиксирует время прохождения УЗ сигнала, и определяет расстояние до маяка

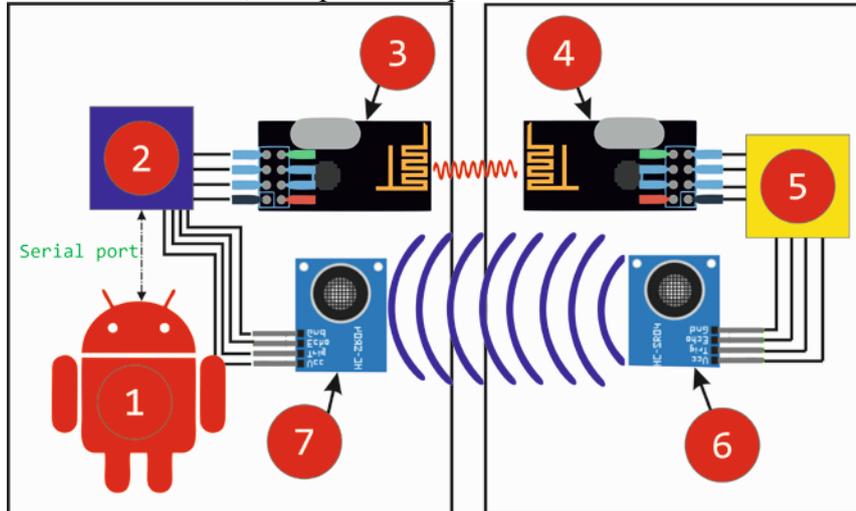


Рисунок 1 – Определение положения МР по методу трилатерации. 1 - мобильный робот; 2 - центральный узел; 3 – радиопередатчик; 4 – радиоприемник; 5 – электронный модуль маяка; 6 – УЗ излучатель; 7 - УЗ приемник

Для определения координат используется метод трилатерации. Для работы системы устанавливаются не менее трех стационарных активных маяков в рабочем пространстве МР. Координаты маяков вносятся в программу расчета координат МР. Робот рассчитывает расстояние до каждого из маяков и определяет свои координаты.

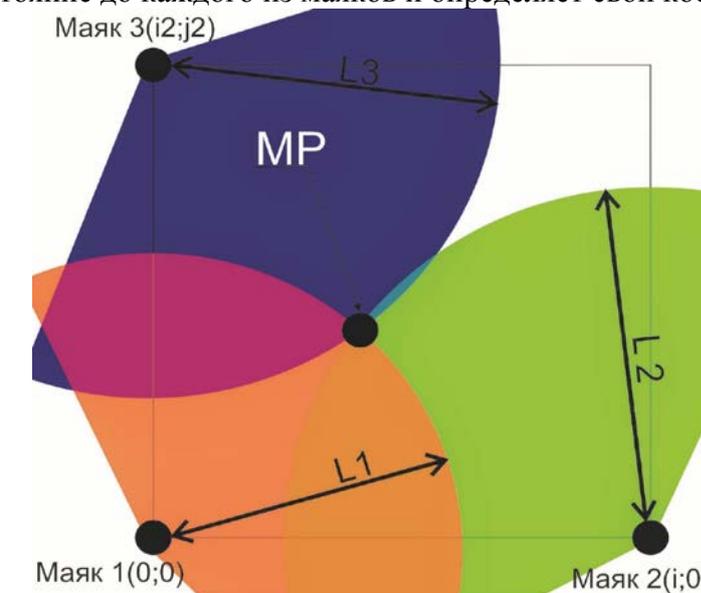


Рисунок 2 – Определение координат по трем маякам

На рис.2 приведена схема расположения маяков и МР в относительной системе координат. За нулевую точку отсчета принят первый маяк [Маяк 1(0;0)], маяк 2 смещен на i мм [Маяк 2(i ;0)], маяк 3 смещен на $i2$ мм по оси x и на $j2$ по оси y [Маяк 3($i2$; $j2$)].

Величина погрешности при замере расстояния до робота в соответствии с техническими характеристиками УЗ датчика может составлять ± 3 мм. По результатам замеров от трех маяков можно рассчитать зону в которой находится робот.

Математическая модель

Для вычисления координат МР, запишем систему, состоящую из уравнений трех уравнений:

$$\begin{cases} L1 = x^2 + y^2 + z^2 \\ L2 = (x - i)^2 + y^2 + z^2 \\ L3 = (x - i_2)^2 + (y - j_2)^2 + z^2 \end{cases} \quad (1)$$

где L1, L2, L3 – расстояния от МР до маяков 1, 2 и 3 соответственно; x, y, z-координаты робота; i - смещения маяка 2 по оси x; i₂, j₂ - смещение маяка 3 по оси x, y соответственно.

Выразим три неизвестных координаты:

$$\begin{cases} x = \frac{l_1^2 - l_2^2 + i^2}{2 \cdot i} \\ y = \frac{l_1^2 - l_2^2 - 2 \cdot x \cdot i_2 + i_2^2 + j_2^2}{2 \cdot j_2} \\ z = \pm \sqrt{l_1^2 - x^2 - y^2} \end{cases} \quad (2)$$

В результате вычисления становятся известны относительные координаты МР. Для получения расстояния от маяка до МР, маяк излучает УЗ сигнал длиной не менее 13 мкс. При расчете также необходимо учитывать молекулярно-температурные свойства газа.

Расстояние высчитывается по следующей формуле:

$$\begin{cases} s = v \cdot \delta + r_m + r_{np} \\ v = \sqrt{x \cdot R \cdot T} \end{cases} = s = \sqrt{x \cdot R \cdot T} \cdot \delta + r_m + r_{np} \quad (3)$$

где s-расстояние от маяка до МР; v-скорость звука; δ -время пролета УЗ сигнала между излучателем и приемником; x-показатель адиабаты; R- газовая постоянная; T- температура газа(воздуха); r_м-расстояние от УЗ излучателя до центра маяка; r_{np} – расстояние от УЗ приемника до центра МР. В этой формуле учитывается температура воздуха, поэтому в центральном узле используется цифровой датчик температуры (ds1820). Учет температуры в формуле расчета расстояния позволяет увеличить точность системы.

Программа

Запись формул на языке программирования СИ:

```
x= (sq (duration1)-sq (duration2) +sq (itwo))/ (2*itwo);
y= (sq (duration1)-sq (duration3)-2*x*itri+ sq (itri) +sq (j))/ (2*j);
z=-sqrt (sq (duration1)-sq(x)-sq(y));
s=sqrt(x*R*T)*t+dr1+dr2;
```

Состояния системы:

- состояние 1 – ожидание включения
- состояние 2 – проверка конфигурации системы
- состояние 3 – синхронизация маяков
- состояние 4 – отправка сигнала МР о готовности системы
- состояние 5 – ожидание о запросе координат
- состояние 6 – ожидание запроса на УЗ сигнал
- состояние 8 – поочерёдное опрашивание маяков
- состояние 7 – излучение УЗ сигнала
- состояние 9 – отправка координат МР

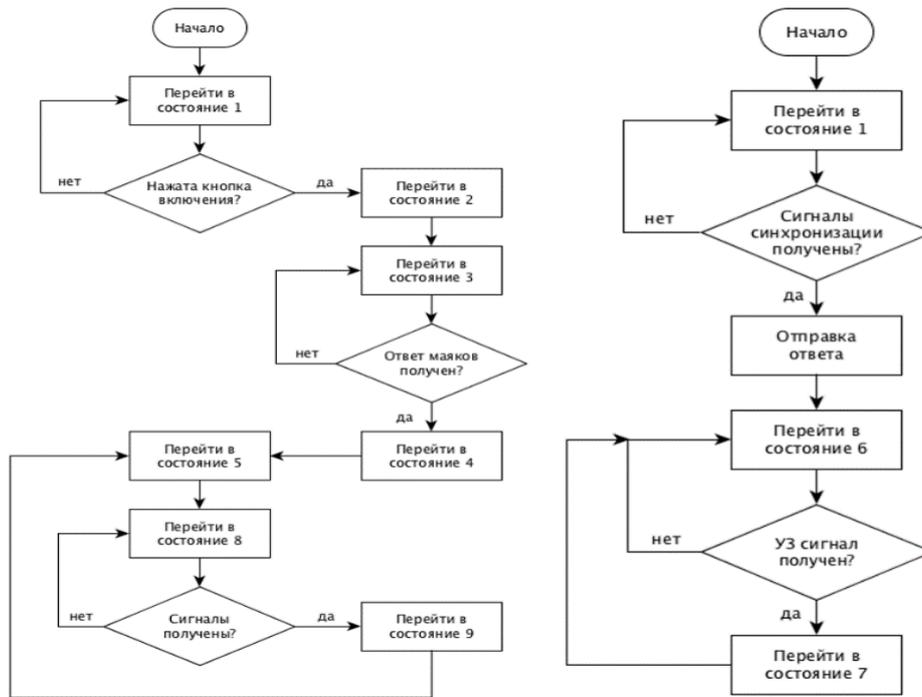


Рисунок 3 – Алгоритм работы программы

На рис. 3 представлен алгоритм работы узлов системы: слева – последовательность действий приемника, справа – последовательность действий маяка.

Практическая часть

На рис. 4 представлен тестовый вариант проекта, на котором была проверена работоспособность системы, собранной из доступных компонентов.

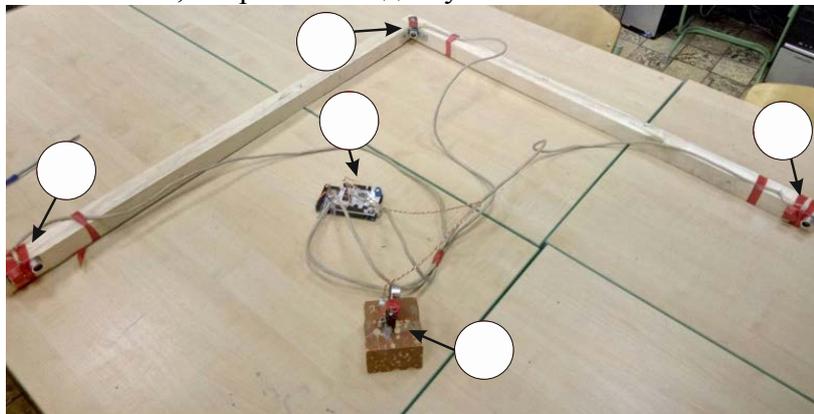


Рисунок 4 – Тестовый вариант: 1- модуль ArduinoMega; 2- УЗ передатчики; 3- УЗ приемник

Модуль ArduinoMega поочередно активировал УЗ передатчик маяка, принимал полученный сигнал на УЗ приемник и определял расстояние. Расчетные координаты отличались от реальных примерно на 15 см, что давало погрешность порядка 12%. Тем не менее была подтверждена работоспособность системы и это дало возможность определить дальнейшие направления для усовершенствований.

Разработка и отладка системы позиционирования Компоненты системы позиционирования

Для разработки и изготовления компонентов системы позиционирования были подобраны следующие элементы.

Центральный узел. Центральный узел находится в МР и включает в себя:

- модуль радиопередатчика nrf24l01 частотой 2.4 ГГц для обеспечения связи с маяками;
- модуль УЗ приемника hc-sr04;
- модуль ArduinoUno;
- цифровой датчик температуры ds1820;

Стационарный маяк. Стационарный маяк состоит из следующих элементов:

- модуль радиоприемника nrf24l01 частотой 2.4 ГГц для обеспечения связи с центральным узлом;
- модуль УЗ передатчика hc-sr04
- управляющей платы модуль ArduinoProMicro;
- линейный dc-dc преобразователь NCP1117ST50T3G (5v) для питания всего узла;
- линейный dc-dc преобразователь LP2985-33DBVR(3.3v) для питания радиопередатчика nrf24l01;
- аккумулятор 9v.

Разработка элементов и тестирование системы позиционирования

В ходе работы были смоделированы варианты элементов конструкции приемника (центрального узла) и маяка, запрограммирована система управления с использованием микроконтроллеров. Детали конструкции и печатные платы для электронных модулей, были изготовлены на станках с ЧПУ.

Второй тест системы был проведен на полигоне для робототехнических соревнований.



Рисунок 5 – Полигон: 1 - маяк; 2 - мобильный робот

На рисунке 5 показано расположение маяков и робота. Три маяка были закреплены над полигоном. Два из них по углам и третий на середине противоположной стороны.

УЗ излучатель, установленный на маяке, имеет эффективный угол покрытия в 60 градусов (рис. 6). Чтобы расширить зону работы, были вмонтированы в каждый маяк по 2 излучателя (рис. 7).



Рисунок 6 – а) Зона покрытия (1 – УЗ излучатели; 2,3 – рабочие зоны излучателя), б) Маяк

Система работала стабильно. Точность определения координат была в пределах ± 10 см. Были проведены сравнения расчетной скорости распространения УЗ с практическими данными замеров при разных температурных режимах. Погрешности определяли ошибки в замерах расстояния до маяков, периодическая рассинхронизация связи. Возможно погрешность вносило одновременное срабатывание маяков, расположенных под углом 60 градусов.

Электронные модули. На основе схемотехнического моделирования работы электронных компонентов был разработан и изготовлен вычислительный модуль центрального узла системы управления (рис. 7).

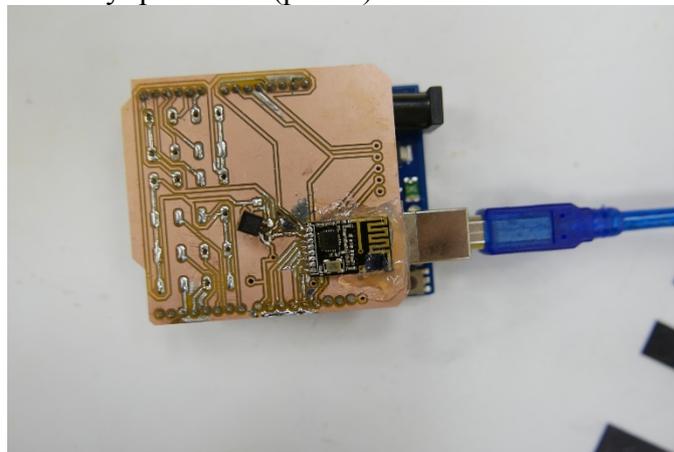


Рисунок 7 – модуль центрального узла системы управления

Усовершенствование системы

В системе использовались УЗ приемники и передатчик на 40 кГц. УЗ передатчики имеют не большую мощность излучения, поэтому в приемнике происходит усиление и фильтрация сигнала. В данной работе был изготовлен и протестирован аналог стандартного усилителя (рис. 8).

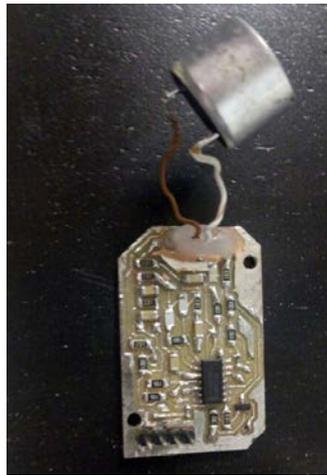


Рисунок 8 – Аналог стандартного усилителя

УЗ датчиками Форма сигнала показана на графике (рис.9). После фильтра сигнал смещен во времени.

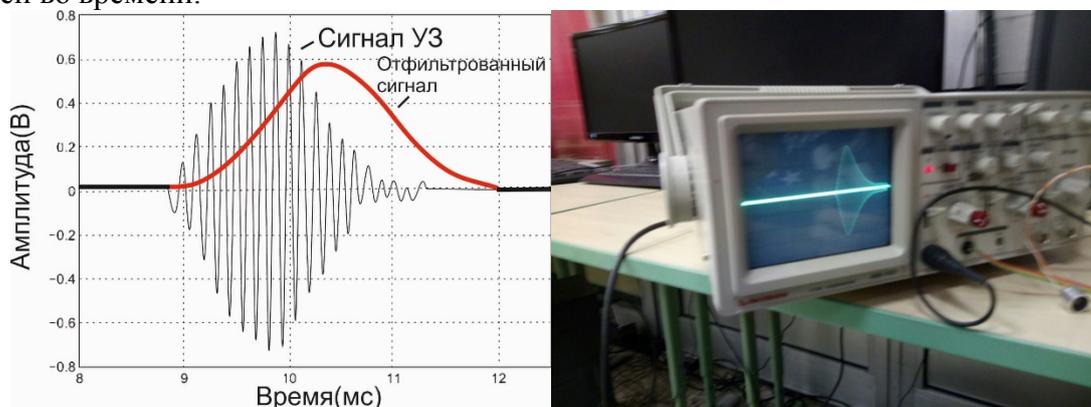


Рисунок 9 – График преобразования УЗ сигнала

В дальнейшем будет проведено усовершенствование усилителя для работы с более мощными УЗ излучателями.

Изготовление деталей и электронных компонентов

Плата для усилителя и платы для остальных электронных элементов разработаны в среде EagleCad (рис. 10). Платы изготовлены на фрезерных станках с ЧПУ (рис. 10, 11, 12).

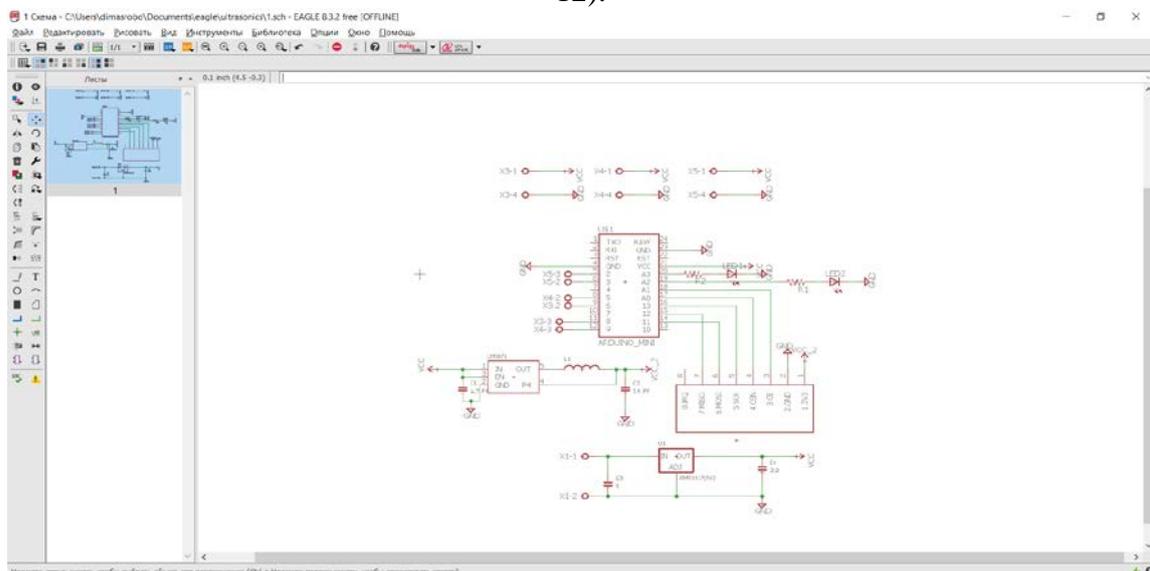


Рисунок 10 – Моделирование схемы в EagleCad

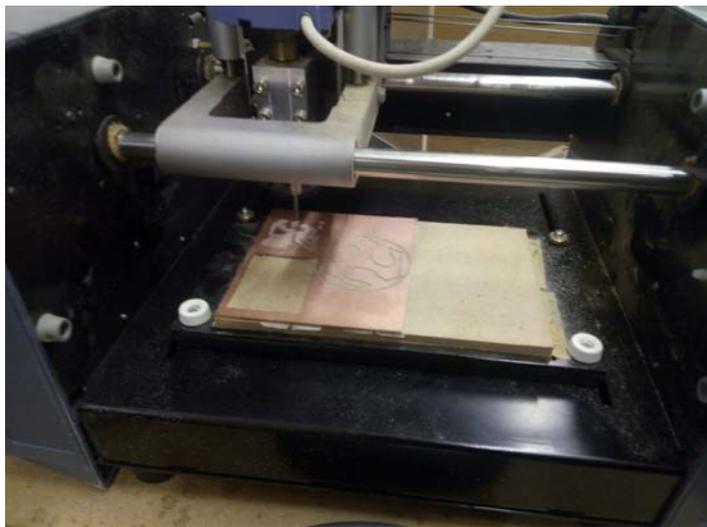


Рисунок 11 – Фрезерование печатной платы

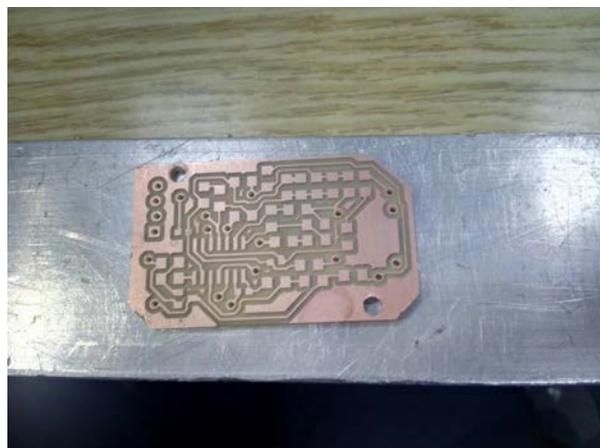


Рисунок 12 – Готовая печатная плата

Элементы конуса и некоторых деталей конструкции разработаны в среде SolidWorks и изготовлены на 3D принтерах Ultimaker 2 и Makerbot (рис. 13,14,15, 16).

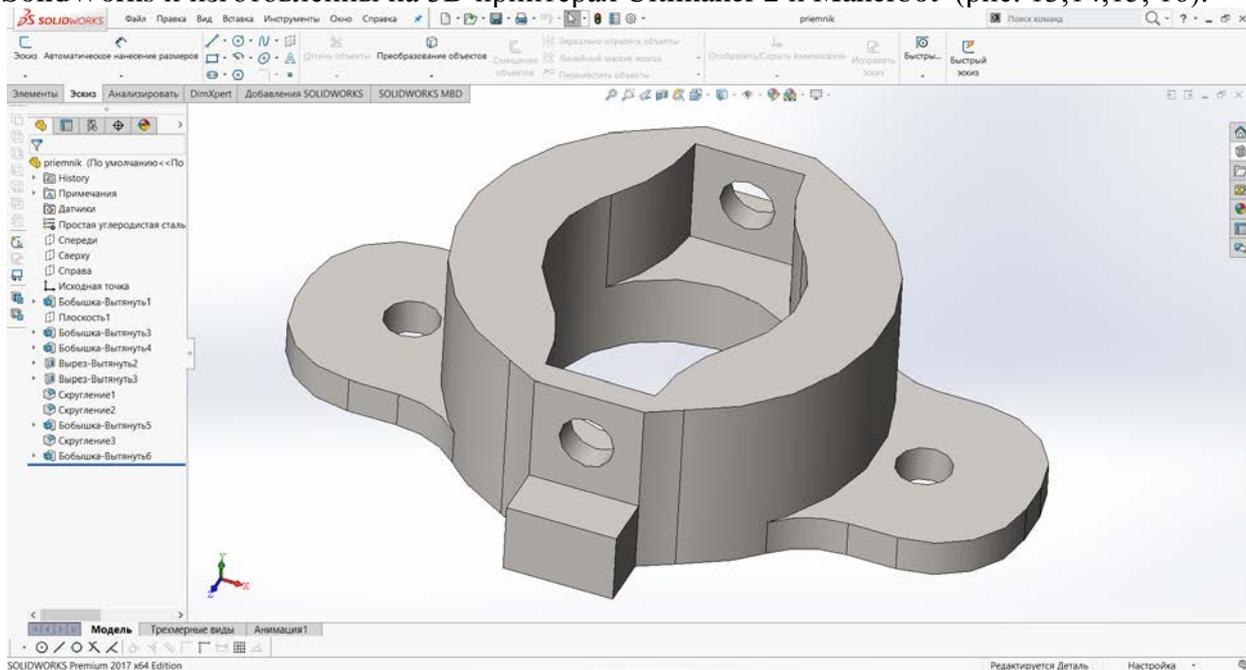


Рисунок 13 – Модель детали разработаны в среде SolidWorks

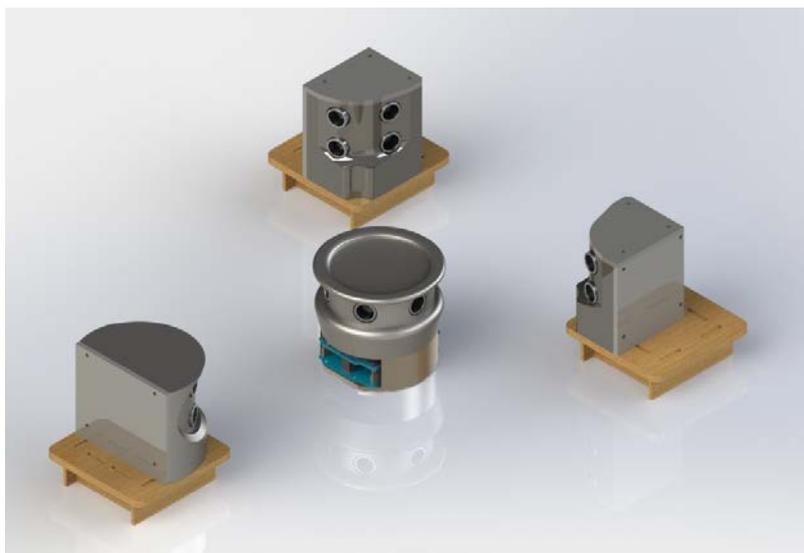


Рисунок 14 – Детали в SolidWorks

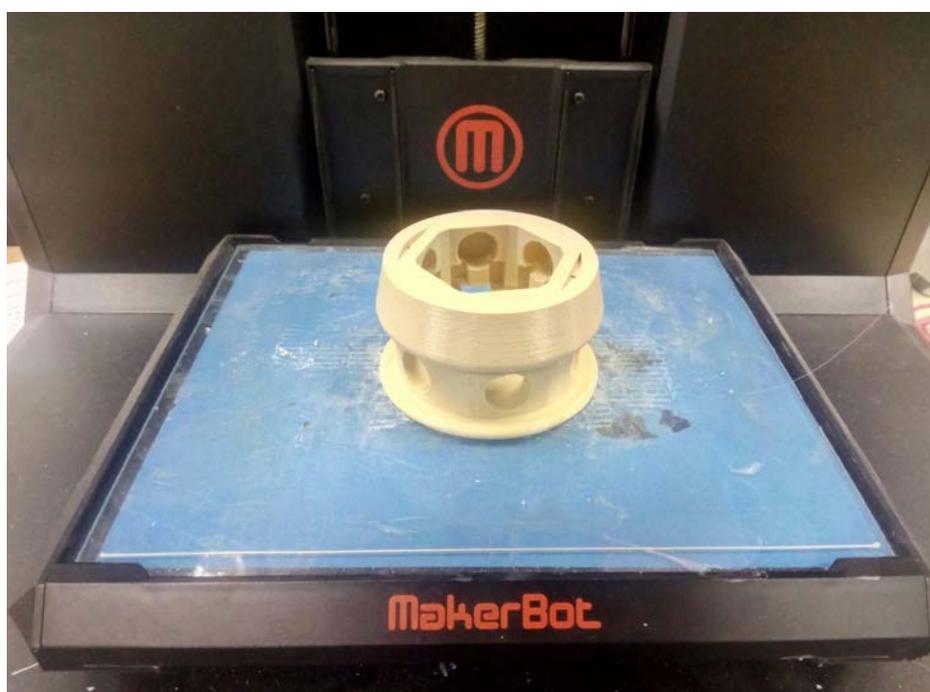


Рисунок 15 – Печать корпуса центрального приемника на 3D принтере



Рисунок 16 – Готовая конструкция центрального приемника

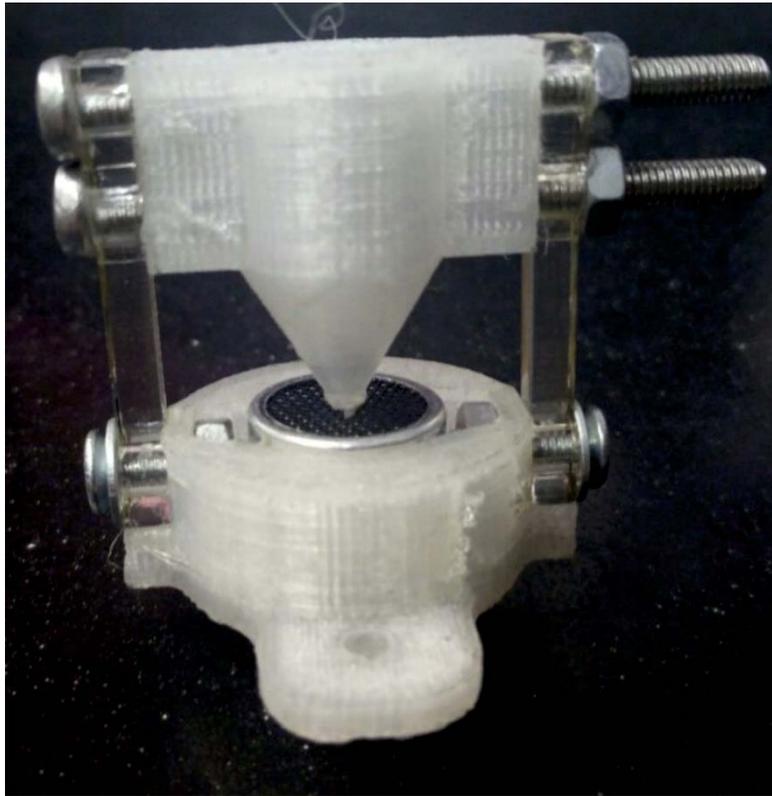


Рис. 17 – Тестовый вариант зеркала УЗ приемника

По результатам первых тестов определены следующие направления дальнейшей работы:

- усовершенствование усилителя УЗ с целью увеличения зоны покрытия;
- разработка зеркала для УЗ приемника, для установки на роботе (первый тестовый вариант представлен на рисунке 17).
- увеличение точности позиционирования за счет модернизации материальной части и алгоритмов, учитывающих показания большого количества датчиков.

Заключение

Достигнута точность определения координат в пределах 10см. Разработку можно считать успешной при сравнении с более точными системами доступными на рынке, но значительно более дорогостоящими, использующими небезопасное для глаз лазерное излучение. По сравнению с более дешевыми аналогами разработку отличает лучшая точность и отсутствие необходимости дополнительной программной разработки (автоматически определяются координаты МР).

Разработанная система позволяет обновлять координаты положения МР с частотой 10 Гц на дальности до каждого маяка около 2 м. Испытания показали необходимость установки на робота дополнительных дальномеров для обнаружения препятствий по ходу движения МР.

В развитие проекта целесообразно провести работы для улучшения стабильного приема и увеличения рабочей зоны системы за счет усовершенствования геометрической формы приемных зеркал для УЗ.

Результаты проекта помимо соревнований могут быть полезны при разработке дальнейших проектов, в которых необходимо обнаружение положений мобильных объектов, например, при разработке роботов-помощников, гидов, в ограниченных пространствах.

Литература

1. Колесников М.А. Аппаратно-программный комплекс по воспроизведению виртуальных изображений на материальной плоскости // Сборник трудов 17-ой международной конференции «Научно-технологические и интеллектуальные системы – 2015» - М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 22-23 апреля 2015. - С.355-361.
2. Правила молодежных соревнований роботов Евробот 2017: «Город на Луне», основной текст правил: Пер. с англ. с дополнениями НОК Евробот России. / Общ. ред. А.Ю.Вождаев. – М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2016. – 33с., ил. Режим доступа: <http://eurobot-russia.org/main/eurobot-2017> – Проверено 10.02.2017г.
3. Сайт Объединенного Студенческого Конструкторского Бюро. Режим доступа: <http://class.skycluster.net> – Проверено 10.02.2017 г.
4. Колесников М.А. Аппаратно-программный комплекс по определению местоположения объекта на плоскости методом ультразвуковой триангуляции // сборник научных трудов. 19-ая Молодежная международная научно-техническая конференция "Научно-технологические и интеллектуальные системы 2017". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 19 апреля 2017 г. – с.234-239.
5. Vlasov A., Yudin A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science. 2011. Т. 156 CCIS. С. 180-192.
6. Лапшинов С., Затекин Д., Кириленко В., Гормакова М. Разработка макета изучения передачи ультразвука для применения в образовании // Многопрофильная конференция исследовательских и проектных работ обучающихся ГБПОУ «Воробьевы горы», 13 февраля 2016 г.
7. Сайт Объединенного Студенческого Конструкторского Бюро. Режим доступа: <http://class.skycluster.net> – Проверено 10.02.2018г.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ЛЕВИТА ДЛЯ ГРАФОВ СЕМАНТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

Кобылкин С.С., Казаков В.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Зинченко Л.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4 Москва, Россия

FEATURES OF LEVIT ALGORITHM APPLICATION FOR SEMANTIC GRAPH

Kobylkin S.S., Kazakov.V.V.

Supervisor: Dr., Prof., Zinchenko L.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается алгоритм Левита. Подробно исследован метод реализации алгоритма на языке СИ, сфера применения. Кратко представлено исследование временной сложности алгоритма. Обсуждаются особенности применения алгоритма Левита для графов семантических связей.

Abstarct

The article considers the Levit algorithm. Details studied method of implementation of the algorithm in the C language, sphere of application. Briefly presented a study of the time and the space complexity of the algorithm. Features of Levit algorithm applications for semantic graph are discussed.

Введение

В условиях цифровой экономики одной из важнейших задач является обработка текстов на естественном языке. Для решения этой задачи возможно использование графов семантических связей.

Для обработки информации, содержащейся в графах семантической связей, могут быть использованы различные алгоритмы теории графов.

К числу эффективных алгоритмов поиска кратчайших путей в графе относится алгоритм Левита [1-3]. В статье рассматриваются особенности применения этого алгоритма для графов семантических связей.

1 Граф семантических связей

Семантический граф представляет собой взвешенный граф, вершинами которого являются термины исследуемого текста. Наличие ребра между двумя вершинами означает, что термины семантически связаны между собой, при этом вес ребра является численным значением семантической близости двух терминов, которые соединяет данное ребро.

На рисунке 1 приведено различные семантические графы, полученные в результате обучения на различных наборах текстов.

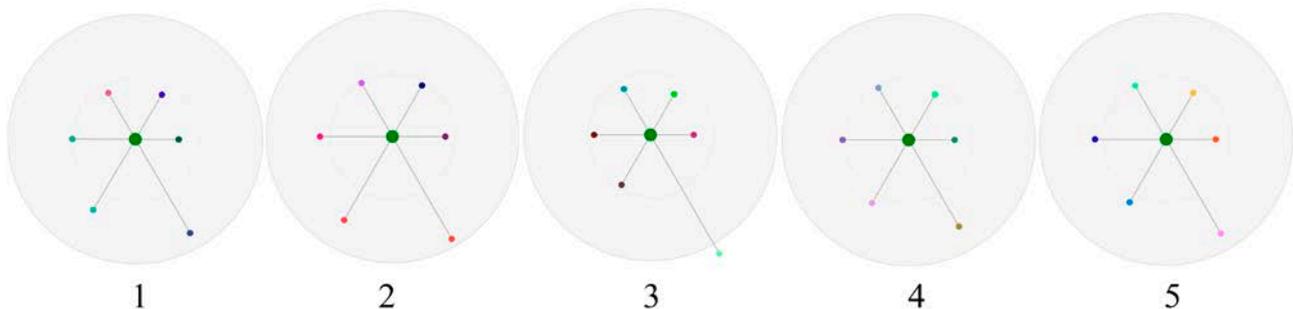


Рисунок 1 - Примеры семантических графов

2 Схема алгоритма

Алгоритм Левита построен на последовательном обходе каждой вершины графа, причём все вершины делятся на 3 подмножества:

- M0 - вершины, расстояние до которых уже вычислено (но, возможно, не окончательно);

- M1 - вершины, расстояние до которых вычисляется;

- M2 - вершины, расстояние до которых ещё не вычислено.

Изначально все вершины помещаются во множество M2, кроме вершины V0, которая помещается во множество M1.

Множество вершин M1 является двунаправленной очередью, в которую, по ходу алгоритма, могут добавляться новые вершины с двух сторон.

Пусть массив D[1..NumberOfPeaks] будет содержать текущие кратчайшие длины путей D[i], где D[i] - это текущая длина кратчайшего пути от вершины V0 до вершины i. Изначально массив D заполнен значениями "бесконечность", кроме D[V0] = 0. По окончании работы алгоритма этот массив будет содержать окончательные кратчайшие расстояния.

На каждом шаге алгоритма мы берём вершину из множества M1 (достаём верхний элемент из очереди). Пусть V - это выбранная вершина. Переводим эту вершину во множество M0. Затем просматриваем все рёбра, выходящие из этой вершины. Пусть T - это второй конец текущего ребра (т.е. не равный V), а L - это длина текущего ребра.

Если T принадлежит M2, то T переносим во множество M1 в конец очереди. D[T] полагаем равным D[V + L].

Если T принадлежит M1, то пытаемся улучшить значение D[T]: $D[T] = \min(D[T], D[V + L])$. Сама вершина T никак не передвигается в очереди.

Если T принадлежит M0, и если D[T] можно улучшить ($D[T] > D[V + L]$), то улучшаем D[T], а вершину T возвращаем в множество M1, помещая её в начало очереди.

Схема алгоритма представлена на рис. 1.

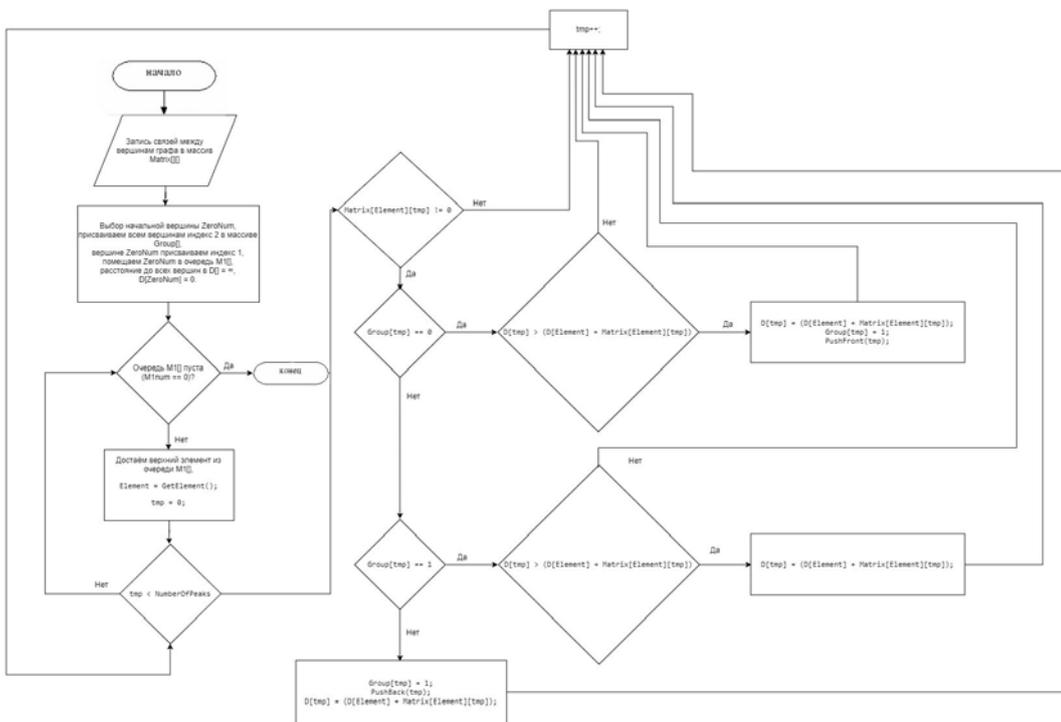


Рисунок 1 - Схема алгоритма

2 Программная реализация

Алгоритм был реализован на языке Си. Алгоритм предполагает отсутствие петель в графе, поэтому граф описывается с помощью двумерного массива. Значение ячейки $Matrix[tmp][tmp2]$ отображает вес ребра, соединяющего вершины tmp и $tmp2$, направленный от первой ко второй вершине. Массив $Group[100]$ хранит данные о том, к какому множеству принадлежит. В данном случае, номер вершины является индексом массива, а значение ячейки, которое может принимать значение “0”, “1”, “2” соответственно – множества M_0 , M_1 , M_2 . Изначально все вершины помещаются во множество M_2 , кроме выбранной вершины V_0 , индекс которой хранится в переменной $ZeroNum$. Переменная $NumberOfPeaks$ хранит данные о количестве вершин графа. Ниже приведён неполный код функции, выполняющей непосредственно вычисление минимального пути. Здесь $int\ Element$ – это верхняя вершина множества M_1 .

Благодаря тому, что вершины из множества M_0 могут обратно попадать во множество M_1 , мы можем улучшать результат уже пройденных вершин.

В массиве $P[100][100]$ хранятся пройденные пути, до заданной вершины. В ячейках $P[tmp][0]$ хранятся количество вершин, пройденных до вершины tmp в кратчайшем пути, а в остальных ячейках – индексы вершин в этом кратчайшем пути. Например, ячейка $P[5][3]$ хранит вторую вершину в кратчайшем пути до вершины 5.

Функции $PushBack(tmp)$ и $PushFront(tmp)$ добавляют вершину tmp в конец и начало очереди M_1 соответственно. Функция $PushP(tmp, Element)$ и соответственно добавляет вершину $Element$ в кратчайший путь до вершины tmp . Функция $Copy(tmp, Element)$ копирует кратчайший путь до вершины $Element$ в кратчайший путь до вершины tmp .

3 Экспериментальные исследования

Для оценки временной сложности генерировался неориентированный сильно связанный граф со случайными весами для рёбер. Для одного и того же количества вершин проводилось 5 тестов, далее находилось среднее значение t_{cp} . Расчёт производился для графов с числом вершин n от 1000 до 15000. Результаты исследований систематизированы в таблице 1.

Таблица 1

Число вершин	t_{cp} , мс						
1000	93	1700	160	4000	898	10000	4945
1100	96	1800	176	4500	1013	11000	6528
1200	103	1900	187	5000	1218	12000	7611
1300	112	2000	208	6000	1870	13000	8330
1400	133	2500	376	7000	2408	14000	10430
1500	136	3000	564	8000	3408	15000	11779
1600	150	3500	762	9000	4117		

По экспериментальным данным был построен график (рис. 2).

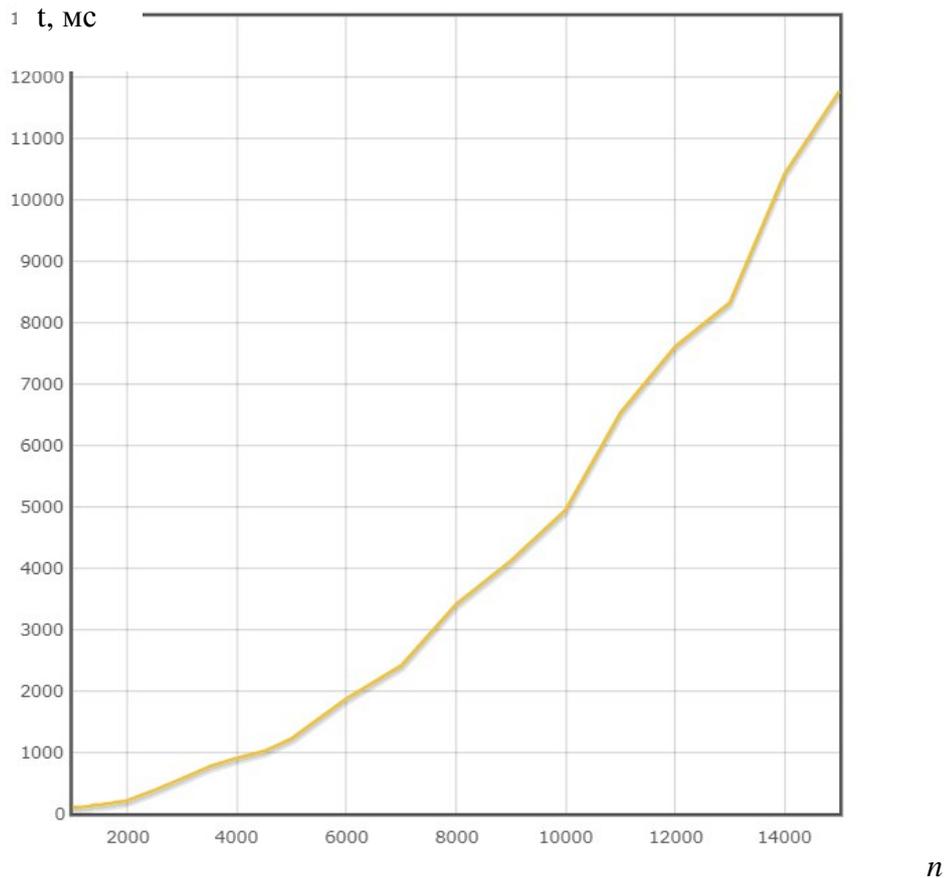


Рисунок 2 - График зависимости времени выполнения от числа вершин n

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что на сильно связанных графах алгоритм Левита работает за экспоненциальное время $2^{O(n)}$.

Заключение

Проведенные исследования показали хорошую производительность алгоритма Левита на графах довольно большой размерности. К достоинствам этого алгоритма следует отнести достаточно простую реализацию.

В дальнейшем планируется сравнить характеристики алгоритма Левита на сильно связанных графах и на случайных графах.

Литература

1. Б. Ю. Левит. Алгоритмы поиска кратчайших путей на графе. Труды института гидродинамики СО АН СССР. Сб. «Моделирование процессов управления». Вып. 4. Новосибирск. 1971. с. 1117—148
2. Б. Ю. Левит, В. Н. Лившиц. Нелинейные сетевые транспортные задачи, М. Транспорт. 1972. с.43-61
3. Романовский И.В. Дискретный анализ: Учебное пособие для студентов, специализирующихся на прикладной математике и информатике.. — 3-е изд. — СПб.: Невский Диалект, 2003. — С. 221-222.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-06-00404 а.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В САПР ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Кокарев В.В.

Научный руководитель: доц. Курносенко А.Е.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

SIMULATION AND ANALYSIS OF ELECTRONIC MODULES FOR MECHANICAL IMPACT IN 3D CAD DESIGN

Kokarev V.V.

Supervisor: Kurnosenko A.E.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена инженерному анализу электронных модулей на механические воздействия в САПР NX Advanced Simulation. Основное внимание уделено созданию конечно-элементной модели, подготовке модели к анализу, а также методике проведения инженерного анализа. Кратко рассмотрены возможности САПР NX Advanced Simulation и его решателя Nastran. В результате исследования сделаны выводы о целесообразности моделирования и анализа на механические воздействия в САПР NX Advanced Simulation.

Abstract

This article is devoted to the engineering analysis of electronic modules for mechanical effects in NX Advanced Simulation CAD. The main attention is paid to the creation of the finite element model, the preparation of the model for analysis, and also the methodology of engineering analysis. The possibilities of NX Advanced Simulation and its Nastran solver are briefly discussed. As a result of the study, conclusions were drawn about the feasibility of modeling and analysis of mechanical effects in NX Advanced Simulation CAD.

Введение

При разработке радиоэлектронной аппаратуры инженер-конструктор должен уделять внимание обеспечению надежной защиты конструкции от внешних воздействий. Современные CAE системы позволяют моделировать и оценивать режимы работы изделий в реальных условиях на предпроизводственном этапе жизненного цикла продукции [1, 2]. Это позволяет сократить затраты на дорогостоящих и длительных циклах разработки типа «проектирование - изготовление - испытания» [3].

Статья посвящена анализу 3D САПР NX Advanced Simulation [4], решателя Nastran [5], применение методики разработки 3D моделей и их инженерного анализа на механические воздействия.

В работе предложена перспективная методика применения современных САПР в рамках единой системы компьютерного сопровождения жизненного цикла изделий электронной техники, направленная для сокращения затрат и также повышения эффективности процесса разработки изделий электронной техники.

Цель работы – обобщение комплексной методики разработки 3D модели и алгоритма инженерного анализа электронного модуля на механические воздействия в 3D САПР NX Advanced Simulation [6-9].

В рамках работы решаются следующие задачи:

- отработка методики получения модели конструкции в 3D САПР;
- анализ методики проведения механического анализа;
- формирование рекомендаций по применению методик инженерных

расчетов.

1 Анализ возможностей САПР NX Advanced Simulation и его решателя Nastran

NX Advanced Simulation – это многофункциональный модуль конечно-элементного моделирования с широкими возможностями визуализации результатов моделирования конструкций и их поведения [4, 6]. Модуль содержит инструменты, которые необходимы специалисту по инженерному анализу (CAE), и поддерживает широкий диапазон инженерных расчетов. NX Advanced Simulation обеспечивает полную ассоциативность расчетных моделей с CAD-моделями, что позволяет специалисту быстро вносить изменения в конструкцию и соответственно в расчетную модель.

На этапе перехода от физической модели к математической NX Advanced Simulation, обладая набором специализированных инструментов, позволяет адаптировать конструкторскую CAD-геометрию для выполнения конечно-элементного анализа. Например, специалисты-расчетчики без обращения к конструктору могут упростить модель для улучшения качества расчетной сетки.

Одной из особенностей работы с математической расчетной моделью в NX Advanced Simulation является логическое разделение расчетной и конечно-элементной моделей. Таким образом, в любой момент работы активной остается только одна модель, что добавляет значительную долю порядка в работу инженера и существенно экономит компьютерные ресурсы. Кроме того, такой принцип легко позволяет для одной конечно-элементной модели выполнять несколько анализов разных типов.

Основным решателем в NX Advanced Simulation является зарекомендовавший себя в течение многих лет конечно-элементный решатель Nastran [2].

NX Nastran — инструмент для автоматизированного проведения инженерного анализа проектируемых изделий методом конечных элементов (МКЭ) от компании Siemens PLM Software. NX Nastran вместе с дополнительными решателями предназначен для решения как статических, так и динамических линейных и нелинейных задач инженерного анализа.

Решатель NX Nastran обеспечивает выполнение полного набора инженерных расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и неустойчивых процессов, нелинейных статических процессов, нелинейных динамических переходных процессов, анализ частотных характеристик, отклика на динамические и случайные воздействия.

Решатель NX Nastran доступен совместно с инженерными системами для подготовки расчетных моделей NX и [Femap](#) или в виде самостоятельного приложения, используемого на специально выделенных CAE-серверах или высокопроизводительных вычислительных кластерах с любыми совместимыми инструментами препостпроцессорной обработки NX Nastran.

Система NX Nastran распространена в таких областях промышленности, как аэрокосмическая, автомобильная, судостроение, тяжелое машиностроение, медицина и товары народного потребления, обеспечивая анализ напряжений, вибраций, долговечности, передачи тепла, шума, акустики и аэроупругости. Система обеспечивает высокую степень интеграции с большим числом CAE приложений.

NX Nastran является исчерпывающей программой конечно-элементного анализа общего назначения, которая включает в себя возможность выполнения анализа статики и динамики конструкций, анализа теплопередачи, оптимизации и анализа чувствительности, решения задач аэроупругости. Каждый вид анализа использует похожие входные файлы, что позволяет легко переключаться с одного вида анализа на другой [2, 5].

NX Advanced Simulation, являясь одной из ведущих систем численного инженерного анализа, предлагает набор инструментов и функций для выполнения численного анализа любой степени сложности – начиная от простейших оценочных расчетов до выполнения анализа сложнейших процессов [9].

2 Подготовка модели к анализу на механические воздействия

Для проведения инженерного анализа на механические воздействия не обходимо создать 3D модель электронного модуля.

Процесс 3D моделирования заключается в создании геометрии объекта при помощи трёхмерной графики. В нашем случае объектом 3D моделирования служит электронный модуль на печатной плате. Такие модели очень актуальны, так как позволяют провести практически любые испытания без больших затрат на создание опытных образцов. Они дают возможность оценить все сильные и слабые стороны.

Инженерный анализ 3D модели печатной платы устройства, подробно описывающий отклики платы на механические воздействия, весьма сложен в связи с обработкой большого количества поверхностей сложной формы, на что затрачивается много вычислительных ресурсов [8].

В большинстве случаев фаски, скругления и сложные переходы в модели платы незначительно влияют на результаты анализа, поэтому для анализа модель, прежде всего, необходимо упростить, т.е. идеализировать. Это существенно упрощает конечно-элементную сетку модели и сокращает трудоемкость и время расчета. Необходимо помнить, что упрощение формы конструкции и идеализация механических воздействий должны обеспечивать адекватность модели.

3 Методика проведения инженерного анализа

При использовании систем численного анализа инженер получает возможность моделировать конструкции и машины любой сложности с любой необходимой (рациональной) степенью детализации. У него появляется инструмент для анализа реального распределения напряжений и деформаций в конструкции. NX Advanced Simulation на базе промышленного решателя Nastran дает инженеру возможность работать с различными приложениями, оставаясь в единой среде проектирования NX. Причем масштабируемость модуля NX Advanced Simulation позволяет решать, как простые, так и самые сложные задачи из различных областей механики деформируемого твердого тела, механики жидкостей и газов, механики теплопереноса и др. [8]

Основные шаги при выполнении инженерного анализа с помощью метода конечных элементов (рисунок 1) – это:

- создание идеализированной модели. Этот этап соответствует переходу от реальной физической модели к измененной (упрощенной) математической модели. Очевидно, что математические модели имеют бесконечное число степеней свободы, что влечет за собой практическую нереализуемость решения поставленной задачи для сложной модели;
- создание дискретной модели, что соответствует ограничению числа степеней свободы, то есть происходит дискретизация идеализированной модели;
- решение системы разрешающих уравнений, которые соответствуют выбранному типу анализа.

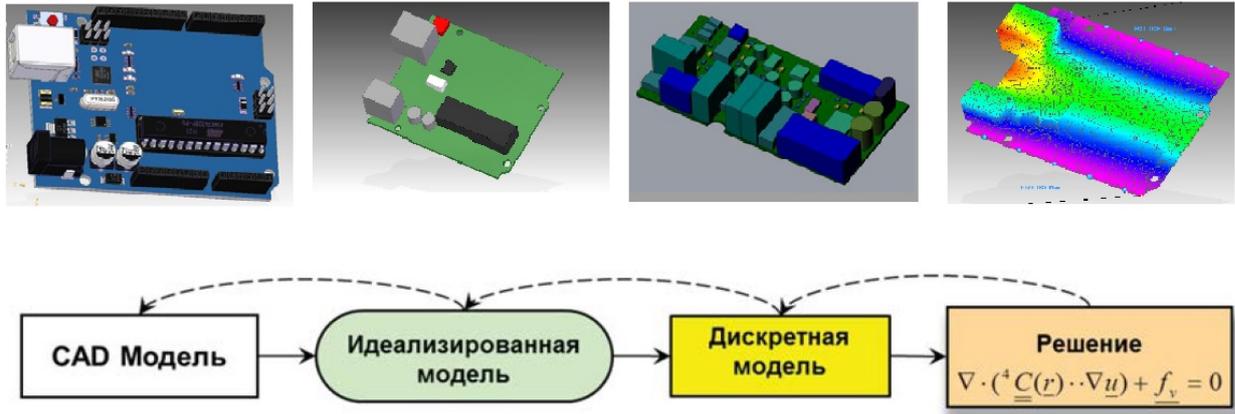


Рисунок 1 – Основные шаги при осуществлении инженерного анализа

Ниже приведена методика проведения инженерного анализа (рисунок 2) собственных частот конструкции:

1. Создание идеализированной геометрической модели;
2. Создание конечно-элементной модели;
3. Создание расчётной модели;
4. Численное решение задачи;
5. Анализ полученных результатов.

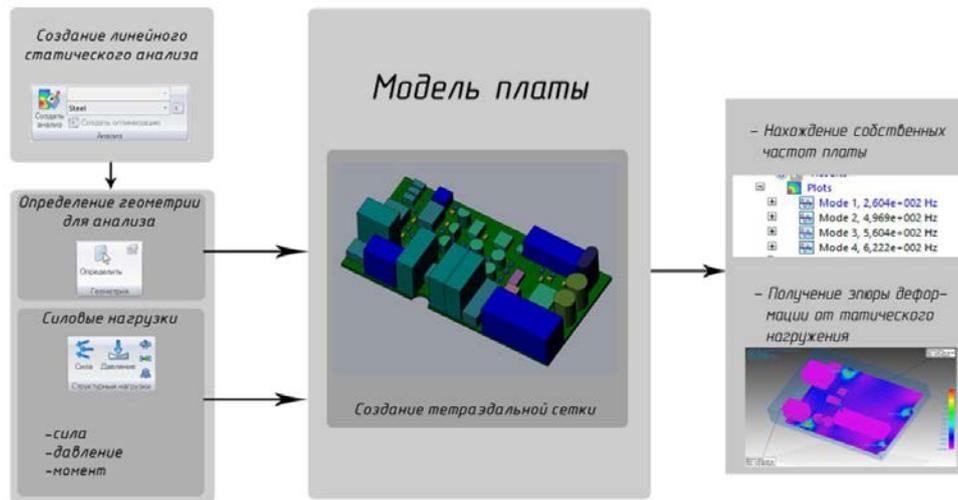


Рисунок 2 – Методика проведения инженерного анализа на механические воздействия

Набор средств инженерного анализа в системе NX представляет собой приложение пре- и постпроцессинга (Pre/Post) и подключаемых к интерфейсу расчётных решателей. В качестве основного решателя выступает пакет NX Nastran, но также могут использоваться и программные пакеты других разработчиков [2].

Приложение пре/постпроцессинга построено на базе общей платформы приложений NX CAD и использует все возможности геометрического ядра [Parasolid](#). Расчётные модели связаны с исходными 3D моделями, и при необходимости внесения каких-то изменений или упрощений у пользователя есть возможность редактировать ассоциативно связанную геометрию, не влияя на оригинальную модель, но отслеживая все изменения [5].

Функционал инструментов, входящий в пакет инженерного анализа NX, позволяет проводить анализ статического нагружения конструкции, поиск собственных частот

(динамика), аэродинамический и тепловой анализ, а также решать ряд прикладных специализированных задач.

Выполняя анализ сборки, необходимо также учитывать реакцию печатной платы на механические воздействия, такие как 1) деформацию (прогиб) под воздействием статического нагружения под действием силы тяжести и 2) отклик на воздействие внешних вибрационных и ударных нагрузок.

Статическое нагружение под собственной тяжестью имеет значение в проектировании сборки, если она имеет в своем составе тяжелые компоненты, такие как трансформаторы, аккумуляторы и т.д., или плата относится к классу гибких или гибко-жестких. Прогиб платы может привести к нежелательному касанию других плат или корпуса, особенно при дополнительном наложении вибрационных нагрузок.

Заключение

В статье рассмотрена методика применения САПР NX Advanced Simulation и приведены возможности данной среды проектирования, ориентированные на снижение объема трудозатрат и ресурсов.

С помощью решателя Nastran есть возможность проведение инженерного анализа, с применением МКЭ. Популярность метода конечных элементов обусловлена его результативностью и возможностью решения широкого спектра задач.

Практическая ценность работы заключается в демонстрации возможностей современных САПР систем для сокращения затрат, а также для повышения эффективности процесса разработки изделий электронной техники.

Литература

1. Захаржевский С.Б., Курносенко А.Е. Расчет изделий электроники на механические и тепловые воздействия в САПР CREO: Учебное пособие для студентов по направлению «Конструирование и технология электронных средств» – Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. 56 с.
2. Шимкович Д. Femap Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 702 с.
3. Власов А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Системный анализ "бережливого производства" инструментами визуального моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4 (160). С. 1924.
4. Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф., Денисхин С.В., Сотник Д.Е. NX Advanced Simulation. Практическое пособие. – М.: изд.: ДМК Пресс, 2014. – 112с.: ил.
5. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.: ил.
6. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. – М.: Изд.: ДМК Пресс, 2011. – 332с.: ил.
7. Власов А.И. Принципы активного подавления действия вибрационных полей на электронную аппаратуру // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 1996. № 11. С. 30-32.
8. Кокарев В.В, Курносенко А.Е. Анализ электронных модулей на механические воздействия средствами САПР NX ADVANCED SIMULATION // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017 №1. С. 33-38.
9. NX Advanced Simulation - Современный инструмент для инженерного анализа // Siemens PLM Software. 2009.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДРА С ПЕРИФЕРИЕЙ В ЭМУЛЯТОРАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Комахин М.О.

Научный руководитель: д.т.н. Семенцов С.Г.

Научный консультант: к.т.н.Гладких А.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

IMPLEMENTATION OF KERNEL-PERIPHERIAL COMMUNICATION IN COMPUTINGSYSTEM EMULATORS

Komakhin M.O.

Supervisor: Sementsov S.G.

Scientific advisor: Gladkikh A.A.

Bauman MSTU, IU4, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье рассматриваются различные способы реализации взаимодействия процессорного ядра с периферийными устройствами при создании произвольных вычислительных систем. Кратко представлено типовое устройство процессорной системы, её архитектуры. Параллельно с этим рассмотрены особенности различных реализаций обмена данными между блоками программного эмулятора. Изучены возможности создания периферийных устройств для эмулятора Qemu. В заключении рассмотрены достоинства и недостатки существующей архитектуры эмулятора Qemu..

Annotation

Various implementations of kernel-peripheral communication in computing system emulators are discussed in this article. Typical computing system structure is explained briefly. At the same time internal interactions between main blocks of emulating system are described. Various emulators are compared. In conclusion certain advantages and disadvantages of Qemu emulator are identified.

Введение

В процессе исследования внутреннего программного обеспечения (ВПО) часто возникает необходимость динамического анализа кода. Применение других методов отладки в таких задачах невозможно либо крайне затруднительно. В большинстве современных встраиваемых систем присутствует множество периферийных устройств, реализация основных блоков процессорной системы также сильно зависит от используемой архитектуры. Всё перечисленное выше даёт разработчику устройства широкие возможности при реализации поставленных задач. Использование существующих эмуляторов не представляется возможным ввиду того что они не имеют возможности интеграции со сторонними средствами отладки, а также крайне неэффективны из-за отсутствия гибкости и полного контроля над процессом выполнения инструкций и потоками данных.

В этой связи возникла необходимость в разработке эмулятора, способного выполнять машинные инструкции любой процессорной системы. Разработка эмулятора была начата с исследования возможных способов взаимодействия вычислительного ядра произвольной архитектуры с периферийными устройствами.

Современные вычислительные системы используют различные способы взаимодействия периферийных устройств с ядром. В общем процессорная система представляет собой: вычислительное ядро, тактируемое от тактового генератора, его возможности ограничиваются выполнением машинных инструкций; периферийные устройства, реализующие остальные возможности вычислительной системы. ОЗУ, Flash-память, устройства взаимодействия по различным интерфейсам (например, UART, I2C, SPI), таймеры, порты ввода-вывода — это периферийные устройства процессорной системы.

Для корректной работы вычислительной системы требуется обеспечить обмен данными между ядром и внешними устройствами. У каждого контроллера периферии для связи с центральным процессором имеется несколько регистров. Считывая и изменяя состояние этих регистров процессорное ядро может получать информацию о текущем состоянии подключенного устройства, конфигурировать его.

Среди особенностей доступа к периферийным устройствам можно выделить два альтернативных подхода: ввод-вывод через порты, ввод-вывод через память. При использовании портов для операций ввода-вывода, доступ к регистрам периферийного устройства осуществляется через специальное адресное пространство, называемое пространством ввода-вывода. На аппаратном уровне разницы между адресным пространством ввода-вывода и пространством ОЗУ нет.

Другой вариант предусматривает отображение регистров управления на пространство оперативной памяти. В таком случае адреса памяти, которые использованы для регистров управления периферийными устройствами, не используются для в качестве оперативной памяти. При использовании ввода-вывода через память машинные инструкции, использующиеся для доступа к памяти, могут осуществлять и доступ к периферийным устройствам.

Существуют и другие механизмы взаимодействия с памятью, так, например, процессорные системы позволяют изменять адреса регистров, отображаемых на память. В качестве еще одной особенности можно указать то, что для удобства работы предусмотрены механизмы, осуществляющие отображение портов ввода-вывода на адресное пространство ОЗУ. Это позволяет работать с портами ввода-вывода используя область памяти ОЗУ, аналогично другим периферийным устройствам.

Эти особенности необходимо учитывать при построении архитектуры эмулятора, для того чтобы выработать единый универсальный принцип эмуляции различных вычислительных архитектур.

Реализация периферийных устройств в эмуляторе Qemu

Рассмотрим создание новых периферийных устройств на примере добавления АЦП в контроллер семейства STM32.

Для того чтобы новое устройство было добавлено к эмулятору при сборке проекта необходимо добавить название соответствующего объектного файла в hw/arm/Makefile.objs.

На первом этапе необходимо провести инициализацию периферийного устройства. Файл hw/arm/stm32.c содержит функции инициализации всех периферийных устройств и их вызовы.

Таблица 1 - Код инициализации периферийного устройства

```
static void stm32_create_adc_dev(
    Object *stm32_container,
    stm32_periph_t periph,
    intadc_num,
    DeviceState *rcc_dev,
    DeviceState **gpio_dev,
    hwaddraddr,
    qemu_irqirq)
{
    charchild_name[8];
    DeviceState *adc_dev = qdev_create(NULL, "stm32-adc");
    QDEV_PROP_SET_PERIPH_T(adc_dev, "periph", periph);
    qdev_prop_set_ptr(adc_dev, "stm32_rcc", rcc_dev);
    qdev_prop_set_ptr(adc_dev, "stm32_gpio", gpio_dev);
    snprintf(child_name, sizeof(child_name), "adc[%i]", adc_num);
    object_property_add_child(stm32_container, child_name, OBJECT(adc_dev),
    NULL);
    stm32_init_periph(adc_dev, periph, addr, irq);}

```

Кратко рассмотрим приведённый выше листинг кода. При инициализации должна быть создана структура, хранящая текущие параметры периферийного устройства. Должны быть указаны шина тактирования и порт для ввода-вывода. Для обмена данными с процессорным ядром производится регистрация периферийного устройства на системной шине.

Чтобы обеспечить доступ к информации о состоянии АЦП и его конфигурирования должны быть добавлены адреса регистров, используемые этим периферийным устройством. (файл hw/arm/stm32_adc.c) АЦП в STM32 имеет три канала. Каждый из которых имеет свой базовый адрес, адреса регистров задаются смещением от базового адреса.

После этого создаётся структура, хранящая текущую конфигурацию устройства: шина тактирования, к которой подключено ADC(в STM32 их может быть несколько), дополнительные настройки тактирования (делители), частота выборки, уровень прерываний, уровень опорного напряжения и т.д.

Далее необходимо реализовать основные функции АЦП. На этом этапе, работа с устройством заключается в чтении и записи его регистров, временные параметры рассчитываются исходя из данных о шине тактирования. Все эти величины были заданы ранее.

Таблица 2 - Код получения данных от периферийного устройства

```
static uint64_t stm32_adc_read(void *opaque, hwaddr offset, unsigned size)
{
    Stm32Adc *s = (Stm32Adc *)opaque;
    int start = (offset & 3) * 8;
    int length = size * 8;
    switch (offset & 0xfffffff) {
    case oADC_SR : return (extract64(s->ADC_SR, start, length));
    case oADC_CR1: return extract64(s->ADC_CR1, start, length);
    case oADC_CR2: return (extract64(s->ADC_CR2, start, length)&~ADC_CR2_RSTCAL&~ADC_CR2_CAL); // jmf : calibration complete
    case oADC_SMPR1: return extract64(s->ADC_SMPR1, start, length);
    case oADC_SMPR2: return extract64(s->ADC_SMPR2, start, length);
    case oADC_JOFR1: return extract64(s->ADC_JOFR1, start, length);
    case oADC_JOFR2: return extract64(s->ADC_JOFR2, start, length);
    case oADC_JOFR3: return extract64(s->ADC_JOFR3, start, length);
    case oADC_JOFR4: return extract64(s->ADC_JOFR4, start, length);
    case oADC_HTR: return extract64(s->ADC_HTR, start, length);
    case oADC_LTR : return extract64(s->ADC_LTR, start, length);
    case oADC_SQR1: return extract64(s->ADC_SQR1, start, length);
    case oADC_SQR2: return extract64(s->ADC_SQR2, start, length);
    case oADC_SQR3: return extract64(s->ADC_SQR3, start, length);
    case oADC_JSQR: return extract64(s->ADC_JSQR, start, length);
    case oADC_JDR1: return extract64(s->ADC_JDR1, start, length);
    case oADC_JDR2: return extract64(s->ADC_JDR2, start, length);
    case oADC_JDR3: return extract64(s->ADC_JDR3, start, length);
    case oADC_JDR4: return extract64(s->ADC_JDR4, start, length);
    case oADC_DR : return extract64(stm32_adc_dr_read(s), start, length);
    default:
    printf("jmf unknown read : %lld, size %d\n", (long long)offset, size);
    return STM32_BAD_REG(offset, size);
    }
    return 0;
}
```

Функция чтения данных с АЦП получает на вход структуру, хранящую данные о периферийном устройстве, его регистрах, адрес регистра, значение которого необходимо получить, объём данных.

В заключении требуется установить номер прерывания от периферийного устройства, включить, включить шину тактирования к которой подключено периферийное устройство.

Анализ структуры эмулятора Qemu

После проведённого анализа была составлена структурная схема эмулятора Qemu. Она представлена на рисунке 1.

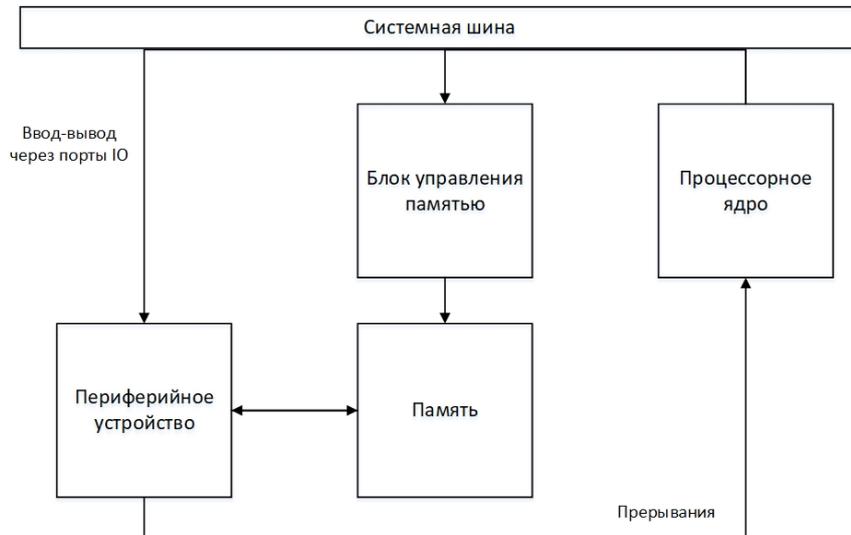


Рисунок 17 - Структурная схема эмулятора Qemu

Для обеспечения совместимости процессорного ядра как с устройствами, использующими порты ввода-вывода для обмена данными, так и с устройствами, имеющими регистры, отображённые на память реализована схема, когда обмен через порты ввода вывода реализован с помощью системной шины, к которой подключено устройство, а чтение и запись регистров, отображённых память, происходит через контроллер блока управления памятью, который также подключен к системной шине.

Заключение

Исследование методов взаимодействия между различными частями процессорной системы, выявление достоинств и недостатков этих методов имеет большое значение при проектировании эмулятора, способного воспроизводить различные типы вычислительных архитектур.

Существует несколько способов взаимодействия вычислительного ядра с периферийными устройствами. К числу наиболее используемых можно отнести ввод/вывод данных через порты и ввод/вывод данных через память. К преимуществам вывода через память относится упрощение конструкции процессора, более широкий набор возможных инструкций: все инструкции, способные записать данные в память, могут использоваться ввода/вывода; для конечного пользователя работа с функциями, оперирующими большими объёмами данных, удобнее. Однако и способ с использованием портов ввода/вывода также имеет свои преимущества: для машин низкой разрядности, у которых адрес в памяти задаётся регистровой парой, а для порта хватает и одного регистра, ускоряется работа с внешними устройствами.

В результате проделанной работы был исследован принцип создания периферийных устройств в эмуляторе Qemu, исследована его архитектура. Анализ структурной схемы эмулятора показал, что Qemu обеспечивает достаточную гибкость при создании произвольной встраиваемой системы. Однако этот эмулятор имеет и ряд недостатков поскольку не позволяет контролировать потоки информации на любом уровне и в любой момент времени, также отсутствует возможность собирать данные о работе устройства, возможность изменять данные в памяти в процессе работы устройства для эффективного исследования ВПО.

Литература

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера — М: Питер, 2013. — 316 с.
2. Семенцов С.Г., Власов А.И. Влияние конечной разрядности в системах цифровой обработки // Датчики и системы. 2009. № 6. С. 39-43.
3. В.А.Шахнов, А.И.Власов, А.С.Кузнецов, Ю.А.Поляков Нейрокомпьютеры: Архитектура и реализация //Приложение к журналу "Информационные технологии". - 2000. №9.
4. ShakhnovV.A., VlasovA.I., KnyazevV.S. Hardware and software integrated system for processing signals for monitoring signals and analyzing the state of different level technical systems // Сб. док. 3-я международная конференция "Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике". - Москва. 2002. С. 123.
5. А.И.Власов, А.Е.Михненко Информационно-управляющие системы для производителей электроники //Производство электроники: технологии, оборудование материалы. - 2006. - №3

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ В УСТРОЙСТВАХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Королев К. И., Гудошников И. В., Андреев Д. Д.
Научный руководитель: Цивинская Т.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ANALYSIS OF LOW-POWER WIDE-AREA WIRELESS DATA COMMUNICATION IN IoT DEVICES

Korolev K. I., Gudoshnikov I. V., Andreev D. D.
Supervisor: Tsvinskaya T.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье рассматриваются технологии беспроводной связи устройств интернета вещей с низким энергопотреблением и большим радиусом действия - LPWAN (Low-Power Wide-Area Network). Проведен сравнительный анализ и возможные сферы реализации каждой технологии. Выявлены достоинства и недостатки, а также возможности каждой из рассматриваемых LPWAN технологий. В заключении представлены рекомендации по использованию LPWAN технологий.

Abstract

This article discusses the ways of data communication among IoT devices by means of low-power wide-area network (LPWAN) technologies. There is a complete analysis of these with distinguishing main advantages and disadvantages of them. The paper also presents different possibilities for implementing LPWAN technologies. Finally, recommendations on use of LPWAN technologies are submitted.

Введение

В связи с увеличением числа разнообразных датчиков, сенсоров, счетчиков и физических вещей, предназначенных для сбора необходимой информации и подключенных к интернету, мы наблюдаем бурный рост популярности концепции интернета вещей (англ. Internet of Things - IoT). Однако большинство этих устройств потребляют много электроэнергии и используют сигналы с малой проникающей способностью для обмена данными, а использование обычной сотовой связи для объединения нескольких миллионов устройств обходится дорого, поэтому стал актуальным вопрос о разработке новых энергоэффективных беспроводных технологий передачи данных дальнего действия для IoT. Помимо вышесказанного, новые IoT технологии должны обеспечивать масштабируемость всей системы или дополнять уже существующие решения, построенных на мобильной радиосвязи, Wi-Fi или Bluetooth, и использовать нелицензируемые (свободные и бесплатные) частотные диапазоны. При чем в таком случае приветствуются решения, адаптированные к диапазонам, находящимся в так называемой нелицензируемой зоне промышленных, научных и медицинских частот ISM (англ. Industrial, Scientific and Medical Radio Band).

Использование разработанных в недавнее время сетей LPWAN (англ. Low-power Wide-area Network — «энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия») позволит решить ряд проблем, связанных с дальностью распространения радиосигнала и энергопотреблением у устройств. Это решение является критически важным для таких сфер, как промышленность, ЖКХ, сельское хозяйство, транспорт и всевозможные умные системы. На основе базовых принципов LPWAN сетей были разработаны несколько десятков технологий, предназначенные для распределённых сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия и устройств интернета вещей. Каждая из них обладает рядом особенностей, подробно рассматриваемых в данной статье.

В данной статье описываются наиболее развитые и широко используемые LPWAN технологии, такие как Sigfox, LoRa и российская Стриж, проводится их общая оценка и предлагаются наиболее рациональные области применения и дальнейшего развития данных технологий.

1 Технология Sigfox

Данная проприетарная технология также является одной из наиболее популярных и востребованных в мире. Она обеспечивает большой радиус (диапазон) зоны покрытия и лучшую проникающую способность сигнала, что создает условия для обмена информацией между датчиками, расположенными на больших расстояниях друг от друга и как под землей (в шахтах, подвалах и в других труднодоступных местах), так и на поверхности.

Sigfox спроектирована одноименной компанией, основанной во Франции в 2009 году. Компания создала собственную энергоэффективную сеть дальнего радиуса действия и стандарт связи для обмена данными между устройствами интернета вещей. Основной особенностью является использование технологии сверх узкополосной частотной модуляции радиосигнала - UNB (Ultra Narrow Band), что и позволяет передавать информацию с датчиков на большие расстояния с минимальными затратами на электроэнергию. SigFox в настоящее время использует европейский нелицензированный ISM (Industrial, Scientific and Medical) диапазон на 868 МГц и 902 МГц в США [1].

В соответствии с техническими возможностями развернутой сети Sigfox, можно выделить следующие особенности [2]: 1) Одно устройство может передавать не более 140 сообщений в день. 2) Каждое сообщение содержит информацию, размером не превышающую 12 байт. 3) Пропускная способность Sigfox колеблется от 100 до 600 бит в секунду в зависимости от региона. Несмотря на такую медленную по сегодняшним меркам пропускную способность, разработчики Sigfox уверяют, что этого достаточно для передачи информации о местоположении устройства, сигналов тревоги или показаний различных датчиков. А благодаря малому объему передаваемых пакетов данных датчиками и устройствами затрачивается существенно меньше электроэнергии от аккумулятора, чем при использовании других технологий, например, сотовой связи, таких как GSM, 3G и так далее.

На рис. 1 схематично показана архитектура сети Sigfox. Соединение между датчиками и принимающими сигнал антеннами осуществляется при помощи сетевой топологии звезда, допускающей легкое масштабирование всей сети. Хотелось отметить, что устройство не привязано к одной базовой станции, что делает сеть более устойчивой.

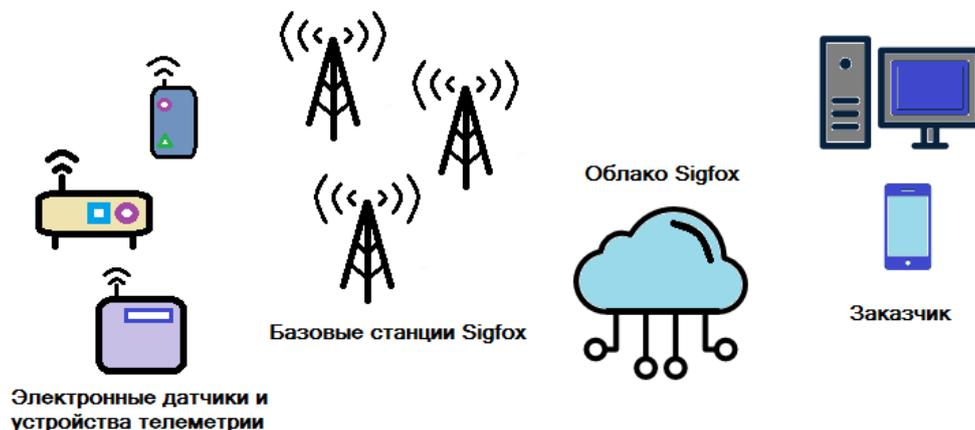


Рисунок 1 - Сетевая архитектура Sigfox

В настоящий момент, каждая базовая станция, входящая в состав сети Sigfox, способна выдерживать до 1 миллиона подключенных устройств. Однако сеть легко масштабируется увеличением плотности базовых станций, так как сеть основана на сотовой инфраструктуре. В сельской местности дистанция передачи информации достигает до 30-50 километров, а в городах - до 15 километров, что связано с большим количеством посторонних сигналов, шумов и помех. Расстояние между устройствами и принимающими сигнал станциями может быть увеличено, если само устройство или датчик находится на открытой местности.

Наиболее перспективными областями применения технологии Sigfox являются различные сферы промышленного производства, сельского хозяйства (в сенсорах влажности и удобренности почвы на фермах) и добычи полезных ископаемых (в датчиках вибрации на буровых вышках).

2 Технология LoRa

Технология LoRa появилась в результате принятия и необходимости продвижения протокола LoRaWAN в качестве единого стандарта для LPWAN сетей, который был представлен в начале 2015 года Semtech Corporation и исследовательским центром IBM Research.

Сама же аббревиатура LoRa объединяет в себе метод модуляции LoRa в беспроводных сетях LPWAN, разработанный Semtech, и открытый протокол LoRaWAN. В итоге получается, что LoRa (от англ. Long Range) - это технология и одноименный метод модуляции. [3]

Как заявляют сами разработчики LoRa Alliance, LoRa имеет значительные преимущества перед сотовыми сетями и WiFi, так как имеет возможность развертывания межмашинных (M2M) коммуникаций на расстояниях до 20км и скоростях до 50Кбит/с., при потреблении электрэнергии в объеме, обеспечивающем несколько лет автономной работы на одном аккумуляторе типа AA.

Сама технология имеет огромный диапазон применений: от домашней автоматизации и интернета вещей (IoT) до промышленности, умных домов и прочих глобальных сетей, требующих применение сети LPWAN [4].

Рассматривая архитектуру LoRaWAN сетей (рис. 2), можно сказать, что типичная сеть LoRaWAN состоит из конечных узлов, шлюзов, сетевого сервера и сервера приложений.

Конечный узел (End Node) осуществляет управляющие или измерительные функции. Это набор необходимых датчиков и управляющих элементов.

Шлюз LoRa (Gateway/Concentrator) является устройством, передающим данные конечных узлов в транзитную сеть. В качестве такой сети могут выступать Ethernet, WiFi, сотовые сети и прочие телекоммуникационные каналы. Вместе с конечными устройствами шлюз образует сетевую топологию типа звезда. Данное устройство обычно имеет многоканальные приемопередатчики, которые обеспечивают обработку сигналов в нескольких каналах одновременно или даже, нескольких сигналов в одном канале. В итоге несколько таких устройств обеспечивают зону покрытия сети и прозрачную двунаправленную передачу данных между конечными узлами и сервером. Однако шлюз в данной сети является слабым звеном, так как из-за большого потока накладываемой информации на входе в шлюз происходит определение первоочередности обработки пакетов и возрастает вероятность потери части информации.

Сетевой сервер (Network Server) - сервер для управления сетью и её параметрами. С его помощью задается расписание, адаптируются скорости передачи данных, налаживается хранение и обработка принимаемых данных.

Сервер приложений (Application Server) - сервер для удаленного контроля работы конечных узлов и сбора необходимых данных с них [5].

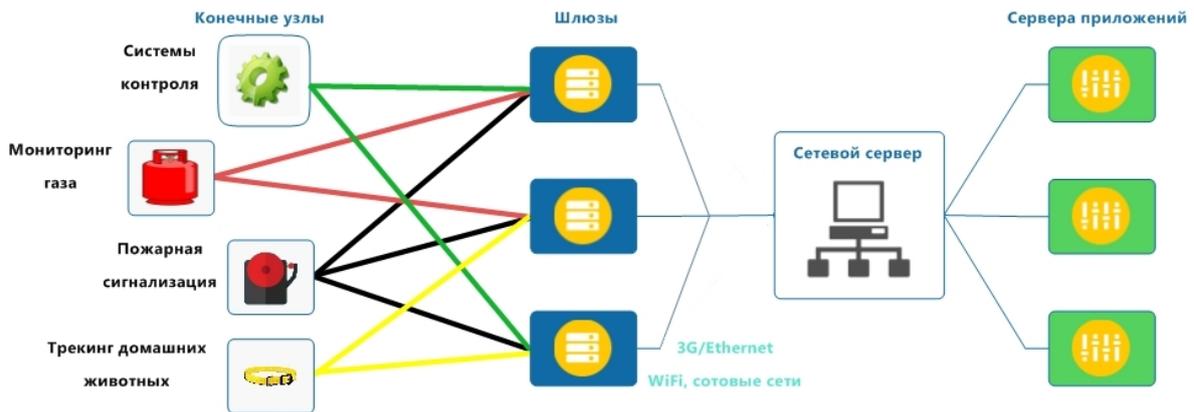


Рисунок 2 - Архитектура сети LoRaWAN

LoRaWAN позволяет строить глобальные распределенные беспроводные сети с большим числом конечных узлов. По заявлениям Semtech, один LoRa-шлюз допускает обслуживание до пяти тысяч конечных устройств.

LoRaWAN - дешевая сеть и может быть развернута с минимальными инвестициями в инфраструктуру. Также в сетях LoRaWAN применяется адаптивная скорость передачи данных ADR (Adaptive Data Rate). Это метод, который регулирует скорость передачи данных. Он обеспечивает надежную передачу пакетов, оптимальную производительность сети и необходимый масштаб для её загрузки. Безопасность в сети обеспечивает двухуровневое шифрование данных двумя разными AES-128 ключами по RFC-4493.

Некоторые характеристики технологии LoRa [6]:

- Частота - 868 МГц
- Модуляция - широкополосная
- Ширина полосы сигнала - 125 кГц
- Класс абонентских устройств - А, В, С
- Скорость связи - от 300 до 50 000 бит/с
- Помехоустойчивость – средняя

3 Технология «Стриж»

«Стриж телематика» - российская телекоммуникационная компания, основанная в 2014 году. Компания занимается производством и подключением устройств, энергоэффективных датчиков, для мониторинга данных телеметрии, которые работают на собственной LPWAN технологии. На рисунке 3 показана архитектура сети технологии Стриж.



Рисунок 3 - Архитектура сети «СТРИЖ»

Первыми разработками компании были модемы, работающие на технологии Lpwan, для подключения счетчикам ЖКХ. Позже компания начала производить интегральные устройства с беспроводными LPWAN-модулями. Данная технология в дальнейшем была адаптирована для мессенджера Telegram, и позволяет владельцу квартиры удаленно получать информацию с счетчиков воды. В 2015 «Стриж телематика» стали резидентом Сколково.

Технология и продукция: компания разрабатывает устройства, работа которых происходит по стандарту LPWAN.

К устройствам относятся приборы и датчики учета параметров для ЖКХ, таких как электроэнергетика и вода. Применяются в сельском хозяйстве, где необходимо использовать автоматизированную систему контроля и управления, действующую на большой площади. Передача телеметрических данных может осуществляться на расстояние более 50 км по беспроводному LPWAN-каналу. Устройства обладают низким энергопотреблением, так как датчики можно настроить на передачу данных по расписанию, и оптимизированным протоколом передачи данных, за счет чего достигается их автономность работы. Вся информация, полученная с датчиков и сенсоров, централизованно собирается и обрабатывается на облачных серверах компании. После чего на их основе можно составить отчет, провести анализ и предоставить владельцам через интернет [7].

Компания разработала собственный беспроводной LPWAN –протокол энергоэффективной связи, который основывается на передаче радиосигналов с использованием узкополосного метода в нелицензируемой полосе частот 868 МГц. Ширина полосы сигнала составляет 100 Гц и компания использует до 5 тыс. каналов по 100 Гц каждый. Данный протокол дает возможность передать небольшой пакет данных на большое расстояние и используется для обмена данной информацией в M2M-сетях и подключение устройств к интернету вещей. Вся телематическая сеть ориентирована на применение беспроводных LPWAN-устройств и распространяется на территории России. Однако для работы этой сети нужно использовать конечные устройства и шлюзы, что может негативно повлиять на стоимость устройств и их ассортимент. Чтобы расширить охват сети и повысить производительность, применяются алгоритмы обработки параллельного радиочастотного спектра.

Еще одним преимуществом технологии «Стриж» является высокая помехоустойчивость, этот показатель может достигать до 65 дБ.

Некоторые характеристики технологии «Стриж» [8]:

- частота - 868 МГц;
- модуляция - узкополосная;
- ширина полосы сигнала – 100 Гц;
- класс абонентских устройств - А;
- скорость связи – 100 бит/с;
- помехоустойчивость – высокая.

Проанализировав три популярные технологии, такие как Sigfox, LoRa и Стриж, стоит указать на их ключевые особенности, представленные в таблице 1. Также можно сделать вывод, что преимущества LPWAN технологий такие как большой радиус действия, высокая степень автономности конечных устройств, простота развертывания LPWA-сети и низкая стоимость инфраструктуры открывают новые возможности для масштабного внедрения IoT в разные отрасли, что несомненно повысит эффективность бизнеса и улучшит жизнь людей [9].

Таблица 1 – Ключевые особенности LPWAN технологий Sigfox, LoRa и Стриж

	Sigfox	LoRa	Стриж
Достоинства	1) Использование сверх узкополосной модуляции радиосигнала (UNB radio modulation); 2) Самая большая площадь покрытия с помощью базовых станций; 3) Высокая проникающая способность в условиях городской застройки;	1) Возможность развертывания своей собственной сети; 2) Возможность регулирования размера передаваемых пакетов и адаптирования скорости передачи данных под свои требования	1) Низкая стоимость компонентов для построения LPWA сети; 2) Высокая помехоустойчивость; 3) Большое количество работающих устройств в заданном частотном диапазоне
Недостатки	1) Зависимость от сотовой инфраструктуры операторов связи 2) Отсутствие сетей в России	1) Один производитель чипов для устройств LoRa) 2) Снижение помехоустойчивости из-за применения широкополосного кодирования	1) Невозможность использования сторонних устройств или модулей

Например, путем автоматизирования сбора показаний различных счетчиков и приборов учета, осуществление мониторинга состояния окружающей среды, использованием носимых устройств в медицине и все, что связано с концепцией “умного города“. Вполне возможен вариант совместного интегрирования сотовых и LPWA сетей.

Заключение

В настоящее время каждая из представленных в статье технологий уже используется во многих развитых странах, особенно там, где требуется не только простота развертывания и масштабирования сети, но также низкая стоимость и длительная работа устройств от аккумуляторов или других автономных источников питания (от мониторинга окружающей среды до проектирования умного города), и покрывает огромные по площади территории. Это еще раз говорит о широком спросе на LPWAN технологии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по Соглашению №2.4176.2017/46

Литература

1. Information and Software Technologies: 22nd International Conference, ICIST 2016, Druskininkai, Lithuania, October 13-15, 2016, Proceedings. Springer – ISBN 978-3-319-46254-7 – p. 665
2. Mobile and Wireless Networks - Khaldoun Al Agha, Guy Pujolle, Tara Ali Yahiya – ISTE Inc. – p. 241
3. Сообщество разработчиков Lo-Ra. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://lo-ra.ru/>
4. Официальный сайт LoRa Alliance. Режим доступа: <https://www.lora-alliance.org>
5. Сообщество LoRaWAN. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://lorawan.lace.io/>
6. Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence 10th International Conference, UCAmI 2016, San Bartolomé de Tirajana, Gran Canaria, Spain, November 29 – December 2, 2016, Part II, García, C.R., Caballero-Gil, P., Burmester, M., Quesada-Arencibia, A. (Eds.) - p. 174 – 181
7. Официальный сайт компании «Стриж». Режим доступа: <https://strij.tech>
8. Новости Интернета вещей. Режим доступа: <https://iot.ru>
9. Буторин П.С., Григорьев П.В. Система оповещения в автобусном транспорте на основе технологии "интернета вещей" // В сборнике: Энергосбережение и эффективность в технических системах Материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбовский государственный технический университет . 2017. С. 384-385.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДИКТИВНОГО РЕМОНТА В КОНЦЕПЦИИ "ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ"

А.И. Кривошеин¹, С.С. Филин²

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент А.И. Власов

¹магистрант кафедры ИУ4 МГТУ им.Н.Э.Баумана, 105005, Москва, Россия

²ООО "Коннект", Москва, Россия

SOFTWARE AND HARDWARE IMPLEMENTATION OF PREDICTIVE REPAIR IN THE CONCEPT OF "INTERNET OF THINGS"

A.I. Krivoshein¹, S.S. Filin²

Scientific adviser: candidate of technical sciences, associate professor A.I. Vlasov

¹master student ICS4 BMSTU, 105005, Moscow, Russia

²"Connect", Moscow, Russia

Аннотация

Предложен вариант программно-аппаратной реализации системы автоматизации и предиктивного ремонта в концепции «интернет вещей». Рассмотрены детали физической реализации, а так же логика работы программной части основных блоков системы.

Abstract

A variant of the software and hardware implementation of the automation and pre-repair system in the concept of "Internet of things" is proposed. The details of physical realization, as well as the logic of the program part of the main blocks of the system are considered.

Введение

Разработка комплекса программно-технических и конструкторских решений, направленного на создание информационной системы, обеспечивающей мониторинг, удаленное управление и поддержку технического состояния инженерных систем на объектах жилищной инфраструктуры в целях оперативного контроля их состояния, поддержки технического обслуживания, предиктивного ремонта и оповещения о возникающих плановых, нештатных и критических ситуациях является актуальной научно-технической задачей.

Чаще всего понятие «Интернета вещей» неразрывно связано с знаниевыми компонентами: умный дом, умный транспорт, умные предприятия. Но фактическая идея «интеллектуальности» и «умности» вещей сильно размыта в несформированном представлении людей маркетинговыми манипуляциями. На текущий момент из «Интернета вещей» сделали слишком обширное понятие. К нему пытаются притянуть различное удаленное управление или мониторинг - все это лишь автоматизация. В целом понятие «Интернета вещей» подразумевает под собой помощь человеку окружающим его вещей. Человек не должен быть центром всего управления, все контролировать. Система должна обеспечивать самостоятельное взаимодействие внутри себя, с минимальным привлечением человека во все стадии управления, лишь при действительной необходимости и потребности внести изменения система должна сообщать об этом человеку.

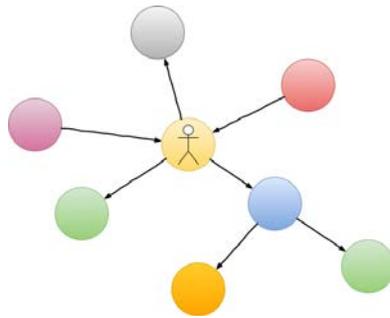


Рисунок 1 – Концепция «Интернета вещей»

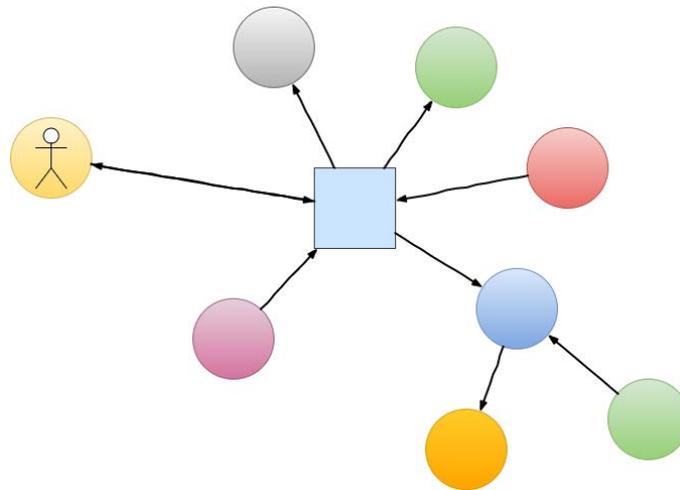


Рисунок 2 – Концепция «Интернета вещей»

Для достижения этой цели необходимы мультиагентные технологии. Каждому участнику из реального мира (т.е. каждому человеку и каждому устройству) ставится в соответствие программный агент — объект с некоторой степенью интеллектуальности, представляющий его интересы в мире виртуальном.

Виртуальный мир можно назвать в некоторой степени улучшенной копией нашей жизни: там есть те же участники, которые чаще всего следуют заранее установленным и известным правилам, предоставляя достоверные ответы на заданные вопросы. При этом взаимосвязь реального и виртуального миров двунаправленная: решения из виртуального мира отдаются в реальность для исполнения, а все события реального мира отражаются на мире виртуальном.

Жизненный цикл агентов довольно прост. Сначала они воспринимают информацию из внешнего мира. Потом ее нужно обработать, т.е. запланировать некие действия. Ну а действия уже нужно выполнить – отдав соответствующие команды в реальный мир. Получается, что в “умном” доме агент человека постоянно общается с агентами кофеварки, лампочек и прочих холодильников — отдавая им команды и обмениваясь информацией. Пользуясь функциями такой системы, становится возможным реализовать предиктивный ремонт, т.е. накопление и анализ информации с датчиков и сенсоров, её последующий анализ с целью расчёта оптимальных периодов обслуживания, вероятностей поломок и своевременного оповещения человека о необходимости вмешательства.

Современных систем по предоставлению данного набора функций - не существует, есть подобия. Широко известные системы автоматизации построенные на KNX и HDL проводных шинах или Zwave и ZigBee беспроводных стандартах оснащены зачастую не востребованными опциями и в то же время не оснащены первоочередными важными функциями. К примеру эти системы позволяют управлять мультимедийными потоками,

например, такими как аудио и видео, при этом фактическое отслеживание потребления нагрузки и анализ работы по потребляемой энергии отсутствует.

Ниже представлена концепция системы с необходимым набором функций для реализации концепции «Интернета вещей» и выполнения задач предиктивного ремонта [1].

1 Система автоматизации и предиктивного ремонта

Основными элементами системы являются локальный сервер, универсальный контроллер мониторинга и управления, и удалённый сервер с общей для всех устройств базой данных. Локальную сеть организует роутер, подключенный к интернету для связи с удалённым сервером.

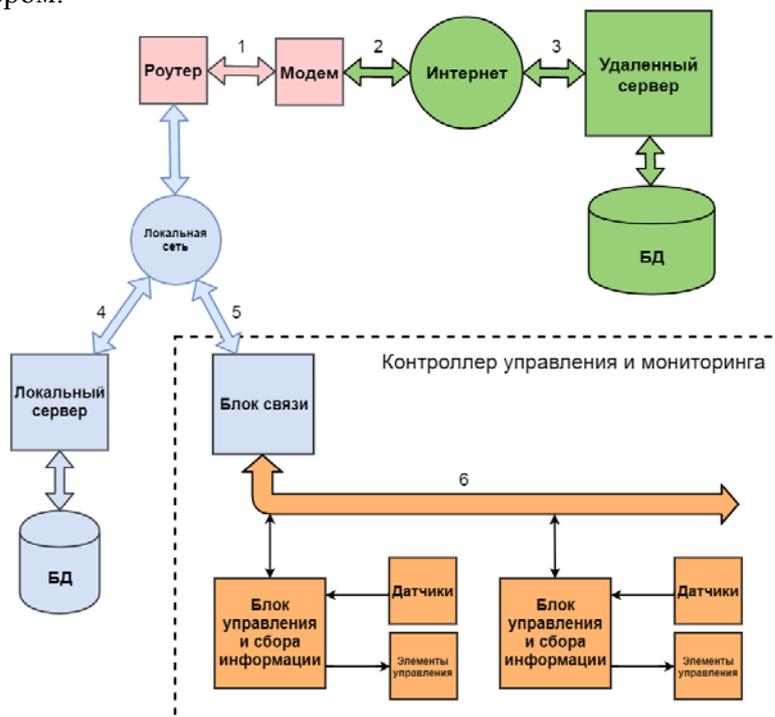


Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматизации и предиктивного ремонта

Локальный сервер хранит сценарии обработки информации, и принятия решений по управлению системой, а так же имеет собственную базу данных для временного хранения информации перед отправкой на удалённый сервер. Сбор информации и управление контроллером мониторинга и управления организован посредством протокола MQTT, где локальный сервер является брокером. Связь 4 на рисунке 3 между роутером и устройством, организующим локальный сервер (например, одноплатный компьютер), осуществляется Ethernet-кабелем. Связь 5 между роутером и блоком связи контроллера, так же с помощью Ethernet-интерфейса, однако может быть организована и через WI-FI соединение.

Главной задачей контроллера мониторинга и управления является сбор данных с подключенных к нему разнотипных датчиков и сенсоров, передача информации локальному серверу по локальной сети, получение команд на управление и непосредственное управление драйверами и реле. Контроллер состоит из одного блока связи и одного или нескольких блоков управления и сбора информации. Связь 6, между блоком связи и блоками управления и сбора осуществляется по интерфейсу RS-485, через адресованные запросы блока связи и ограниченные по объёму и времени ответы блоков управления и сбора. Это позволяет организовать надёжный проводной канал, с длиной до 1200м, и пропускной способностью достаточной, для решения большинства задач

автоматизации. При чрезмерной загруженности этого канала, с целью обеспечения большей скорости взаимодействия между блоками, возможно подключение ещё одной ветки интерфейса RS-485 к тому же блоку связи, т.е. организация второго независимого канала. При этом виртуально все датчики и устройства управления будут определяться подключенными к контроллеру управления и мониторинга, и иметь свой независимый идентификационный номер [2].

Такая концепция позволяет обращаться посредством команд к любому датчику или устройству управления как независимому, включенному в общую сеть устройств. Сценарии взаимодействия устройств, реализуемые локальным сервером, позволяют автоматизировать управление реле и драйверами (освещения, приводов и т.д.) по сигналам с датчиков, или другим событиям.

Возможность постоянной корректировки сценариев локальных серверов, временной автономной работы системы при прерывании интернетсоединения, возможность непосредственного управления системой с удалённого сервера и оповещения человека создаёт аппаратную основу для реализации концепции «Интернета вещей».

Постоянный сбор и накопление данных, получаемых с датчиков, в базе данных удалённого сервера, через интернет создают аппаратную базу для реализации предиктивного ремонта.

Заключение

Предлагаемые комплексные программно-технические решения по формированию единой платформы позволяют выполнять сбор информации во всём её многообразии с датчиков, осуществлять мониторинг, удаленное автоматизированное или самостоятельное управление инженерными модулями, а также работу с регулярными событиями по их сервисному обслуживанию. Осуществлять расчет необходимости предиктивного ремонта в целях определения времени замены или сервисного обслуживания объектов инженерных систем.

Использование парадигмы “Интернет вещей” делает функционал универсального модельного конструктива не только более доступным для частных домохозяйств, но и в перспективе позволит экономить на расходовании энергоресурсов и на обслуживании инженерных систем. Таким образом, результат проекта формирует новый облик системы синтеза гибких робототехнических решений, которому нет аналогов, так как все существующие комплексы сильно ограничены по инженерным системам, сбору информации с датчиков и анализу данных.

Литература

1. Кривошеин А.И., Филин С.С. Анализ методов предиктивного ремонта в концепции «интернет вещей» // Всероссийский форум научной молодежи «Богатство России»: сборник докладов / Министерство образования и науки Российской Федерации, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – С. 76-77.
2. Andrey I. Vlasov, Anton V. Yudin, Maria A. Salmina, Vadim A. Shakhnov and Konstantin A. Usov Design Methods of Teaching the Development of Internet of Things Components with Considering Predictive Maintenance on the Basis of Mechatronic Devices // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 20 (2017) pp. 9390-9396.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЖСЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Ли А.А.

Научный руководитель: Карпунин А.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ENSURING INTER-NETWORK INTERACTION IN INTEGRATED AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Li A.A.

Supervisor: Karpunin A.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические основы межсетевого взаимодействия в интегрированных автоматизированных системах управления (ИАСУ), описано построение локально-вычислительной среды с учетом технической реализации и сегментации.

Abstract

The theoretical bases of interworking in integrated automated control systems (IASS) are considered in the article, the construction of a local computing environment with technical implementation and segmentation is described.

Введение

Важным параметром функционирования ИАСУ является своевременное обеспечение достоверной информацией подчиненных подсистем и взаимодействующих с ней функциональных комплексов. В современной ИАСУ обмен данными производится по распределенной локальной вычислительной сети, поэтому от аппаратуры, которая отвечает за межсетевое взаимодействие, требуется стабильность работы, высокая производительность при максимально возможной нагрузке и способность работы в реальном времени.

1 Задача межсетевого взаимодействия в ИАСУ

Под межсетевым взаимодействием понимается коммуникационная структура, которая обеспечивает общепринятый порядок маршрутизации пакетов информации между сетями. Межсетевым взаимодействием в ИАСУ с ее подсистемами является совокупность локальных вычислительных сетей с использованием принципа сегментации. Внешние системы и приборы, осуществляющее информационное взаимодействие с системой, подключаются через граничные коммутаторы, выполняющие функции маршрутизации и фильтрации сетевых пакетов.

Обмен информации между подсистемами (приборами подсистем) строго регламентирован соответствующими протоколами обмена. Протоколы устанавливают требования к аппаратным и программным средствам сопряжения, номенклатуре параметров информационного обмена, типу и форме представления данных, а также порядку их передачи при совместной работе в ЛВС ИАСУ. Основная задача межсетевого взаимодействия состоит в эффективном информационном обмене согласно запросу и в полной целостности.

Система должна эффективно оперировать следующими параметрами:

- графическими образами и изображениями;
- файлами с размерами в гигабайтовом интервале;
- клиент-серверными приложениями;

- высоко загруженным сетевым трафиком [2].

Для того, чтобы полностью удовлетворять этим потребностям, межсетевое взаимодействие должно предоставлять:

- а) увеличенную пропускную способность;
- б) полосу пропускания по запросу;
- в) низкие задержки;
- г) данные, звуковые и видео возможности в одной среде, - и обеспечивать:
- д) целостность и корректность содержимого передаваемых пакетов данных;
- е) безопасность информационного обмена;
- ж) отказоустойчивость передачи данных.

Выходом из сложившейся ситуации является усиление защиты ресурсов сети уровнем разграничения внутрисетевого доступа, который строится на основе внутренних межсетевых экранов (МЭ), обеспечивающих защиту сетевого трафика.

2 Межсетевой экран и протоколы межсетевого взаимодействия

Межсетевые экраны обеспечивают безопасность осуществления электронного обмена информацией с другими взаимодействующими автоматизированными системами и внешними сетями, разграничение доступа сегментов сети, а также защиту от вмешательства в работу АС нарушителей из внешних систем.

МЭ является специализированным программным или аппаратным (или программно-аппаратным) средством, которое позволяет поделить сеть на части и выполнить набор правил, которые определяют условия прохождения сетевых пакетов из одной части в другую [4-5].

Основная функция МЭ - фильтрация сетевого трафика, которая может осуществляться на любом уровне модели OSI. В качестве критериев выступает информация с разных уровней: адреса отправителя/получателя, номера портов, содержимое полей данных.

3 Оценка построения и сегментирования локальной вычислительной сети ИАСУ

ИАСУ и входящие в ее состав подсистемы образуют совокупность локальных вычислительных сетей с использованием принципа сегментации, при котором адресное пространство и физические (канальные) ресурсы сетевых граничных устройств (хостов) распределяются в пределах сети 10.X.X.X.

В ССН формируются и одновременно используются основная сеть 10.1.X.X и резервная сеть 10.2.X.X, к которым подключаются приборы всех подсистем с использованием различных приборов, выполняющих функции сетевых коммутаторов сегментов ЛВС.

Внешние системы и приборы осуществляют информационное взаимодействие с ИАСУ, подключающие через граничные коммутаторы и относящиеся к сегментам ЛВС в диапазоне адресов 192.168.X.X.

В общем виде структура построения ЛВС исследуемой ИАСУ представлена на рисунке 1.

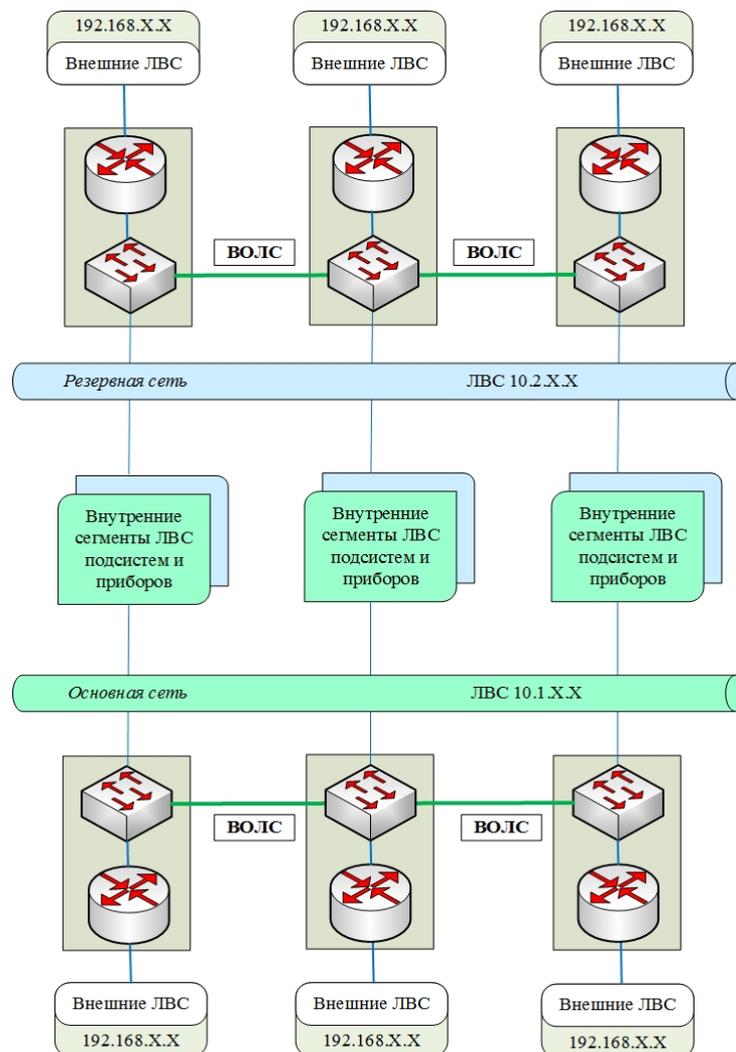


Рисунок 1 – Структура построения ЛВС ИАСУ

Информационный обмен в сетях Ethernet осуществляется в соответствии со стандартом 802.3u по протоколу TCP/IP, с использованием протоколов транспортного уровня TCP и UDP.

Границами зоны ЛВС являются интерфейсы приборов маршрутизаторов (приборов с функцией межсетевое экранирование сети ИАСУ, далее по тексту – прибор МК), представленные в виде мезонинных модулей, расширяющих число сетевых интерфейсов. Каждый прибор МК оснащен 8 дополнительными модулями Ethernet, к которым подключаются сегменты внешних взаимодействующих систем, находящихся в адресном пространстве диапазона 192.168.X.X. Маршрутизация пакетов во внутренние сети ССН осуществляется средствами ОС МСВ приборов МК.

Граничные интерфейсы внешних взаимодействующих систем в приборах МК разделены от интерфейсов внутренних сетей на аппаратном уровне [6-8]. На рисунке 2 представлена схема взаимодействия интерфейсов в приборе МК.

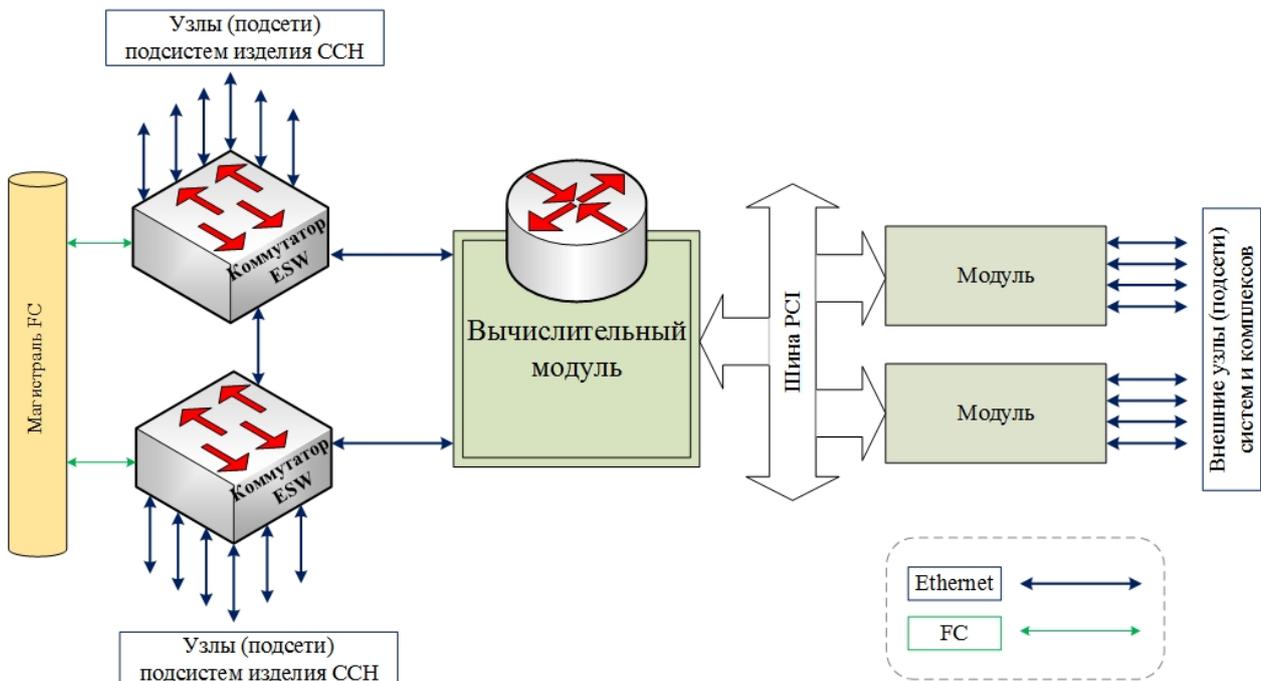


Рисунок 2 - Схема взаимодействия интерфейсов в приборе МК

Дополнительно приборы МК осуществляют трансляцию сетевых пакетов между отдельными внешними взаимодействующими системами и приборами. Основная нагрузка по маршрутизации пакетов и их фильтрации приходится на вычислительный модуль ВМ приборов МК.

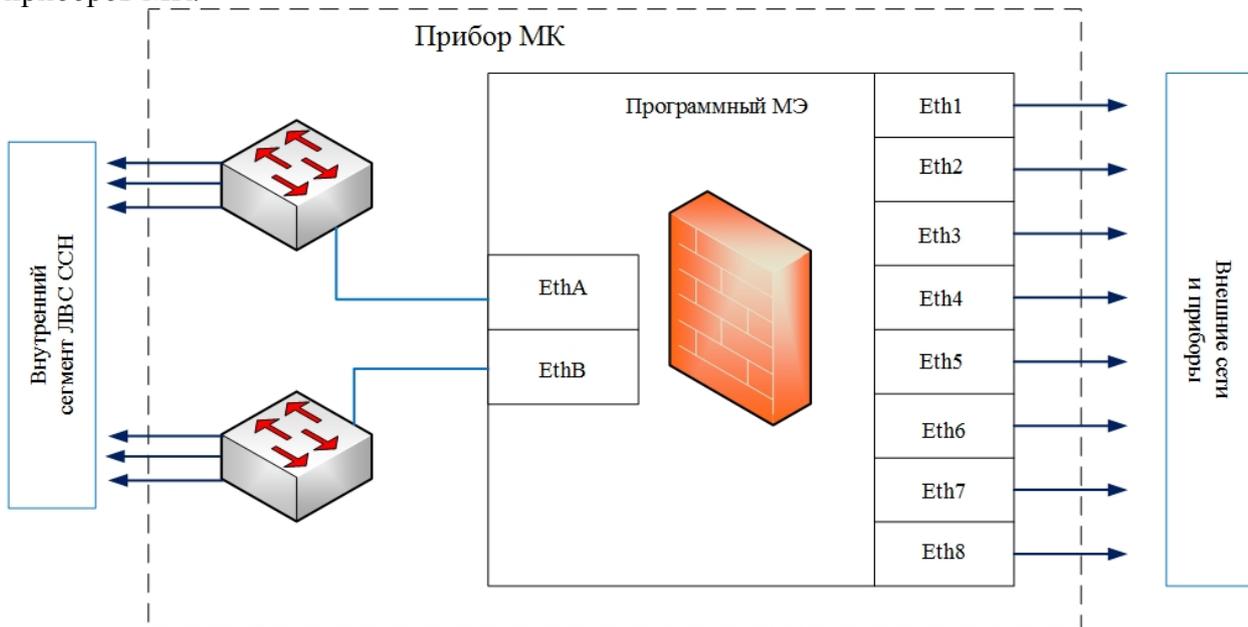


Рисунок 3 – Реализация средств МЭ в МК

С учетом технической реализации и сегментации ЛВС ИАСУ основное применение средств межсетевое экранирования предусматривается на уровне граничных сетевых интерфейсов внешних взаимодействующих систем (Eth1 -Eth8) и сетевых интерфейсов ВМ (EthA, EthB), подключенных к основной и резервной ЛВС ИАСУ (Рисунок 3).

Заключение

Проведен анализ возможности построения ИАСУ с помощью межсетевых экранов, интерфейсов и протоколов межсетевого взаимодействия. Осуществлена оценка построения и сегментирования распределенной локальной вычислительной сети с учетом технической реализации и сегментации ЛВС ИАСУ, при реализации которой обеспечивается:

- фильтрация исходящих и входящих сетевых пакетов от всех внешних взаимодействующих систем и приборов в адрес приборов внутренней локальной вычислительной сети ИАСУ;

- фильтрация всех транзитных сетевых пакетов между внешними взаимодействующими системами и приборами, передаваемых по каналам внутренней локальной вычислительной сети ИАСУ;

- фильтрация всех сетевых пакетов, маршрутизируемых в адрес внешних систем и приборов;

- фильтрация пакетов от приборов, находящихся в адресном пространстве ЛВС ИАСУ, но располагаемых за границами контролируемой зоны ее ЛВС (выносные приборы).

Данное исследование позволяет оценить производительность прибора при работе межсетевого экрана в сети ИАСУ, влияние настроек фильтрации на задержку сетевого трафика при межсетевом взаимодействии и определить конфигурацию и модульный состав прибора, удовлетворяющий по техническим показателям и характеристикам обеспечения достоверной информацией ИАСУ в реальном времени при взаимодействии с внешними системами и комплексами.

Литература

1. Большаков О. Информационные системы [Электронный ресурс]: codingcraft.ru: Статьи о программировании и информационных технологиях. 2012. URL: <http://codingcraft.ru/isystems.php> (дата обращения: 18.02.2018).
2. [Электронный ресурс]: URL: http://support.mdl.ru/pc_compl/doc/cisco/CCNA_StudyGuide.Html (дата обращения: 19.02.2018).
3. Милованов М.А. Комплекс средств моделирования для отработки взаимодействия корабельного радиоэлектронного оборудования // Направления совершенствования АСУ: сб. докладов., 2004.
4. Демин А.А., Карпунин А.А., Ганев Ю.М. Методы верификации и валидации сложных программных систем // Программные продукты и системы. 2014. № 4. С. 229-233.
5. Карпунин А.А., Ганев Ю.М., Чернов М.М. Методы обеспечения качества при проектировании сложных программных систем // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 2 (10). С. 78-84.
6. Кочешков А.Э., Карпунин А.А. Технология archimate - новый стандарт моделирования архитектуры предприятия // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 4 (168). С. 3-9.
7. Карпунин А.А., Козлов А.А. Анализ методов реализации децентрализованных приложений в конструкторско-технологической информатике // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 4 (168). С. 39-44.
8. Власов А.И., Карпунин А.А., Новиков И.П. Системный анализ технологии обмена и хранения данных BLOCKCHAIN // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3 (55). С. 75-83.

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Лошак Д.И, Левин И.В

Научный руководитель: доцент Курносенко А.Е.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ELECTRONIC EQUIPMENT THERMAL ANALYSIS AUTOMATION TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF THE COOLING ENVIRONMENT

Loshak D.I. Levin I.V.

Supervisor: Prof. Kurnosenko A.E.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается методика проведения тепловых расчетов с использованием средств моделирования тепловых потоков. Подробно исследована методика проведения расчетов. Кратко представлены варианты отображения результатов расчета. В заключении проанализированы преимущества методики.

Abstract

In the article the technique of carrying out thermal calculations with use of means of modeling of thermal streams is considered. The method of calculations is studied in detail. Options for displaying calculation results are briefly presented. In conclusion, the advantages of the technique are analyzed.

Введение

Современные темпы разработки и производства электроники накладывают жесткие требования на время разработки изделий, их характеристики качества и надежности. Успеть за рынком можно только с внедрением синхронных сквозных автоматизированных методов проектирования и производства изделий электронной техники. С развитием технологий стоимость потребительских электронных изделий уменьшается, но затраты на их создание лишь увеличиваются. Чтобы сократить выход брака и повысить качество продукции, необходимо усовершенствовать расчеты надежности в системах инженерного анализа (CAE-системах).

Для этих целей ведущими поставщиками программных пакетов разрабатываются специальные инструменты для проведения расчетов тепловых режимов. Они позволяют создавать математические модели и выполнять тепловой анализ, имеют широкую интеграцию с CAD системами.[1].

Целью данной работы является демонстрация преимуществ такого подхода по проведению анализа тепловых режимов над традиционными методами.

1 Проведение анализа тепловых режимов

В рамках исследования проводилось моделирование воздушных потоков внутри электронного блока с активным воздушным охлаждением.

Для проведения расчетов воздушных потоков было выбрано дополнение для САПР Solidworks – Flow Simulation. Модуль разработан компанией Mentor Graphics и известен также под названием «FloEFD». Данный модуль был выбран из-за хорошего функционала, зачастую не имеющего аналогов на рынке, а также отличной интеграции в CAD-системы.[2].

Данный программный пакет, как и все продукты подобного назначения, основывается на математическом аппарате, использующем для расчетов метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.

В исследовании моделирование воздушных потоков проводилось с учетом геометрии всех частей исследуемого устройства, а также с учетом нагрева отдельных элементов ячейки. Это позволяет гораздо более точно определить тепловой режим для аппаратуры по сравнению с традиционными оценочными методами расчетов.

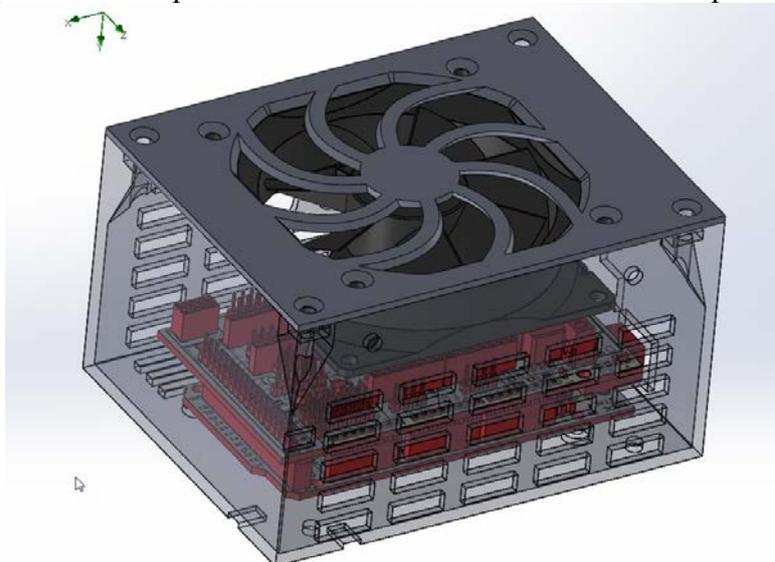


Рисунок 1 – Модель исследуемого устройства

Для решения задач вычислительной гидро- и газодинамики нужно последовательно решить задачи в 3 этапа:

1) *Подготовительный этап – препроцессинг*

Формирование геометрии модели (рис. 1), определение физических параметров среды, назначение граничных условий дифференциальных уравнений и разбиение модели на конечные элементы.

2) *Анализ – процессинг*

Решение основных уравнений с точки зрения базовых физических параметров (скорость, давление, плотность, температура, и т. д.) по заданному алгоритму, а также запись результатов решения в память.

3) *Обработка результатов – постпроцессинг*

Отображение результатов расчета в виде графиков, таблиц, а также контурных и/или векторных схем, привязанных к исходной геометрии.

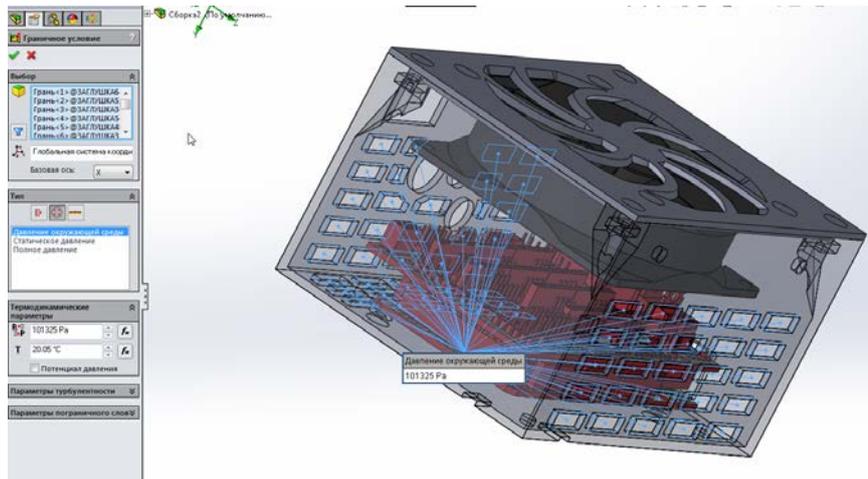


Рисунок 2 – Задание граничных условий

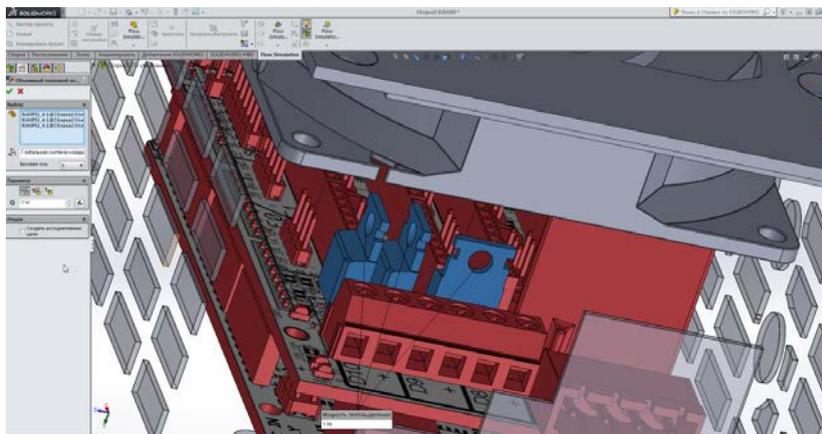


Рисунок 3 – Задание условий нагрева компонентов

На рис. 2 и рис. 3 показано определение граничных условий в рамках подготовительного этапа расчетов. На рис. 2 задаются граничные условия на вентиляционных отверстиях корпуса, показывающие, что в этих отверстиях давление газа равняется атмосферному.

На рис.3 показано, как задаются условия нагрева компонентов.

Благодаря совмещению теплового и газодинамического расчета, становится возможным детально проанализировать качество охлаждения каждого конкретного элемента печатной платы для конкретной конструкции системы охлаждения [3]. Это качество выгодно отличает Flow Simulation от традиционных методов расчета тепловых потоков.

2 Анализ полученных данных расчета

Для удобства анализа полученных данных расчета предусмотрено большое количество вариантов визуализации данных, каждый из которых удобен по-своему.

1) Траектории потоков (рис. 4) – удобны для отображения картины движения «в целом».

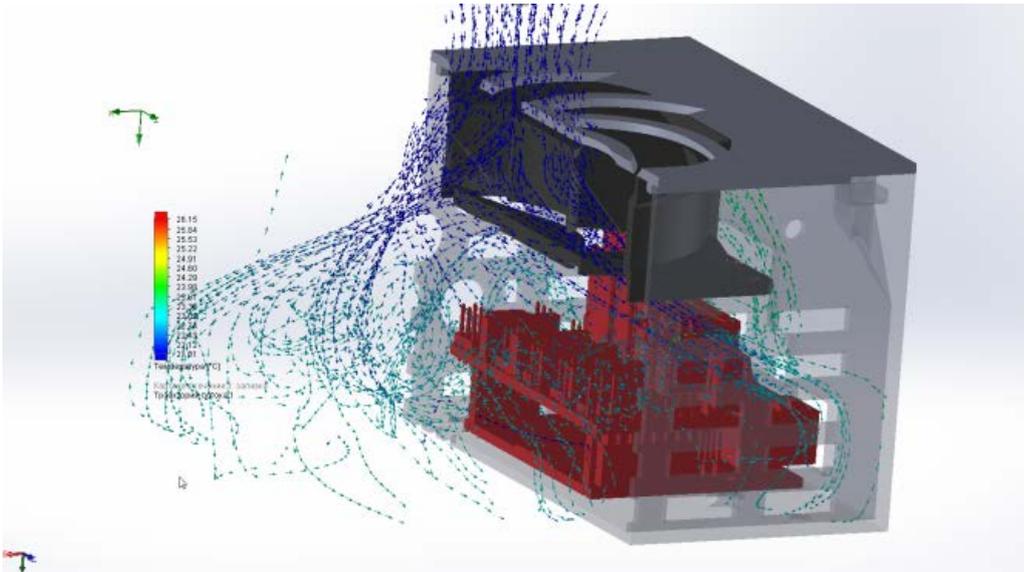


Рисунок 4 – Траектории потоков

2) Картины в сечении (рис. 5) – позволяют сделать «срез» и визуализировать данные в плоскости.

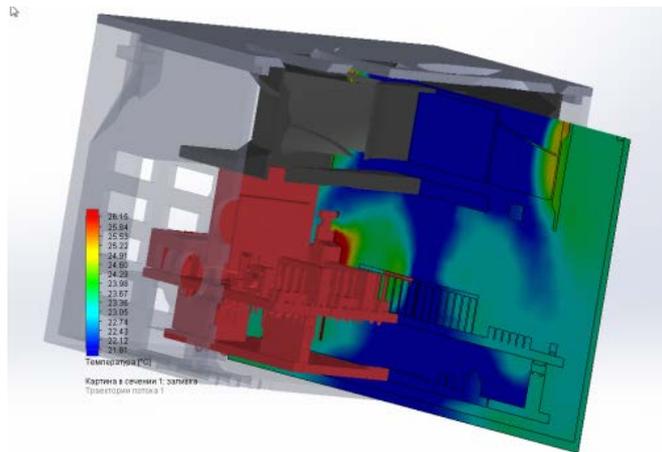


Рисунок 5 – Картина в сечении

3) Картина на поверхности (рис. 6) – удобный способ поиска областей наибольшего нагрева.

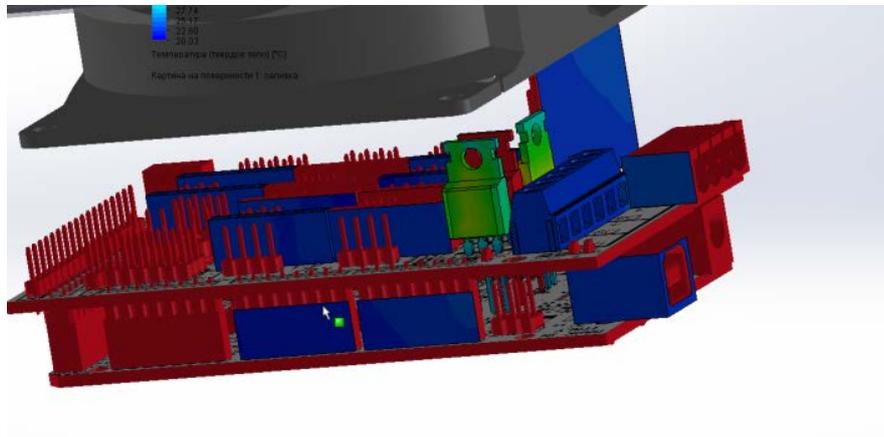


Рисунок 6 – Температура на поверхности компонента

Заключение

Анализ тепловых режимов является одним из ключевых этапов проектирования электронной аппаратуры. Он позволяет оценить работоспособность изделия в заданных условиях эксплуатации и правильность выбора системы охлаждения.

Преимуществом современных систем моделирования гидро- и газодинамических потоков является более точная и точечная оценка широкого спектра параметров с возможностью удобной визуализации данных, что существенно сокращает временные затраты на разработку устройства и уменьшает вероятность ошибок проектирования.

Литература

1. Москаленко К.И., Соловьев В.А. Моделирование тепловых режимов элементов на печатной плате средствами САПР — М: Молодежный научно-технический вестник, 2016. — 7 с.
2. SOLIDWORKS Flow Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/flow-simulation.htm> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 26.02.2018).
3. Расчёт систем охлаждения с помощью SOLIDWORKS Flow Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18636 – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 26.02.2018).

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЦЕВОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА
ЗНАЧЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МИШЕНИ
ПРИ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ С ЖИДКИМ КАТОДОМ**

Матанин А.Р., Храмова А.А., Полин Д.А., Васильев Д.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

**THE INFLUENCE OF THE RING MAGNETIC SYSTEM PARAMETERS ON THE
VALUE OF THE MAGNETIC FIELD INDUCTION ON THE TARGET SURFACE
DURING MAGNETRON SPUTTERING WITH LIQUID PHASE**

Matanin A.R., Khramova A.A., Polin D.A., Vasiliev D.D.
Supervisor: PhD., docent., Moiseev K.M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье исследовано влияние параметров кольцевой магнитной системы на значение тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени. Описана методика сравнения магнитных систем по полученным в ходе моделирования графикам зависимости индукции магнитного поля от расстояния до оси магнетрона. Получены численные значения, описывающие влияние различных параметров кольцевой магнитной системы на мощность разряда.

Abstract

In the article the influence of the parameters of the ring magnetic system on the value of the tangential component of the induction of the magnetic field on the target surface has been studied. The method of comparison of magnetic systems has been described by the graphs obtained in the course of simulation of the dependence of magnetic field induction on the distance to the magnetron axis. Numerical values have been obtained that describe the effect of various parameters of the ring magnetic system on the discharge power.

Введение

В настоящее время существует несколько методов нанесения тонких плёнок в вакууме. Одним из наиболее распространенных является метод магнетронного распыления. Однако к недостаткам данного метода относятся низкие скорости осаждения плёнок и их относительно невысокая чистота. Магнетронное распыление из жидкой фазы позволяет испарять изолированную от охлаждаемого магнетрона мишень вдобавок к ее распылению, что значительно повышает скорость осаждения. Ещё одним достоинством этого метода распыления является прохождение материала через плазму, благодаря чему происходит ионизация испаряемого материала, что позволяет влиять на характеристики пленки потенциалом смещения, подаваемым на подложку. Также при проведении процесса в режиме самораспыления вследствие высокого давления насыщенных паров материала мишени возможно прекратить подачу рабочего газа, что повышает качество плёнки и снижает количество примесей в ней [1, 2].

Для реализации магнетронного распыления из жидкой фазы необходимо достичь мощности разряда, достаточной для расплавления мишени. На мощность разряда при магнетронном распылении оказывают влияние следующие параметры процесса: подаваемое напряжение, давление рабочего газа и значение тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени. Подводимое напряжение и давление рабочего газа ограничены характеристиками установки, в связи с чем ограничен диапазон значений мощности разряда, которые можно получать, варьируя эти два параметра. Для дальнейшего повышения мощности разряда необходимо изменять магнитную систему для повышения тангенциальной составляющей индукции магнитного

поля на поверхности мишени. Целью данной работы является определения влияния параметров магнитной системы на значение тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени,

Задачами данной работы являются описание методики сравнения магнитных систем, моделирование магнитных систем с различными параметрами, сравнение магнитных систем по результатам, полученным в ходе моделирования.

1 Описание магнитной системы

Кольцевая магнитная система, которая подлежит исследованию, состоит из магнитопровода, центрального цилиндрического и кольцевого неодимовых магнитов (рисунок 1).

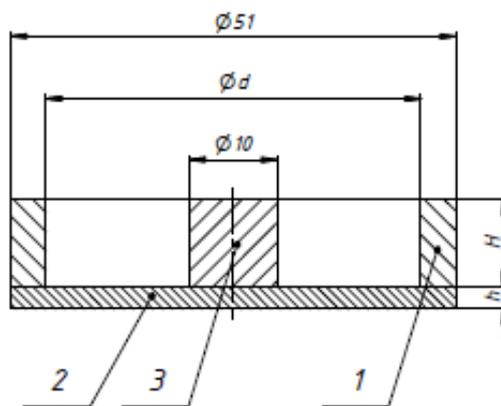


Рисунок 1 – Кольцевая магнитная система: 1 – кольцевой магнит; 2 – магнитопровод; 3 – центральный цилиндрический магнит

Внешний диаметр кольцевого магнита ограничен диаметром отверстия в корпусе магнетрона и типоразмером магнетрона, а диаметр центрального магнита ограничен отверстием в крышке магнетрона. Поэтому в данной работе будет рассмотрено влияние на значение индукции на поверхности мишени следующих параметров магнитной системы:

- толщина магнитопровода (h);
- высота магнитов (H);
- Внутренний диаметр кольцевого магнита (d).

2 Описание методики сравнения магнитных систем

Для выявления влияния параметров магнитной системы на значение магнитной индукции на поверхности мишени необходимо провести моделирование магнитных систем с различными значениями этих параметров, а затем сравнить между собой результаты моделирования. Для сравнения результатов моделирования используются два параметра: размер области магнитной «ловушки» (область, в которой значение индукции магнитного поля превышает 80 мТл), а также среднее значение индукции магнитного поля в области магнитной ловушки (рисунок 2, а, б) [3].

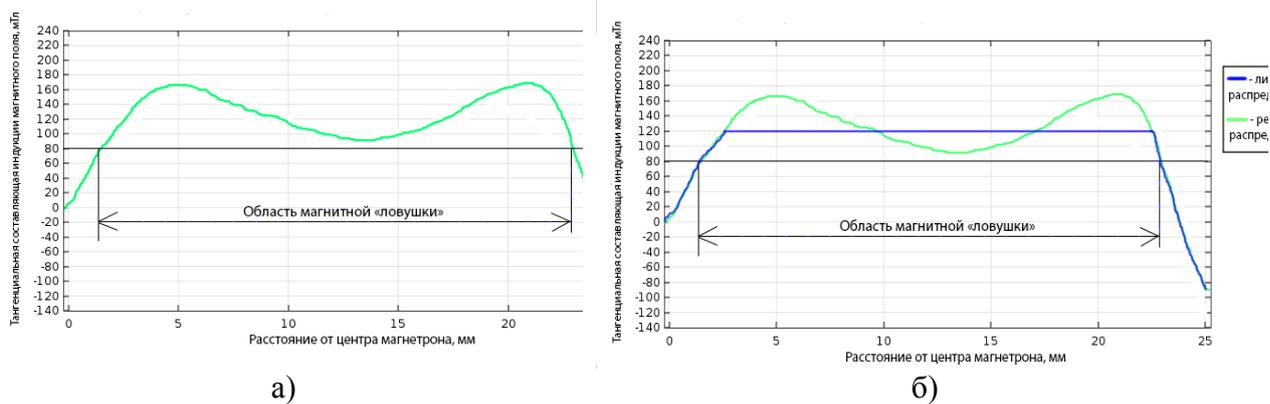


Рисунок 2 – Пояснение параметров, используемых для сравнения: а) размер области магнитной «ловушки»; б) среднее значение индукции магнитного поля в области магнитной «ловушки»

3 Сравнение результатов моделирования

В ходе моделирования были получены графики зависимости тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени от расстояния до оси магнетрона (рисунок 3, а, б, в).

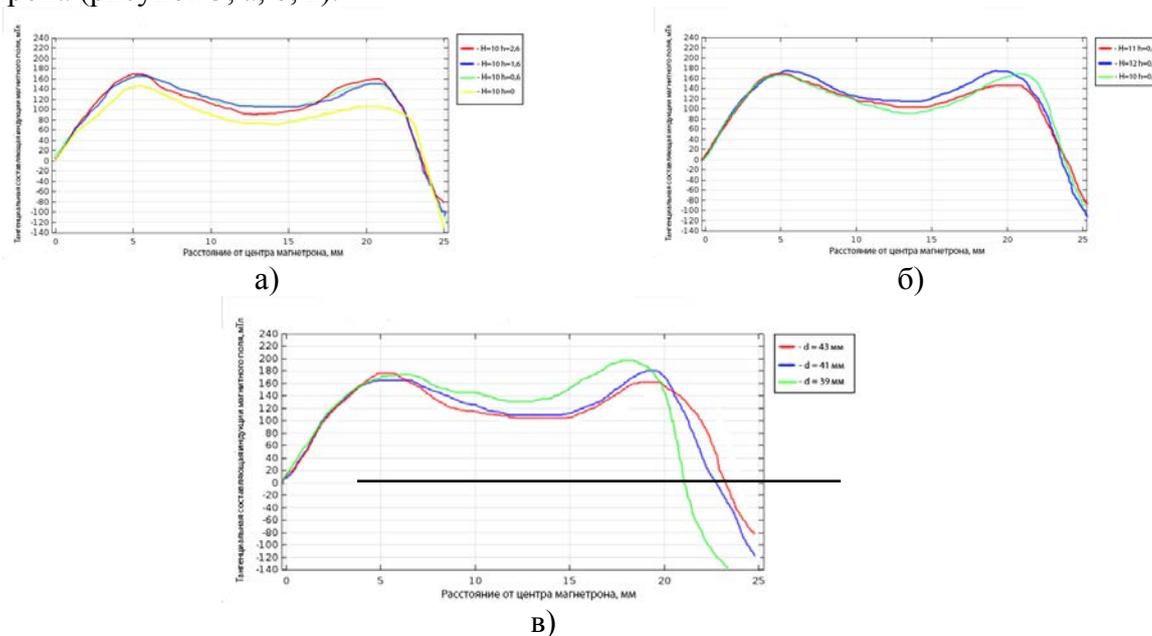


Рисунок 3 – Зависимость индукции магнитного поля от расстояния до оси магнетрона для определения влияния на мощность разряда: а) толщины магнитопровода; б) высоты магнитов; в) толщины кольцевого магнита

Для выявления влияния различных параметров кольцевой магнитной системы на мощность разряда проведено сравнение магнитных систем по методике, описанной выше. Результаты сравнения приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Определение влияния толщины магнитопровода на мощность разряда

Толщина магнитопровода, мм	Размер магнитной «ловушки», мм	Значение индукции магнитного поля, мТл
2,6	20,5	120
1,6	20,5	120
0,6	20,5	120
0	20,5	110

Таблица 2 – Определение влияния высоты магнитов на мощность разряда

Высота магнитов, мм	Размер магнитной «ловушки», мм	Значение индукции магнитного поля, мТл
10	20,5	125
11	20,5	130
12	20,5	150

Таблица 3 – Определение влияния толщины кольцевого магнита на мощность разряда

Толщина кольцевого магнита, мм	Размер магнитной «ловушки», мм	Значение индукции магнитного поля, мТл
4	21	140
5	20	145
6	19	165

На основании полученных значений можно сделать следующие выводы:

- толщина магнитопровода не влияет на значение тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени, при отсутствии магнитопровода значение индукции уменьшается на 9% (на 10 мТл). Толщина магнитопровода не оказывает влияния на размер магнитной «ловушки»;
- увеличение высоты магнитов приводит к увеличению тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени. При высоте магнитов, равной 12 мм, величина магнитного поля составляет 150 мТл. Таким образом, изменение высоты магнитов от 10 мм до 12 мм приведет к увеличению значения магнитной индукции на поверхности мишени на 20% (на 25 мТл);
- при увеличении толщины магнитного кольца от 4 мм до 6 мм индукция магнитного поля увеличивается в 1,18 раз, при этом площадь области магнитной «ловушки» уменьшается в 1,2 раза. Поэтому увеличение толщины кольцевого магнита не дает выигрыш в мощности разряда, подводимой к мишени.

Заключение

На основании полученных значений можно сделать следующие выводы: толщина магнитопровода не влияет на значение тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени, при отсутствии магнитопровода значение индукции уменьшается на 9% (на 10 мТл). Увеличение высоты магнитов приводит к повышению тангенциальной составляющей индукции магнитного поля на поверхности мишени, увеличение высоты магнитов от 10 мм до 12 мм приведет к повышению значения магнитной индукции на поверхности мишени на 20% (на 25 мТл). Увеличение толщины кольцевого магнита не дает выигрыш в мощности разряда, подводимой к мишени. Таким образом, для повышения индукции магнитного поля на поверхности мишени, и, как следствие, увеличения мощности разряда необходимо выбирать магниты максимально возможной в силу конструктивных особенностей магнетрона высоты.

В дальнейшем планируется собрать магнитную систему со следующими параметрами: высота магнитов 12 мм, толщина кольцевого магнита 4 мм, толщина магнитопровода 0,6 мм, так как такая магнитная система, согласно результатам моделирования, обладает наибольшим значением индукции магнитного поля. Также планируется провести снятие ВАХ магнетронного разряда с выбранной магнитной системой для последующего ее сравнения с ВАХ магнетронного разряда с имеющейся магнитной системой.

Литература

1. Осаждение металлических пленок путем распыления из жидкой фазы / Б.С. Данилин [и др.] // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника. – 1978. - № 2. – С. 84 – 87.
2. Магнетронный разряд с расплавленным катодом / А.В. Тумаркин [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1. - № 3. – С. 276 – 282.
3. Николаев М. В. Магнетронная распылительная система с жидкофазным катодом / М. В. Николаев, Д. А. Зайцев ; науч. рук. А. В. Юрьева // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых : сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, г. Томск, 22-24 апреля 2015 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 193-200].

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Дюбанов В.А., Езенкова Д.А., Мозер К.В.

Научный руководитель: к.т.н. Панфилова Е.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ 11, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF THE ELECTROCHEMICAL METHOD OF PRODUCTION OF METAMATERIALS

Dubanov V.A., Ezenkova D.A., Mozer K.V.

Supervisor: Cand. Eng. Sci. Panfilova E.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе изложены исследования процесса получения метаматериала на основе опаловых матриц посредством одновременного с формированием матриц заполнения их пустот материалом включений. Даны теоретические предпосылки и результаты экспериментальных исследований формирования опаловых плёнок в условиях электрофореза. Приведены результаты экспериментальных исследований разрабатываемого процесса.

Abstract

The paper describes the study on the process of producing a metamaterial based on opal matrices by simultaneously formation of the matrix and filling the voids by inclusions material. Theoretical premises and results of experimental studies of the formation of opal films under conditions of electrophoresis are given. The results of experimental studies of the process being developed are presented.

Введение

Одним из приоритетных направлений современной науки и техники является разработка новых материалов, в частности, создание метаматериалов, которые обладают комплексом уникальных физических и механических свойств.

Метаматериал — композиционный материал, свойства которого обусловлены не столько свойствами составляющих его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой. Они представляют собой искусственно сформированные и особым образом структурированные среды, обладающие электромагнитными или акустическими свойствами, сложно достижимыми технологически либо не встречающимися в природе. Главным отличительным свойством метаматериалов является отрицательный показатель преломления.

Метаматериалы могут применяться в военной промышленности (маскирующая одежда), а также в антенной технике (изготовление подложек и излучателей в печатных антеннах). Основой для получения метаматериала могут являться опаловые нанокompозиты (рис. 1) – структуры, формируемые на основе составленной из микросфер диаметром 100...9000 мкм регулярной матрицы, пустоты которой заполняются материалом внедрения.

Традиционную технологию получения опаловых композитов можно разделить на два основных этапа:

- формирование матрицы;
- заполнение матрицы материалом внедрения.

Наиболее распространены матрицы на основе оксида кремния, так как данный элемент широко распространён, прост в получении и очистке, а также обладает хорошими электрофизическими, теплофизическими и химическими свойствами. Матрица на основе оксида кремния позволяет получать образцы со структурированной и контролируемой пористостью. Опал имеет гранецентрированную кубическую решётку частиц аморфного

кремнезёма, объём пустот которой составляет 26%. Также в качестве материала сфер может выступать полистирол и полиметилметакрилат.

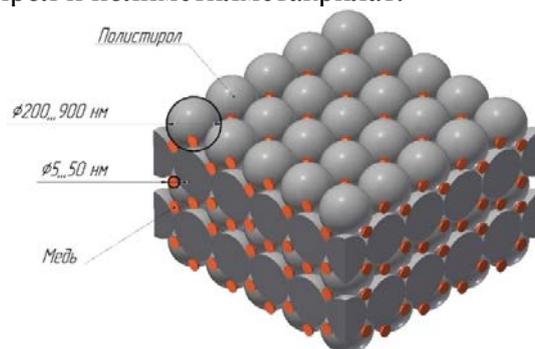


Рисунок 1 - Структура опалового нанокompозита

У технологии последовательного формирования матрицы и заполнения ее пустот материалом есть существенный недостаток: «закупоривание» каналов матрицы, соединяющих заполненные пустоты у поверхности с пустотами, расположенными во внутренних слоях. Для решения этой проблемы предлагается использовать метод одновременного с формированием матрицы заполнения ее пустот материалом внедрения (рис. 1). Наиболее просто такой метод реализуется при совмещении процессов седиментации частиц кремнезема из коллоидного раствора и электрохимического осаждения материала внедрения (рис. 2).

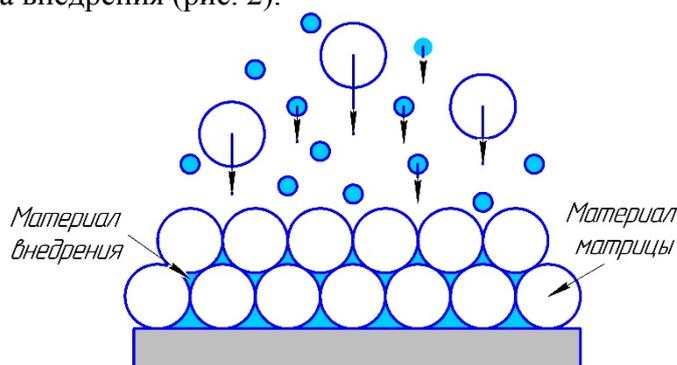


Рисунок 2 - Метод одновременного с формированием матрицы заполнения ее пустот материалом внедрения

В этом случае седиментация частиц кремнезема будет осуществляться в условиях электрофореза.

1 Теоретические предпосылки

Седиментация в условиях электрофореза является одним из самых старых методов получения плёночных структур. Покрyтия, получаемые данным способом, нашли широкое применение в промышленности, так как этот метод позволяет работать практически с любыми материалами.

Сущность процесса: в раствор опускают две пластины - анод и катод. Далее подают постоянный электрический ток, под воздействием тока частицы осаждаются на одну из пластин, образуя плёнку.

Процесс электрофореза можно охарактеризовать такими параметрами как: материал покрытия, электрохимические характеристики материала, время процесса, температура, плотность тока, ориентация анода относительно катода.

Данные параметры оказывают влияние на скорость роста плёнки и её структуру.

Чтобы понять поведение частиц матрицы в условиях электрофореза была получена зависимость скорости осаждения от разности потенциалов и подаваемого тока.

Для частиц матрицы, усредняя размер частиц по всему объёму, и, тем самым, пренебрегая силами притяжения и электрического отталкивания между частицами, из уравнения сил, действующих на частицу (рис. 3), можно вывести выражение для расчета скорости седиментации:

$$v = \frac{Uq}{6d\pi r\mu} - \frac{2r^2g(\rho - \rho_0)}{9\mu} \quad (1)$$

Выражение (1) показывает, что, варьируя параметрами в условиях электрофореза, можно добиться более быстрого и структурированного осаждения частиц. Также, вследствие преобладания сил электрического поля над силами тяжести, устраняется проблема неоднородности формируемой структуры, которая могла бы возникнуть при одновременном осаждении частиц кремнезема и материала внедрения в условиях естественной седиментации.

Частицы материала внедрения в условиях электрохимического процесса движутся под действием электрических сил, поэтому, исходя из закона Фарадея, получим выражение для скорости роста пленки материала внедрения:

$$v = \frac{MI}{zFS} \quad (2)$$

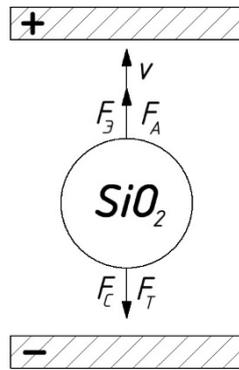


Рисунок 3 - Седиментация частиц кремнезема с применением электрофореза

2 Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

В рамках данной работы были проведены эксперименты по осаждению коллоидного раствора частиц кремнезёма и полистирола в условиях электрофореза с различной ориентацией подложек в пространстве и предварительные эксперименты по формированию композитного материала.

Было рассмотрено 2 варианта расположения подложек:

- вертикально (рис.4);
- горизонтально (рис 7);

Приложенная разность потенциалов U к подложкам была равна 3В.

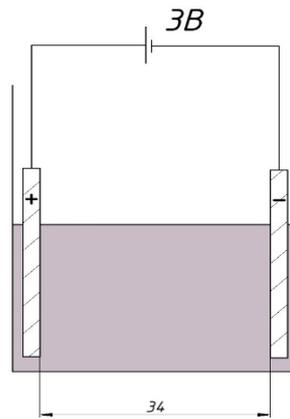


Рисунок 4 - Схема установки для осаждения на вертикально расположенные подложки

На рисунках 4 и 5 представлены результаты эксперимента при вертикальном расположении подложек.



Рисунок 5 - Анодная вертикальная подложка



Рисунок 6 - Катодная вертикальная подложка

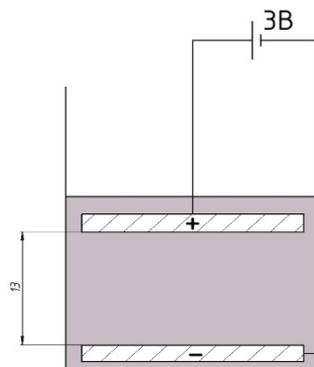


Рисунок 7 - Схема установки для осаждения на вертикально расположенные подложки



Рисунок 8 - Анодная горизонтальная подложка

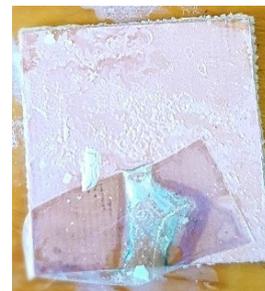


Рисунок 9 - Катодная горизонтальная подложка

На рисунках 7 и 8 представлены результаты эксперимента при горизонтальном расположении подложек. В ходе экспериментов было отмечено, что частицы интенсивнее всего осаждались на анодную подложку. Вследствие большой разности потенциалов плёнки разрушались из-за остаточных напряжений.

Перед проведением эксперимента по осаждению полистирола была проведена модернизация экспериментального стенда. Появилась возможность варьировать подаваемой разностью потенциалов. Наилучшее качество пленки было достигнуто при разности потенциалов 5 мВ по схеме рис. 7.



Рисунок 10 - Плёнка, полученная при осаждении полистирола

При проведении экспериментов с материалом матрицы было отмечено, что и частицы кремнезёма, и частицы полистирола имеют внешний отрицательный электрический слой. Осаждение происходило преимущественно на анодную подложку. Поэтому, для осуществления процесса совместного осаждения матрицы и материала внедрения необходимо выбрать режим, при котором сила тяжести будет превалировать над силой электрического взаимодействия с тем, чтобы опаловая пленка формировалась на катоде.

Главным условием формирования нанокompозита является равенство времени осаждения одного слоя сферических частиц матрицы и времени формирования слоя материала внедрения толщиной равной диаметру сферических частиц.

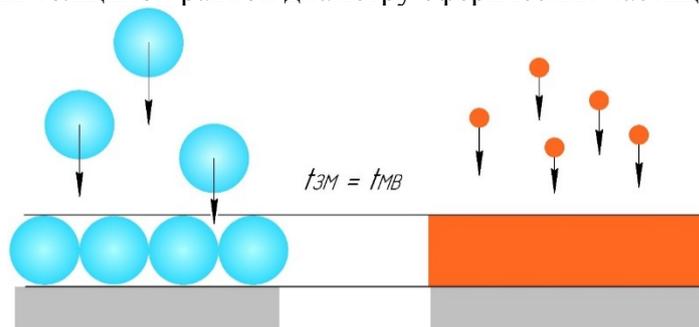


Рисунок 11 - Условие формирования нанокompозита

Эксперимент проводился при горизонтальном расположении подложек. В качестве катода выступала нижняя подложка.



Рисунок 12 - Структура, полученная при одновременном осаждении частиц

Полученная структура представлена на рис. 12. Исследование ее структуры и оптических свойств позволит оптимизировать процесс формирования нанокompозита.

Заключение

Результаты представленного исследования доказывают возможность формирования метаматериала на основе опаловых нанокompозитов. Наиболее целесообразным способом получения такого композита является одновременное с формированием опаловой матрицы заполнение ее пустот материалом внедрения. Проведение дальнейших экспериментальных исследований этого процесса позволит оптимизировать его режимы.

Литература

1. Гольдштрах М.А. Газочувствительные свойства тонких пленок металлокомплексов этиопорфирина-II: автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.02. М., 2006. 24 с.
2. Григорьев Ф.И. Осаждение тонких пленок их низкотемпературной плазмы и ионных пучков в технологии микроэлектроники: учебное пособие. М., 2006. 36 с.
3. Максимов А.И. Газочувствительные полупроводниковые нанокompозиты на основе диоксида олова, сформированные золь-гель технологиями: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.10. СПб, 2005. 158 с.
4. Механизмы окисления тонких металлических пленок олова / Чернышов Ф.М. [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. 2012. Т.14. №3. С. 328-333.
5. Булыгина Е.В. и др. Формирование нанокompозитов методами совместного с самоорганизацией матрицы базового материала заполнения ее пустот материалами внедрения // Материалы XXIII Международного симпозиума «Тонкие пленки в электронике» - М., ЦНИТИ «ТЕХНОМАШ», 2010. – с. 139-144.

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ БЛОКА ПОДРЕШЕТКА АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Никитенко М.В.

Научный руководитель: доктор технических наук, Зинченко Л.А.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

HEATING ELEMENT OF BLOCK OF SUBTRINS OF ACTIVE PHASEDARRAY ANTENNA

Nikitenko M.V.

Supervisor: Doctor of Technical Sciences, Zinchenko L.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается возможность сокращения времени развертывания комплексов наземного базирования. Проведена оценка того, как увеличение мощности нагревательного элемента повлияет на время выхода элементов в рабочий режим и влияние установившихся температур на конструкционную целостность нагревательного элемента. В заключении представлены графики с результатами и вывод о том, что конечная мощность должна быть выбрана в соответствии с возможностями бортового оборудования.

Abstract

The article considers the possibility of shortening the deployment time of ground-based systems. An assessment was made of how an increase in the power of the heating element will affect the time that the elements enter operating mode and the influence of the steady temperatures on the structural integrity of the heating element. In conclusion, the graphs with the results and the conclusion that the final power should be selected in accordance with the capabilities of the on-board equipment are presented.

Введение

Одной из сегодняшних разработок ПАО «НПО «Алмаз» является высокопотенциальное антенное устройство (АУ) на базе активной фазированной антенной решетки (АФАР). В связи с тем, что ЭРА не может по техническим параметрам начинать свою работу с минусовых температур, необходим нагревательный элемент, выводящий элементы на стартовую температуру, поддержание положительных температур внутри приборов требуется для нормальной работы многих ЭРИ и для предотвращения выпадения конденсата. Для нагрева антенных устройств были разработаны и изготовлены плоские, гибкие электронагревательные устройства на основе углеродной нити УВИС-Н-22. В качестве изолирующей подложки использовалась стеклоткань «ИЗОЛА».

Глобальной целью представленной исследовательской работы является сокращение времени развертывания комплексов наземного базирования.

Работа проводилась в несколько итераций, использовались различные методики для уточнения расчетов и полученных значений $\alpha_{\text{ж}}$, а также было проведено сравнение этих методик.

В первой итерацией оценена динамика теплообмена, для чего был проведен анализ по уравнениям теплового баланса тел в нестационарном тепловом

$$\text{режиме:} \left\{ \begin{array}{l} m_{\text{БП}} c \frac{dT_{\text{БП}}}{d\tau} = P - \alpha_{\kappa} S (T_{\text{БП}} - T_0) - \varepsilon \sigma_0 S (T_{\text{БП}}^4 - T_0^4) - \\ \quad - \varepsilon_n \sigma_0 S (T_{\text{БП}}^4 - T_{\text{К}}^4) - K S (T_{\text{БП}} - T_{\text{К}}) \\ m_{\text{К}} c \frac{dT_{\text{К}}}{d\tau} = K S (T_{\text{БП}} - T_{\text{К}}) + \varepsilon_n \sigma_0 S (T_{\text{БП}}^4 - T_{\text{К}}^4) - \\ \quad - \alpha_{\kappa} S (T_{\text{К}} - T_0) - \varepsilon \sigma_0 S (T_{\text{К}}^4 - T_0^4) \end{array} \right. , \quad (1)$$

где S – площадь поверхностей тел, находящихся в теплообмене друг с другом, или со средой. Для обоих тел величина S принята одинаковой и равной площади передней (задней) стенки АУ, т.к. боковыми стенками каркаса можно пренебречь,

P – общая мощность нагревателей,

α_{κ} – коэффициент теплоотдачи во внешний воздух,

K – коэффициент конвективной теплопередачи между телами,

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана,

c – удельная теплоемкость тел,

$m_{\text{БП}}$ – масса тела, моделирующего БП,

$m_{\text{К}}$ – масса тела, моделирующего каркас,

$T_{\text{БП}}$ – температура тела, моделирующего БП,

$T_{\text{К}}$ – температура тела, моделирующего каркас,

T_0 – температура внешнего воздуха,

ε – степень черноты поверхностей тел, принимаемая равной 0,9, как для окрашенных поверхностей,

ε_n – приведенная степень черноты системы тел, принимаемая равной 0,82, как для двух неограниченных плоскостей с $\varepsilon = 0,9$,

τ – время.

Коэффициент α_{κ} вычисляется по формуле:

$$\alpha_{\kappa} = 2,3 + 11,6 \sqrt{w} , \quad (2)$$

где w – скорость ветра.

При скорости ветра 10 м/с $\alpha_{\text{нар}} = 40$ Вт/(м²·К).

Величина S равна 15 м².

Коэффициент K при естественном движении воздуха ориентировочно равен 4 Вт/(м²·К).

Вычисления по уравнениям (1) дают, что суммарная мощность нагревателей в АУ должна быть не менее 25 кВт.

Решение системы (1) при начальных условиях $T_{\text{БП}}(0) = T_{\text{К}}(0) = 223$ К (–50 °С) и при $P = 25000$ Вт графически приведено на рисунке 1.

Из рис. 1 следует, что при $P = 25$ кВт БП прогреются с температуры –50°С до температуры –20 °С не менее, чем за 6 часов. При этом температура остальных элементов увеличится до –45 °С. Температура воздуха внутри АУ будет составлять около –30°С, т.е. вязкость ОЖ в коллекторах АУ для запуска СЖО будет приемлемой. С учетом погрешности моделирования реальная потребная мощность нагревателей может быть больше расчетной на ~ 30 %, т.е. мощность системы обогрева будет составлять (25...35) кВт.

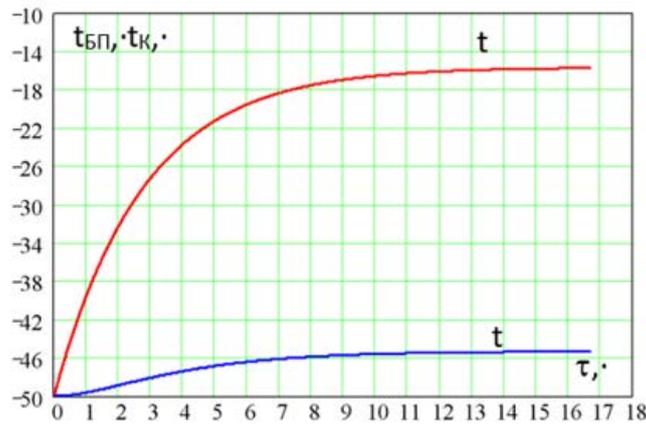


Рисунок 1 – График изменения температуры во времени

Второй итерацией производим расчет с помощью критериев Грасгофа и Прандтля, подставляя суммарную наружную мощность, полученную выше. Для этого заменяем конструкцию физической тепловой моделью, в которой нагретая зона представляется в виде параллелепипеда. Для выполнения расчета необходимы следующие исходные данные: ширина L_1 , глубина L_2 , высота L_3 ; размеры нагретой зоны $l_1 \times l_2 \times l_3$, мощность, рассеиваемая блоком P_0 , базовая температура t_0 . Учитывая все данные рассчитываем удельные поверхностную мощность корпуса блока q_k по формуле: $q_k = P_0/S_k$, где S_k - площадь внешней поверхности корпуса блока, $S_k = 2(L_1L_2 + L_2L_3 + L_1L_3)$. По графику на рисунке 2 задаем перегрев корпуса блока Δt_k . Далее определяем коэффициент лучеиспускания поверхностей корпуса:

$$\alpha_k = \varepsilon * 5,67 \left[\left(\frac{t_0 + \Delta t_k + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right] / \Delta t_k,$$

где ε – степень черноты поверхности корпуса [2].

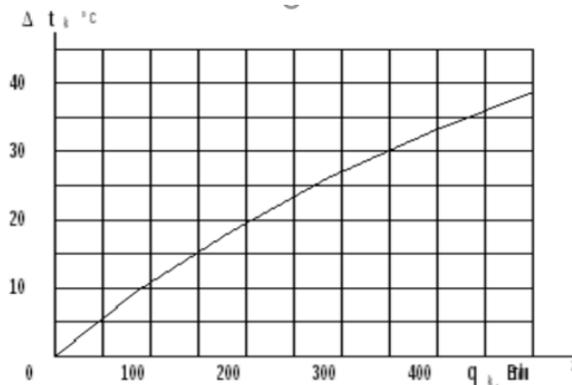


Рисунок 2 – График зависимости перегрева корпуса блока от удельной поверхностной мощности

Подставляя исходные данные, получаем $\alpha_k \approx 1,4 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$.

В третьей итерации анализируем полученные результаты и видим расхождение при подсчете различными методиками. Для проверки результатов производим проверку, строя математическую модель в программном пакете SOLIDWORKS FlowSimulation, используя моделирование методом объемных элементов. За основу расчетной модели была взята 3Dмодель ППМ, представленная на рисунке 3:

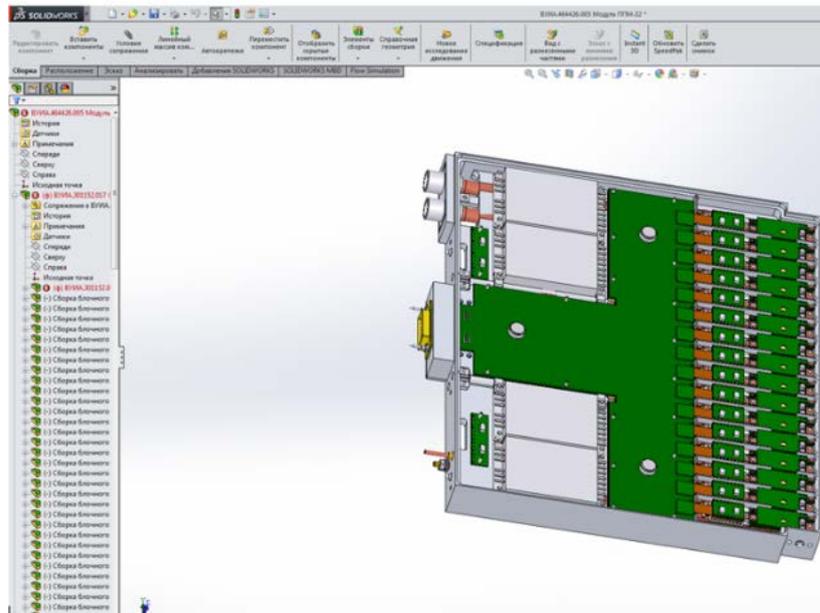


Рисунок 2 – 3D модель ППМ

Для расчета модель была упрощена, убраны все незначимые элементы. Жидкость в канале жидкостного охлаждения представлена как твердое тело. Так можно сделать потому что нет движения жидкости. Задаем твердому телу параметры жидкости, плотность, теплоемкость и теплопроводность, теряется распределение температуры жидкости внутри, но теплопередача остается неизменной. Нагревательный элемент упрощен и представляет собой 2 слоя текстолита с нитью между ними, на нить нагревательного элемента назначаем 12,5Вт, между НЭ и ППМ применено контактное сопротивление, поскольку оно устанавливается только экспериментальным путем, а эксперимент еще не проводился, оно было задано $8,8 \cdot 10^{-5} \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{Вт}$. Упрощенная модель представлена на рисунке 4:

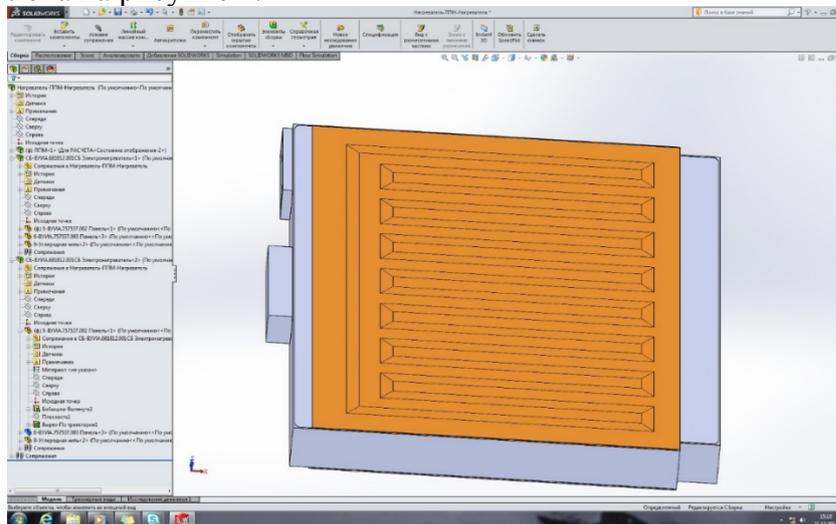


Рисунок 4 – Расчетная модель ППМ

Первый этап решения состоит из стационарной задачи. Задача поставлена как внешняя, включена гравитация для создания естественной конвекции, текучая среда - воздух вокруг.

Начальные внешние условия: температура: окружающего воздуха: -30C ; температура блока подрешетки: -20C

Расчет показал, что задача не имеет стационарного режима, т.е. если мы не выключим нагреватель, то блок сгорит. Результаты расчета представлены на рисунке 5.

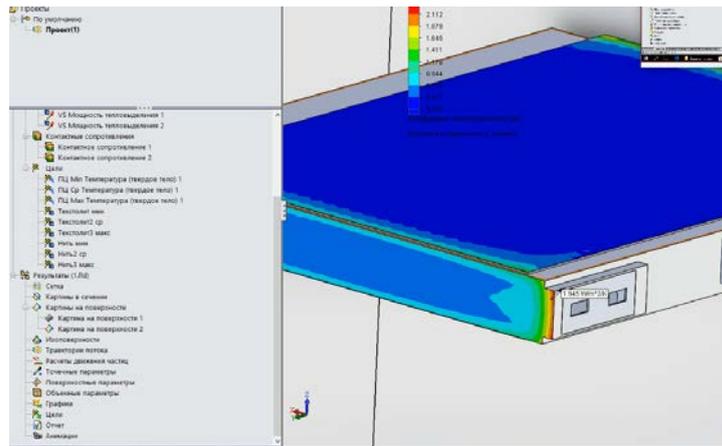


Рисунок 5 - Результаты расчета

После анализа результатов расчета мы видим, что $\alpha_k = 1,2 \text{ Вт /м}^2/\text{К}$, что близко по значению к результату, полученному нами во второй итерации исследования, поэтому это значение будет использоваться далее во втором этапе моделирования и расчетов.

Второй этап заключался в постановке нестационарной задачи. Нестационарные задачи в FlowSimulation решаются от начальных условий до тех пор, пока не будет пройден заданный интервал физического времени задачи. Диапазон расчета был задан равным 6 часов. Нагрев воздуха в течении 6 часов. Задача внутренняя, используем результаты первого этапа, используя α_k и температуру пограничного слоя (от 220 до 250К).

Материал корпуса задаем алюминий. Начальные условия: -223К. В условия на стенках назначаем коэффициент теплоотдачи = 1.2 Вт /м²/К. Температуру прилежащего слоя задаем зависимостью, показанной на рисунке 6:

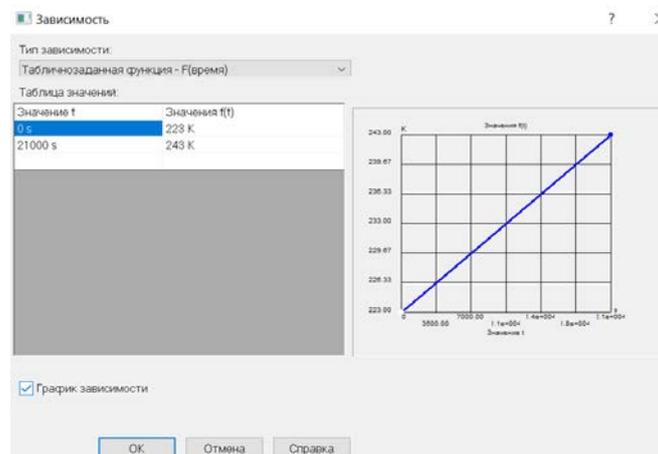


Рисунок 6 – Зависимость температуры прилежащего слоя

Цели, назначенные для расчета следующие: температура твердого тела максимальная, минимальная и средняя, для текстолита, нити и охлаждающей жидкости. Завершение задачи при сходимости всех целей или при физическом времени равном 21000с. С данными параметрами было создано 5 проектов, отличающихся по подаваемой на блок мощностью равной 25Вт, 50Вт, 100Вт, 125Вт и 150Вт. После загрузки результаты были сведены в графики, на которых видна зависимость средней температуры от времени (рисунок 7):

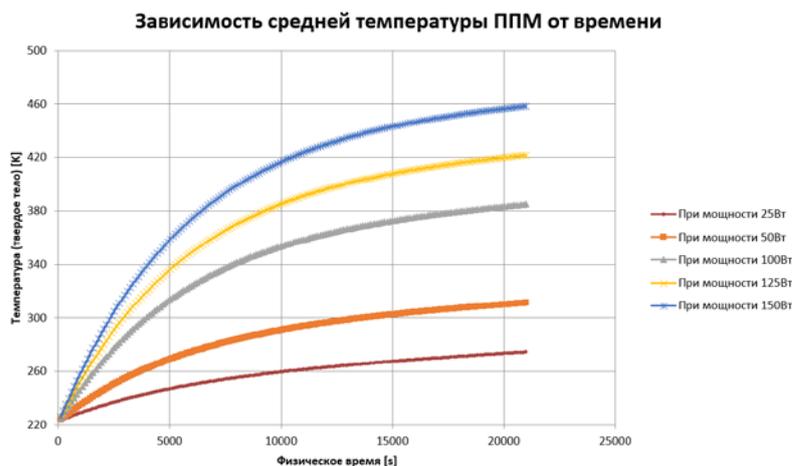


Рисунок 7 – Зависимость средней температуры ППМ от времени

А также графики зависимости максимальной температуры нити (рисунок 7) и текстолита (рисунок 8), на которых видно, что даже при подаче мощности в 150Вт температура элементов не выходит за допустимую в ТУ температуру.

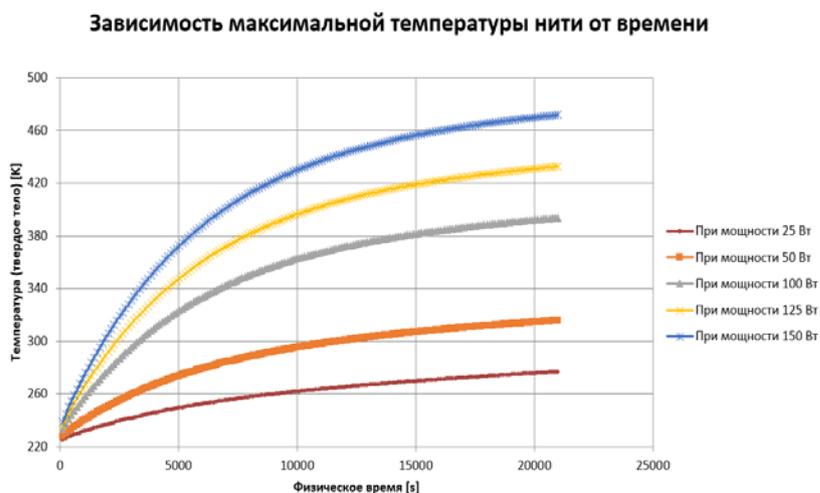


Рисунок 7 - Зависимости максимальной температуры нити от времени

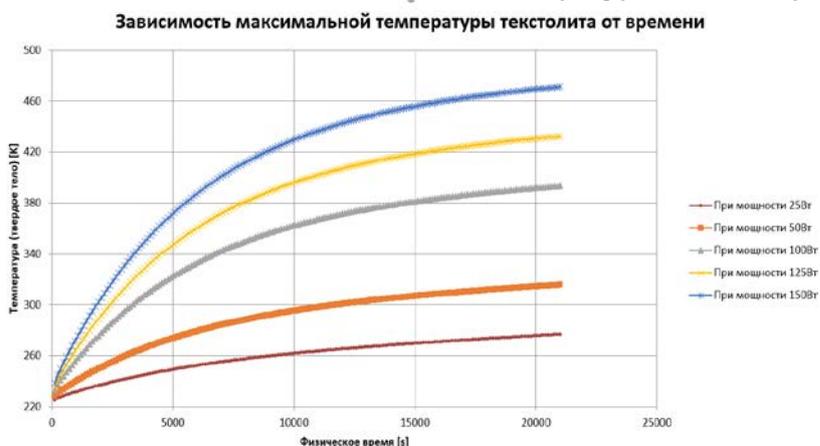


Рисунок 8 - Зависимости максимальной температуры текстолита от времени

Далее представлен график (рисунок 9) зависимости времени нагрева блока от мощности, из которого видно, что чем большую мощность мы подаем, тем быстрее выходим в режим рабочей температуры.

Зависимость времени нагрева от мощности

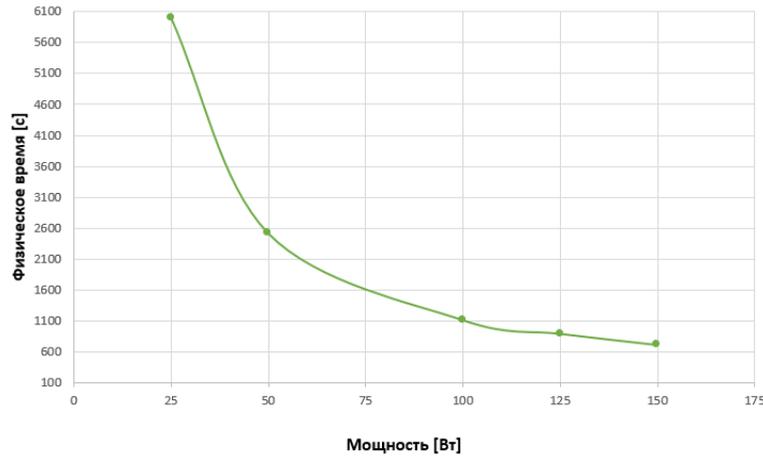


Рисунок 9 – График зависимости времени нагрева от мощности

Проделанная исследовательская работа показывает, что время выхода комплексов в рабочий режим может быть уменьшено, так как конечная мощность нагрева даже при значении в 150Вт не приводит к разрушению нагревательного элемента и ограничена лишь от возможностей бортового оборудования.

Литература

1. Аверин И.Б., Елисеев А.Д., Журавлев В.Г., Столбовской В.Н. Система обеспечения теплового режима АФАР. – Морские комплексы и системы ПВО-ПРО: сборник докладов научно-технической конференции ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» к 80-летию со дня образования ОАО «МНИИРЭ «Альтаир». – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2013. – С.233-236.
2. Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев –М.: Радио и связь.«Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов» , 1989.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Никитин М.А

Научный руководитель: Цивинская Т.А

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF CONSTRUCTION OF THE LAST MILE IN SENSOR NETWORKS

Nikitin M.A

Supervisor: Tsivinskaya T.A

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрены методы и средства построения последней мили в сенсорных сетях.

Abstract

The article deals with methods and tools of constructing last mile in sensor networks.

Введение

Последняя миля — канал, соединяющий конечное (клиентское) оборудование с узлом доступа провайдера (оператора связи). Например, при предоставлении услуги подключения к сети Интернет последняя миля — участок от порта коммутатора провайдера на его узле связи до порта маршрутизатора клиента в его офисе. Для услуг коммутируемого (dial-up, диалупного) подключения последняя миля — это участок между модемом пользователя и модемом (модемным пулом) провайдера. В последнюю милю обычно не включается разводка проводов внутри здания.

Беспроводная сенсорная сеть или беспроводная датчиковая сеть— распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений от одного узла к другому.

Современные технологии передачи данных и связи позволяют обеспечивать высокоскоростную передачу данных на дальних расстояниях. Однако эти решения хороши только для соединения крупных узлов сети – как правило, такими узлами являются провайдеры. Применение таких сложных высокоскоростных решений для связи узлов и конечных потребителей (т.е., связь интернет-провайдеров и абонентов) экономически абсолютно не выгодно. Поэтому перед провайдерами возникла т.н. "проблема последней мили" – необходимость дешево и просто обеспечить абонентов быстрым доступом в интернет.

К настоящему времени появилось множество технологий последней мили, и перед любым оператором связи стоит задача выбора технологии, оптимально решающей задачу доставки любого вида трафика своим абонентам.

Универсального решения этой задачи не существует, у каждой технологии есть своя область применения, свои преимущества и недостатки. На выбор того или инготехнологического решения влияет ряд факторов, в том числе:

- стратегия оператора,
- целевая аудитория,
- предлагаемые в настоящее время и планируемые к предоставлению услуги,
- размер инвестиций в развитие сети и срок их окупаемости,

- уже имеющаяся сетевая инфраструктура, ресурсы для ее поддержания в работоспособном состоянии,
- время, необходимое для запуска сети и начала оказания услуг,
- прочие факторы.

Dial-up

Исторически первым способом организации последней мили стал коммутируемый удаленный доступ – Dial-up. Как и в большинстве других способов решения проблемы последней мили, в основе этой технологии лежит идея использования существующей инфраструктуры для передачи данных – аналоговых телефонных проводов. Однако у этой технологии была масса недостатков – во-первых, установленное подключение по Dial-up делало невозможным использование обычного, аналогового телефона. Вторым серьезным недостатком была низкая скорость. Несмотря на то, что существовали различные ухищрения, связанные с активным сжатием трафика, их применение не всегда давало результаты (особенно на наших телефонных линиях), и поэтому для простоты можно считать, что верхняя граница скорости для Dial-up – это 56 кбит/с.

xDSL

Дальнейшим развитием той же основной идеи (от провайдера до абонента для организации последней мили используются уже проложенные телефонные линии) стало семейство технологий xDSL. На практике чаще всего встречается ADSL, которая позволяет обеспечивать связь на расстоянии до 5,5 км со скоростью передачи данных 24 Мбит/с / 3,5 Мбит/с. Особенностью этой технологии последней мили является асимметричность – скорость передачи данных от провайдера абоненту намного выше, чем в обратном направлении. За счет асимметрии удается увеличить скорость скачивания информации в ущерб загрузке. Такая схема работы наиболее обычна, а потому ADSL нашел себе самое широкое применение, тем более что установленное ADSL-соединение не мешает пользоваться аналоговым телефоном.

Более того, именно эта технология произвела революцию в услугах предоставления доступа в интернет в нашей стране, фактически заменив собой царившей до этого dial-up.

Увы, этот способ не лишен недостатков. Во-первых, для подключения к ADSL-сетям, необходимо отдельное устройство – ADSL-модем. Второй проблемой является плохая совместимость с работой охранных сигнализаций, которые используют телефонные линии.

Ethernet

Второй наиболее популярной технологией организации последней мили является Ethernet. Стоит уточнить, что само по себе название Ethernet не говорит о конкретном способе подключения и физическом носителе – эта технология имеет расширения, которые позволяют использовать для передачи данных коаксиальный кабель, витую пару или оптический канал. Впрочем, чаще всего под этой технологией подразумевается именно витая пара.

С точки зрения абонента, Ethernet – это более простая технология. Для подключения к интернету через Ethernet-провайдера нет необходимости в дополнительном оборудовании (достаточно встроенной в компьютер сетевой карты), и такое подключение по умолчанию будет симметричным (впрочем, это уже зависит от провайдера).

Однако за любую простоту необходимо расплачиваться. В данном случае платить придется провайдерам – ведь для того, чтобы организовать доступ по этой технологии, необходимо построить Ethernet-инфраструктуру внутри района (блока зданий) и подвести к ней оптический канал. Построенная инфраструктура будет содержать достаточно большое количество различного оборудования (в первую очередь, это маршрутизаторы), которое требует регулярного осмотра.

Таким образом, предоставление услуг на основе этой технологии целесообразно тогда, когда в районе уже есть нужная инфраструктура – например, районная локальная

сеть. Поэтому большинство Ethernet-провайдеров эволюционировали из управляющих структур районных сетей.

Можно долго рассуждать о том, какая технология последней мили лучше – ADSL или Ethernet, но, в конечном счете, решает абонент, а на данный момент обе технологии востребованы и представлены одинаково широко и примерно с одинаковыми тарифными планами.

WiFi

Так же, как и Ethernet, Wi-Fi изначально не предназначался для оборудования последней мили – это технология организации беспроводной локальной сети. Однако развитие мобильных устройств и ноутбуков, оснащенных Wi-Fi, сделали востребованной именно такое решение этой проблемы. Строго говоря, применение Wi-Fi в качестве решения последней мили не очень верное: применение этой технологии требует определенной модификации технологии.

Провайдеры чаще всего поступают так – для организации связи на большом расстоянии применяются направленные антенны, которые позволяют связать удаленные участки сети. Поскольку направленные антенны дают искаженную вдоль одного направления диаграмму распространения волн, то для клиентского доступа развертывают несколько обычных WiFi-точек доступа, которые формируют ячеистую топологию сети.

Однако особенность Wi-Fi соединения состоит в том, что вся ширина канала (а в случае с Wi-Fi этот канал достаточно ограничен) делится между всеми устройствами, подключенными к одной точке доступа. Поэтому, по мере увеличения числа абонентов скорость подключения в такой сети начинает падать и для того, чтобы поддерживать ее на прежнем уровне, провайдеру придется пойти на установку дополнительных точек доступа.

В целом оборудование последней мили для стационарного использования с помощью одной технологии Wi-Fi выглядит не очень перспективно – слишком дорого обходится масштабирование. С другой стороны, с учетом распространенности клиентских устройств, для мобильных пользователей в настоящее время это самый распространенный способ.

WiMAX

Несмотря на схожесть названий, на уровне технологии WiMax не имеет ничего общего с Wi-Fi. Кардинальное отличие этой технологии состоит в том, что WiMAX изначально разрабатывался как технология беспроводного доступа в масштабах города, а потому дальность его покрытия намного большая и скорость передачи существенно выше, чем в Wi-Fi-сетях. Поэтому развертывание такой сети в масштабах города или района обойдется намного дешевле, чем сетей Wi-Fi.

Единственный недостаток – это ограниченный выбор клиентских устройств. Впрочем, возможен компромиссный вариант – существуют устройства, позволяющие организовывать WiMAX-WiFi шлюзы.

PLC

Относительно новый способ оборудования последней мили – это PLC (Power line communication – передача данных по электрической проводке). Так называемый "интернет из розетки" базируется на использовании внутридомовых и внутриквартирных электросетей для высокоскоростного информационного обмена. Кстати, нельзя путать 2 похожие технологии – PLC и Homeplug. Последняя предназначена для организации локальных сетей и лишена большей части недостатков PLC.

Эта технология основана на частотном разделении сигнала, при этом высокоскоростной поток данных разбивается на несколько низкоскоростных, каждый из которых передается на отдельной частоте с последующим их объединением в один сигнал. При этом PLC-устройства могут "видеть" и декодировать информацию, хотя обычные электрические устройства – лампы накаливания, двигатели и т. п., даже "не догадываются" о присутствии сигналов сетевого трафика и работают в обычном режиме.

Казалось бы, эта технология должна совершить переворот на рынке телекоммуникаций, и полностью заменить xDSL-технологии. Однако у нее есть существенные недостатки. Основной недостаток – это ужасное количество помех, особенно на средних и коротких волнах, которые образуются при таком использовании электросетей.

Впрочем, есть и менее серьезные – пропускная способность сети по электропроводке делится между всеми ее участниками, на стабильность и скорость работы PLC влияет качество выполнения электропроводки (которое у нас часто оставляет желать лучшего), и, к тому же, такая сеть не работает через сетевые фильтры и ИБП.

Эти недостатки стали причиной крайне редкого оборудования последней мили на основе этой технологии.

Схемы реализации последней мили

В рамках услуги обычно достраивается отрезок ВОЛСот ближайшей муфты (оптического кросса) волоконно-оптической сети ФК до УС клиента. На УС клиента, в соответствии с ТР, одно/два волокна ВОЛС разваривается в переходные розетки оптической коробки или оптического кросса. Остальные волокна не используются и остаются не разваренными.

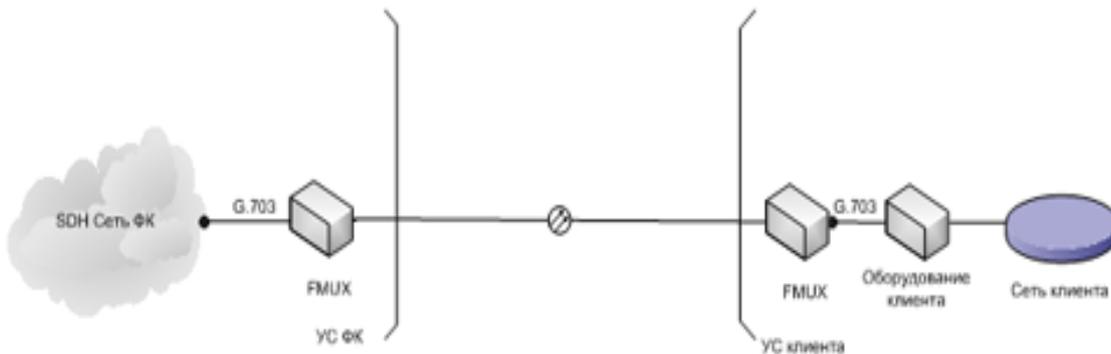


Рисунок 1 - PDH

В рамках услуги:

- устанавливается аппаратный шкаф;
- подводится электропитание к аппаратному шкафу;
- устанавливается ИБП;
- обеспечивается теплоотвод от оборудования аппаратного шкафа;
- заключается договор ответственного хранения с клиентом на территории которого расположен шкаф, обеспечивается пожарно-охранная безопасность оборудования по договору ответ-хранения;
- шкаф комплектуется необходимыми конструктивами – полками, крепежом, кроссами для размещения активного оборудования и установки переходных розеток для ВОЛС;
- предоставляется 2 волокна ВОЛС от УС ФК до территории клиента;
- предоставляется 2 мультиплексора, один на УС ЗАО "Форатек Коммуникейшн" другой на УС на территории клиента;

Обычно используются оборудование: PDH мультиплексор для передачи ЦКС по ВОЛС.

Пример оборудования: Nateks FlexGain FOM4 – передает 4 потока E1 по 2 волокнам ВОЛС.

Оптические мультиплексоры. Позволяют передавать по 2 волокнам ВОЛС несколько потоков E1 и Ethernet и используются для подачи на УС клиента 2-х услуг: Интернета и Телефонии. Пример оборудования Cronux FMUX-4.

Предоставляются:

- оптические патч-корды для подключения мультиплексоров к ВОЛС;
- электрические патч-корды для подключения мультиплексоров к сети ФК и оборудованию клиента.

Для реализации услуги могут быть использованы (вместо строительства отрезка ВОЛС) арендуемые ФК волокна сторонних организаций или самого клиента. Максимальная дальность при предоставлении услуги по этой технологии достигает 40 км.

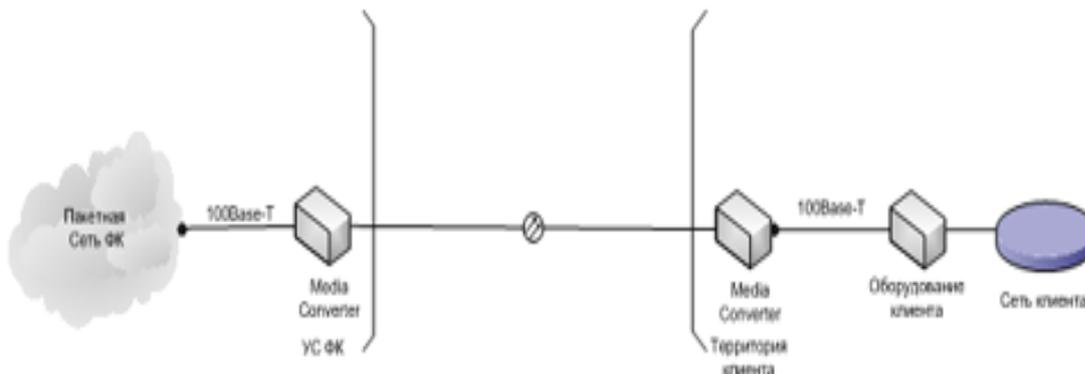


Рисунок 2 - FibroEthernet

Услуга совпадает с услугой организации канала связи по технологии PDH за тем исключением, что используется одно волокно в отрезке ВОЛС до территории клиента, в качестве активного оборудования используются медиаконвертеры 100/1000Base-T – 100/1000Base-LX(ZX, BX), и порт подключения оборудования клиента 100Base-T вместо G.703. В остальном услуги идентичны.

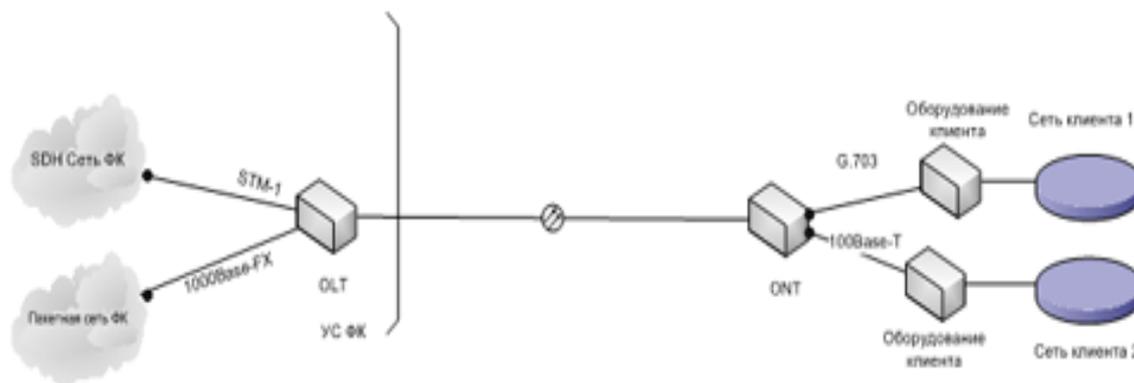


Рисунок 3 - PON

По данной технологии можно обеспечить подключение по топологии точка-многоточка. Используемая ФК технология ВРОН позволяет подключать на 1 волокно ВОЛС до 32-х клиентов.

Абонентское оборудование может иметь порты E1, Ethernet, FXO/FXS.

Общая скорость ПД на одну «ветку» PON 622Мбит/сек. Абонентский комплект работает на скорости ПД до 128Мбит/сек.

Реально при 100% утилизации порта всеми 32-мя абонентами минимальная скорость ПД составит 15-18 Мбит/сек. Максимальная дальность канала ПД - 20 км.

Основное преимущество технологии заключается в экономии денежных средств на строительство ВОЛС.

Оптическая сеть доступа строится с использованием двух типов устройств: “узловых” OLT (OpticalLineTerminal) и “клиентских” ONT (OpticalNetworkTerminal).

В рамках услуги:

Достраивается отрезок ВОЛС от ближайшей точки, в которой возможна установка Y-сплиттера, волоконно-оптической сети ФК до территории клиента. На территории клиента два волокна ВОЛС развариваются в переходные розетки оптической коробки или оптического кросса. Остальные волокна не используются и остаются неразваренными.

Вваривается Y-сплиттер в волокно, используемое для организации данного сегмента сети PON ФК.

- Организуется УС на территории клиента:
- устанавливается аппаратный шкаф;
- подводится электропитание к аппаратному шкафу;
- устанавливается ИБП;
- обеспечивается теплоотвод от оборудования аппаратного шкафа;
- заключается договор ответственного хранения с клиентом на территории которого расположен шкаф, обеспечивается пожарно-охранная безопасность оборудования по договору ответ-хранения;
- шкаф комплектуется необходимыми конструктивами - полками, крепежом, кроссами.
- предоставляется ONT устройство.
- предоставляются электрические патч-корды для подключения ONT к оборудованию клиента.

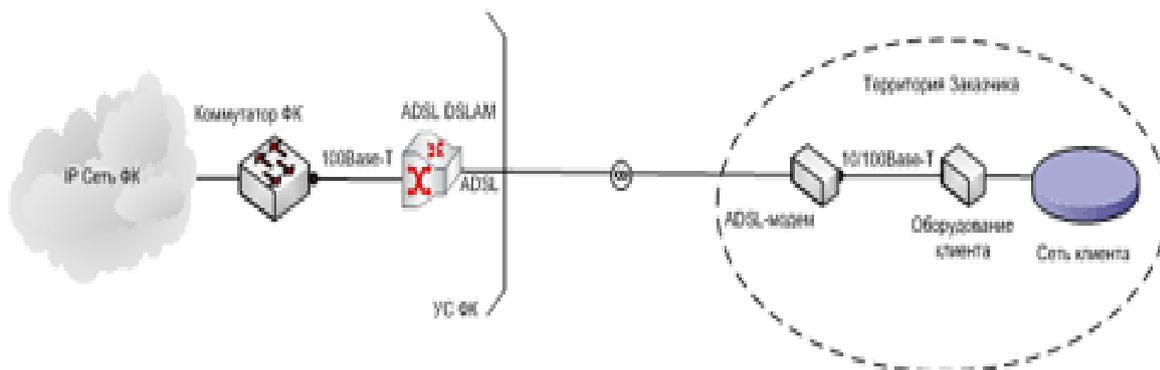


Рисунок 4 - VDSL

При организации канала ПД по технологиям xDSL в качестве среды ПД используется электрический кабель («медь»).

Технологии обычно используются при удаленности территории заказчика от УС ФК на расстояния от 100м до 5 км. Рекомендуемое расстояние - 3,5 км.

В рамках услуги:

Прокладывается электрический кабель от ближайшего кросса или УС ФК до территории клиента. (Или используется существующий телефонный кабель ФК, или телефонный кабель другого ОС.)

Организуется УС на территории клиента:

- устанавливается аппаратный шкаф;
- подводится электропитание к аппаратному шкафу;
- устанавливается ИБП;
- обеспечивается теплоотвод от оборудования аппаратного шкафа;
- заключается договор ответственного хранения с клиентом на территории -которого расположен шкаф, обеспечивается пожарно-охранная безопасность -оборудования по договору ответ-хранения;

- шкаф комплектуется необходимыми конструктивами - полками, крепежом, кроссами.
- предоставляется 2 прямых провода от УС ФК до территории клиента.
- предоставляется ADSL-модем.
- предоставляется порт ADSL на DSLAM (ADSL-коммутаторе).
- ADSL-модем по медному кабелю соединяется с DSLAM, расположенному на узле ФК и подключенному к IP-сети ФК.
- предоставляются электрические патч-корды для подключения xDSL-модемов к сети ФК и оборудованию клиента.

SHDSL

Позволяет передавать данные по обычной 2-х и 4-х проводной медной паре на расстояния до 10 км. Скорость передачи зависит и динамически меняется в зависимости от длины и качества линии и составляет 192 - 2320 Кбит/с (с умножением на 2 для 4-х проводной линии). Скорость ПД может быть искусственно ограничена настройками оборудования с шагом 8 Кбит/сек. В качестве активного оборудования могут использоваться мультиплексоры, позволяющие передавать по каналу SHDSL ЦКС от 64 Кбит/сек до 2 Мбит/сек и Ethernet. Позволяет оказывать услуги Интернет, телефонии и ЦКС.

ADSL, ADSL2+

Ассиметричный DSL, позволяет осуществлять ПД в ассиметричном режиме на расстояния до 4 км по двухпроводной линии со скоростью до 8/2Мбит/сек к клиенту/от клиента по технологии ADSL и до 24/1Мбит/сек к клиенту/от клиента по технологии ADSL2+. Скорость ПД автоматически меняется в зависимости от длины и качества линии. Позволяет реализовывать топологию точка-многоточка. Позволяет использовать существующую телефонную распределительную сеть, т.е. телефонную медную пару.

Заключение

Современные технологические решения, основанные на цифровых способах обработки и передачи информации, участок от провайдера до конечного пользователя теперь уже не позволяют называть "узким местом". Вот только, зачастую, повсеместное применение новых высокотехнологичных решений "последней мили" невозможно без значительных финансовых и организационных затрат. Производители телекоммуникационного оборудования сейчас предлагают разнообразные устройства для соединения пользователя с провайдером. Перед потребителем стоит вопрос выбора способа решения "последней мили" по соотношению скорость/стоимость.

Литературы

1. О.М. Денисьева О.М. Средства связи для последней мили
2. Немировский М.С. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма
3. Парфенов Ю. А. Последняя миля

ПОДХОДЫ К КЛАСТЕРИЗАЦИИ НАБОРА СЕТЕВЫХ ПАКЕТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Новикова Т.Д.*

*Научный руководитель: доцент, к.т.н. Белов А.В.**

*Научный консультант: руководитель группы Аристов Р.С. ***

* - Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

** - ООО «ИНФОРИОН»

APPROACHES TO CLUSTERING OF A SET OF NETWORK PACKETS FOR ANALYSIS THE RESULT OF SOFTWARE LOAD TESTING

Novikova T.D.

Supervisor: Belov A.V. NUST "MISIS",

Team leader Aristov R.S. (INFORION, LLC)

National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается задача кластеризации сетевых пакетов, возникающая при анализе результатов нагрузочного тестирования программного обеспечения. Решение данной задачи позволит автоматизировать процесс анализа результатов тестирования. Описывается перечень собираемых выходных параметров тестирования, являющихся исходными данными к решаемой задаче. Приведены существующие подходы кластеризации по отношению к сетевым пакетам. Выявлена и обоснована необходимость решения дополнительной задачи модификации существующих подходов.

Abstract

The article considers the problem of the network packets clustering, arising in the analysis of the results of load testing of the software. The solution to this problem will allow to automate the analysis of testing results. The list of collected output parameters of the testing, which is the input data for the problem being solved, is described. The review of the existing clustering approaches in relation to network packets is done. The necessity to solve additional tasks the modification of existing approaches is revealed and substantiated.

Введение

Для современных программно-аппаратных комплексов нагрузочное тестирование является одним из эффективных средств обеспечения безопасной и надежной работы программного обеспечения, в том числе установленного на сложных технологических устройствах, как контроллеры АСУ ТП и другие устройства, входящие в комплекс «промышленного Интернета вещей».

При использовании нагрузочного тестирования программного обеспечения возникает потребность в обработке больших массивов данных генерируемых в процессе тестирования. Становится актуальной задача кластеризации сетевых пакетов, отправляемых на вход во встроенное программное обеспечение тестируемого устройства. Цель данного исследования - разработка модели кластеризации набора сетевых пакетов для автоматизации процесса анализа результатов нагрузочного тестирования.

Для достижения имеющейся цели предполагается решить следующие задачи: подобрать метод для кластеризации сетевых пакетов с учётом особенностей выходных данных тестирования, выявить критерии качества оценки кластеризации наборов сетевых

пакетов, построить модель кластеризации сетевых пакетов и оценить её качество на основе описанных критериев при помощи вычислительных экспериментов.

1. Постановка задачи

Одним из важных принципов нагрузочного тестирования является обеспечение уникальности запросов для исследования всех возможных видов поведения системы [1]. Для генерации различных сетевых пакетов и эмулирования поведения возможно использование решений для выборочного тестирования - методики, в которой разработка тестов осуществляется методом черного ящика, в котором тестовые сценарии выбираются для соответствия функциональному разрезу, обычно с помощью алгоритма псевдослучайного выбора [2]. Одним из подобных решений является инструмент *Reach*. Данная программа позволяет, как генерировать исходные данные для тестирования, так и мутировать их, то есть вносить случайные изменения в данные при сохранении их структуру. Также *Reach* позволяет задавать структуру данных и правила манипуляций с ними, записывать лог-файлы о вызванных при тестировании исключениях. *Reach* поддерживает возможность тестирования множества структур данных, таких как веб-протоколы (HTTP, SSL/TLS1.2), протоколы, используемые в промышленных системах (Modbus, UDP), файлы изображений (BMP, GIF, ICO, JPEG, PNG) и видео (AVI).

В процессе проведения тестирования программного обеспечения при помощи *Reach* или других решений существует возможность собирать следующие данные:

- данные сессии тестирования – время проведения, исходное состояние тестируемой системы.
- сетевой пакет
- факт наличия сбоя и место сбоя при соответствующем тестовом пакете.
- файлы трассировки (журналы записи о состояниях переменных в заданных точках в ходе выполнения программы [3]).

Данная информация может служить основой для формирования исходного пространства объектов X , на основе которого требуется выделить множество кластеров Y , характеристики которых заранее неизвестны. Однако пакет данных, подаваемых на вход тестируемого программного обеспечения однозначно определяет трассу выполнения. Поэтому при кластеризации результатов тестирования с целью выделения групп с различным поведением имеет смысл вместо файлов трассировки использовать только сетевые пакеты для сокращения размерности входного вектора.

2. Подходы к кластеризации сетевых пакетов

Для решения задачи кластеризации сетевых пакетов могут использоваться следующие методы:

Иерархические алгоритмы - строящие систему вложенных разбиений – так называемое дерево кластеров. На вход данных алгоритмов, как правило, принимается либо число кластеров, либо порог расстояния для усечения уровня разбиения. Данные алгоритмы позволяют находить кластеры любой формы. Однако они являются вычислительно затратными (сложность $O(n^3)$, в отдельных случаях удается достичь сложности $O(n^2)$ для определенных данных) [4]. Поэтому для кластеризации больших объемов данных данная группа практически не применима.

Статистические и вероятностные алгоритмы кластеризации Данные типы алгоритмов основаны на предположении, что кластеры можно описать некоторым семейством вероятностных распределений. Задача сводится к разделению смеси распределений по конечной выборке. Алгоритмы из этой группы можно разделить на две группы: четкие алгоритмы (такие, для которых каждый образец соответствует только одному классу, например, *k-means*, EM-алгоритм или *DBSCAN*) и нечеткие алгоритмы (такие, для которых каждый образец может соответствовать нескольким классам,

например, c-means). Данная группа алгоритмов достаточно эффективно работает в определенных задачах, однако они обладают рядом недостатков, что значительно ограничивает область их применения. В частности, k-means хорошо находит только кластеры сферической формы, EM-алгоритм и DBSCAN имеют достаточно высокую сложность $O(n^2)$ (она может быть сокращена до $O(n \log(n))$ при использовании специальных структур данных, но они, как правило, не работают для данных высокой размерности) [5].

Графовые алгоритмы кластеризации Суть данной группы заключается в том, что выборка объектов представляется в виде графа $G=(V, E)$, вершинам которого соответствуют объекты, а ребра имеют вес, равный расстоянию между объектами. Здесь выделяются несколько наиболее известных алгоритмов, таких как алгоритм выделения связных компонент, алгоритм минимального покрывающего дерева, послойная кластеризация. Многие из этих алгоритмов также имеют достаточно высокую сложность, делающую их неприменимыми для решения задач с большими объемами данных [6].

Подходы на основе машинного обучения Данные подходы основаны на использовании нейронных сетей или генетических алгоритмов при кластеризации данных. Существует множество различных методов, относящихся к данной группе, такие как свёрточные нейронные сети, самоорганизующиеся карты Кохонена и другие. Многие из этих алгоритмов эффективно отображают топологию входных данных, однако использовать их непосредственно для кластеризации зачастую не получается из-за большого объёма вычислений, и необходимости задания числа кластеров, поэтому возникает необходимость разработки модификации данных алгоритмов для решения задач кластеризации сетевых пакетов.

В рамках нагрузочного тестирования программного обеспечения требуется сгенерировать большой объём разнообразных тестовых пакетов для создания нагрузки, поэтому обладающие большой вычислительной сложностью такие методы, как иерархические алгоритмы и графовые алгоритмы слабо применимы для данной задачи.

В итоге для данной задачи в отсутствие исходной разметки кластеров применимы статистические и вероятностные алгоритмы, и алгоритмы, основанные на методах искусственного интеллекта.

Заключение

Кластеризация сетевых пакетов при анализе результатов нагрузочного тестирования является многокомпонентной проблемой. Из-за потенциально большого размера пакетов возникает подзадача снижения размерности входных данных, а также подзадача модификации существующих алгоритмов для обработки сетевых пакетов.

Итоговое решение может являться частью инструментария для анализа результатов нагрузочного тестирования. Реализация модели кластеризации позволит выявлять структуру неизвестных для исследователя сетевых протоколов, оценивать тестовое покрытие исследуемого программного обеспечения, используя метрики покрытия на основе входных данных и метрики на основе потока управления, сопоставлять выделенные кластеры пакетов, приводящих к сбоям, с типами ошибок, выделять маски пакетов, которые приводят к ошибкам, и в результате сократить количество хранящихся после исследования данных.

Литература

1. Molyneaux, I. The Art of Application Performance Testing: Help for Programmers and Quality Assurance. — O'Reilly Media, 2009. — P. 130. — 158 p.
2. Стандартный глоссарий терминов, используемых в тестировании программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.scribd.com/document/48512681/ISTQB-Glossary-Russian> (Дата доступа: 18.12.2017).
3. IEEE Guide to Software Engineering Body of Knowledge, SWEBOOK, 2004.
4. Большакова Е.И. и др. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие. – М.:МИЭМ, 2011. – 272 с.
5. Бериков В.С., Лбов Г.С. Современные тенденции в кластерном анализе / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008. - 26 с.
6. Федоренко, Ю. С. Кластеризация данных на основе нейронного газа имарковских алгоритмов // Молодежный научно-технический вестник. 2014. № 8.

АНАЛИЗ КОНТРОЛЛЕРОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Охломенко И. В.

Научный руководитель: доцент Курносенко А. Е.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ANALYSIS OF CONTROLLERS FOR VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY

Okhlomenko I. V.

Supervisor: Prof. Kurnosenko A. E.
MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена анализу конструкций контроллеров передвижения для виртуальной и дополненной реальности. Рассмотрены компоненты и виды виртуальной реальности, а также история контроллеров передвижения. В итоге сделаны выводы о лучшей конструкции данного устройства, которая обладает наибольшей компактностью и наименее сложными узлами, что позволяет уменьшить стоимость.

Abstract

This article is devoted to the analysis of the construction of motion controllers for virtual and augmented reality. The components and types of virtual reality, as well as the history of movement controllers, are considered. As a result, conclusions are drawn about the best design of this device, which has the greatest compactness and the least complex nodes, which allows to reduce the cost.

Введение

Виртуальная реальность – созданная техническими средствами частичная или полная иллюзия физического мира, передаваемая человеку через его ощущения. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Для создания убедительного комплекса ощущений реальности компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в реальном времени.

Всенаправленная беговая дорожка работает как игровой контроллер, позволяя игроку приседать, двигаться боком, ходить и бегать по игровому ландшафту. Контроллер проектируется для использования совместно со шлемом виртуальной реальности.

1 Классификации компонентов и видов виртуальной реальности

Модель искусственного трехмерного мира синтезируется с помощью специальных оптических и программно-технических аппаратных средств, воздействующих на органы чувств и анализаторы человека, чтобы в итоге создать иллюзию нахождения в реальном пространстве, или в его части (например, наблюдая через окно за трёхмерным пространством). Такая модель пространства получила название «виртуальная реальность». Некоторыми авторами виртуальная реальность рассматривается как технология трехмерного информационного взаимодействия человека и компьютера, которая реализуется с помощью комплексных мультимедиа-операционных средств, это не совсем так. Указанные средства воздействия на анализаторы человека не совсем верно трактуют воздействие на зрительный аппарат при создании ощущения взгляда в трёхмерное пространство. Для этого, кроме аппаратно-программной системы, в комплекс для формирования виртуальной реальности включаются ещё оптические системы: на базе коллиматоров и одноканальных систем подготовки промежуточных проекций трёхмерных сцен на двухмерную плоскость экрана формирования промежуточного изображения (при реализации безочкового метода моделирования визуального трёхмерного пространства) или двухканальных систем подготовки на двухмерной плоскости экрана формирования

промежуточного изображения двух промежуточных проекций для левого и для правого глаза (при использовании систем с использованием диспаратных очков).

Основными компонентами для интерактивного взаимодействия человека с виртуальной средой являются [1]:

- графический обработчик: специальное программное обеспечение для создания виртуальных миров;
- индикаторные системы двухмерного отображения информации;
- специальные индикаторные системы трёхмерного отображения информации;
- многоканальная аудио система для воспроизведения окружающего звучания;
- устройство слежения или трекинг (от англ. tracking), позволяющее изменять положение и ориентацию головы пользователя, руки или указки.

Назначение систем виртуальной реальности состоит в том, чтобы обеспечить простых пользователей, ученых, инженеров, дизайнеров виртуальным рабочим пространством, в котором можно наблюдать, исследовать и создавать виртуальные пространства.

Преимущество использования виртуального пространства в проектной и образовательной деятельности заключается в возможности непосредственно влиять на объемную сцену в реальном времени путем формирования управляющих воздействий. Это позволяет, в свою очередь, создавать реалистичные трехмерные изображения при моделировании необходимых ситуаций. При наличии специального дополнительного оборудования такая система создает полный эффект погружения в объемную виртуальную сцену, чего нельзя достигнуть с помощью традиционных средств трехмерного отображения информации. Возникающая виртуальная реальность интерактивна, что дает возможность человеку по своему желанию устанавливать с ней контакт и прекращать его.

В настоящее время основными проблемами использования таких систем являются проблемы, связанные с покупкой дорогостоящего оборудования, проблемы психологического фактора, связанные с погружением человека в виртуальную среду, и проблемы, связанные со специфическими особенностями восприятия виртуальных объектов, процессов и явлений, отличающихся от восприятия аналогов в реальном мире.

Рост производительности вычислительной техники, совершенствование интерфейсных устройств, средств трехмерного моделирования, систем позиционирования дали толчок к развитию нового направления виртуальной реальности, которое принято называть множеством терминов, например, дополненная, расширенная, смешанная, X-реальность, композиционная и т.п. [3]. В таких технологиях совершенно новой, скрытой ранее потенциальной возможностью, становится визуальное совмещение виртуальной среды и реального физического пространства. В принципе, все технологии во многом сходны друг с другом с точки зрения общего системного подхода к совмещению и отображению компонентов виртуального и реального мира, но отличаются областями применения и особенностями реализации.

В 1960 г. Айвен Сазерленд представил головные шлемы для отображения трехмерной графики, что послужило началом исследований в области расширенной реальности (от англ. augmented reality).

В 1994 году Пол Милгром и Фумио Кисино описали континуум «Виртуальность – Реальность» как пространство между реальностью и виртуальностью, образующий смешанную реальность (от англ. mixed reality). При этом они определили, что расширенная реальность находится ближе к окружающей реальности, а дополненная виртуальность ближе к виртуальному окружению (рис. 1.1).

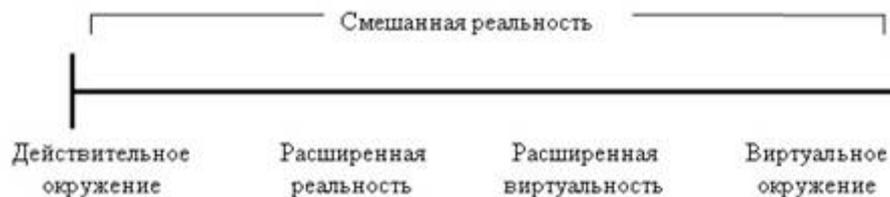


Рисунок 1.1 – Континуум Виртуальность – реальность по Милгрому.

В работе [3] автор проводит обзор основных направлений в области синтеза расширенной реальности и определяет ее как систему, которая:

- совмещает реальные и виртуальные объекты в действительное окружение;
- взаимодействует в реальном времени;
- работает в трехмерном пространстве.

В табл. 1 приведены определения термина «расширенная реальность» зарубежными и российскими авторами.

Таблица 1 - Трактовка понятия «расширенная реальность»

Определение понятия	Автор
Расширенная реальность – интерфейс пользователя, который позволяет встраивать в видеопоток синтетические объекты с учетом ракурса съемки в реальном времени.	А. Конушин [3]
Расширенная реальность – это визуальное улучшение окружающего пространства за счет интеграции информации, сгенерированной компьютером, такой как компьютерная графика, мультимедиа и др.	Ян [3]
Системы расширенной реальности позволяют дополнять виртуальными объектами, такими как текст, цифровые изображения, трехмерные модели окружающее физическое пространство на дисплей реалистичным способом.	Мико Сариро [4]
Системы расширенной реальности – это оптико-аппаратно-программные комплексы позволяющие создавать вокруг человека визуально наблюдаемое трёхмерное пространство с качеством достаточным для тренировки глазомера, или для перемещения в таком пространстве реального инструмента при выполнении сложных операций.	Роганов В.Р. [5]

Все системы дополненной, совмещенной или усиленной реальности сегодня развиваются достаточно интенсивно. Результаты экспериментов и исследований зарубежных и отечественных авторов имеют огромное теоретическое и практическое значения, которые могут использоваться при создании подобного рода систем в самых различных отраслях – от медицинской тренажерной техники до систем коллективного назначения.

2 Устройства для перемещения в виртуальной реальности

Управление перемещением в виртуальном пространстве зачастую происходит с помощью клавиатуры и манипулятора мышь. В этом процессе задействованы только руки пользователя. Устройства для перемещения в виртуальной реальности позволяют пользователю перемещаться по виртуальному пространству самым естественным образом – двигая собственными ногами. Целью таких устройств является имитация движения пользователя в различных направлениях с сохранением его позиции.

Существенный вклад в развитие устройств перемещения в виртуальной реальности внесла группа ученых из университета Цукубы. Они занимаются разработкой

двигательных интерфейсов с 1989 года. Результатом этих исследований стал первый в мире прототип двигательного интерфейса Virtual Perambulator [6].



Рисунок 2.1 – Первый прототип Virtual Perambulator

Принцип работы такой системы был основан на «скользящей поверхности». Пользователь надевал всенаправленные роликовые коньки и крепился ремнями к подвесной системе. Роликовые коньки были оснащены четырьмя роликами, что позволяло двигаться во всех направлениях. Подвесная система по своей сути напоминала систему, используемую в тренажерах парашютиста, и позволяла зафиксировать пользователя (рис. 2.1). Позже подвесная система была заменена обручем, установленным вокруг талии пользователя. Обруч фиксировал позицию пользователя и позволял ему поворачиваться вокруг. Также обруч служил дополнительной опорой для сохранения баланса при ходьбе (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Virtual Perambulator

Virtual Perambulator был впервые показан на конференции SIGGRAPH в 1995 году. Основной недостаток такой технологии состоял в том, что для перемещения в виртуальном пространстве пользователь должен был совершать скользящие движения. Поэтому дальнейшим направлением исследований стало разработка устройства, позволяющего имитировать характер перемещения в виртуальном пространстве в соответствии с реальными движениями пользователя. Результатом таких исследований стало устройство Tonus Treadmill появившееся в 1997 году.

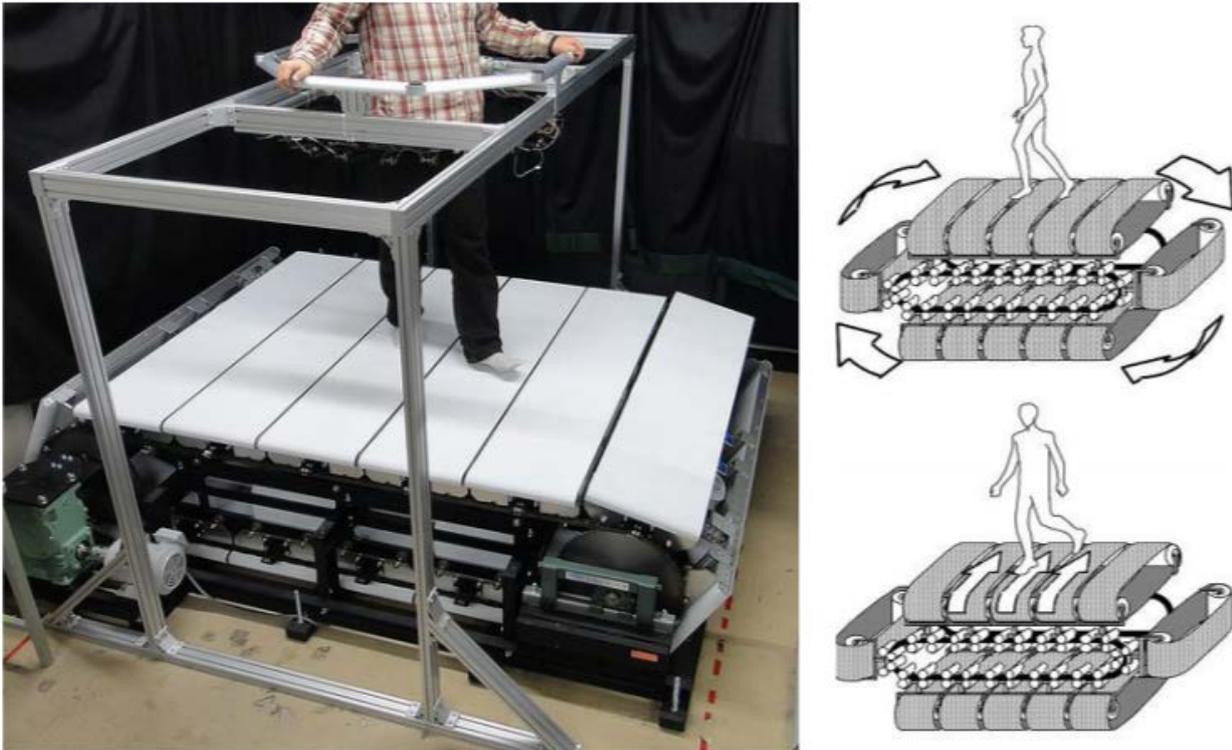


Рисунок 2.3 – Torus Treadmill

Идея устройства Torus Treadmill состояла в использовании принципа беговой дорожки. Беговая дорожка позволяет пользователю бесконечно перемещаться, но только в прямом направлении. Для того чтобы осуществлять движение во всех направлениях была разработана конструкция, состоящая из 12 беговых дорожек, примыкающих друг к другу и образующих тороидальную форму (рис. 2.3). Ленты на беговых дорожках и сама конструкция вращаются перпендикулярно друг к другу (рис. 2.3), что позволяет пользователю двигаться во всех направлениях [7].

Помимо изобретений японских ученых достойны внимания два устройства перемещения по виртуальной реальности, разработанные российскими и американскими учеными. Это «виртуальная сфера» и «всенаправленная беговая дорожка».

Всенаправленная беговая дорожка (omni-directional treadmill – ODT) – это устройство, которое позволяет пользователю совершать двигательные перемещения во всех направлениях. При этом пользователь всегда остается на одном месте. Это устройство по своей сути напоминает беговую дорожку, которая меняет направление движения вместе со сменой направления движения пользователя. Устройство дополняется системой контроля перемещения, которая, изменяя скорость электромоторчиков, не позволяет пользователю подойти слишком близко к краю дорожки.

Принцип действия устройства аналогичен технологии работы системы Torus Treadmill, описанной ранее. Только вместо двенадцати беговых дорожек используется множество миниатюрных движущихся лент (рис. 2.3).

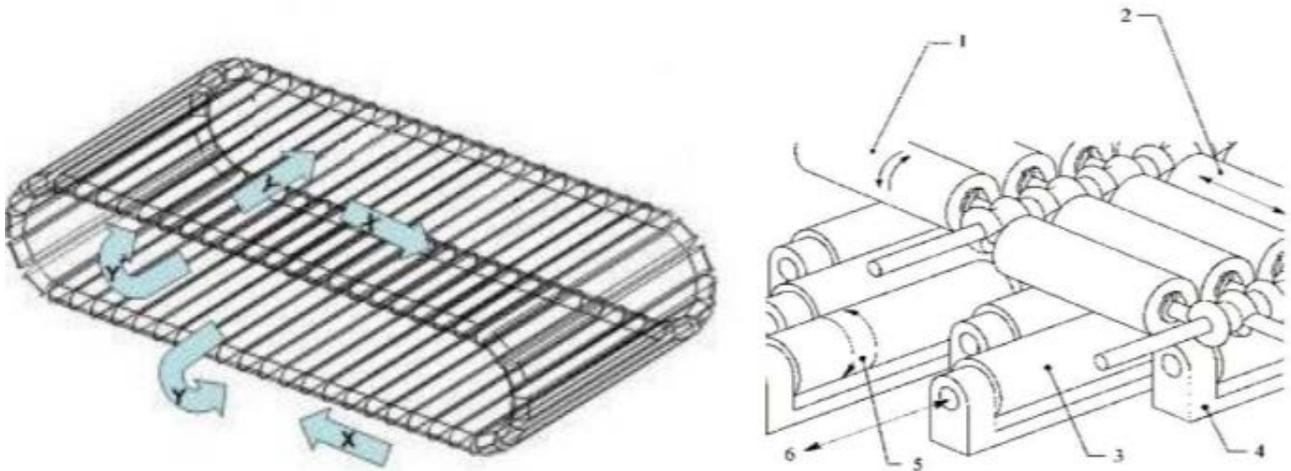


Рисунок 2.3 - Всенаправленная беговая дорожка

Так же интересным решением является так называемая «Виртусфера» (рис. 2.4). По мнению разработчиков системы, сфера была выбрана потому, что она представляет собой «свернутую плоскость без ограничений по направлению и расстоянию» [8]. То есть пользователь может перемещаться внутри сферы в любом направлении и на любые расстояния без ограничений реального мира. Как только человек, находящийся внутри сферы, начинает двигаться, сфера как бы проскальзывает у него под ногами. Таким образом, при движении человек всегда остается на одном месте. Перекатывание сферы создает вращение роликов на платформе. По вращению роликов определяется направление и скорость движения пользователя. Комплекс виртуальной обстановки представляет из себя шлем-дисплей для отображения картин виртуальной среды, 3-мерные датчики ориентации головы пользователя в виртуальном пространстве, датчики слежения за вращением сферы, а также компьютер имитации виртуальной среды.



Рисунок 2.4 – «ВиртуСфера» братьев Латыповых

Преимущество такой конструкции заключается в свободе перемещения пользователя в любом направлении. Главный недостаток системы состоит в том, что перемещение всегда идет только в гору, независимо от характера виртуальной поверхности.

Компания Virtuix представила миру завершенную беговую дорожку под названием Omni, (рис. 2.5) которая способна имитировать ходьбу и бег, пока человек находится внутри виртуального мира.



Рисунок 2.5 – Virtuix Omni

Беговую дорожку компания представила на выставке CES-2015 в Лас-Вегасе (США). Omni способна работать с многими гарнитурами, в том числе и с Oculus Rift. По мнению экспертов, новинка является одним из немногих эффективно работающих устройств, способных поднять геймеров с кресла и заставить двигаться.

Исполнительный директор Virtuix Ян Гётгелюк рассказал, что на разработку окончательного дизайна беговой дорожки у них ушло более трех лет. Их миссия состояла в том, чтобы виртуальная реальность вышла за пределы уютного кресла. Человек должен не просто сидеть и нажимать на кнопки. Вместо этого в шутере от первого лица он будет вставать, двигаться, поворачиваться вокруг, держа в руках оружие.

Окончательная версия Omni создана из пластиковых литых деталей, дополненных частями из анодированного алюминия и стали. Гётгелюк говорит, что у них получился красивый продукт, который понравится потребителям.

Всенаправленная беговая дорожка не имеет движущихся частей. Ее работа основана на низком коэффициенте трения. Для работы на ней нужно надеть специальную обувь с гладкой подошвой. Специальные датчики в ней будут отслеживать все движения геймера. При этом человек не сможет упасть с Omni, так как он будет закреплен, но его движения ничем не будут ограничены. Он сможет быстро вращаться, прыгать, ходить, бегать, шагать назад, в бок и в сторону, сидеть.

3 Составные узлы контроллера для виртуальной и дополненной реальности

За основу разработки взята Virtuix Omni. Она содержит наиболее простые узлы в конструкции, что позволит минимизировать стоимость, при этом сохранив весь функционал, предполагаемый для данных контроллеров. На рисунке 3.1 представлена ментальная карта, раскрывающая все составные карты данного контроллера.



Рисунок 3.1 – Ментальная карта контроллера Virtuix Omni

Анализ показал, что платформа должна содержать следующие основные узлы:

Платформа и обувь. Они должны иметь между собой минимальный коэффициент трения, так как это уменьшит нагрузку на стойки, и это будет комфортнее для пользователя, так как он упирается в обруч, держащий его. Для самой платформы, с которой взаимодействует обувь, выбрано антифрикционное покрытие ФБФ-74Д для обуви ЛФК-32/40-«О», подходящее для резины.

Блок питания. Обеспечивает работу контроллера, питается от сети для питания заряда внешних устройств (датчики на ногах), а так же для дизайнерских решений (светодиодная подсветка).

Стойки. Главный узел в конструкции, так как принимают основной импульс от движения пользователя. В его составе должны быть пружинные механизмы, так как основное движение пользователя относительно вертикали является приседание, так что движение в данном действии можно реализовать при помощи пружин, которые имеют подвижный элемент, нажимающий в минимальном положении на кнопку, заставляющую персонажа в виртуальном мире присесть.

Обруч вращения. Позволяет персонажу в виртуальном мире поворачиваться.

Датчики движения на ногах. Крепятся на голеностопе, что позволяет наиболее точно отслеживать передвижение ног. Содержат акселерометр и гироскоп, благодаря которым можно точно отследить передвижение ног во всех трех измерениях. Они передают сигналы на узел управления по протоколу Bluetooth.

Узел управления. Обрабатывает сигналы с датчиков движения и посылает обработанный сигнал на ПК для управления персонажем в виртуальном мире. В своем составе имеет преобразователь USB-UART для возможности перепрошивки по USB без использования программатора.

Заключение

В результате проведенного анализа принято решение использовать за основу Vituix Omni с доработками и использование в конструкции следующих основных узлов:

- платформа и обувь;
- блок питания;
- стойки;
- обруч вращения;
- датчики движения на ногах;
- узел управления.

Литература

1. Катыс Г. П. Виртуальная реальность в компьютерном обучении (ч. 2) / Г. П. Катыс, П. Г. Катыс // Открытое Образование. № 3. 1999. – с. 26–30.
2. Azuma R. Recent advances in augmented reality / R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, B. MacIntyre // IEEE Computer Graphics and Application, vol.21, issue 6, 2001. – p. 34–47.
3. Конушин А. С. Алгоритмы построения трехмерных компьютерных моделей реальных объектов для систем виртуальной реальности // дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.11. – М., 2005. – 158 с.
4. Sairio M. Augmented Reality. [Электронный ресурс] // URL: www.tml.tkk.fi/Studies/.../mikko_sairio.pdf - Дата обращения 29.01.2018
5. Milgram P. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays / P. Milgram, F. Kishino // IEICE Trans. Information Systems, vol. E77-D, no. 12, 1994. – p. 1321–1329.
6. Iwata, H. and Fujii, T., Virtual Perambulator: A Novel Interface Device for Locomotion in Virtual Environment // Proc. of IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium. – 1996. – pp. 60-65.
7. Iwata, H., The Trous Treadmill: Realizing Locomotion in Ves // IEEE Computer Graphics and Applications. – 1999. – Vol.9, No.6. – pp. 30-35.
8. Очеловеченный трекбол // Популярная механика. – 2001. – №5(103).

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Пасканный С.А.

Научный руководитель: Резчикова Е.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

METHODS OF SUPPRESSING THE RESONANCE OF STEPPING MOTORS

Paskanny S.A.

Supervisor: Rezchikova E.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены основные конструктивные и схемотехнические решения, позволяющие снизить негативное влияние резонанса, возникающее при работе шаговых двигателей.

Abstract

The main structural and circuit solutions are considered in the article, allowing to reduce the negative effect of resonance that occurs when stepper motors operate.

Введение

Шаговый двигатель (ШД) — это электрический двигатель, преобразующий цифровой электрический входной сигнал в механическое движение [1]. Соответственно шаг такого двигателя определяется величиной угла поворота ротора за один поданный импульс. Внешне шаговый двигатель не отличается от двигателей других типов. Обычно это - цилиндрический корпус, вал, несколько выводов. Конструктивно шаговый двигатель состоит из статора, на котором расположены обмотки возбуждения, и ротора, выполненного из ферромагнитного или магнитного материала. Шаговые двигатели с магнитным ротором позволяют получать больший крутящий момент и обеспечивают фиксацию ротора при обесточенных обмотках.

Шаговые двигатели получили широкое распространение как в промышленности, так и в быту. Чаще всего они используются в устройствах с дискретным управлением, где требуется повышенная точность позиционирования исполнительных механизмов, но также нашли достаточно широкое применение в оборудовании с непрерывным перемещением и импульсным управлением, например, в станках ЧПУ.

Различают три основных вида шаговых двигателей: шаговый двигатель с постоянными магнитами, реактивный шаговый двигатель и гибридный шаговый двигатель, сочетающий в себе преимущества первых двух видов данных машин [2].

К достоинствам шаговых двигателей можно отнести следующее [3]:

- угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель,
- двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки (если обмотки запитаны)
- прецизионное позиционирование и повторяемость. Хорошие шаговые двигатели имеют точность 3-5% от величины шага. Эта ошибка не накапливается от шага к шагу
- возможность быстрого старта/остановки/реверсирования
- высокая надежность, связанная с отсутствием щеток, срок службы шагового двигателя фактически определяется сроком службы подшипников
- однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи

- возможность получения очень низких скоростей вращения для нагрузки, присоединенной непосредственно к валу двигателя без промежуточного редуктора
- скорость пропорциональна частоте входных импульсов.
- простая схема управления

Однако, несмотря на ряд преимуществ, шаговый двигатель имеет ряд недостатков [3]:

- шаговым двигателям присуще явление резонанса
- возможна потеря контроля положения ввиду работы без обратной связи
- потребление энергии не уменьшается даже без нагрузки
- затруднена работа на высоких скоростях (больше частоты приемистости)
- невысокая удельная мощность

Управление без обратной связи влечет за собой ряд ограничений, хоть и является экономически выгодным. Поворот ротора становится нестабильным и колебательным, вследствие чего характеристики движения становятся не такими точными, как у двигателей с обратной связью. Поэтому основной проблемой работы шаговых двигателей, которую необходимо решить для расширения границ их применения, является уменьшение колебаний ротора и подавление резонанса [4].

Условно методы борьбы с колебанием ротора шаговых двигателей можно разделить на 2 типа: конструкционные и схемотехнические (рис.1).



Рисунок 1 – Методы уменьшения колебаний ротора шаговых двигателей

Далее подробнее рассмотрены каждый из методов.

1 Конструкционные методы снижения колебаний ротора шаговых двигателей

Одним из способов снижения нестабильности работы ШД является введение механических демпфирующих устройств [1]. Существуют различные виды демпфирующих устройств, но наиболее широко используются пружинно-фрикционные, магнитно-фрикционные и вязкостно-сцепленные.

Пружинно-фрикционное демпфирующее устройство состоит из инерционного колеса, которое монтируется между двумя фрикционными прокладками, одна из которых зафиксирована на валу (рис. 2). Колесо свободно вращается на валу, а давление между ним и прокладкой поддерживается с помощью пружины, которая регулируется так, чтобы получить оптимальное демпфирование.

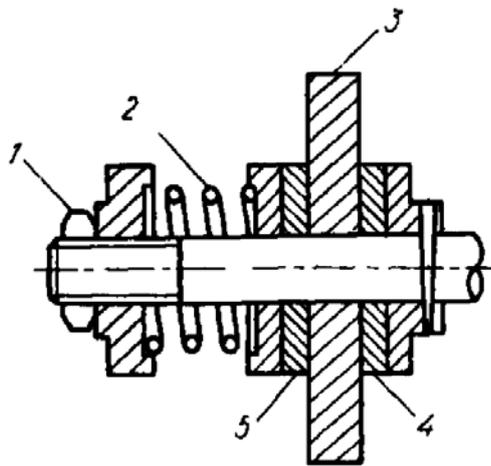


Рисунок 2 – Пружинно-фрикционное демпфирующее устройство: 1 – контргайка; 2 – пружина; 3 – инерционный диск; 4 – неподвижная фрикционная шайба; 5 – подвижная фрикционная шайба

Магнитное демпфирующее устройство состоит из свободно вращающегося дискового ферритового постоянного магнита и стального диска, прикрепленного непосредственно к ротору (рис. 3). Между двумя дисками монтируется фрикционная прокладка и на магните для прохождения магнитного потока устанавливается магнитопровод. Давление обеспечивается магнитной притягивающей силой между дисками и фрикционной прокладкой.

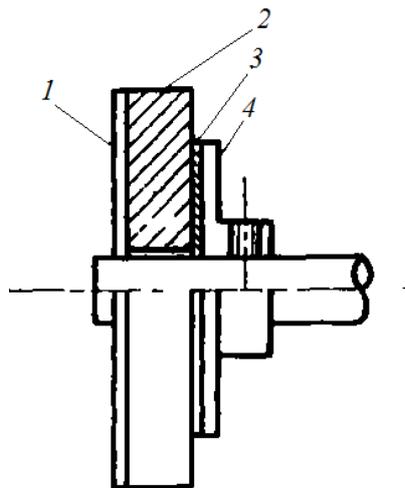


Рисунок 3 – Магнитно-фрикционное демпфирующее устройство: 1 – магнитопровод из магнитного материала; 2 – свободно вращающийся магнитный диск; 3 – фрикционная шайба; 4 – неподвижный диск из магнито-мягкого материала

Вязкостно-сцепленное демпфирующее устройство состоит из инерционного диска внутри цилиндрической коробки, которые могут свободно вращаться относительно друг друга (рис.4). Пространство между ними мало и заполнено жидкостью, содержащей кремний, так, что относительное движение ведет к возникновению тормозящей силы.

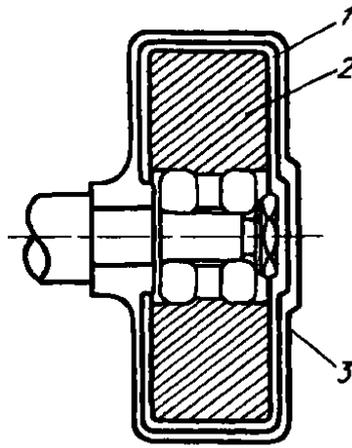


Рисунок 4 – Вязкостно-сцепленное демпфирующее устройство: 1 – вязкая смазка; 2 – свободно вращающийся инерционный диск; 3 – коробка

Одной из главных проблем использования демпфирующих устройств является оптимизация их параметров. Увеличение размеров инерционного диска с одной стороны улучшает демпфирование, но в то же время снижается приемистость и эффективность системы.

В настоящее время конструкционные методы снижения колебаний ротора шаговых двигателей практически нигде не применяются, так как схемотехнические методы демонстрируют более высокие показатели эффективности.

2 Схемотехнические методы снижения колебаний ротора шаговых двигателей

Управление шаговым двигателем осуществляется подачей на его обмотки управляющих импульсов. Подача управляющих импульсов на обмотки шагового двигателя может осуществляться в различных режимах. Режим работы определяется количеством фаз двигателя, на которые подается питание в один момент времени.

В полношаговом режиме (рис.5) в один момент времени получает питание только одна фаза двигателя [5]. Полюса ротора занимают положение напротив запитанной обмотки, в зависимости от направления протекания тока в ней. В этом режиме обеспечивается минимальное быстродействие вследствие меньшего момента двигателя.

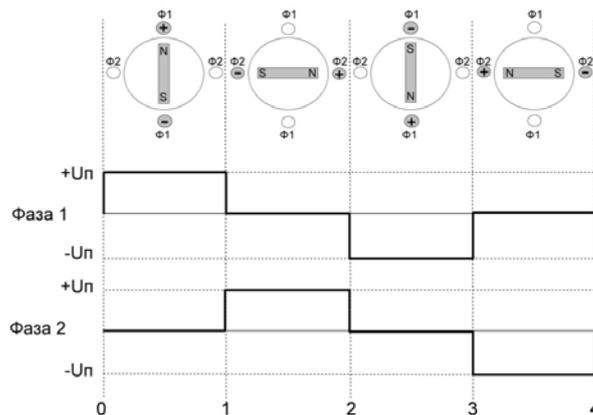


Рисунок 5 – Схема коммутации фаз при однофазном управлении

В полушаговом режиме (рис.6) ротор останавливается как напротив полюсов, так и в промежуточном положении между ними [5]. В результате угловое перемещение ротора составляет половину угла шага. Так как при данном режиме работы обе фазы получают питание, то момент будет в корень из двух раз больше. Это влечет за собой возникновение скачков момента. Но тем не менее, при таком режиме шаг двигателя уменьшается в два раза.

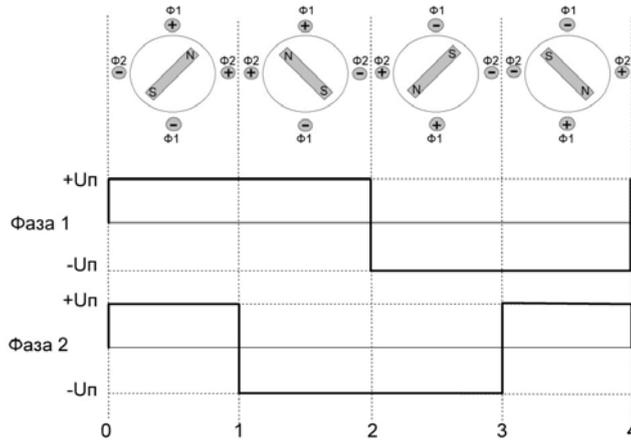


Рисунок 6 – Схема коммутации фаз при двухфазном управлении

После каждого сделанного шага в обоих случаях имеют место колебания углового положения ротора, так как при совершении шага двигатель не сразу останавливается в новом положении, а совершает затухающие колебания. Но во втором случае всегда возбуждены две фазы и цепь двух фаз при появлении колебаний в силу электромагнитной индукции образует замкнутый контур. Это действует на колебательную составляющую тока, но не влияет на стационарную, вызывающую удерживающий момент. Таким образом, колебательное движение ротора приводит к появлению колебательного тока, который накладывается на стационарный ток каждой фазы. В фазах один и два колебательные составляющие тока имеют противоположные фазы. Так как момент, образуемый колебательной составляющей тока, действует в противоположном направлении, колебания затухают. При однофазном возбуждении подобные замкнутые контуры не образуются, поэтому колебания затухают только под действием трения [1].

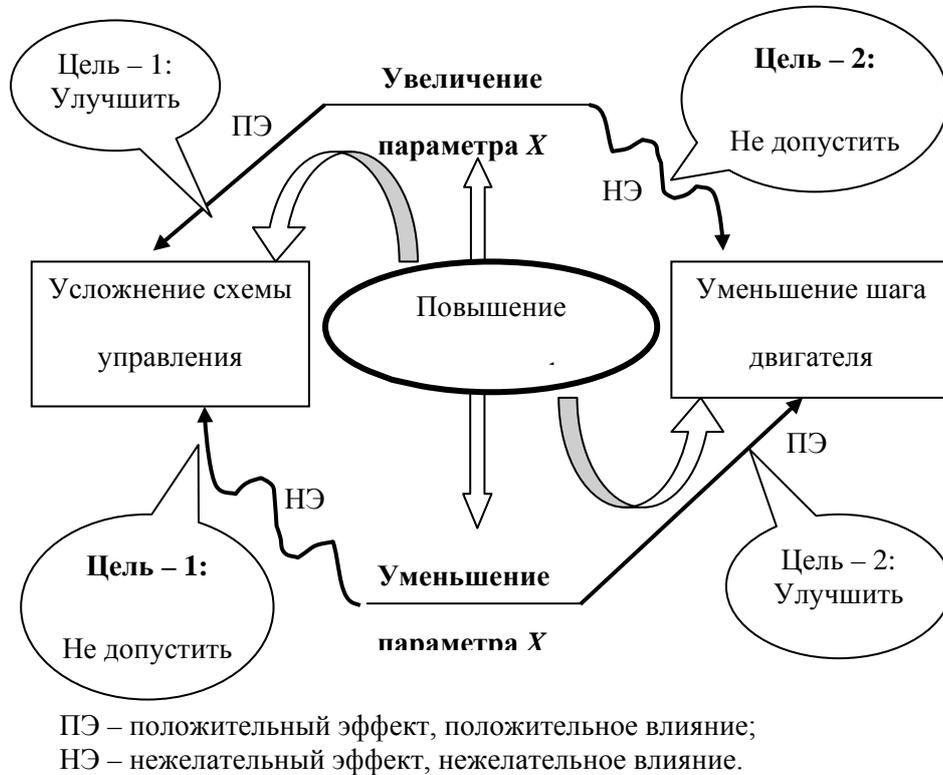


Рисунок 7 – Схема технического противоречия, возникающего при повышении количества фаз управления шаговых двигателей

Таким образом, при повышении количества фаз управления шаг двигателя уменьшается, что приводит к ускорению затухания колебаний. В настоящее время наиболее распространены трехфазные шаговые двигатели, так как это наименьшее число обмоток управления, при котором двигатели обладают гарантированной зоной устойчивости и обеспечивают реверс направления вращения. Но увеличение числа обмоток требует усложнения схемы управления, поэтому многофазные шаговые двигатели используются значительно реже.

Данное техническое противоречие можно разрешить с помощью принципа универсальности. Примером такого разрешения может служить многофункциональный распределитель, представленный в работе [6]. Данное изобретение может быть использовано в системах с шаговым электроприводом на базе трехфазных, четырехфазных, а также шестифазных шаговых двигателей (рис. 8).

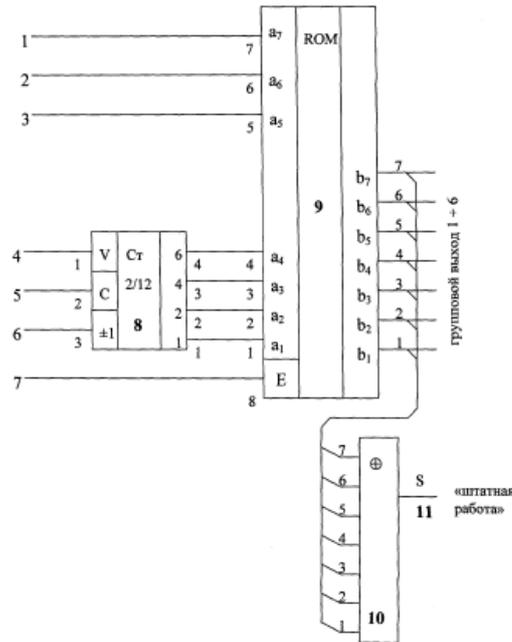


Рисунок 8 – Многофункциональный распределитель для управления шаговым двигателем

Многофункциональный распределитель для управления шаговым двигателем, содержит первую, вторую и третью шины выбора режима коммутации, шину управления, тактовую шину, шину реверса, реверсивный счетчик, первый, второй и третий входы которого соединены с шиной управления, тактовой шиной, шиной реверса соответственно. Постоянное запоминающее устройство, первый - четвертый адресные входы которого соединены с одноименными выходами счетчика, пятый – восьмой входы соответственно с третьей, второй, первой шинами выбора режима коммутации и разрешения чтения, а первый - шестой выходы используются в качестве выходов устройства. Также в распределитель дополнительно введены схема свертки, шина «штатная работа», седьмой выход постоянного запоминающего устройства, при этом выходы первый - седьмой постоянного запоминающего устройства соединены с одноименными входами схемы свертки, выход которой соединен с шиной «штатная работа».

В зависимости от выбора схемы подключения фазных обмоток к выходам распределителя, а также выбора циклов реверсивной коммутации данный распределитель позволяет осуществлять управление трех, четырех и шестифазными шаговыми двигателями.

Как было выяснено ранее, уменьшение шага двигателя приводит к снижению колебаний ротора шаговых двигателей. Помимо увеличения количества фаз управления двигателя, этого можно добиться с помощью принципа дробления. Такой метод снижения

колебаний является наиболее популярным. Режим управления, при котором используется данный метод, называется микрошаговым (Рис. 9).

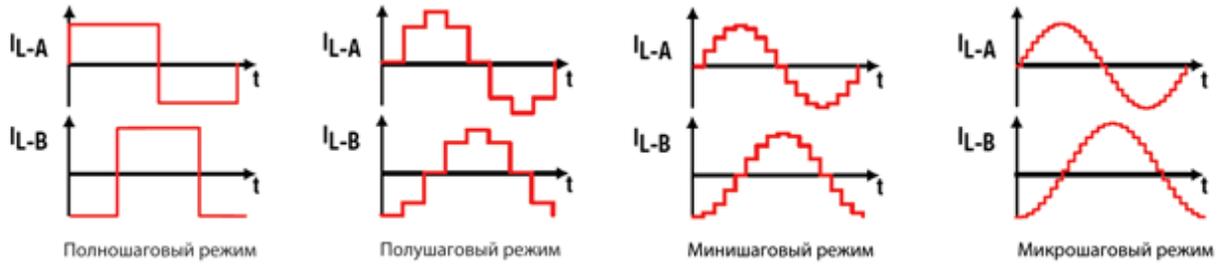


Рисунок 9 – Режимы управления шаговыми двигателями

Данный режим работы достигается за счет искусственного деления шага. Такое деление предполагает одновременное управление током не менее чем в двух фазах ШД. Для получения нужного направления магнитного поля необходимо выбрать направление токов, а также правильное соотношение между ними. Функции изменения токов выбираются таким образом, чтобы кривые статического момента, создаваемые отдельными фазами ШД, и суммарная статическая характеристика были синусоидальными функциями угла рассогласования между осями полюсов магнитных полей статора и ротора [7].

Типовая структурная схема микрошагового управления двухфазными ШД представлена на рисунке 10.

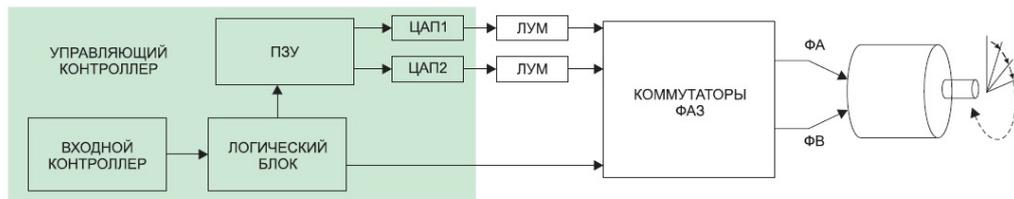


Рисунок 10 – Структурная схема микрошагового управления двухфазными ШД

Входной контроллер вырабатывает определенную последовательность импульсов, которую логический блок использует для формирования адресов ячеек постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), в которых хранятся коды фазных токов ШД текущего шага. С выхода ПЗУ эти коды загружаются в цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), на выходах которых формируются напряжения, пропорциональные токам фаз ШД. Эти напряжения усиливаются линейными усилителями мощности (ЛУМ) и через коммутаторы подаются на обмотки ШД. Одновременно логический блок вырабатывает коды управления коммутаторами, обеспечивая правильность подключения обмоток ШД к выходам ЛУМ.

В современных системах управления ШД программными методами можно достичь дробления шага практически с любым коэффициентом, что позволяет в значительной степени повысить приемистость и снизить неустойчивость ротора [8].

Еще одним методом снижения неустойчивости ротора шаговых двигателей является использование принципа предварительного антидействия. Его суть заключается в том, что вместе с шаговыми двигателями используются драйвера с функцией подавления резонанса. Этой функцией оснащено достаточно мало драйверов шаговых двигателей. Самые известные примеры – это драйверы фирм Purelogic, Geckodrive и Leadshine серий DM, EM. Подробности работы данных драйверов в полной мере производителями не раскрываются. Но основной принцип их работы заключается в том, что возникновение резонанса отслеживается по колебаниям ЭДС индукции, возникающим в обмотках двигателя от резонирующего ротора, после чего ПО драйвера определяет стратегию его устранения. К примеру, большинство драйверов фирмы Purelogic оснащены

специальным автоматическим компенсатором резонанса, который позволяет полностью исключить резонирование ШД и сделать его вращение равномерным и устойчивым во всем диапазоне частот.

Ключевым препятствием использования таких драйверов является их высокая стоимость, поэтому они используются только в системах управления, где требуется повышенная точность.

Для повышения стабильности и снижения колебаний движения ротора шаговых двигателей применяются конструктивные и схмотехнические методы. Конструктивные методы в современных системах почти не используются, так как демонстрируют низкие показатели эффективности, по сравнению со схмотехническими методами. Наиболее популярным и оптимальным методом повышения стабильности является микрошаговый режим управления шаговым двигателем.

Заключение

В результате проведенного анализа были рассмотрены различные методы повышения стабильности работы ротора шаговых двигателей. Наиболее простым решением проблемы колебания ротора является введение механических демпфирующих устройств. Но данный метод по современным меркам является неэффективным. Все схмотехнические методы, рассмотренные в данной статье, применяются в современных системах управления ШД. Выбор метода зависит от требований к точности работы шагового двигателя.

Литература

1. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.: ил.
2. Жуков С. Полевые расчеты гибридного шагового двигателя методом конечных элементов в ANSYS MAXWELL. М.: Электромехатроника и управление «Энергия-2015», 2015. — с. 64-68.
3. Скрибанов Е. Микрофрезерный станок с ЧПУ на основе персонального компьютера: учебное пособие. Москва. МГИУ. 2006.
4. Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф., Шаговый привод в робототехнике. — М.: изд-во МЭИ, 1984.
5. Емельянов А.В. Шаговые двигатели: учеб. пособие/ А.В.Емельянов, А. Н. Шилин/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. — 48 с.
6. Патент RU 2526855, Кл. H02P 8/00, H02P 8/20, бюл. № 24, 27.08.2014.
7. Гумен В. Ф., Калининская Т. В. Следящий привод. Л.: Энергия. 1980.
8. Алексеев К. Б., Палагута К. А. Микроконтроллерное управление электроприводом. М.: МГИУ. 2008.

ПУЛЬТ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Петросян П.А.

Научный руководитель: Курносенко А.Е.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

PANEL OF A WORKPLACE OF THE OPERATOR OF RADAR STATION

Petrosyan P.A.

Supervisor: Kurnosenko A.E.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена разработке пульта рабочего места оператора типовой радиолокационной станции, работающего в диапазоне температур от -55 °С до +65 °С. Устройство предназначено для отображения информации и интерактивного формирования команд управления мобильной радиолокационной станцией секторного обзора.

Abstract

This article is devoted to development of the panel of a workplace of the operator of radar station working in the range of temperatures from -55 °C to +65 °C. The device is intended for display of information and interactive formation of teams of management of mobile radar station of the sector review.

Введение

Среди многообразия известных в настоящее время радиотехнических систем особое положение занимают радиолокационные станции.

Типовая РЛС, выполняет задачи по обнаружению, опознаванию и сопровождению всех типов воздушных целей, а также выдачи информации о них на командный пункт. Станция может работать в нескольких режимах и в сложной воздушной обстановке с высокой вероятностью обнаруживать баллистические и аэробаллистические (крылатые) ракеты.

Для выделения цели и решения о запуске ракеты на станции находится начальник станции и его помощники. Они работают за специальными автоматизированными рабочими местами, на которых отображаются цели, пространство в округе (обычно на 360 градусов), параметры станции, неисправности и другая информация. В настоящее время в пультах управления РЛС используется современная элементная база на ПЛИС [1].

Назначение устройства

Изделие представляет собой автоматизированное рабочее место оператора и предназначено для отображения информации и интерактивного формирования команд управления мобильной зенитной ракетной системы. В состав АРМ входят: индикатор (дисплей) и пульт управления, который состоит из тумблеров и шарового регулятора, требующегося для управления курсором на дисплее.

Функциональная схема РЛС секторного обзора, приведенная на рисунке 1, условно разделена на две части: антенный пост и аппаратный отсек. Основными составляющими антенного поста являются: передающая система, фазированная антенная решетка, приемная система.

В аппаратном отсеке размещаются:

1. цифровое приемное устройство;
2. синхронизатор станции;
3. автоматизированное рабочее место оператора;
4. вычислительная система;
5. пульт командира и блок сопряжения и функционального контроля;
6. тренажер.

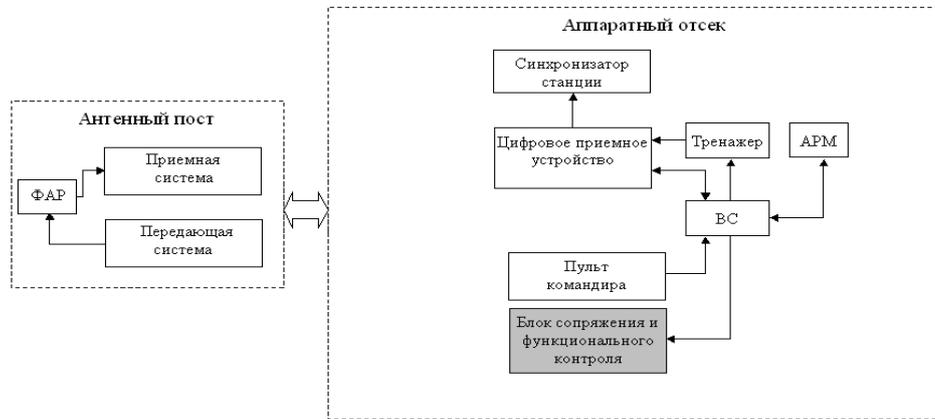


Рисунок 1 – Функциональная схема РЛС секторного обзора

В данный момент используется АРМ, состоящее из функционально законченных блоков. Конструкция изделия выполнена в виде стойки, в которой размещены блоки входящих в изделие устройств. Блоки устройств изделия соединяются между собой кабелями. На рисунке 2 показан общий вид изделия.

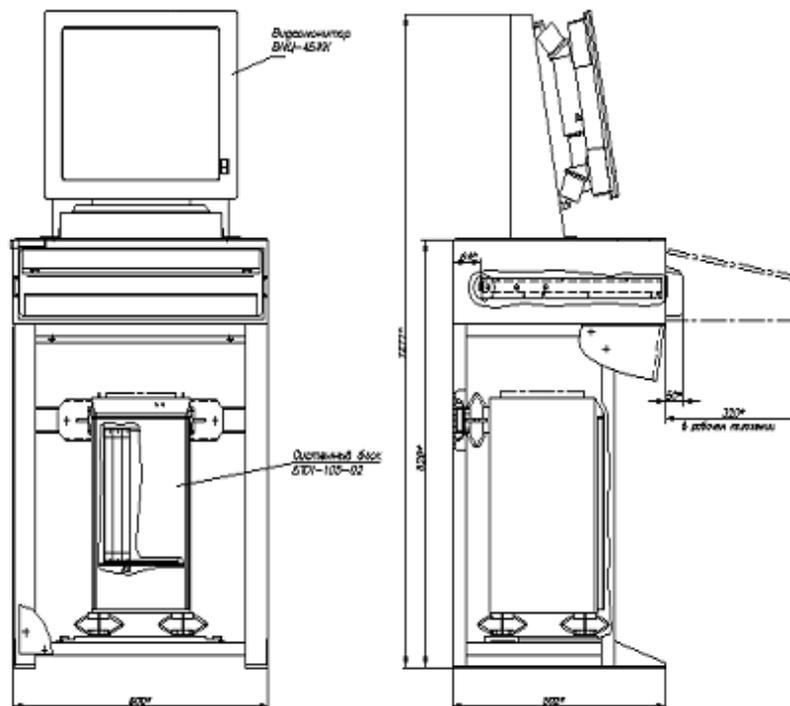


Рисунок 3 – Автоматизированное рабочее место оператора

Системный блок установлен на амортизаторы. Пульт оператора и регулятор шаровый в походном положении вдвигаются внутрь стойки. В рабочем положении пульт и регулятор шаровый выдвинуты. Стойка крепится к полу и к стенке кабины с помощью болтов, пропущенных через предусмотренные для этого отверстия.

Для надежного соединения в тяжелых условиях (возможные перепады температур, тряска, влажность) часто используется для работы техники интерфейс RS-232 [2].

Пульт устанавливаются на выдвижном столике стойки вместо клавиатуры. Во время технического обслуживания стоек пульта заменяются на клавиатуру.

Литература

1. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 408 с.: илл.
2. RS-232, ITU-T v.24. 2000г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ «УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СНЯТИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК»

Плаксин А.Н.

Научный руководитель: Соловьев В.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR ELEMENTS WITH «UNIVERSAL DEVICE FOR REMOVING VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS»

Plaksin A.N.

Supervisor: Soloviev V.A.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена исследованию характеристик полупроводниковых приборов с помощью «Универсального устройства снятия вольт-амперных характеристик». Основное внимание уделено обзору возможностей изделия. Приведен перечень исследуемых элементов и их характеристики.

Abstract

This article is devoted to the study of the characteristics of semiconductor devices using the "Universal device for removing volt-ampere characteristics." The main attention is paid to the review of the product's capabilities. The list of investigated elements and their characteristics is resulted.

Введение

Актуальность темы обусловлена необходимостью применения изделия для исследования вольт-амперных характеристик полупроводниковых элементов в лабораторных условиях. Для решения данной задачи разрабатывалось изделие, позволяющее снимать и исследовать вольт-амперные характеристики полупроводниковых элементов с возможностью передачи данных на персональный компьютер с последующей визуализацией информации на мониторе.

Целью данной работы является обзор изделия «Универсальное устройство снятия вольт-амперных характеристик», ознакомление с перечнем исследуемых элементов, способом их подключения и характеристиками.

1. Обзор изделия

Универсальное устройство снятия вольт-амперных характеристик (рисунок 1) - это устройство, предназначенное для получения характеристик испытуемых полупроводниковых элементов (диодов, биполярных и полевых транзисторов). Прибор имеет управляющий МК, связанный с ПК через интерфейс USB, на котором установлена специальная программа, позволяющая визуализировать полученные в ходе исследований вольт-амперные характеристики испытуемых ЭРЭ.

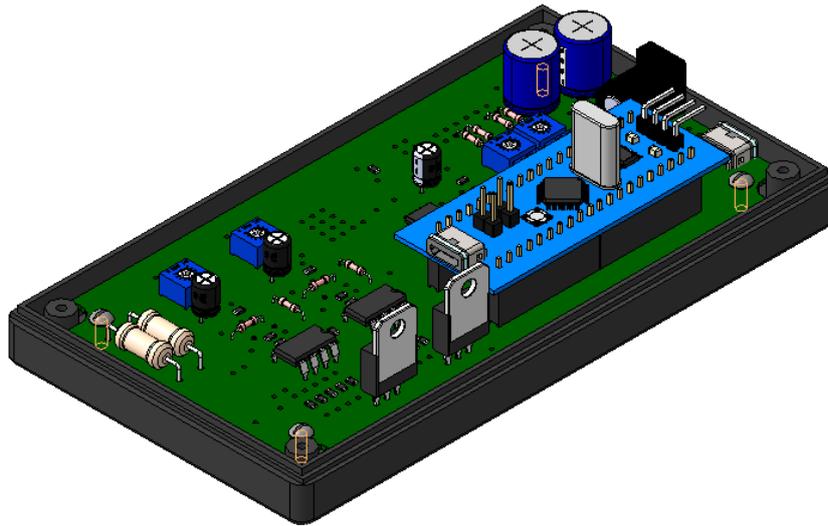


Рисунок 1– Разрабатываемое изделие без крышки

Устройство задаёт испытательные воздействия на исследуемый элемент и измеряет требуемые параметры.

Стенд спроектирован таким образом, что у пользователя есть возможность выбирать необходимые ему параметры для снятия характеристик элементов:

- выбор типа элемента (двухполюсник, биполярный pnp/npn и полевой n-канальный/p-канальный транзистор);
- возможность выбора максимального сканирующего напряжения, при котором будет исследоваться ВАХ (2В/5В/10В/15В)
- работает в двух режимах: «студент», «преподаватель».

Таким образом, стенд снятия ВАХ обеспечивает получение вольт-амперных характеристик испытуемого элемента. В режиме «студент» построение ВАХ происходит поэтапно: студент вводит значения напряжения, получает соответствующую точку на графике и далее поэтапно выстраивает полную характеристику. В режиме «преподаватель» снятие ВАХ происходит в автоматическом режиме.

2. Перечень исследуемых элементов, их подключение и характеристики

В перечень исследуемых элементов входят: двухполюсники (диоды, стабилитроны), биполярные pnp/npn транзисторы и полевые n-канальные/p-канальные транзисторы. Устройство и распиновка данных элементов представлена на рисунке 2.

Устройство биполярного и полевого транзистора



Рисунок 2– Устройство двухполюсника и транзисторов

Исследуемые элементы подключаются к разъему. Характеристики исследуемых элементов приведены на рисунке 3.

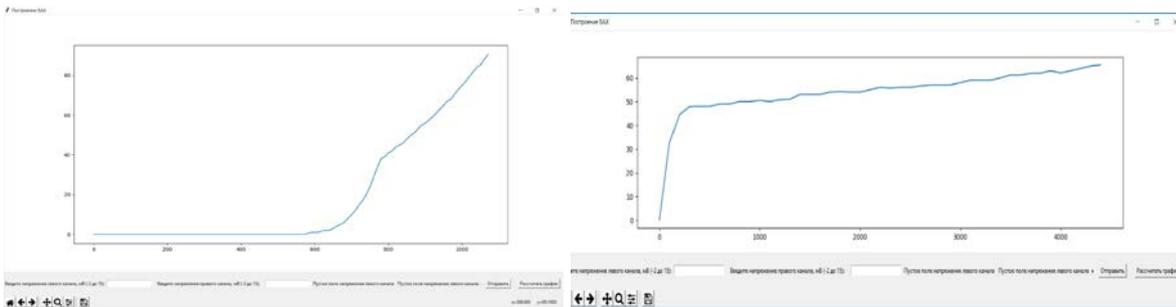


Рисунок 3– Характеристики исследуемых элементов

Исследуемые ЭРЭ подключаются к разъему X3 (рисунок 4).

Левый канал соответствует контакту номер 1 на схеме электрической принципиальной, правый канал контакту 2 соответственно; 3 контакт – точка виртуального поля.

1. Подключение двуполюсника: анод подключается к левому каналу, катод подключается к точке «виртуального поля».
2. NPN транзистор: коллектор подключается к левому каналу, эмиттер подключается к точке «виртуального поля», база подключается к правому каналу.
3. PNP транзистор: эмиттер подключается к левому каналу, коллектор подключается к точке «виртуального поля», база подключается к правому каналу.
4. N полевой транзистор: сток подключается к левому каналу, исток подключается к точке «виртуального поля», затвор подключается правому каналу.
5. P полевой транзистор: исток подключается к левому каналу, сток подключается к точке «виртуального поля», затвор подключается к правому каналу.

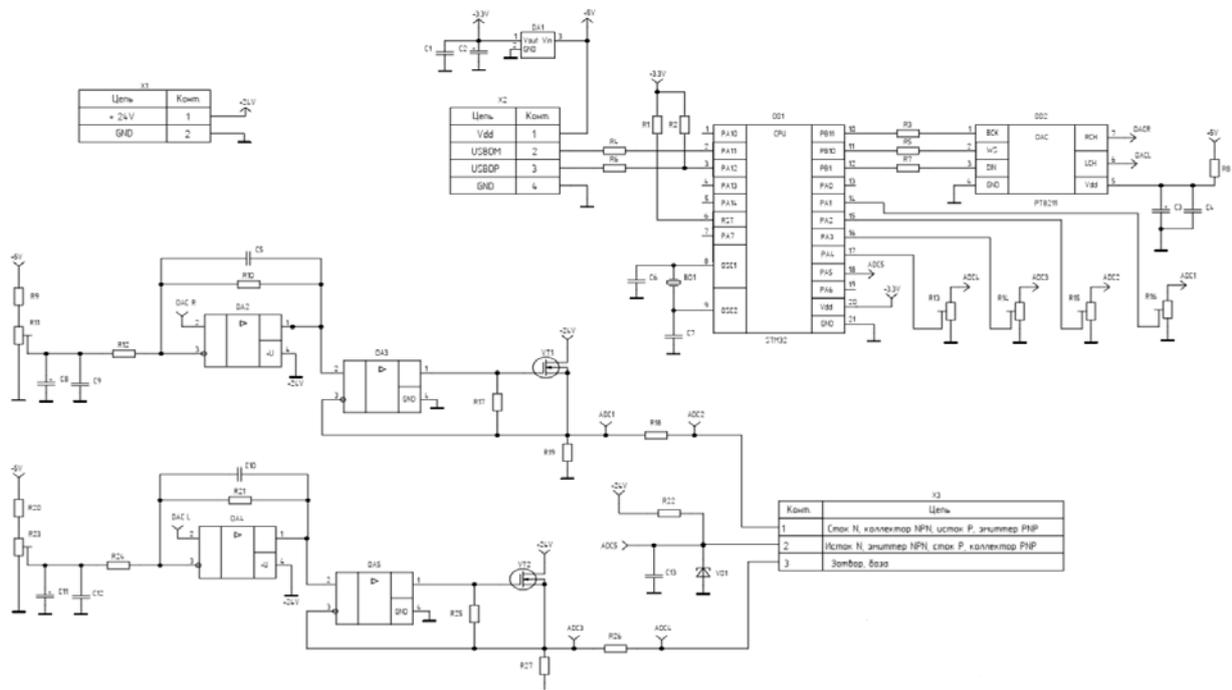


Рисунок 4 – Схема электрическая принципиальная

Заключение

В результате работы проведён обзор изделия «Устройство снятия вольт-амперных характеристик», рассмотрены основные типы исследуемых элементов, приведены характеристики этих элементов. Устройство не уступает аналогам и успешно справляется с поставленными задачами. К тому же устройство обладает хорошим показателем цена/качество и доступно для любого пользователя.

Литература

1. ГОСТ 2.730-73 «Приборы полупроводниковые».
2. ГОСТ 2.743-91 «Элементы цифровой техники».
3. ГОСТ 2.759-82 «Элементы аналоговой техники».
4. Парфёнов Е.М. и др. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. Пособие для вузов/ Е.М. Парфёнов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачёв. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.: ил.
5. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для Вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др. Под общей редакцией В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.: ил.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ P-КАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Бутин А. В.

Научный руководитель: канд.техн. наук, доцент Власов А.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

METHODS AND MEANS OF ASSESSMENT OF THE SAVED-UP DOSE WITH USE OF R-KANALNYH MOP-TRANZISTOROV

Butin A. V.

Supervisor: Ph.D. Vlasov A.I.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлено обоснование возможности использования в качестве датчиков накопленной дозы гамма-излучения p-канальных МОП-транзисторов из состава КМОП-микросхем. Исследована возможность расширения диапазона дозовых нагрузок, определяемых с помощью датчиков накопленной дозы. Рассмотрен вариант исполнения устройства с датчиками накопленной дозы на основе микроконтроллера STM32. Разработаны его алгоритм и программное обеспечение для реализации этого алгоритма. Проведена отработка макета устройства на моделирующей установке ГУ-200 и получены калибровочные зависимости датчиков накопленной дозы для дальнейшего их использования.

Abstract

Justification of a possibility of use as sensors of the saved-up dose of gamma radiation of p-channel MOP-transistors from structure of КМОП-chips is presented in article. The possibility of expansion of range of the dose loadings determined by sensors of the saved-up dose is investigated. The option of execution of the device with sensors of the saved-up dose on the basis of the STM32 microcontroller is considered. His algorithm and the software are developed for realization of this algorithm. Working off of the model of the device on the modeling GU-200 installation is carried out and calibration dependences of sensors of the saved-up dose for their further use are received.

Введение

Радиоэлектронная аппаратура космических аппаратов (КА) подвергается воздействию ионизирующих излучений космического пространства (ИИ КП). Срок активного существования КА в значительной степени определяется дозой нагрузкой составных частей аппаратуры КА. Поскольку радиационная обстановка внутри КА в процессе функционирования КА на орбите может существенно меняться и достигать критических значений, приводящим к отказам аппаратуры, для устойчивого функционирования космических группировок необходимо иметь оперативную информацию об остаточном ресурсе аппаратуры КА. Поэтому актуальной задачей мониторинга радиационной обстановки на борту КА является определение дозы, накопленной в чувствительном объеме элементов аппаратуры [1, 2].

Для измерения накопленной дозы применяют дозиметры основе p-канальных МОП-транзисторах [3–5]. Затвор транзисторов соединяют со стоком, подложку - с истоком и через транзистор пропускается постоянный рабочий ток. Электрическая схема включения приведена на рисунке 1. Информативным параметром является напряжение между выводами стока и истока. Составной частью схемы измерения с помощью таких датчиков является источник тока, необходимый для каждого детектора.

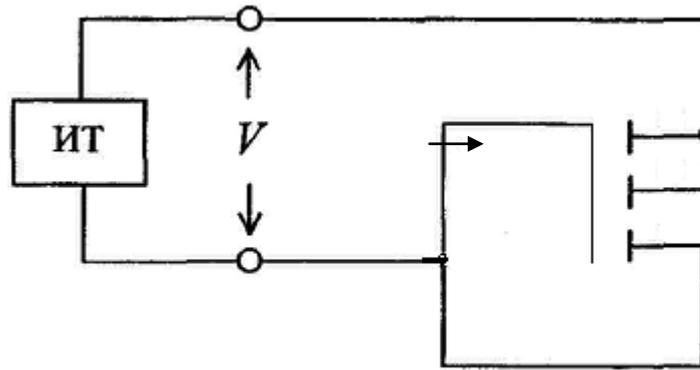


Рисунок 1 - Типовая схема использования p-MOПТ в качестве детектора накопленной дозы

Накопление положительного заряда в подзатворном диэлектрике при облучении МОП-транзисторов приводит к изменению порогового напряжения. Положительный заряд, образованный при облучении, пропорционален накопленной в чувствительном объеме дозе. Если какой-либо электрический параметр полупроводникового прибора однозначно связан с количеством дефектов, образующихся под действием излучений, то по изменению этого параметра можно определить количественную характеристику этого излучения в единицах накопленной дозы.

Для оценки дозовой стойкости аппаратуры КА и ее составных частей используют предельное значение накопленной в чувствительных областях элементов дозы излучения, при которой сохраняется работоспособность аппаратуры [1, 2].

Показатели дозовой стойкости аппаратуры и ее составных частей, как правило, определяют по результатам облучения на изотопных источниках Co^{60} с энергией гамма-квантов 1,25 МэВ [3]. Поскольку гамма-излучение с энергией 1,25 МэВ практически без ослабления конструкционными материалами проникает в чувствительный объем элементов и рабочее тело кремний-эквивалентных детекторов, то доза, зарегистрированная детекторами совпадает с дозой, накопленной в чувствительном объеме.

В связи с тем, что ИИ КП как по составу, так и по энергиям существенно отличаются от ИИ изотопных источников, то доза, накопленная в рабочем теле кремний-эквивалентных детекторов, будет эквивалентна дозе, накопленной в чувствительном объеме исследуемых элементов, как правило, кремний или окиси кремния, только в том случае, если детектор имеет конструкцию аналогичную конструкции исследуемых элементов.

Основной задачей исследований дозовой стойкости МОП-приборов является обеспечение наилучшего соответствия результатов измерения поглощенной дозы в чувствительном объеме МОП-прибора, используемого в качестве детектора, значению поглощенной дозы в чувствительном объеме МОП-приборов из состава исследуемой аппаратуры. Для этого в качестве чувствительного элемента целесообразно использовать p-канальные МОП-транзисторы из состава простейших цифровых интегральных схем (инверторов, схем И-НЕ, ИЛИ-НЕ, триггеров Шмидта и др.), близких по конструкции и технологии изготовления к испытываемым объектам [4].

1 Электрофизические характеристики МОП-транзисторов и методы их измерения

Пороговое напряжение и крутизна являются основными параметрами сток-затворных характеристик МОП-транзисторов. Пороговое напряжение является

непосредственной функцией заряда в окисле, величина которого, в первом приближении, прямо пропорциональна поглощенной дозе.

Заряд, накопленный в окисле, влияет на заряд поверхностных состояний, которые уменьшают крутизну стокзатворной характеристики транзистора и могут иметь как положительный, так и отрицательный заряд. В n-канальных транзисторах заряд поверхностных состояний может принимать отрицательные значения и компенсировать влияние заряда в окисле. Следствием этого является нелинейность и немонотонность зависимости порогового напряжения стокзатворной характеристики от поглощенной дозы. В p-канальных транзисторах заряд поверхностных состояний может принимать только положительные значения, что гарантирует монотонность зависимости порогового напряжения p-канальных МОП-структур от поглощенной дозы [5].

Облучение p-канального МОП-транзистора дозой D приводит к изменению его сток-затворной характеристики $I_{DS(D)}$

$$I_{DS(D)} = \frac{W \cdot \mu_0 \cdot C_{ox}}{2L} \left(|V_{GS}| - |V_{T0}| - |K_{\Delta V_T} \cdot D| \right)^2, \quad (1)$$

где L и W – соответственно, длина и ширина канала (являются типовыми для данной технологии изготовления МОП-приборов);

μ_0 – исходное значение подвижности носителей в канале,

C_{ox} – удельная емкость подзатворного диэлектрика,

V_{GS} – напряжения на затворе относительно истока,

V_{T0} – пороговое напряжение,

$K_{\Delta V_T}$ – коэффициент дозовой чувствительности.

При выборе конкретного типа МОП – микросхем в качестве датчика необходимо ориентироваться на следующие ограничения:

- конструкция МОП – микросхемы (материал корпуса, наличие слоев металлизации, топологические нормы, технология межэлементной изоляции), должна наиболее близко соответствовать элементной базе, применяемой в изделиях, дозовую стойкость которых предполагается исследовать в облучательных экспериментах;

- функциональные возможности МОП – микросхемы должны разрешать детерминированную установку выходных каскадов, используемых в качестве детекторов в состоянии «лог.1»;

- диапазон чувствительности МОП – микросхем к действию гамма-излучения должен находиться в пределах 10-100 крад;

- МОП – микросхемы должны иметь устойчивые показатели дозовой стойкости.

Снятие сток-затворной характеристики p-канального МОП-транзистора из состава КМОП-микросхем может быть реализовано с помощью измерительного стенда, структурная схема которого приведена на рисунке 2.

На шины питания микросхемы 1594ТЛ2Т и на вход осциллографа Agilent DSO 7014В подается линейно возрастающее напряжение с выхода генератора Agilent 33250А. На другой вход осциллографа Agilent DSO 7014В подается напряжение с нагрузочного резистора в цепи инверсного выхода одного из триггеров Шмитта микросхемы 1594ТЛ2Т, вход которого заземлен.

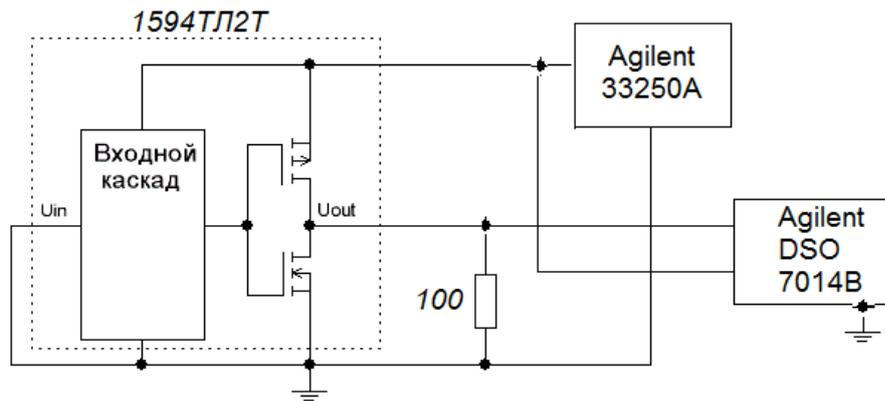


Рисунок 2 – Структурная схема измерительного стенда для получения сток-затворной характеристики р-канального транзистора.

На рисунке 3 приведена осциллограмма зарегистрированных сигналов при получении сток-затворной характеристики р-канального транзистора микросхемы 1594ТЛ2Т в надпороговой области.

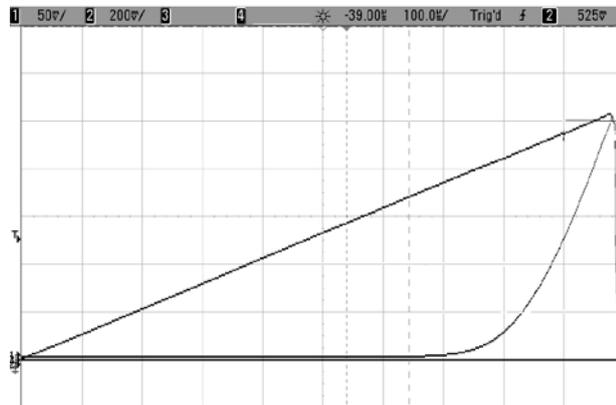


Рисунок 3 – Осциллограмма линейно возрастающего сигнала на шине питания микросхемы 1594ТЛ2Т (1) и сигнала на нагрузочном резисторе.

2 Деградация сток-затворной характеристики р-канальных МОП-транзисторов от накопленной дозы

Вследствие образования встроенного заряда в подзатворном диэлектрике в процессе облучения, пропорционального накопленной дозе, начальная сток-затворная характеристика (I) р-канального транзистора смещается в область более отрицательных значений (II) (см. рисунок 4).

Соотношение (1) достаточно точно описывает деградацию сток-затворной характеристики МОП-транзисторов от накопленной дозы. Поэтому, определив соответствующие коэффициенты аппроксимации для каждого МОП-транзистора, достаточно ограничиться измерением тока стока при общем для всех МОП-транзисторов значении U_{GS} . При накопленной дозе D ток стока I_{DS0} снизится до значения I_{DSD} [4].

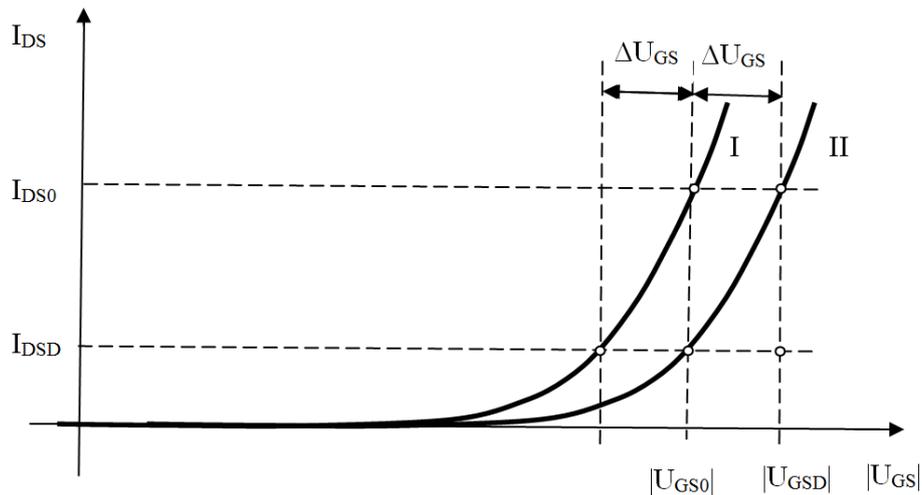


Рисунок 4 – Сток-затворная характеристика р-канального транзистора до облучения (I) и при накопленной дозе D (II).

Недостатком данной схемы измерения (рисунок 2) является то, что при многоточечном контроле на шины питания всех детекторов подается одинаковое напряжение. Поскольку накопленная доза в каждом конкретном месте расположения датчиков может существенно отличаться, то по причине нелинейности сток-затворной характеристики, в конечном итоге, целый ряд датчиков, накопленная доза в которых превысила критическое значение, может потерять чувствительность к воздействию ИИ (МОП-транзисторы перейдут в режим отсечки тока), в то время как другие датчики, накопленная доза в которых достаточно мала, сохраняют работоспособность.

Для того, чтобы расширить диапазон дозовых нагрузок при групповом применении датчиков накопленной дозы необходимо поддерживать величину тока стока I_{DS0} путем изменения напряжения U_{GS0} до значения U_{GSB} . При этом в этом случае значение ΔU_{GS} , будет пропорционально накопленной дозе D.

3 Порядок применения КМОП-микросхем в качестве детекторов накопленной дозы

Современные радиационные моделирующие установки представляют собой сложные источники излучений. Для моделирования дозовых воздействий наибольшее распространение получили источники с искусственным изотопом кобальта ^{60}Co , образующимся в ядерном реакторе из обычного кобальта Co за счет захвата ядрами медленных нейтронов. Кобальт-60 испускает гамма-лучи с энергией 1,2 МэВ и 1,3 МэВ с периодом полураспада 5,25 года. Конструкция изотопной установки обеспечивает минимальные искажения спектра излучения кобальтового источника. Поэтому данная установка является эталонной для воспроизведения гамма-излучения со средней энергией 1,25 МэВ.

Метрология излучений осуществляется штатными средствами с погрешностью результатов измерения дозы гамма-излучения не более 10%.

Штатными средствами детектирование дозы гамма-излучения являются термолюминесцентные детекторы (ТЛД) и детекторы на основе стекол (СГД-8).

Принцип действия ТЛД основан на термолюминесцентном эффекте, заключающемся в проявлении оптических эффектов при нагревании облученного материала дозиметра. Электроны элементов, составляющих детектор, при поглощении энергии возбуждаются и переходят в более высокое энергетическое состояние, и эта энергия накапливается в детекторе. После облучения детектор нагревается до температуры 300 градусов по Цельсию. При этой температуре энергия, накопленная в

детекторе, будет освобождаться в виде импульсов света, и это количество света может быть зарегистрировано специальным оборудованием и пересчитано в дозу облучения.

Детекторы СГД-8 на основе стекол изменяют оптическую плотность под действием излучений. Изменение коэффициента пропускания стеклами в оптическом диапазоне регистрируется специальными спектрометрами.

Для оперативного измерения дозовой нагрузки применяют р-канальные МОП-транзисторы [6-8].

Перед применением КМОП-микросхем 1594ТЛ2Т в качестве датчиков накопленной дозы их предварительно облучают в опорном поле изотопного источника с энергией гамма-квантов 1,25 МэВ до значения накопленной дозы в диапазоне от 20 до 30 крад. С помощью измерительного стенда (см. рисунок 2) регистрируют сток-затворную характеристику р-канального транзистора выходного каскада КМОП-микросхемы до и после облучения, по смещению которой определяют сдвиг порогового напряжения, соответствующий накопленной дозе D. Затем определяют значение коэффициента дозовой чувствительности по формуле:

$$K_{\Delta V_T} = \Delta U_{GS} / D, \text{ мВ/рад (Si)}. \quad (2)$$

При применении КМОП-микросхем 1594ТЛ2Т в качестве датчиков накопленной дозы в процессе облучения на шину питания микросхемы, подают постоянное напряжение, соответствующее току стока порядка 2,0 мА.

Сдвиг порогового напряжения определяют по уменьшению тока стока (см. рисунок 4), используя для этого сток-затворную характеристику р-канального транзистора, снятую до облучения [4] и коэффициенты аппроксимации, вычисленные по соотношению (1).

По определенному сдвигу порогового напряжения и рассчитанному значению коэффициента дозовой чувствительности из соотношения (2) находят значение накопленной дозы в процессе испытательных воздействий.

Преимуществом предложенной схемы измерения параметров МОП-транзисторов (рисунок 2) является то, что измеряется только ток стока соответствующего МОП-транзистора в надпороговом режиме [4]. Его величина достаточно мала и не приводит к существенному изменению температуры кристалла микросхемы. Кроме этого, изменение тока стока имеет физически обоснованную зависимость от накопленной дозы.

Недостатком данной схемы измерения является то, что при многоточечном контроле на шины питания всех датчиков подается одинаковое напряжение. Поскольку накопленная доза в каждом конкретном месте расположения датчиков может существенно отличаться, то по причине нелинейности сток-затворной характеристики, в конечном итоге, целый ряд датчиков, накопленная доза в которых превысила критическое значение, может потерять чувствительность к воздействию ИИ (МОП-транзисторы перейдут в режим отсечки тока), в то время как другие датчики, накопленная доза в которых достаточно мала, сохраняют работоспособность.

4 Схемно-конструктивные решения по расширению рабочего диапазона детекторов накопленной дозы на МОП-транзисторах

Для расширения рабочего диапазона детекторов накопленной дозы на МОП-транзисторах предлагаются следующие схемно-конструктивные решения.

Для того, чтобы используемые при многоканальных измерениях датчики на МОП-транзисторах независимо от накопленной дозы сохраняли чувствительность в требуемом диапазоне, необходимо:

- обеспечить подключение к измерительной системе только одного МОП-транзистора выбранного для измерений;

- обеспечить до момента измерения тока стока МОП-транзистора корректировку напряжения на шине питания выбранной микросхемы до значения, при котором ток стока попадает в нужный диапазон значений – не менее 2,0 мА.

На рисунке 5 приведена структурная схема устройства, удовлетворяющего данным требованиям.

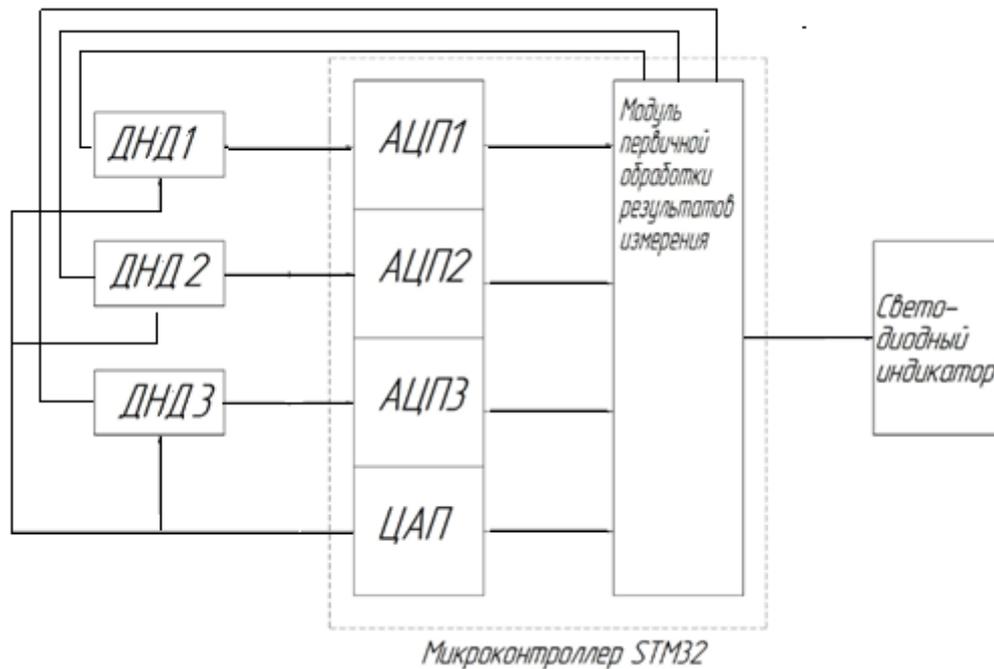


Рисунок 5 - Структурная схема устройства с датчиками накопленной дозы (ДНД1...ДНД3)

Многоканальное устройство с N датчиками накопленной дозы ДНД1...ДНДN может быть реализовано с использованием современных микроконтроллерных устройств [9-13] имеющих в своем составе:

- 12 разрядный ЦАП;
- 2x12-разрядный АЦП с возможностью расширения до 16 каналов;
- интерфейс обеспечивает параллельный вывод данных на индикацию;
- программируемые порты ввода/вывода;
- программно-технические средства, имеющиеся в открытом доступе.

32-разрядные микроконтроллеры выпускаются многими производителями, но наиболее широкое распространение, на текущий момент, получил продукт фирмы STMicroelectronics (STM). Достаточно низкая стоимость, удобство программирования и наличие бесплатного ПО способствовали его широкому распространению в среде разработчиков многофункциональных цифровых устройств.

Наиболее производительными в семействе STM32 являются микроконтроллеры линейки STM32F4.

Плата STM32F4 Discovery (рисунок 7) с возможностями 32-битного МК на основе ARM-архитектуры позволяет реализовать широкий спектр многофункциональных устройств с использованием аппаратного обеспечения платы.

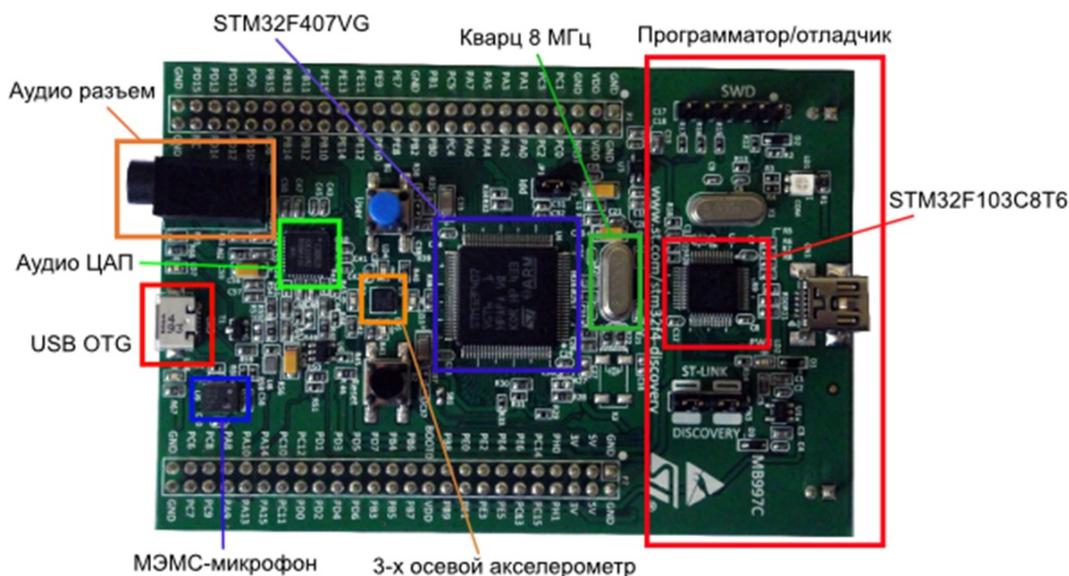


Рисунок 7 Внешний вид платы STM32F4 Discovery

Архитектура микроконтроллера STM32F407VGT6 позволяет организовать процесс многоканальных измерений параметров ДНД с погрешностью не хуже $\pm 1,0$ мВ, провести первичную обработку информации и вывести на индикацию результаты измерений, обеспечить необходимую конфигурацию портов ввода/вывода.

Датчик накопленной дозы представляет собой КМОП-микросхему 1594ТЛ2Т и нагрузочный резистор сопротивлением 100 Ом. Вывод питания микросхемы подключен к выходу ЦАП микроконтроллера STM32F407VGT6, инверсный выход триггера Шмитта микросхемы через резистор 100 Ом соединяется с соответствующим программируемым выводом порта ввода/вывода (I/O) микроконтроллера STM32F407VGT6.

Результаты измерений через параллельный порт выводятся на светодиодный индикатор.

5 Алгоритм работы устройства с датчиками накопленной дозы

Устройство с датчиками накопленной дозы реализует следующий алгоритм работы (рисунок 6).

При прошивке программы управления микроконтроллера STM32F407VGT6 в качестве исходных данных записываются значения порогового напряжения U_{GS} для каждого МОП-транзистора выходных каскадов микросхем 1594ТЛ2Т.

В исходном состоянии все выводы порта I/O, к которым подключены выходы датчиков, находятся в высокоимпедансном состоянии.

После инициации микроконтроллера нажатием кнопки «Пуск» происходит поочередный опрос датчиков дозовой нагрузки с выполнением следующих операций:

- на выводе порта I/O, соответствующем данному датчику, устанавливается лог. «0», подключая сток МОП-транзистора выходного каскада микросхемы к шине «GND»;
- запускаются ЦАП микроконтроллера, формирующего линейно возрастающее напряжение на шине питания, и соответствующий АЦП микроконтроллера, измеряющий напряжение на нагрузке;
- после достижения током в нагрузке значения не менее 2,0 мА (200 мВ) ЦАП останавливается;
- соответствующее значение напряжения на выходе ЦАП передается АЛУ микроконтроллера;
- вычисляется величина сдвига порогового напряжения выбранного датчика;

- по величине сдвига порогового напряжения и значению коэффициента чувствительности для данного датчика вычисляется значение накопленной дозы D ;
- вычисленное значение и порядковый номер датчика преобразуются в параллельный шестнадцатидвоичный код, значение которого выводится через порт I/O на светодиодный индикатор;
- вывод порта I/O, к которому присоединен через резистор сток МОП-транзистора выбранного датчика, переводится в высокоимпедансное состояние;
- далее процесс измерения и индикации повторяется поочередно для каждого датчика.

Для реализации данного алгоритма было разработано ПО с использованием среды программирования, предлагаемой фирмой STMicroelectronics.

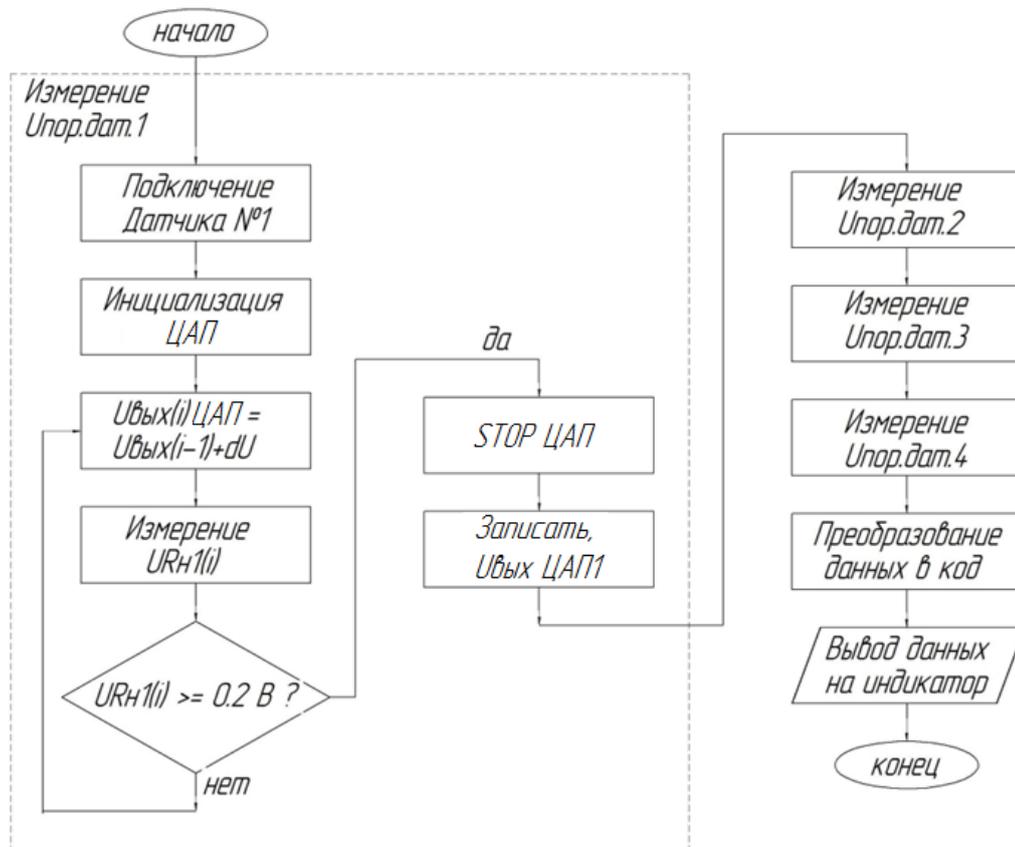


Рисунок 6 – Алгоритм работы устройства с датчиками накопленной дозы

6 Методика разработки программного обеспечения устройства с датчиками дозовой нагрузки

Для разработки программного обеспечения (ПО), встроенного в микроконтроллеры STM32, использовалась среда программирования STM32Cube [11 - 13]. Данное ПО существенно облегчает разработку управляющей программы за счет снижения усилий, времени и затрат, и охватывает всё семейство микроконтроллеров STM32. Для генерации кода инициализации ядра STM32 и периферии, встроенной в микроконтроллер STM32CubeTM, используется утилита с графическим интерфейсом STM32CubeMX.

Библиотека STM32Cube HAL представляет собой встраиваемое ПО уровня абстракции HAL для STM32, обеспечивающее максимальную переносимость кода внутри семейства STM32. Набор встраиваемых компонентов ПО (RTOS, USB, FatFS, TCP/IP, Graphics) настроен для их совместной работы.

HAL (Hardware Abstraction Layer) – программный уровень абстрагирования, реализованный в ПО, находится между физическим уровнем аппаратного обеспечения и

программным обеспечением. Драйверы уровня HAL представляют собой комплект универсальных, многофункциональных и, одновременно, простых интерфейсов API, предназначенных для взаимодействия микроконтроллера с основной программой, библиотеками и стеками.

Проект программы создается с помощью программы CubeMX, в котором настраивается вся используемая периферия. В проект помещаются необходимые библиотеки. Разработанная программа управления микроконтроллером реализует описанную выше последовательность операций. При изготовлении макета устройства с датчиками дозовой нагрузки проведена отладка программы и выполнена прошивка микроконтроллера. Программа реализована с помощью HAL-драйверов платы микроконтроллера, представляющих собой комплект универсальных, многофункциональных, и одновременно простых интерфейсов, предназначенных для взаимодействия МК с основной программой, библиотеками и стеками.

Как видно, из состава МК STM32F407VGT используются:

- АЦП (РА1, РА2 и РА3 настроены на вход первого, второго и третьего АЦП соответственно)
- ЦАП (информация идет на второй канал через РА5);
- порт параллельного вывода данных (порты PD0 - PD7, что позволяет побитно выводить данные длиной до 8 бит);
- регистры данных и управления.

После того, как был создан проект с помощью программы CubeMX, в котором настроена вся периферия, в проект помещаются необходимые библиотеки, используемые в тексте основной программы.

Разработанная программа управления микроконтроллером, реализует заданный алгоритм функционирования устройства. Была проведена ее отладка, организована прошивка микроконтроллера и подтверждена работоспособность макета устройства.

7 Экспериментальные исследования макета устройства обработки результатов экспериментов

Подтверждение возможности применения р-канальных МОП ЦИС для оперативной оценки дозовой нагрузки проходила в рамках исследований радиационной стойкости микросхем 1594ТЛ2Т (6 триггеров Шмитта с инверсией) в условиях воздействия статического гамма-излучения изотопной установки ГУ-200 (АО «НИИП», г. Лыткарино) с известной мощностью и спектром излучения.

На изотопной установке ГУ-200 была проведена калибровка 6 микросхем 1594ТЛ2Т путем измерения их стокзатворной характеристики до и после облучения.

Значения рассчитанных коэффициентов чувствительности микросхем 1594ТЛ2Т приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения рассчитанных коэффициентов чувствительности микросхем 1594ТЛ2Т

Характеристики датчиков	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Сдвиг порогового напряжения при накопленной дозе D, мВ	36,0	51,0	31,0	42,0	53,0	35,0
Коэффициент чувствительности, мВ/кР	0,900	1,275	0,775	1,050	1,325	0,875

После повторного облучения были измерены параметры р-канальных МОП-транзисторов выходного каскада микросхем 1594ТЛ2Т.

Используя значения коэффициентов чувствительности, приведенные в таблице 1, было получено расчетное значение накопленной дозы для каждого датчика. Отклонение

расчетных значений накопленной дозы от измеренного средствами штатной дозиметрии не превысило 10%.

Таким образом, в рамках поисковых работ были апробированы технические решения для реализации устройства с датчиками накопленной дозы на современной программно-аппаратной платформе.

Заключение

Предложены схемно-конструктивные решения, позволяющие расширить рабочий диапазон датчиков накопленной дозы на МОП-транзисторах при организации многоточечной дозиметрии.

Отработана технология калибровки датчиков накопленной дозы при их облучении в поле излучения изотопной установки ГУ-200. Технологический процесс калибровки ДНД состоит из операций измерения сток-затворной характеристики р-канальных МОП-транзисторов из состава КМОП-микросхем до и после их облучения, определения сдвига порогового напряжения каждого датчика и расчета их коэффициентов чувствительности.

Разработана программа управления микроконтроллером STM32 макета устройства, реализующая заданный алгоритм функционирования устройства, проведена ее отладка и запись в микроконтроллера. Программа реализована с помощью HAL-драйверов микроконтроллера STM32F407VGT, которые представляют собой комплект универсальных, многофункциональных, и одновременно простых интерфейсов.

Проведена серия экспериментов, в ходе которых подтверждена эффективность предлагаемых программно-технических решений и оценена максимальная погрешность полученных результатов.

Полученные результаты дают основание рекомендовать предложенный метод оценки накопленной дозы для использования в аппаратуре с ограниченным ресурсом, применяемой в условиях воздействия ионизирующих излучений.

В дальнейшем предполагается выполнить исследования стабильности остаточных эффектов в КМОП-микросхемах, изготовленных по другим технологиям.

Литература

1. РМГ 78-2005 ГСИ. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения
2. ГОСТ 18298-79 Стойкость аппаратуры, комплектующих элементов и материалов радиационная. Термины и определения
3. Бутин В.И., Зинченко В.Ф., Романенко А.А. Система радиационных испытаний изделий электронной техники: Моногр./Владим. Гос. ун-т, Владимир, 2003 г., 188 с.
4. «Применение МОП-транзисторов для оперативной дозиметрии в полях ионизирующих излучений», Чубруков Ф.В., Бутин В.И., Бутина А.В. / научно - технический сборник «Вопросы атомной науки и техники», 2015 г.
5. T. R. Oldham, F.B. McLean, "Total Ionizing Dose Effects in MOS Oxides and Devices", IEEE transactions on nuclear science, vol.50, no.3, June 2003
6. «Полупроводниковые датчики для дозиметрического мониторинга радиоэлектронной аппаратуры объектов ядерной энергетики и систем космической связи". О.В. Мещуров, В.В. Емельянов, К.И. Таперо, Ю.Н. Жуков, Ю.А. Афанасьев. Сборник «ВАНТ», выпуск 1, 2001г.
7. «Дозиметрический контроль на борту космических аппаратов с помощью МДП-дозиметров». О.В. Мещуров, К.И. Таперо, В.В. Емельянов, В.Н. Улимов, А.Д. Артемов, И.Ю. Калинин, В.А. Орлов. Сборник «ВАНТ», выпуск 4, 2002г.

8. Результаты исследований р-МОП дозиметров в условиях воздействия импульсного и стационарного ионизирующего излучения. О.В. Мещуров, К.И. Таперо, В.В. Емельянов, С.А. Соболев, А.Д. Артемов, Л.В. Курышев, А.Н. Ищук. Сборник «ВАНТ», выпуск 3, 2007г.
9. Денисов А.А. Проектирование наносенсоров / Под ред. В.А.Шахнова - Москва, 2011. Том 6. Сер. Библиотека "Наноинженерия".
10. Мысловский Э., Власов А., Акрстиний М. Краткий обзор популярных семейств современных микроконтроллеров // Электронные компоненты. 2002. №5. С. 47-50.
11. Ларина Е.А., Леонидов В.В., Москалев Н.С. Методика проектирования цифровых систем управления на базе AVR-микроконтроллеров // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6-2 (48). С. 87-94.
12. Vlasov A., Yudin A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 156 CCIS. С. 180-192.
13. Леонидов В.В., Гуляев И.Б., Колчин Г.С. Программно-аппаратная платформа автоматизированного измерения параметров электронных модулей и полупроводниковых приборов // Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. 2011. № 1. С. 89-97.

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Бутин И. В.

Научный руководитель: канд.техн. наук, доцент Власов А.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

METHODS OF REGISTRATION OF NEUTRON RADIATION WITH USE OF BIPOLAR TRANSISTORS IN REAL TIME

Butin I. V.

Supervisor: Ph.D. Vlasov A.I.

MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В статье обоснована возможность использования биполярных транзисторов в качестве мониторов нейтронного излучения. Рассмотрены варианты электрических схем их подключения и практическая реализация устройства на основе микроконтроллера STM32 для измерения коэффициента усиления биполярных транзисторов. При измерениях учитываются особенности режима калибровки на эталонном источнике и облучения на источниках с отличающимся спектром нейтронного излучения. Предложенные схемно-конструктивные решения позволяют выполнять измерения флюенса в режиме «on-line» для различных по спектру потоков нейтронов

Abstract:

In this paper we discuss the bipolar transistors using as a neutron radiation monitors. The proposed variants of electric schemes and device developing based on STM32-microcontroller to measure the gain of bipolar transistors are described. The measurements are correlated with the calibration mode characteristics of the reference source and irradiation sources with a different neutron spectrum. The proposed scheme and construction allow researching the "on-line" different neutron spectrum fluence measurements.

Введение

При исследованиях радиационной стойкости полупроводниковых приборов используются источники нейтронов, спектральные характеристики которых могут существенно различаться [1]. Для полноценного анализа и сопоставления результатов исследований, полученных в опытах на различных источниках нейтронов, важно иметь данные не только о плотности потока или о флюенсе нейтронов, но и о спектральном составе, также влияющем на степень повреждения полупроводниковых материалов [2, 3].

Нейтронное излучение является косвенно ионизирующим излучением, поэтому оно не может быть зарегистрировано непосредственно детекторами, в которых используется процесс ионизации [3, 4]. Детектирование осуществляется на основе двух типов взаимодействия нейтронов с веществом. Первый тип – упругое рассеяние, в результате которого ядро отдачи, как правило, ионизовано. Второй тип – ядерные реакции, в результате которых появляются заряженные частицы, испускаемые либо мгновенно, либо как излучение радионуклидов, продуктов ядерной реакции. Данный метод регистрации является наиболее универсальным.

При экспериментальных исследованиях радиационной стойкости полупроводниковых приборов не требуется детального описания спектра нейтронного излучения. Если какая-либо электрофизическая характеристика полупроводника или параметр полупроводникового прибора однозначно связаны с количеством образующихся дефектов, то по изменению этой характеристики или параметра при облучении на различных источниках нейтронов можно оценить эффективность нейтронного излучения [5 – 7].

При взаимодействии нейтронов с энергией более 0,1 МэВ с полупроводниковыми материалами образуются устойчивые радиационные дефекты. Количество дефектов, образованных нейтронами с определённым энергетическим спектром, пропорционально воздействию флюенсу нейтронов и зависит от спектрально-энергетического состава излучения. Образовавшиеся радиационные дефекты необратимо изменяют электрофизические свойства полупроводникового материала и, в первую очередь, существенно уменьшают время жизни τ неосновных носителей заряда в кремнии [5, 6].

Поскольку значение коэффициента усиления биполярного транзистора $H_{21э}$ в схеме с общим эмиттером непосредственно связано со временем жизни неосновных носителей заряда τ , то при оценке эффективности нейтронного излучения представляется возможность проводить измерение параметра $H_{21э}$, что является более удобным в методическом плане [7].

Как правило, количественные значения показателей нейтронной стойкости ЭКБ определяют на импульсных ядерных реакторах типа БАРС, опорное поле нейтронного излучения которых принимают за эталон. Для оценки эффективности нейтронного излучения различных источников применяют метод сравнения флюенса нейтронов этих источников Φ_x , воздействие которого приводит к таким же изменениям параметров полупроводниковых приборов, как и флюенс нейтронов $\Phi_э$ эталонного реактора типа БАРС [8, 9].

В ряде облучательных экспериментов спектральный состав нейтронного излучения неизвестен, поэтому оценить эффективность нейтронного излучения можно только косвенными методами, например, по результатам деградации параметров биполярных транзисторов в условиях эксперимента и при облучении в опорном поле реактора БАРС.

Предварительно облученные биполярные транзисторы, используемые при облучательных экспериментах, часто называют мониторами нейтронного излучения (МНИ). В отличие от детекторов нейтронного излучения МНИ обладают пороговой чувствительностью – их характеристика изменяется только при облучении нейтронами с энергией более 0,1 МэВ.

Как правило, МНИ облучают в пассивном режиме и доступ к ним после проведения облучений на реакторах возможен только через 1–2 суток, а иногда и через более продолжительный период – от нескольких недель до нескольких месяцев, поскольку выполнение измерений характеристик МНИ непосредственно в процессе облучения затрудняется тем, что на каждый МНИ требуется отдельный источник тока и не менее трех линий связи.

В связи с этим для повышения информативности экспериментальных исследований с применением МНИ необходимо оптимизировать их электрический режим, сократив количество линий связи, используемых при измерениях их характеристик.

В работе предложена схема включения МНИ и устройство на основе микроконтроллера STM32, позволяющие реализовать режим активных измерений параметров МНИ при минимальном числе линий связи.

Результаты работы в части разработанных программно-технических решений могут быть использованы при экспериментальной отработке аппаратуры в облучательных экспериментах.

1 Анализ спектральных характеристик источников нейтронного излучения

В качестве эталонного источника нейтронов, как правило, используют реакторы типа «БАРС» [9].

Спектральные характеристики источников нейтронного излучения могут быть определены, например, с помощью активационных методов или при использовании пороговых детекторов.

Для кремния известна функциональная зависимость $\delta(E)$ [2, 5], с помощью которой можно оценить повреждающую способность D_n нейтронного излучения со спектральным составом $\varphi(E)$:

$$D_n = \int \varphi(E) \cdot \delta(E) \cdot dE$$

Альтернативным методом определения эффективности нейтронного излучения является метод сравнения результатов облучения кремниевых структур с результатами, полученными на эталонном источнике, например, с помощью мониторов нейтронного излучения.

В качестве мониторов нейтронного излучения могут использоваться биполярные транзисторы, изменение коэффициента усиления H_{21E} которых связано с флюенсом нейтронов Φ_n аналитической зависимостью (соотношение Мессенджера-Спратта) [6, 7]:

$$\frac{1}{H_{21E}(\Phi_n)} = \frac{1}{H_{21E}(0)} + K_H \cdot \Phi_n, \quad (1)$$

где K_H – константа радиационных повреждений МНИ при постоянном токе эмиттера, нейтр. $^{-1} \cdot \text{см}^2$,

Φ_n - флюенс нейтронов, нейтр. $\cdot \text{см}^{-2}$.

Типы биполярных транзисторов, которые могут быть использованы в качестве МНИ, определяют исходя из диапазона значений флюенса нейтронов, при котором планируется их применение.

Одним из основных требований, предъявляемых к МНИ, является сохранение линейной зависимости (1) в диапазоне измерений значения флюенса нейтронов. Выполнение данного требования обеспечивается конструктивно-технологическими особенностями биполярных транзисторов.

При практическом использовании данного метода оценки эффективности нейтронного излучения как на этапе калибровки МНИ, так и на этапе облучения МНИ, спектральный состав которого неизвестен, измеряют коэффициент усиления H_{21E} при фиксированном токе эмиттера (этап «калибровки») и рассчитывают значения K_H .

2 Схемно-конструктивные решения по повышению информативности исследований с МНИ

Для повышения информативности исследований с использованием МНИ и обеспечения оперативности принятия решений в процессе проведения облучательных экспериментов предлагаются следующие схемно-конструктивные решения.

После предварительной калибровки и расчета константы повреждения K_H МНИ размещают в поле излучения нейтронного источника, спектральные характеристики которого неизвестны. Облучение МНИ проводят в активном режиме и в процессе облучения дистанционно измеряют I_k и I_6 (см. рисунок 1).

При измерениях параметров МНИ необходим источник тока, задающий некоторое, заранее выбранное, значение тока эмиттера $I_3 = I_k + I_6$.

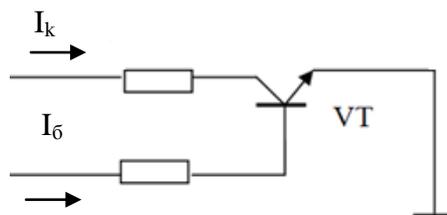


Рисунок 1 – Схема включения МНИ в активном режиме.

По результатам измерений рассчитывается значение коэффициента H_{21E} МНИ:

$$H_{21E} = \frac{I_k}{I_{\delta}} \quad , \quad (2)$$

Поскольку при планировании экспериментальных исследований при существующих ограничениях на общее число измерительных линий приходится находить компромисс между глубиной контроля объектов испытаний и степенью детализации условий нагружения, сокращение числа линий связи на каждый дополнительный МНИ является актуальной задачей.

Одним из решений, при котором на каждый дополнительный МНИ используется только одна дополнительная линия связи, является подключение МНИ по схеме, приведенной на рисунке 2. В состав автоматизированной измерительной системы (АИС) входят персональный компьютер, система сбора данных и программируемый источник напряжения.

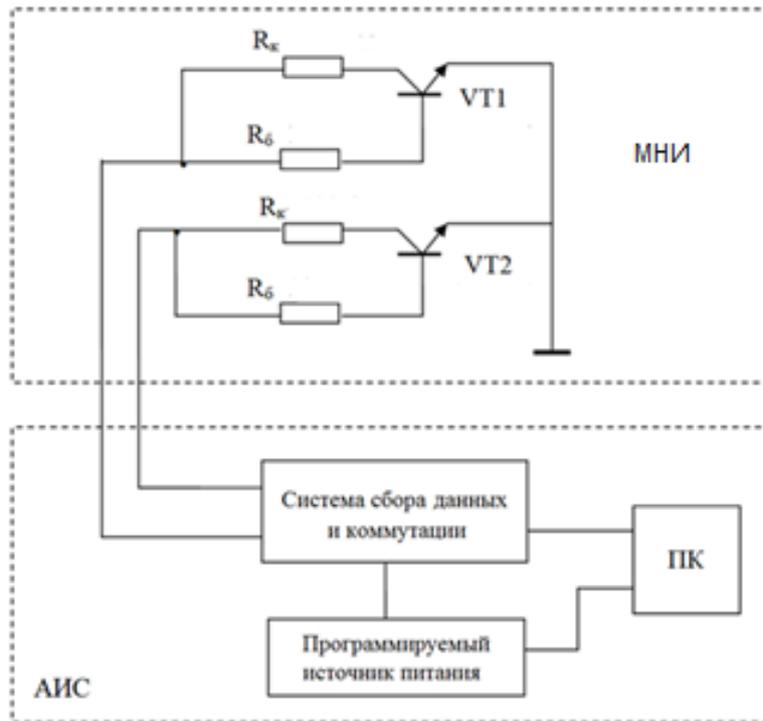


Рисунок 2 – Схема подключения МНИ в активном режиме.

Под управлением ПК из состава АИС реализуется требуемая циклограмма испытаний:

- на выходе программируемого источника питания устанавливают напряжение U_{cc} ;
- с помощью системы сбора данных/коммутации последовательно измеряют ток потребления МНИ (суммарный коллекторный и базовый ток каждого транзистора);
- рассчитывают значение коэффициента усиления H_{21E} соответствующего МНИ:

$$H_{21E} = \frac{I_k}{I_{\delta}} = \frac{(I_k + I_{\delta}) - I_{\delta}}{I_{\delta}} = \frac{I_{\delta} \cdot R_{\delta}}{U_{cc} - U_{\delta\delta}} - 1 \quad , \quad (3)$$

- где $U_{\delta\delta}$ - падение напряжения на эмиттерном переходе, В;
 U_{cc} – напряжение на выходе программируемого источника питания, В;
 R_{δ} – сопротивление в цепи базы транзистора, Ом.
- с помощью соотношения (1) определяют значение флюенса нейтронов, эквивалентное флюенсу нейтронов эталонного реактора.

Особенностью предлагаемой процедуры применения МНИ является то, что в процессе облучения постоянным поддерживается ток базы. При этом под действием

излучения изменяются токи коллектора и эмиттера МНИ. Вследствие этого необходимо либо вводить соответствующую поправку, учитывающую зависимость коэффициента повреждения транзисторов от уровня инжекции неосновных носителей в их базу.

В результате выполненных исследований установлено, что константа повреждения K_H является функцией тока эмиттера МНИ (рисунок 3) и имеет вид:

$$K_{H(I_x)} = K_{H(I_э)} \cdot \left(\frac{I_x}{I_э} \right)^\beta, \quad (4)$$

где $K_{H(I_э)}$, $K_{H(I_x)}$ – значения константы повреждения, соответствующие значениям тока эмиттера МНИ при калибровке ($I_э$) и при измерениях (I_x),

β – показатель степенной зависимости.

Значения константы повреждения K_H для нескольких значений тока $I_э$ и показателя степенной зависимости β определяют в процессе калибровки. Разработанная АИС [5] позволяет после обработки массива полученных результатов измерений получать значения искомых величин K_H и β . Система обеспечивает «on-line» измерения, реализуя предложенную схему подключения МНИ для определения эффективного значения флюенса нейтронов исследуемого источника, эквивалентного нейтронному излучению эталонного реактора.

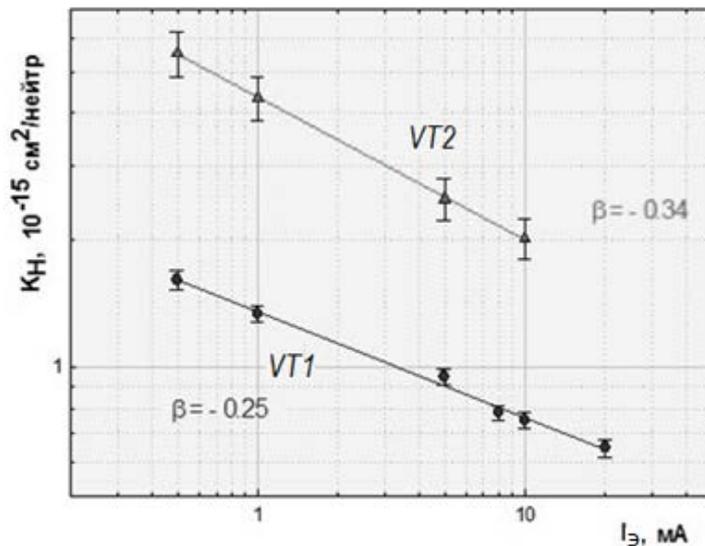


Рисунок 3 – Зависимость константы повреждения (K_H) исследованных высокочастотных (VT1) и низкочастотных (VT2) биполярных транзисторов от тока эмиттера

3 Анализ архитектуры устройства обработки результатов экспериментов

Многоканальная регистрация параметров МНИ может быть реализована с использованием современных микроконтроллерных устройств [9-11], что позволит существенно упростить процесс обработки результатов измерений. Кроме этого, автономность портативных микроконтроллерных устройств является их несомненным достоинством при организации исследований с выездом в испытательные центры.

Структурная схема устройства обработки результатов экспериментов представлена на рисунке 4.

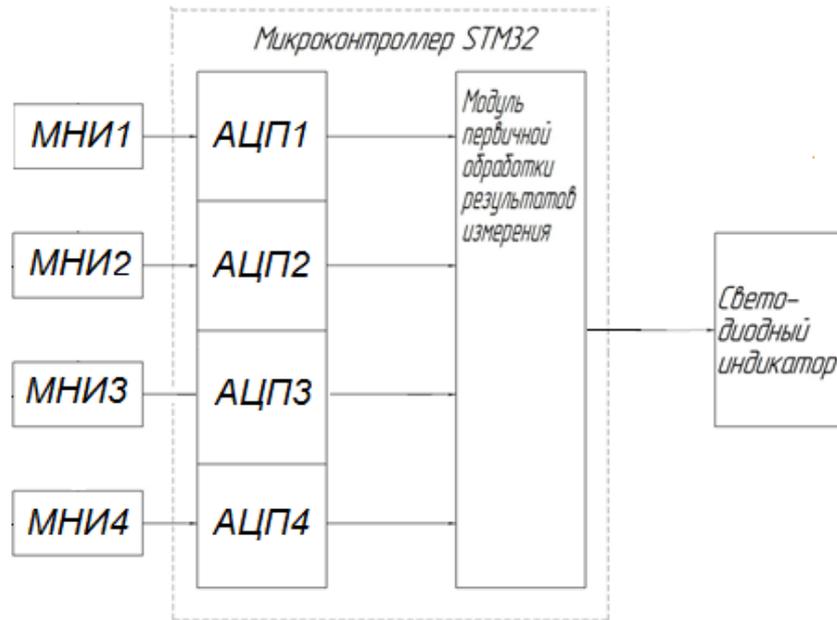


Рисунок 4 – Структурная схема устройства обработки результатов экспериментов

В состав устройства обработки результатов экспериментов входят аналогово-цифровые преобразователи АЦП1...АЦП4, входы которых соединяются с выходами мониторов нейтронного излучения МНИ1...МНИ4, модуль первичной обработки результатов измерений, светодиодный индикатор. Питание всех функциональных элементов осуществляется от источника питания +5 В, который на схеме в целях её упрощения не показан.

Центральным элементом устройства является микроконтроллер STM32 [12], который оцифровывает аналоговые сигналы, поступающие с МНИ1...МНИ4, реализует запись цифровых сигналов в регистр данных микроконтроллера, вычисляет текущие значения информативного параметра (N_{21E}) МНИ, преобразует их в код, который затем поступает через параллельный порт ввода/вывода микроконтроллера на светодиодный индикатор.

В режиме калибровки (см. рисунок 5) на выходе ЦАП микроконтроллера STM32 формируется линейно возрастающее напряжение, поступающее на базу транзистора МНИ.

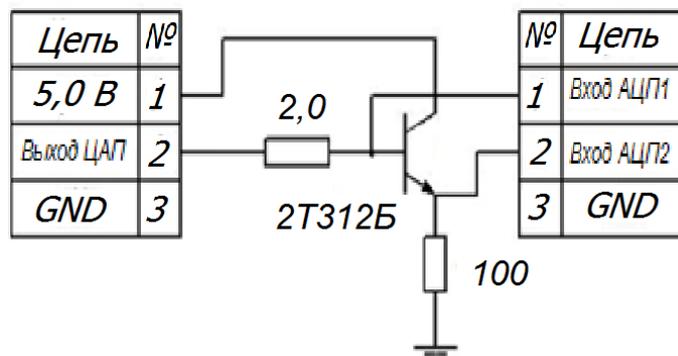


Рисунок 5 – Схема подключения МСП при калибровке

При открывании транзистора МНИ, через него начинает протекать ток, создавая падение напряжения на нагрузочном резисторе в цепи эмиттера. Как только это напряжение достигнет заранее установленного уровня (например, 100 мВ или 1,0 В при токах эмиттера 1,0 мА или 10 мА, соответственно), фиксируется значение напряжения на выходе ЦАП, выполняется измерение напряжения на базе транзисторного МНИ,

вычисляется значение коэффициента усиления транзистора (H_{21E}) МНИ и выводится на индикатор. В режиме калибровки подключение и измерения характеристик МНИ проводится поочередно для каждого МНИ.

В режиме измерений на выходе АЦП1...АЦП4 формируются кодовые сигналы, соответствующие значениям напряжений на нагрузочном сопротивлении МНИ1...МНИ4, по которым рассчитывается значение коэффициентов усиления транзисторных МНИ1...МНИ4. Вычисленное значение коэффициента усиления H_{21E} МНИ выводится на индикатор.

Опрос датчиков и вывод значения коэффициента усиления МНИ на индикатор проводится последовательно для каждого МНИ.

При применении МНИ для регистрации эффективного значения флюенса нейтронов предлагается использовать схему подключения, приведенную на рисунке 6.

Данная схема подключения МНИ требует на каждый дополнительный МНИ только одну линию связи, что является существенным при многоточечных измерениях.

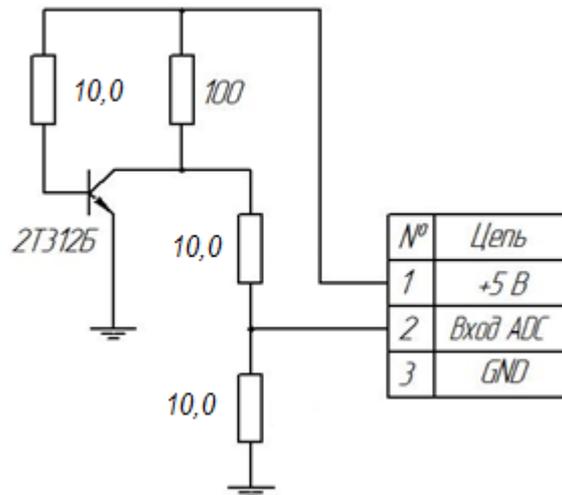


Рисунок 6 – Схема подключения МНИ для регистрации эффективного значения флюенса нейтронов

В данной схеме включения не поддерживается постоянным ток эмиттера. Однако, необходимую коррекцию значения коэффициента повреждения можно выполнить по результатам, полученным при калибровке.

Делитель на выходе МНИ необходим для того, чтобы при напряжении питания +5,0 В измеряемый сигнал попал в диапазон измерений АЦП (от 0 до 3,0 В).

Устройство для регистрации эффективного значения флюенса нейтронов реализовано на 32-битном микроконтроллере STM32F407VGT6 с ядром ARM Cortex-M4F, в составе которого используются:

- 12 разрядный ЦАП;
- 2x12-разрядный АЦП с возможностью расширения до 16 каналов;
- интерфейс обеспечивает параллельный вывод данных на индикацию;
- программно-технические средства, имеющиеся в открытом доступе.

Такая архитектура позволяет организовать процесс многоканальных измерений параметров МНИ с погрешностью не хуже $\pm 1,0$ мВ, провести первичную обработку информации и вывести на индикацию результаты измерений.

4 Методика разработки программного обеспечения устройства обработки результатов экспериментов

Фирма STMicroelectronics предлагает использовать среду программирования STM32Cube [11, 12] для разработки программного обеспечения (ПО), встроенного в микроконтроллеры STM32. Данное ПО существенно облегчает разработку управляющей программы за счет снижения усилий, времени и затрат, и охватывает всё семейство микроконтроллеров STM32. STM32Cube™ версии 1.x включают в себя утилиту с графическим интерфейсом STM32CubeMX, предназначенную для генерации кода инициализации ядра STM32 и периферии, встроенной в микроконтроллер.

Комплексное программное обеспечение для встраиваемых платформ сконфигурировано для конкретной серии (например, STM32CubeF4 для серии STM32F4):

Библиотека STM32Cube HAL представляет собой встраиваемое ПО уровня абстракции HAL для STM32, обеспечивающее максимальную переносимость кода внутри семейства STM32. Набор встраиваемых компонентов ПО (RTOS, USB, FatFS, TCP/IP, Graphics) настроен для их совместной работы.

HAL (Hardware Abstraction Layer) – программный уровень абстрагирования, реализованный в ПО, находится между физическим уровнем аппаратного обеспечения и программным обеспечением, запускаемом на этом компьютере. По существу, HAL может рассматриваться как драйвер материнской платы, позволяющий взаимодействовать инструкциям высокоуровневых языков программирования с низкоуровневыми компонентами. Драйверы уровня HAL представляют собой комплект универсальных, многофункциональных и, одновременно, простых интерфейсов API, предназначенных для взаимодействия микроконтроллера с основной программой, библиотеками и стеками.

С помощью программы CubeMX создается проект, в котором настраивается вся используемая периферия. В проект помещаются необходимые библиотеки. Разработанная программа управления микроконтроллером реализует описанную выше последовательность операций. При изготовлении макета устройства для регистрации эффективного значения флюенса нейтронов проведена отладка программы и выполнена прошивка микроконтроллера. Программа реализована с помощью HAL-драйверов платы микроконтроллера, представляющих собой комплект универсальных, многофункциональных, и одновременно простых интерфейсов, предназначенных для взаимодействия МК с основной программой, библиотеками и стеками.

5 Экспериментальные исследования макета устройства обработки результатов экспериментов

В рамках экспериментальной отработки макета устройства [13, 14] была проведена серия экспериментов по облучению транзисторов 2Т312Б в опорном поле реактора БАРС-4 (ФГУП «НИИП», г. Лыткарино) и критсборки ФС-1М (ГНЦ РФ-ФЭИ, г. Обнинск).

На этапе калибровки партия из восьми транзисторов была предварительно облучена на реакторе БАРС-4 флюенсом нейтронов $\Phi_{n1}=10^{13}$ нейтр./см². По результатам измерений коэффициента усиления H_{21E} каждого транзистора для значений тока эмиттера 1,0 и 10 мА до и после облучения были рассчитаны индивидуальные значения параметров K_n и β .

После повторного облучения четырех транзисторов флюенсом нейтронов $\Phi_{n1}=10^{13}$ нейтр./см² были измерены коэффициенты усиления H_{21E} транзисторов 2Т312Б.

Используя соотношения (1) и (4), было получено расчетное значение флюенса нейтронов для каждого из транзисторов. Отклонение расчетных значений флюенса нейтронов от измеренного средствами штатной дозиметрии не превысило 10%.

Оставшаяся выборка из четырех транзисторов была подвергнута облучению на критсборке ФС-1М, спектрально-энергетические характеристики нейтронного излучения которой существенно отличаются от характеристик реактора БАРС-4.

Результаты облучений показали, что отличия флюенса нейтронов с энергией более 0,1 МэВ, полученного по результатам «on-line»-измерений коэффициента усиления H_{21E} каждого из четырех транзисторов, от значений, зарегистрированных штатной дозиметрией, не превышают 10%.

Отметим, что для разработанного устройства используются два отличающихся алгоритма работы - для режимов калибровки и измерения, каждый из которых реализован в виде отдельной программы, записываемой в память микроконтроллера перед испытаниями.

Таким образом, в рамках поисковых работ были апробированы технические решения для реализации устройства обработки результатов экспериментов на современной программно-аппаратной платформе.

Заключение

Предложены схемно-конструктивные решения, позволяющие повысить информативность исследований в режиме «on-line» - измерений за счет оптимизации электрического режима МНИ и его связей с устройством обработки результатов экспериментов.

Разработана технология калибровки датчиков нейтронного потока при их облучении в опорном поле реактора. Технологический процесс калибровки мониторов структурных повреждений (МСП) состоит из операций измерения токов и напряжений, позволяющих вычислить коэффициент усиления транзистора МСП до и после их облучения в опорном поле реактора.

Разработана программа управления микроконтроллером STM32 макета устройства, реализующая заданный алгоритм функционирования устройства, проведена ее отладка и запись в микроконтроллера. Программа использует HAL-драйверы платы микроконтроллера, представляющие собой комплект универсальных, многофункциональных, и одновременно простых интерфейсов.

Проведена серия экспериментов, в ходе которых подтверждена эффективность предлагаемых программно-технических решений и определена погрешность полученных результатов.

Полученные результаты дают основание рекомендовать предложенный метод для использования его в процессе отработочных испытаний аппаратуры и ее составных частей.

В дальнейшем предполагается исследовать шумовые характеристики доработанного макета устройства обработки результатов экспериментов с целью снижения погрешности измерений.

Литература

1. Артемьев Б.В., Буклей А.А. Радиационный контроль. - Москва, Изд-во РОНКТД, 2011. С.192. Сер. Диагностика безопасности.
2. Бутин В.И., Зинченко В.Ф., Романенко А.А. Система радиационных испытаний изделий электронной техники - Владимир, Изд-во Владим. гос. ун-т, 2003, 188 с.
3. Артемьев Б.В. Стабилизация спектра и потока зондирующего излучения для рентгеновской толщинометрии // Контроль. Диагностика. 2003. № 5. С. 14-15.
4. Владимиров Л.В., Артемьев И.Б., Артемьев Б.В. Камеры для мониторинга ионизирующих излучений // В сборнике: II Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники Программа и материалы конференции. 2015. С. 53-58.
5. ASTM E722-85. Standard practice for characterizing neutrons fluence spectra in terms of an equivalent monoenergetic neutron fluence for radiation hardness testing of electronics,

1993.

6. Messenger G.C., Spratt J.P. The effects of neutron irradiation on germanium and silicon. Proc. IRE, 46, p. 1038, 1958.
7. Мырова Л. О., Чепиженко А. З. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры связи. - М.: Радио и связь, 1983.-216 с.
8. Андреев С.А., Литвин В.И., Снопков А. А., Черашев В.И. К истории создания и развития импульсных ядерных реакторов типа БАРС // Вопросы атомной науки и техники. серия: физика ядерных реакторов. 2014. №3. С. 3-10.
9. Денисов А.А. Проектирование наносенсоров / Под ред. В.А.Шахнова - Москва, 2011. Том 6. Сер. Библиотека "Наноинженерия".
10. Мысловский Э., Власов А., Акристиний М. Краткий обзор популярных семейств современных микроконтроллеров // Электронные компоненты. 2002. №5. С. 47-50.
11. Ларина Е.А., Леонидов В.В., Москалев Н.С. Методика проектирования цифровых систем управления на базе AVR-микроконтроллеров // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6-2 (48). С. 87-94.
12. Vlasov A., Yudin A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage // Communications in Computer and Information Science. 2011. T. 156 CCIS. С. 180-192.
13. Леонидов В.В., Гуляев И.Б., Колчин Г.С. Программно-аппаратная платформа автоматизированного измерения параметров электронных модулей и полупроводниковых приборов // Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. 2011. № 1. С. 89-97.
14. Бутин И. В. Отработка методики применения мониторов структурных повреждений для сопровождения облучательных экспериментов // Наука, техника образование. 2016. №7 (25). - С. 66-73.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Грюмов С.А., Долова А.А., Пигина Д.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлева Л. В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ELECTRONIC CIRCUITS MODELING

Gryumov S.A., Dolova A.A., Pigina D.V.
Supervisor: Ph.D. Juravleva L.V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье представлено обзорное описание одного из ключевых на данный момент программных обеспечений для моделирования электронных схем - multisim. Для ознакомления представлен интерфейс программы. Произведен пример подробного расчета электрической цепи и построения графиков основных функций, характеризующих представленный процесс.

Abstract

This article is about providing an overview of MultiSim, which is one of the most interesting softwares for electronic circuits simulation nowadays. There you will learn a few things about the interface of this program. The main part of this article presents an example of a detailed calculation of the electrical circuit components and the constructing a graph that will characterize the electronical process.

Введение

В современном мире каждая сфера жизнедеятельности так или иначе непосредственно связана с электронными устройствами. Трудно представить любое производство 21 века, не оснащенное специальным оборудованием. Для выполнения каждой из множества самых разных задач необходимы совершенно различные приборы и аппараты, которые должны постоянно улучшаться, подстраиваясь под требования, поставленные человеком.

Любой прибор на начальном этапе разработки представляет собой проект собираемой электрической схемы. Чтобы оптимизировать отладку схемы и максимально исключить на практике ошибки ее работы, были придуманы компьютерные эмуляторы, которые в состоянии полностью смоделировать электрический процесс.

Electronics Workbench – это лидер международного рынка по разработке наиболее широко используемого в мире программного обеспечения для проектирования схем. Компания обладает более чем 15-летним опытом поавтоматизации проектирования электронных приборов и устройству и была одним из пионеров компьютерной разработки электроники. В настоящее время оборудование Electronics Workbench используется более чем на 180 тысячах рабочих мест.

В комплект продуктов Electronics Workbench входят средства для описания электрических схем, их эмуляции, а также для разработки и автоматической трассировки печатных плат.

Продукция Electronics Workbench и National Instruments – это наиболее тесная интеграция между средствами разработки, проверки и тестирования электронных средств, имеющаяся в настоящее время.

Electronics Workbench – это дочерняя компания, которой полностью владеет National Instruments Corporation.

Данная компания является автором сроды для разработки и моделирования электронных схем – NI MultiSim, о которой пойдет речь в данной статье.

1 Обзорное представление интерфейса программы

Начиная работу с Multisim, мы получаем диалоговое окно, представленное совокупностью нескольких компонентов, необходимых для быстрого и удобного моделирования электрического процесса.

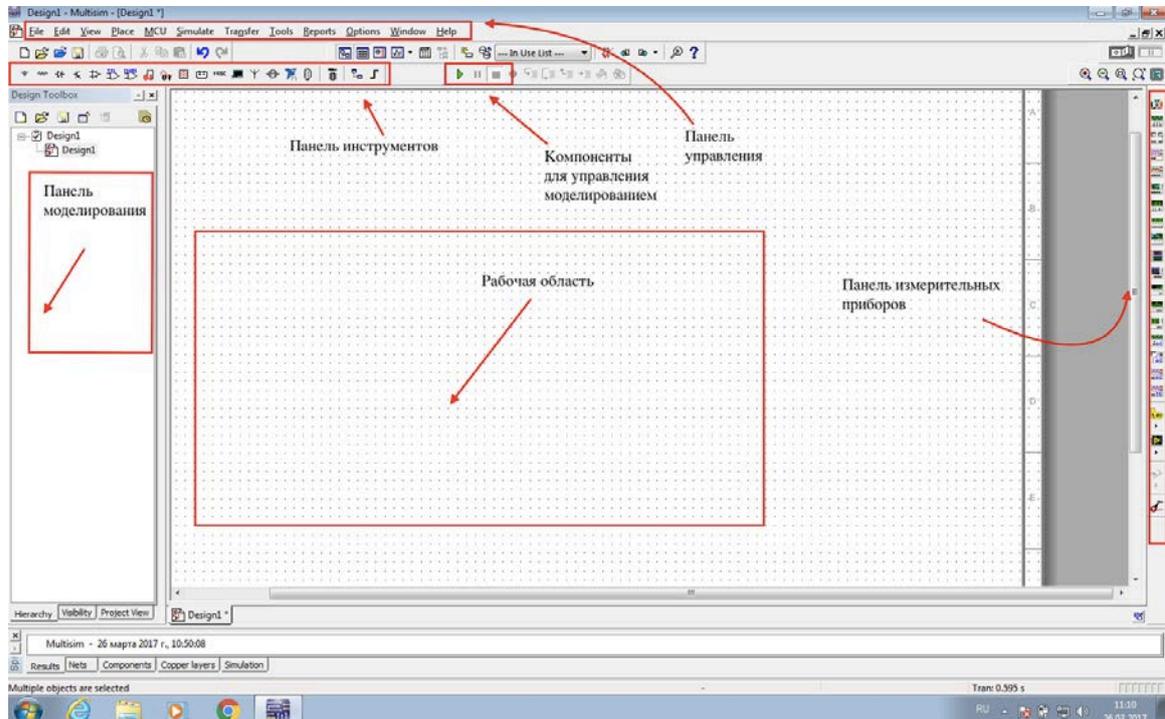


Рисунок 1 - Рабочее окно программы Multisim

Наиболее обширную часть заданной страницы занимает рабочая область, представленная белым точечным полотном, по краям которого присутствуют беговые ползунки, необходимые для регулировки положения схемы относительно остальных компонентов программы.

Слева от рабочей области предусмотрена панель моделирования, содержащая проектное дерево, удобное для выполнения нескольких процессов моделирования одновременно.

Так же в интерфейсе программы представлено несколько стандартных панелей для создания и сохранения файла, определения вида программы и задания персональных настроек.

Отдельный интерес представляют выделенные панели инструментов и измерительных приборов, речь о которых более подробно пойдет чуть ниже.

Замыкает круг основных виджетов в Multisim список компонентов для управления процессами моделирования, предназначенный для запуска, прекращения и временной остановки процессов.

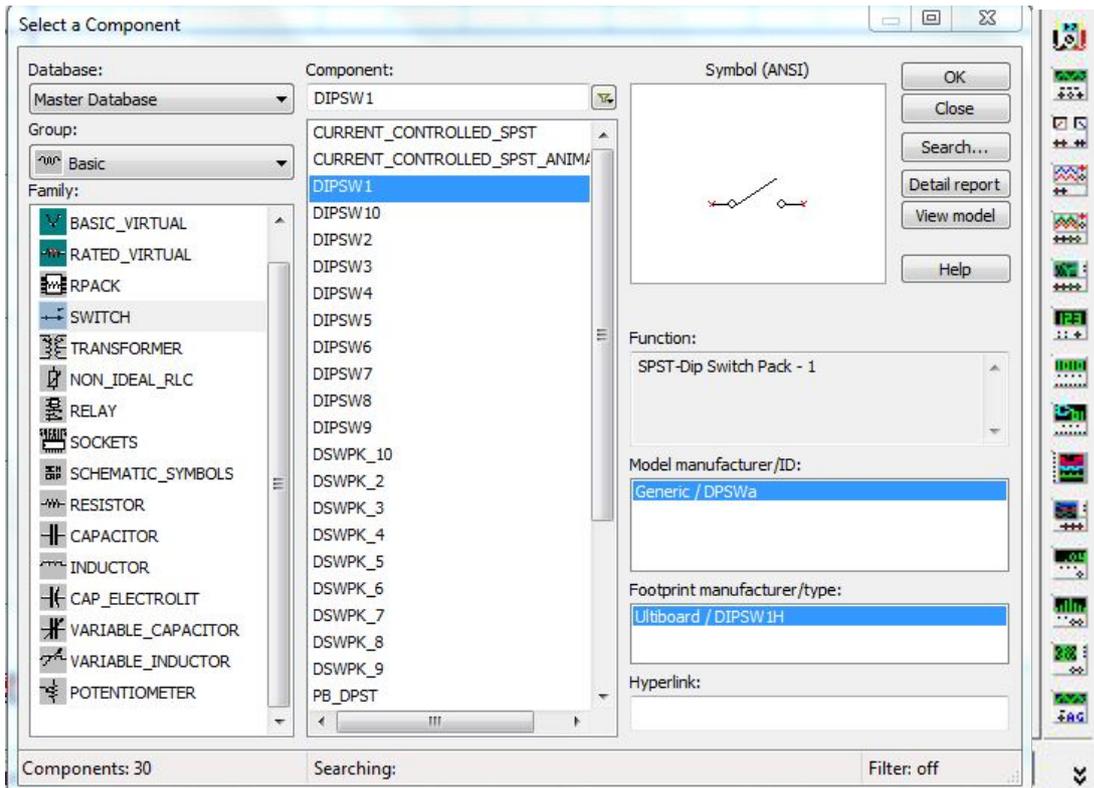


Рисунок 2 - Панели инструментов и измерительных приборов

При нажатии на любой компонент панели инструментов открывается подменю, содержащее программную базу основных элементов электрических схем, поделенную по разновидности их функционала и представляющую совокупность основных моделей реальных приборов и устройств.

Слева на панели измерительных приборов представлены эмуляторы наиболее популярных средств измерения, необходимых для характеристики электрического процесса.

2 Вычислительный эксперимент

Всякое изменение конфигурации электрической цепи или параметров ее элементов называется коммутацией. В теории электрических цепей коммутация производится с помощью идеальных ключей, нормально разомкнутых и нормально замкнутых.



Рисунок 3 - Положения ключа

Если в схеме присутствуют энергоемкие элементы, и происходит коммутация, то после коммутации наступает переходный процесс, который можно трактовать от одного

установившегося состояния до коммутации к установившемуся режиму после коммутации.

Второй закон коммутации:

Энергия, запасаемая в емкости равна: $E = \frac{CU^2}{2}$

Невозможность скачкообразного изменения энергии ведет к невозможности скачкообразного изменения напряжения на конденсаторе: $U_c(0-) = U_c(0+)$

Постановка задачи:

В качестве примера рассмотрим расчет переходного процесса, протекающего в представленной на рисунке схеме.

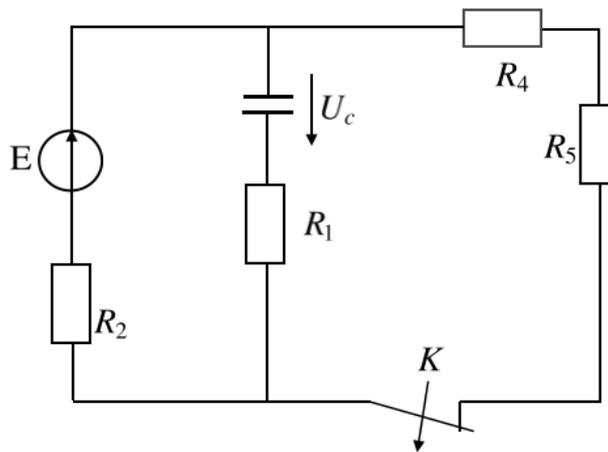


Рисунок 4 - Схема

- $E = 200$ [В]
- $R_1 = 20$ [Ом]
- $R_2 = 5$ [Ом]
- $R_3 = 10$ [Ом]
- $R_4 = 5$ [Ом]
- $C = 0.004$ [Ф]

Теоретические расчеты:

Произведем теоретические расчеты переходного процесса операторным методом для получения функции, по которой в момент коммутации будет изменяться значение напряжения на конденсаторе.

Найдем начальное напряжение на конденсаторе.

$$i \cdot R_2 + i \cdot R_5 + i \cdot R_4 = E$$

$$i = \frac{E}{R_2 + R_4 + R_5}$$

$$i = \frac{200}{10 + 5 + 5} = 10 \text{ A}$$

$$U_c(0_+) = U_c(0_-) = i \cdot (R_4 + R_5) = 10 \cdot (5 + 10) = 150V$$

Строим операторную схему замещения цепи после коммутации. Для этого делаем замену элементов цепи на их операторные аналоги.

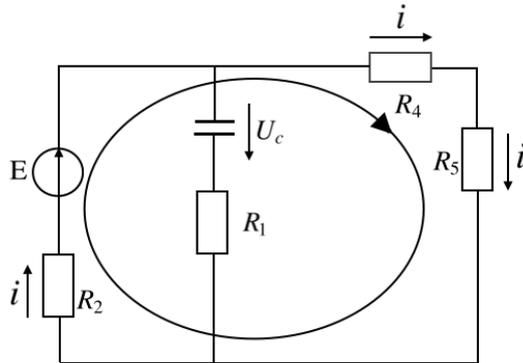


Рисунок 5 - Принципиальная схема

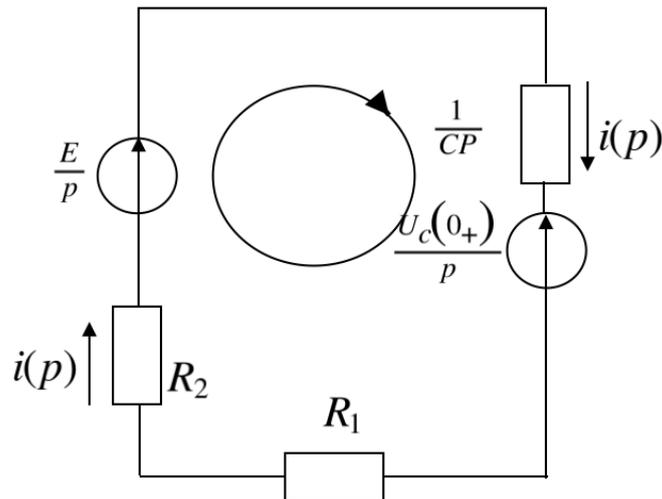


Рисунок 6 - Принципиальная схема

Расчет:

$$i(p) \left(\frac{1}{Cp} + R_2 + R_1 \right) = \frac{E}{p} - \frac{U_c(0_+)}{p}$$

$$i(p)(25 + 250p) = \frac{200}{p} - \frac{150}{p}$$

$$i(p) \left(\frac{25p + 250}{p} \right) = \frac{50}{p}$$

$$i(p) = \frac{2}{p + 10}$$

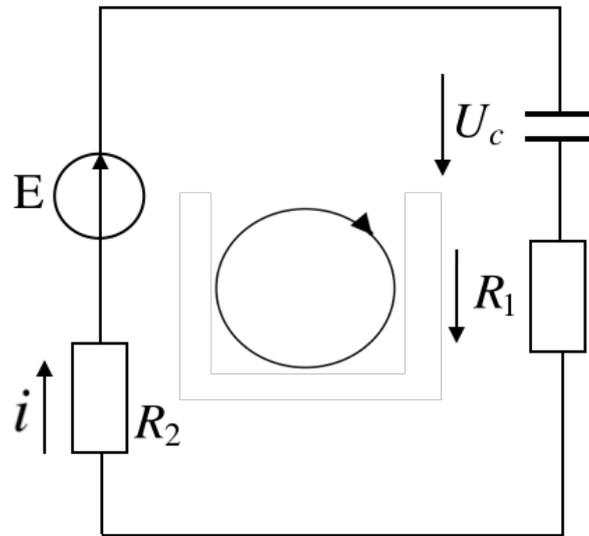


Рисунок 7 - Принципиальная схема

Найдём оригинал функции:

$$i(t) = 2e^{-10t}$$

$$i \cdot R_1 + i \cdot R_2 + U_c = E$$

$$2e^{-10t} \cdot (R_1 + R_2) + U_c = E$$

$$U_c = E - 2e^{-10t} \cdot (R_1 + R_2)$$

Подставляя известные нам величины, мы получаем закон изменения напряжения:

$$U_c(t) = 200 - 50e^{-10t}$$

Практические расчеты:

Построим аналоговую схему в среде Multisim и произведем процесс размыкания ключа.

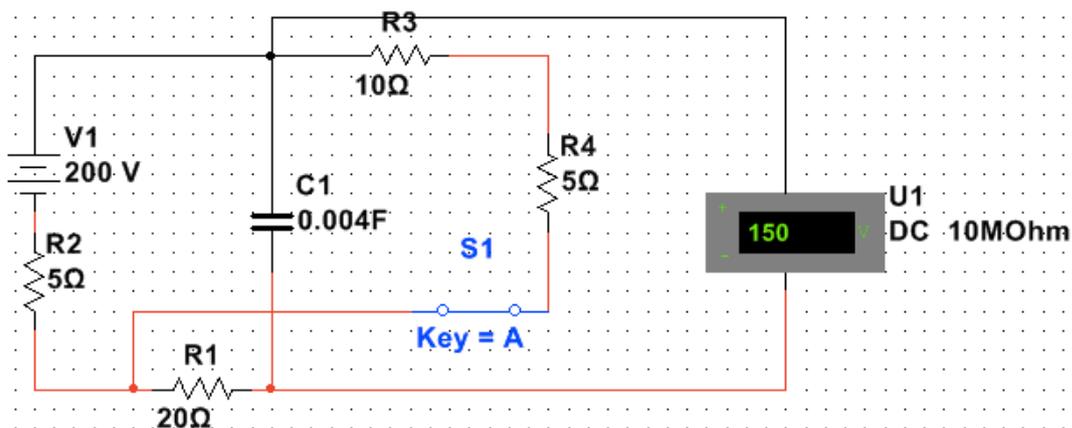


Рисунок 8 - Аналоговая схема

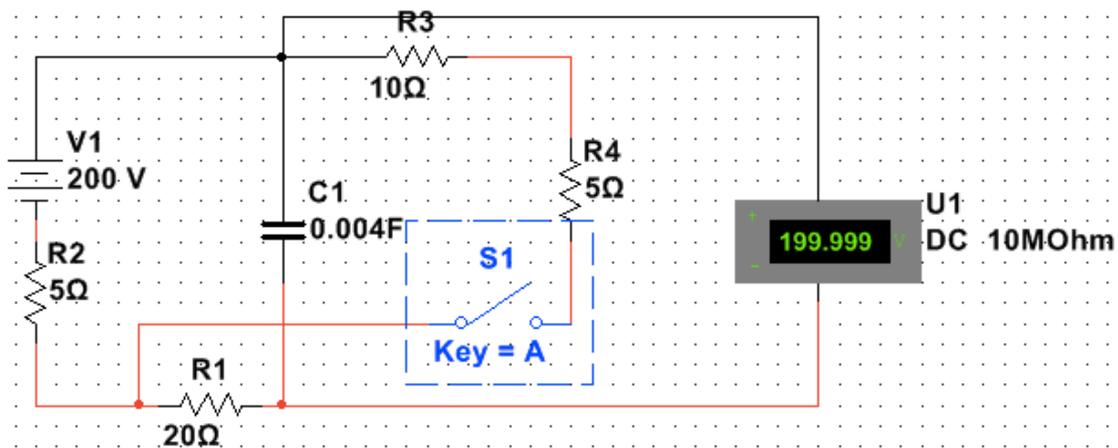


Рисунок 9 - Размыкание ключа

Подключив виртуальную эмуляцию осциллографа к конденсатору, снимем характеристики изменения напряжения на конденсаторе.

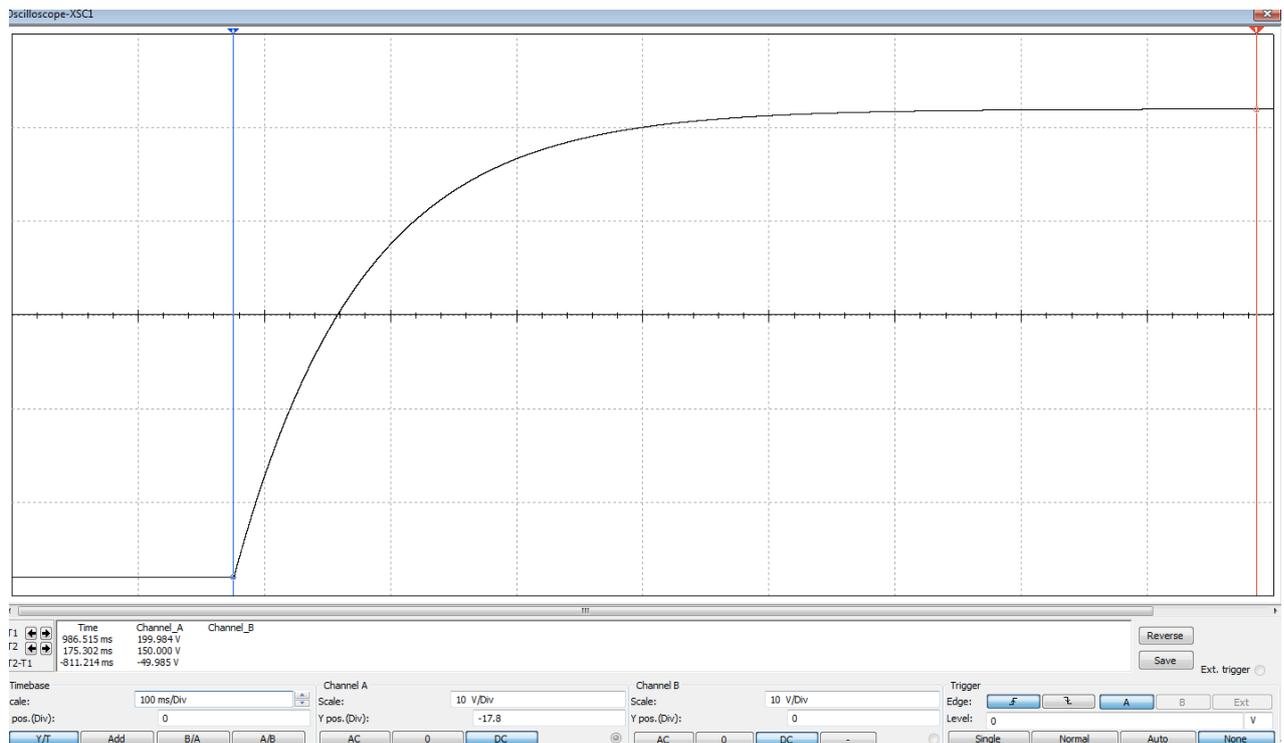


Рисунок 10 - График изменения напряжения на конденсаторе

Сравнивая теоретические расчеты с экспериментальными значениями, мы можем сделать вывод об абсолютной корректности данных, полученных при помощи виртуальной эмуляции в программе Multisim.

Заключение

Рассмотренное программное обеспечение NIMultisim является очень удобной и комфортной средой для расчета электронных схем, позволяющей смоделировать протекание заданного процесса, снимать его электрические характеристики и представлять их в виде графиков зависимостей величин, определяющих процесс.

Подобная виртуальная эмуляция способствует уменьшению временных затрат на расчеты, при этом обеспечивая полную надежность полученных данных и почти полностью исключая возможность случайных ошибок.

Использование данного программного обеспечения способно значительно повысить производительность проектирования и разработки различных приборов и устройств, что является огромным плюсом для массового производства.

Литература

1. <http://www.studfiles.ru/preview/5919852/> [Электронный ресурс] Проверено: 21.01.18
2. Введение в математическое моделирование. Учебное пособие. Под ред. П. В. Трусова. — М.: Логос, 2004. 200 с.
3. Мышкис А. Д., Элементы теории математических моделей. — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. 150 с.
4. Косолапов И.А. Моделирование микроакселерометра на основе интерферометра Фабри-Перов САПР ANSYS, 9 молодежная международная научно-техническая конференция «Научоемкие технологии и интеллектуальные системы». – М.: МГТУ, 2009. – С.108-111.
5. Лекции по электротехнике С.А.Васюкова.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ТОЛЩИНЫ КРЫШКИ ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОНА

Полин Д.А., Храмова А.А., Матанин А.Р.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

DETERMINATION OF MINIMALLY ALLOWED THICKNESS COVER OF LIQUID-PHASE MAGNETRON

Polin D.A., Khramova A.A., Matanin A.R.
Supervisor: PhD., docent, Moiseev K.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье представлен расчет минимально допустимой толщины крышки жидкофазного магнетрона, с целью повышения индукции на поверхности мишени для осуществления жидкофазного распыления. Представлен расчет на нераскрытие стыка «магнетрон-крышка магнетрона» по теории изгиба курса «сопротивление материалов», для обеспечения герметичности магнетрона. Приведен результат моделирования на ЭВМ прогиба крышки для сравнения с ручным расчетом. В заключении представлены рекомендации по выбору оптимальной толщины крышки.

Abstract

This paper presents a calculation of the minimum allowable thickness lid of the liquid-phase magnetron, in order to increase induction on the target surface for liquid-phase sputtering. A calculation is made for the non-opening of the joint "magnetron - magnetron lid" according to the bending theory of the course "material resistance", to ensure the tightness of the magnetron. The result of modeling on the lid deflection computer is compared for comparison with manual calculation. The conclusions are recommendations for choosing the optimal thickness of the lid.

Введение

В современном мире многие области электроники требуют создания тонких пленок микрометровой размерности с высокими требованиями к качеству. Одним из наиболее распространенных методов нанесения тонких пленок является магнетронное распыление. Однако это довольно медленный процесс, а чистота получаемых пленок относительно невысока. Поэтому магнетронное распыление следует объединить с другим методом: термическое испарение. Такая совокупность носит название – жидкофазное магнетронное распыление. В этом процессе мишень изолируется от магнетрона с помощью тигля, и при достаточной мощности магнетрона мишень нагревается, плавится и, помимо распыления, происходит процесс испарения. К достоинствам данного метода относится значительное повышение скорости осаждения; возможность прекращения подачи рабочего газа (давления насыщенных паров испаряемой мишени достаточно), что приводит к повышению чистоты пленки; возможность контроля параметров пленки подачей потенциала на подложку, т.к. пары от мишени ионизируются в кольце плазмы. Однако для расплавления мишени может не хватить мощности разряда. [1,2]

Мощность разряда зависит от индукции магнитного поля на поверхности мишени. С удалением от системы магнитов магнитное поле слабеет, следовательно, следует минимизировать расстояние между магнитами и поверхностью мишени. Это расстояние складывается из зазора между магнитами и крышкой магнетрона, толщины крышки, зазора между крышкой и тиглем, толщины дна тигля, толщины мишени. В данной статье рассмотрено нахождение предела минимизации толщины крышки магнетрона.

В ходе расчетов были получены следующие результаты: минимальная толщина из условия нераскрытия стыка для крышки постоянного сечения – 1.5мм, коэффициент

запаса – 1.5; минимальная толщина самого тонкого сечения крышки сложной геометрии из расчета на прочность – 0.63мм, с коэффициентом запаса – 1.5; рекомендуемая толщина – 0.7мм.

1 Исходные условия (расчетная схема, размеры, допущения):

В крышке имеется две полости для магнитов (внешнее (1) и центральное (3) кольца) (рисунок 1). Крепление к корпусу осуществляется 6 болтами через отверстия (4). По среднему кольцу (2) постоянным потоком запускается вода для охлаждения системы, она оказывает некоторое давление на крышку и изгибает ее. Две стенки (5) отделяющие зоны магнитов от зоны охлаждения прижимают резиновые прокладки к основанию (для этого предусмотрены проточки (6)) и предотвращают протекание воды в камеру. Прижим осуществляется за счет прижимающей силы от затяжки болтов.

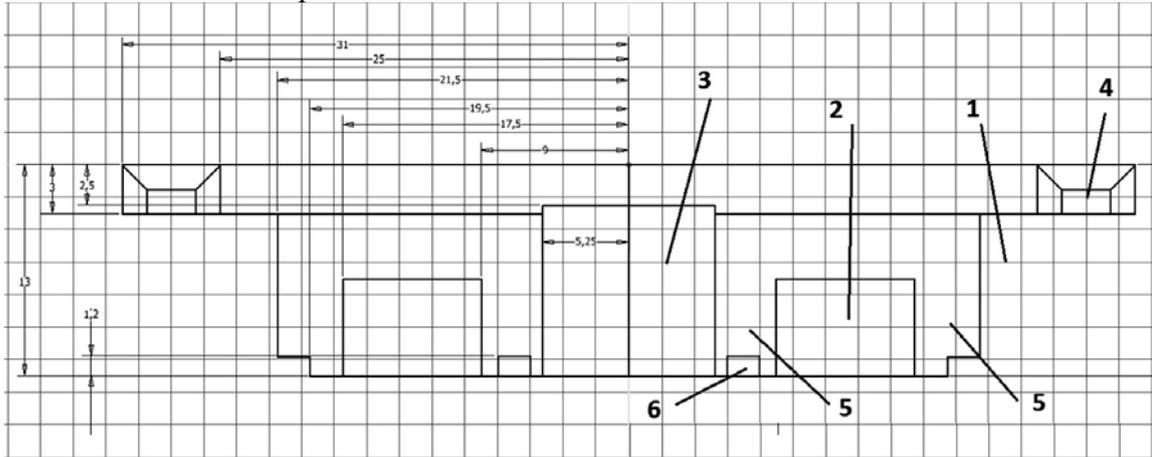


Рисунок 1 – Чертеж крышки магнетрона

Система установлена в камере под высоким вакуумом, внешнее кольцо (1) также откачивается до высокого вакуума, однако кольца (2) и (3) остаются под атмосферным давлением $P_a=0.1\text{МПа}$. Так же со стороны жидкости на крышку в зоне кольца (2) оказывается давление $P_{изб}=0.1\text{МПа}$ (рассчитано экспериментально ранее). Крышка сделана из меди, сечение по радиусу не постоянно, с резким изменением геометрии.

Допущения, принятые в расчетах: крышку рассчитываем, как балку с шириной $\delta \rightarrow 0$, затем переходим к конечной ширине и аппроксимируем по окружности.

2 Расчет прогиба крышки на раскрытие стыка по теории сопротивления материалов:

Расчетная схема представлена на рисунке 2; $P_{изб}=0.1\text{МПа}$; $P_{атм}=0.1\text{МПа}$; расчет проводится по сечению внутренней проточки под прокладку, т.к. там расхождение стыка наиболее опасно (возможно протекание воды в камеру).

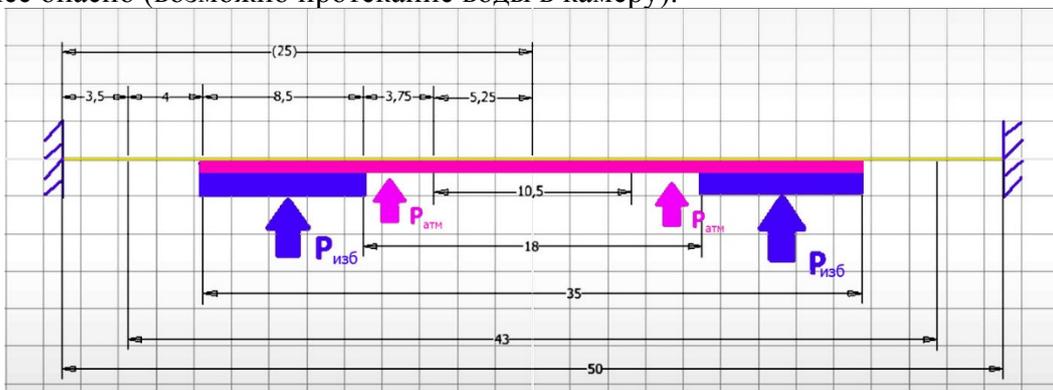


Рисунок 2 – Расчетная схема определения прогиба крышки

Расчет проводился по следующим разделам курса сопротивления материалов: изгиб стержней; перемещения в стержневой системе; раскрытие статической неопределенности стержневых систем методом сил.

На основе расчетов получена следующая зависимость толщины крышки постоянного сечения от прогиба в опасном стыке:

$$h = \sqrt[3]{\frac{0.1134}{v_x}}; \quad v_x \text{ подставляется в мм.}$$

Анализ зависимости: минимальная толщина крышки постоянного сечения 1.5мм с коэффициентом запаса 1.5; в крышке переменного сечения стык не раскроется не зависимо от стачиваемой толщины (при условии целостности крышки – стачивание до 2.5 мм), т.к. толщина основного участка 7мм и прогиб при стачивании около 1мкм; минимальная толщина определяется не условием нераскрытия стыка, а прочностью крышки в болтовом соединении и на границе перепада толщин, следовательно, требуется расчет на прочность.

3 Расчет крышки на прочность по теории сопротивления материалов:

На основе данных из расчёта предыдущего пункта и главы курса теории сопротивления материалов: основы теории напряжённого и деформированного состояния, была получена зависимость толщины сечения от момента, действующего на это сечение:

$$h = \sqrt[2]{\frac{M \times n}{2[\sigma_m]}}$$

В болтовом соединении момент максимален $M_1=19.88\text{МПа}$. В сечении перехода толщины с 7мм на 2.5мм $M_2=14.53\text{МПа}$, однако из-за резкой смены геометрии в сечении происходит скачек напряжений в 2-3 раза, поэтому условно $M_2=36.31\text{МПа}$. $M = \max(M_1, M_2) = M_2$, значит второе сечение наиболее опасно, дальнейший расчет ведем по нему. $[\sigma_m] = 70\text{МПа}$; $n = 1.5$

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{36.31 \times 1.5}{2 \times 70}} = 0.63\text{мм}, \text{ рекомендуемая толщина крышки } 0.7\text{мм}$$

4 Проверка расчетов на ЭВМ (среда Inventor):

Результаты расчета на ЭВМ сопоставимы с ручным расчетом (рисунок 3, 4): прогибы крышки данной геометрии не велики, условие раскрытия стыка выполняется; прочностной расчет показал, что крышка выдерживает нагрузку с коэффициентом запаса 2. Однако по расчетам ЭВМ болтовое соединение наиболее опасно, а в зоне изменения геометрии почти не возникают напряжения, возможно в расчетах не учитывается повышение напряжений при резкой смене геометрии.

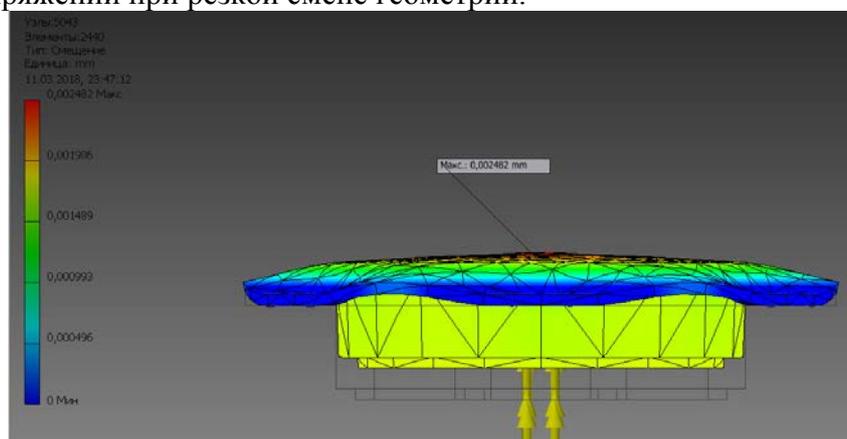


Рисунок 3 – Смещения в крышке с минимальной толщиной: 0.7мм

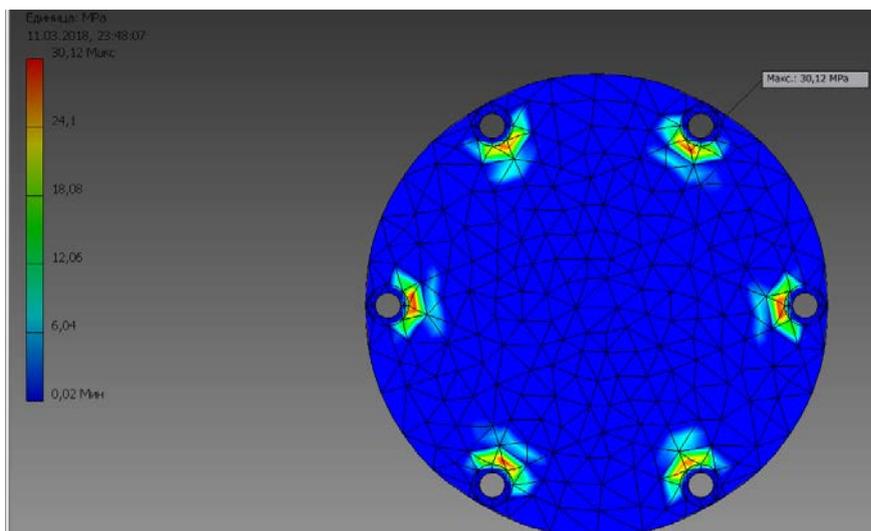


Рисунок 4– Напряжения в крышке с минимальной толщиной: 0.7мм

Заключение

Расчет на нераскрытие стыка показал, что прогибы в крышке не значительны при стачивании на 2.5мм.

Первичные проблемы возникают не в стыке, а в болтовом соединении и на перепаде толщин, где медь может потечь, однако это наблюдается только при приближении толщины тонкого участка к 0,6мм

В результате крышку можно сточить на 1.8мм, коэффициент запаса: 1,5.

Моделирование на ЭВМ подтверждает результаты.

Литература

1. Магнетронный разряд с расплавленным катодом / А.В. Тумаркин [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1. - № 3. – С. 276 – 282.
2. Осаждение металлических пленок путем распыления из жидкой фазы / Б.С. Данилин [и др.] // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника. – 1978. - № 2. – С. 84 – 87.
3. Направления развития магнетронных распылительных систем / И.В. Сवादковский// Доклады БГУИР. – 2007. – Т. 5. - № 2. – С. 112 – 121.
4. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев // МГТУ им. Н.Э. Баумана – 2005.- гл.1 - п.1.12, гл.3, гл.4 – п.4.1-3, гл.5 – п.5.3-4, гл.6 – п.6.1-6.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ЖЕСТКОЙ МАСКИ ИЗ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМОННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Ганиева Л.А., Трофимов И.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Шашурин В.Д.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РЛ6, Москва, Россия

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL METHODS OF REMOVING A HARD MASK FROM SILICON DIOXIDE IN HYDROFLUORIC ACID FOR FORMATION OF PLASMONIC WAVEGUIDE

Ganieva L.A., Trofimov I.V.

Supervisor: Dr., Prof., Shashurin V.D.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются технологические методы удаления жесткой маски из диоксида кремния в плавиковой кислоте применительно к изделиям наноплазмоники. Кратко представлены химическая реакция, кинетика, механизм травления диоксида кремния в плавиковой кислоте. Подробно исследованы особенности методов жидкостного и парофазного химического травления диоксида кремния. Представлен сравнительный анализ этих методов для формирования плазмонной линии передачи информации.

Abstract

This article deals with the technological methods of removing a hard mask of silicon dioxide in hydrofluoric acid for nanoplasmonics devices. The chemical reaction, kinetics, etching mechanism of silicon dioxide in hydrofluoric acid are briefly presented. Particularities of liquid and vapor-phase methods of chemical etching of silicon dioxide were researched in details. A comparative analysis of these methods for the formation of the plasmonic waveguide is presented.

Введение

Современные микропроцессоры ограничены по тактовой частоте из-за высокого тепловыделения и проблем теплоотвода из интегральных схем. С целью увеличения производительности микропроцессоров начался переход на многоядерные технологии без увеличения тактовой частоты. Сами по себе элементы полупроводниковых устройств могут иметь очень малые размеры и высокие частоты функционирования, однако соединение этих элементов в электрическими проводниками приводит к ограничениям частоты функционирования, связанными с неустранимым выделением в проводниках тепла [1]. С другой стороны, фотонные устройства имеют высокие частоты функционирования, но при этом физически большие размеры, ограниченные из-за дифракционного предела, слишком велики для наноплазмонных устройств. Следовательно, для повышения производительности современных микропроцессоров требуется поиск новых способов межсоединений на кристалле, и одним из перспективных решений этой проблемы представляется переход от объемных оптических волн к поверхностным плазмон-поляритонам. Применение плазмонных линий передачи информации — устройств на основе эффекта распространения электромагнитных волн на границе раздела металл-диэлектрик [2, 3], позволяет повысить более чем на порядок степень интеграции по сравнению с фотонными волноводами и существенно сократить потребление энергии активных компонент.

Одним из способов реализации плазмонной линии передачи информации является многослойная структура из чередующихся слоев диэлектрика и металла малых размеров: толщины слоев порядка ста нанометров, протяженность структур — порядка микрон. На

концах плазмонного волновода расширяются рупоры, предназначенные для ввода и вывода оптического сигнала информации субволнового размера порядка ста нанометров, которые реализованы в виде периодической структуры из линий и зазоров с высоким аспектным соотношением (рис. 1).

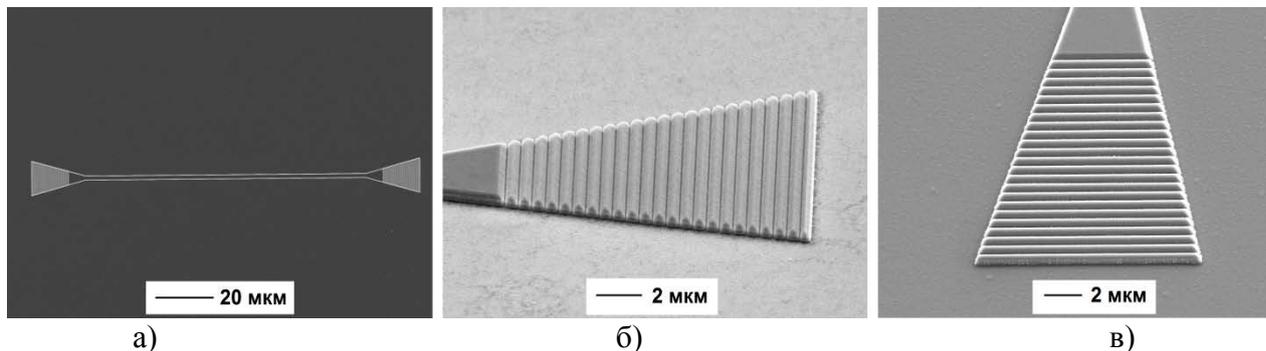


Рисунок 1 – SEM изображения структуры плазмонной линии передачи информации:
 а) общий вид волновода; б) и в) рупор волновода до технологической операции снятия жесткой маски

В плазмонных волноводах типа диэлектрик-металл-диэлектрик металлическая пленка отвечает за оптические характеристики устройства. Для минимизации оптических потерь в волноводе используют металлическую пленку нанометровых толщин, вследствие чего данная пленка имеет плохую адгезию. Технология изготовления плазмонной линии передачи информации должна учитывать перечисленные особенности конструкции волновода данного типа и обеспечивать целостность структуры металлической пленки. Технологический процесс изготовления плазмонного волновода состоит из следующих основных операций: нанесения многослойных структур диэлектрик-металл-диэлектрик, электронно-лучевой литографии и плазмохимического травления. На рис. 2 приведен укрупненный маршрутный технологический процесс изготовления плазмонного волновода данного типа.

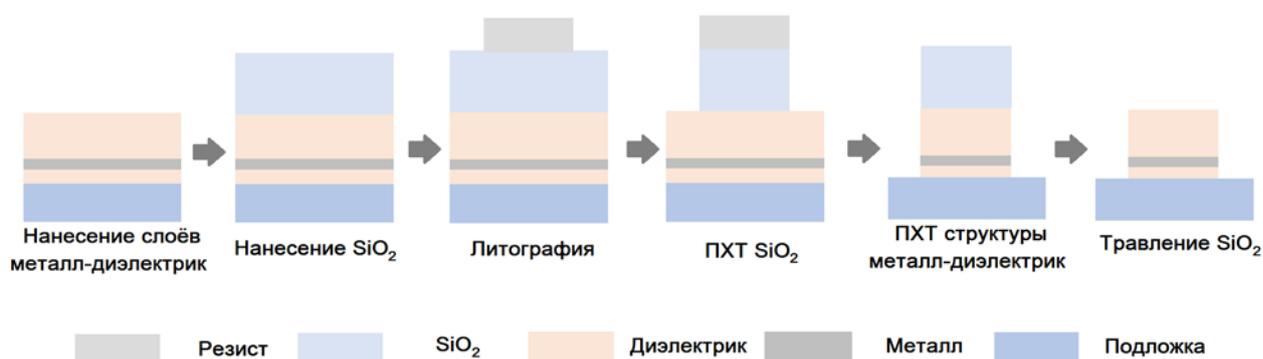


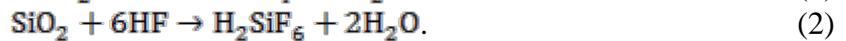
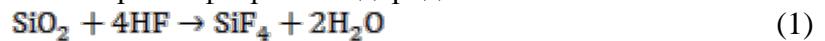
Рисунок 2 – Укрупненный маршрутный технологический процесс изготовления плазмонного волновода типа диэлектрик-металл-диэлектрик

Операции плазмохимического травления (ПХТ) часто необходимо проводить в среде агрессивных газов, которых не выдерживают резистивные маски, так как данный процесс является низкоселективным. Увеличение толщины резиста не является решением этой проблемы, так как в таком случае страдает качество литографии. Поэтому при ПХТ используют жесткие маски, в качестве которых применяются слои из материалов с высокой селективностью травления, такие как оксид и нитрид кремния. Диоксид кремния является одним из самых распространенных материалов для жесткой маски. Использование жестких масок в последующем требует их полного удаления со структуры.

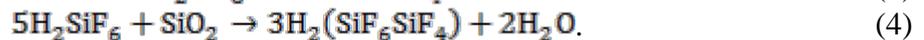
Существует несколько методов удаления диоксида кремния: метод ПХТ, жидкостное и парофазное травления в плавиковой кислоте. Учитывая особенности технологической конструкции плазмонного волновода, которые были перечислены выше, ПХТ, как метод удаления диоксида кремния, не подходит в виду сильного воздействия на подложку, что приводит к ее разрушению. В связи с чем было рассмотрено только жидкостное и парофазное травление с использованием плавиковой кислоты (HF). Целью данной работы является проведение сравнительного анализа методов удаления жесткой маски из диоксида кремния в плавиковой кислоте на основании особенностей конструкции плазмонного волновода.

1 Механизм травления диоксида кремния в плавиковой кислоте

Как было уже сказано, есть два метода травления диоксида кремния плавиковой кислотой: жидкостное и парофазное. Протекание химических реакций для разных методов травления в плавиковой кислоте не отличается: при травлении диоксида кремния выделяется газ тетрафторид кремния и кремнефтористоводородная кислота:



В свою очередь, кремнефтористоводородная кислота продолжает травить диоксид кремния или разлагается на продукты реакции [4, 5]:



В процессе травления помимо фторида водорода активное участие принимает бифторид водорода и относительно кинетики реакции примерно в четыре раза больше влияет на скорость травления диоксида кремния [6, 7]:



Таким образом, скорость травления диоксида кремния в плавиковой кислоте возрастает с увеличением концентрации HF. Но в то же время вода является катализатором реакции травления, поэтому процессы проводят с разбавленной кислотой. Для поддержания высокого содержания фтора к плавиковой кислоте добавляют фторид аммония, что способствует сохранению постоянной скорости травления диоксида кремния [4, 8].

Травление диоксида кремния в парах плавиковой кислоты имеет свои особенности, на которые нужно обратить внимание.

2 Особенности парофазного травления диоксида кремния в плавиковой кислоте

К особенностям парофазного травления относится зависимость скорости травления от температуры подложки. Травление в парах проводят в закрытых резервуарах, где на поверхность подложки подводится плавиковая кислота в парофазном состоянии (установка приведена на рис.3). В системе контролируется два параметра: концентрация плавиковой кислоты и температура нагрева подложки. Варьируя температуру подложки можно регулировать процессом: ускорять травление, замедлять или останавливать процесс. На рис.4 представлен график зависимости скорости парофазного травления от температуры подложки [5]. Наибольшая скорость травления наблюдается в диапазоне температур от 20 до 35 °С, при дальнейшем увеличении температуры скорость травления снижается линейно, для температур выше 40 °С травление прекращается [9, 10].



Рисунок 3 – Система травления в парах плавиковой кислоты Idonus VPE

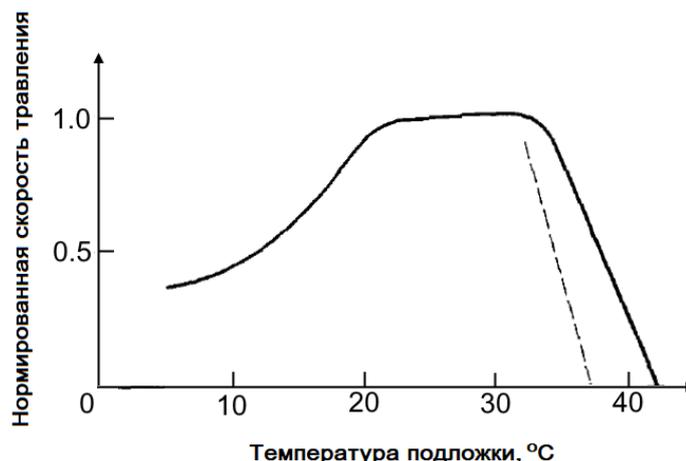


Рисунок 4 – Зависимость скорости травления диоксида кремния в парах плавиковой кислоты от температуры подложки [5]

Зависимость скорости травления от температуры подложки объясняется тем, что вода является катализатором химической реакции: чем больше воды конденсируется на поверхности, тем активнее протекает реакция, при отсутствии конденсированной воды на подложке травления не наблюдается [11, 12]. В то же время вода является продуктом протекающей реакции, за счет чего компенсируется потеря воды на поверхности подложки. При комнатной температуре наблюдается баланс между количеством воды, участвующей в реакции, и воды в виде продуктов реакции. При увеличении температуры подложки количество воды на поверхности уменьшается за счет испарения, поэтому при высоких температурах реакция травления прекращается. Данная особенность парофазного травления привлекательна для травления небольших толщин диоксида кремния порядка микрон. Схематичная диаграмма различных этапов процесса травления в парах плавиковой кислоты представлена на рис.5 [4].



Рисунок 5 – Схематичная диаграмма различных этапов процесса травления в парах плавиковой кислоты [4]

Также на скорость травления плавиковой кислотой влияет метод осаждения диоксида кремния. В результате литературного анализа [7, 13] установлено, что термический оксид травится с меньшей скоростью по сравнению с другими методами осаждения.

Скорость травления термического оксида можно увеличить легированием бором диоксида кремния или бомбардировкой электронами с большой энергией (1-15 кэВ). Оксиды, полученные физическим или химическим осаждением из газовой фазы, имеют большие скорости травления. Также скорость травления диоксида кремния, полученного такими методами, можно повысить увеличением скорости осаждения пленки или уменьшением температуры подложки при осаждении. Уменьшить скорость травления любого диоксида кремния можно отжигом пленки. На рис. 6 представлен график зависимости толщины вытравленного парофазным методом оксида от температуры подложки, графики представлены для различных методов осаждения диоксида кремния (таблица 1).

Таблица 1 – Различные способы получения оксида

Метод осаждения диоксида кремния	Тип оксидной пленки
Усиленное плазмой химическое парофазное осаждение (англ. Plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD))	легированный бором оксид (англ. Phosphorus Doped Silica Glass (PSG))
	борофосфосиликатный оксид (англ. Borophosphosilicate Glass (BPSG))
Химическое парофазное осаждение при пониженном давлении (англ. Low pressure chemical vapor deposition (LPCVD))	LPCVD оксид (англ. LPCVD oxide (LPO))
	отожжённый LPCVD оксид (англ. Annealed LPCVD oxide (LPOA))
	легированный бором отожжённый LPCVD оксид (англ. Boron Ion-implanted and Annealed LPCVD oxide (LPOB))
	легированный мышьяком и фосфором отожжённый LPCVD оксид (англ. Arsenic and Phosphorous Ion-implanted and Annealed LPCVD oxide (LPOP))
Термическое оксидирование (англ. Thermal Oxidation)	термический оксид (англ. Thermal Oxide (THOX))

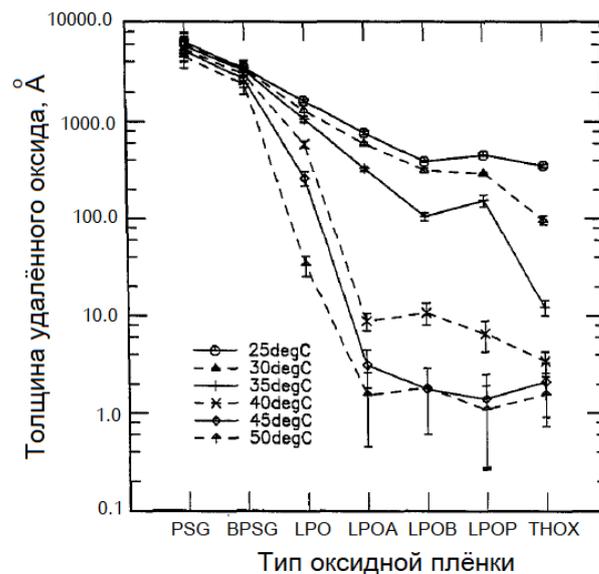


Рисунок 6 – Зависимости толщины вытравленного парофазным методом оксида от температуры подложки для различных методов осаждения диоксида кремния [13]

В результате проведенного анализа особенностей парофазного травления были сформулированы рекомендации по удалению жесткой маски из диоксида кремния в парах плавиковой кислоты. При работе с установкой для травления диоксида кремния используют следующий диапазон температур: 21-35 °С. Остановка процесса травления происходит путем повышения температуры подложки до 55-60 °С для испарения всей конденсированной во время процесса жидкостис поверхности структуры.

3 Сравнительный анализ методов жидкостного и парофазного травления для формирования плазмонной линии передачи информации

Целью сравнительного анализа методов жидкостного и парофазного травления является выбор метода, который удовлетворяет конструкционным требованиям плазмонного волновода: сохранения целостности структуры металлической пленки, отвечающей за оптические характеристики волновода. Проведено сравнение методов снятия жесткой маски из диоксида кремния в плавиковой кислоте по качеству удаления жесткой маски, химическому и механическому воздействиям операции травления на структуру плазмонного волновода.

Жесткая маска была сформирована методом электронно-лучевого испарения, толщина ее не больше сотен нанометров, следовательно, требования к большим скоростям травления для ускорения процесса не предъявляются: полного удаления диоксида кремния можно достичь при самых малых скоростях травления, соответственно, малых концентрациях HF (рис. 6). Следовательно, такой критерий, как скорость травления диоксида кремния, не является показателем для выбора определенного метода травления жесткой маски из диоксида кремния. С точки зрения полного удаления диоксида кремния со структуры плазмонной линии передачи информации оба метода равносильны.

Стоит отметить, что плавиковая кислота деструктивно воздействует на структурные пленки плазмонной линии передачи информации [14,15]. Поскольку слои металл-диэлектрик находятся под слоем диоксида кремния, при полном удалении жесткой маски структурные слои начинают контактировать с плавиковой кислотой. Чтобы при травлении минимизировать повреждение нанометровых пленок химическим воздействием плавиковой кислоты следует использовать менее концентрированную кислоту 20-30 %. Из двух методов удаления диоксида кремния парофазное позволяет травить при меньших концентрациях плавиковой кислоты (рис. 7) [4].

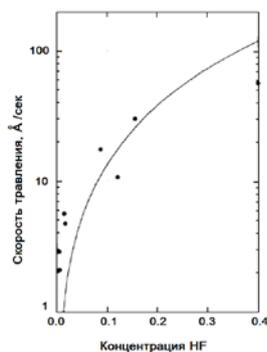


Рисунок 7 – Зависимость скорости травления диоксида кремния от концентрации плавиковой кислоты: точками показана зависимость для травления в парах, линией — для жидкостного травления [4]

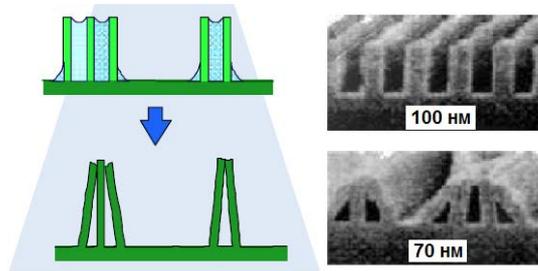


Рисунок 8 – Слипание структур с высоким аспектным соотношением из-за поверхностного натяжения жидкости [16]

Для структур с высоким соотношением сторон при использовании жидкостной обработки существует проблема, связанная с поверхностным натяжением,

которая приводит к слипанию структуры линий (рис. 8) [16,17]. При жидкостном травлении в плавиковой кислоте для полного удаления остатков HFco структуры изделие необходимо промыть после травления деионизованной водой. Таким образом, в случае жидкостного травления образец будет дважды подвержен жидкостной обработке, что увеличивает вероятность повреждения структур поверхностным натяжением жидкости. В случае парофазного травления такой проблемы не возникает, так как данная технологическая операция не требует после себя промывки образца деионизованной водой. Следовательно, для исключения механических повреждений при травлении в процессе формирования плазмонной линии передачи информации в качестве операции снятия жесткой маски из диоксида кремния предпочтителен метод травления в парах плавиковой кислоты.

Заключение

В ходе сравнительного анализа жидкостного травления диоксида кремния с травлением в парах плавиковой кислоты для формирования плазмонной линии передачи информации с целью сохранения целостности структуры был выбран метод парофазного травления. Критерием выбора метода являлось полное удаление жесткой маски с поверхности плазмонного волновода и в то же время наименьшее химическое и механическое воздействие операции травления в плавиковой кислоте на многослойную структуру.

В результате литературного анализа были разработаны рекомендации по удалению жесткой маски из диоксида кремния в плавиковой кислоте. Определены оптимальные режимы травления в парах плавиковой кислоты: рабочий диапазон температуры подложки 21-35 °С, концентрация плавиковой кислоты 20-30 %.

Литература

1. Miller D. A. B., Ozaktas H. M. Limit to the bit-rate capacity of electrical interconnects from the aspect ratio of the system architecture //Journal of parallel and distributed computing. – 1997. – Т. 41. – №. 1. – С. 42-52.
2. Zia R. et al. Plasmonics: the next chip-scale technology //Materials today. – 2006. – Т. 9. – №. 7-8. – С. 20-27.
3. Bozhevolnyi S. I. et al. Channel plasmon-polariton guiding by subwavelength metal grooves //Physical review letters. – 2005. – Т. 95. – №. 4. – С. 046802.
4. Helms C. R., Deal B. E. Mechanisms of the HF/H₂O vapor phase etching of SiO₂ //Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 1992. – Т. 10. – №. 4. – С. 806-811.
5. Holmes P. J., Snell J. E. A vapour etching technique for the photolithography of silicon dioxide //Microelectronics Reliability. – 1966. – Т. 5. – №. 4. – С. 337-341.
6. Fukuta Y., Fujita H., Toshiyoshi H. Vapor hydrofluoric acid sacrificial release technique for micro electro mechanical systems using labware //Japanese journal of applied physics. – 2003. – Т. 42. – №. 6R. – С. 3690.
7. Monk D. J., Soane D. S., Howe R. T. A review of the chemical reaction mechanism and kinetics for hydrofluoric acid etching of silicon dioxide for surface micromachining applications //Thin Solid Films. – 1993. – Т. 232. – №. 1. – С. 1-12.
8. Nielsen H., Hackleman D. Some illumination on the mechanism of SiO₂ etching in HF solutions //Journal of the Electrochemical Society. – 1983. – Т. 130. – №. 3. – С. 708-712.
9. Carazzetti P. High quality micromachined inductors for integrated communication systems :дис. – Université de Neuchâtel, 2006.
10. Zickar M. et al. Quasi-dry release for micro electro-mechanical systems //University of Neuchatel, IMT, SAMLAB, Jaquet-Droz. – 2007. – Т. 1.

11. Anguita J., Briones F. HF/H₂O vapor etching of SiO₂ sacrificial layer for large-area surface-micromachined membranes //Sensors and Actuators A: Physical. – 1998. – Т. 64. – №. 3. – С. 247-251.
12. Yang W. S. et al. A new surface modification method to prevent the release-stiction of micromechanical structures during HF vapor-phase etching //Japanese journal of applied physics. – 2004. – Т. 43. – №. 9R. – С. 6008.
13. Wong M., Moslehi M. M., Bowling R. A. Wafer Temperature Dependence of the VaporPhase HF Oxide Etch //Journal of The Electrochemical Society. – 1993. – Т. 140. – №. 1. – С. 205-208.
14. Bakke T. et al. Etch stop materials for release by vapor HF etching //Micromechanics Europe. – 2005. – Т. 122.
15. Zywojtko D. R., George S. M. Thermal Atomic Layer Etching of ZnO by a “Conversion-Etch” Mechanism Using Sequential Exposures of Hydrogen Fluoride and Trimethylaluminum //Chemistry of Materials. – 2017.
16. Hattori T. Non-aqueous/dry cleaning technology without causing damage to fragile nano-structures //ECS Transactions. – 2009. – Т. 25. – №. 5. – С. 3-14.
17. Overstolz T. et al. A clean wafer-scale chip-release process without dicing based on vapor phase etching //Micro Electro Mechanical Systems, 2004. 17th IEEE InternationalConferenceon.(MEMS). – IEEE, 2004. – С. 717-720.

Исследования выполнены с использованием материально-технической базы Научно-образовательного центра «Функциональные Микро/Наносистемы»
МГТУ им.Н.Э.Баумана

КОЛЁСНЫЙ РОБОТ НА УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДАЛЬНОМЕРЕ

Грюмов С.А., Пигина Д.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Семенцов С. Г.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

WHEELED ROBOT WITH AN ULTRASONIC RANGEFINDER

Gryumov S.A., Pigina D.V.

Supervisor: Dr., Prof., Semencov S.G.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается принципиальная схема изделия на ультразвуковом дальномере и его макетный образец. Спроектирована топология печатной платы и сборочный чертеж изделия. Проведено моделирование схемы в САПР ProteusDesignSuite. Описаны принципы работы изделия.

Abstract

The article deals with the schematic diagram of the product on the ultrasonic rangefinder and its model sample. Experimental studies of its functional parameters and comparison of the parameters of the device with the parameters obtained in the simulation. The principles of the product are described.

Введение

Для конструирования электрифицированного робота на колесах необходимо устройство, которое будет управлять им по заданному алгоритму, и так же силовая схема для управления двигателем (ДПТ) с режимом реверса для смены направления движения. Для плавной регулировки частоты вращения двигателя применяется ШИМ (широтно-импульсная модуляция) метод, позволяющий использовать транзисторы драйвера в ключевом режиме и тем самым увеличивающий КПД устройства.

В рамках работы решались следующие задачи:

- Разработка алгоритма работы устройства;
- Разработка электрических схем: структурной и принципиальной;
- Подбор и обоснование элементной базы;
- Моделирование программы с использованием схемотехнической САПР;
- Разработка топологии печатной платы устройства и создание чертежей;
- Сборка макетного образца устройства;
- Экспериментальные исследования устройства.

1 Исследование принципов работы устройства управления драйвером двигателя

Структурная и функциональная схема устройства была разработана согласно ГОСТ 2.701-84. В качестве среды разработки была выбрана программа для черчения «Autodesk Inventor». Структурная схема устройства представлена на Рис.1. Функциональная схема представлена на Рис.2.

При переключении движкового переключателя устройство начинает стартовый отчет времени, далее устройство начинает обрабатывать данные в режиме бесконечного цикла, и на основе полученных данных логическое устройство передает сигналы исполнительной установке, а именно—драйверу двигателя. Устройство драйвера двигателя — в режиме стоп на всех входах присутствуют логические нули, транзисторные ключи VT5, VT6, VT7, VT8 закрыты. Транзисторы VT1-VT5, VT9-VT12 также надежно закрыты благодаря базовым резисторам R9-R16, R21-R24. После подачи логической единицы на вход первого и второго драйвера открывается транзистор VT7, VT8, а он в свою очередь открывает транзисторы VT4, VT11, VT3, VT12. При реверсе подаем в начале

логический ноль на транзисторы VT7, VT8, а затем через несколько микросекунд логическую единицу на вход VT5, VT16. Подавать одновременно две логические единицы на один драйвер нельзя, так как откроются оба ключа и через транзисторы потекут сквозные токи. Во всех схемах установлены защитные диоды VD1-VD8, которые защищают транзисторы от выброса напряжения при переключении ключей.

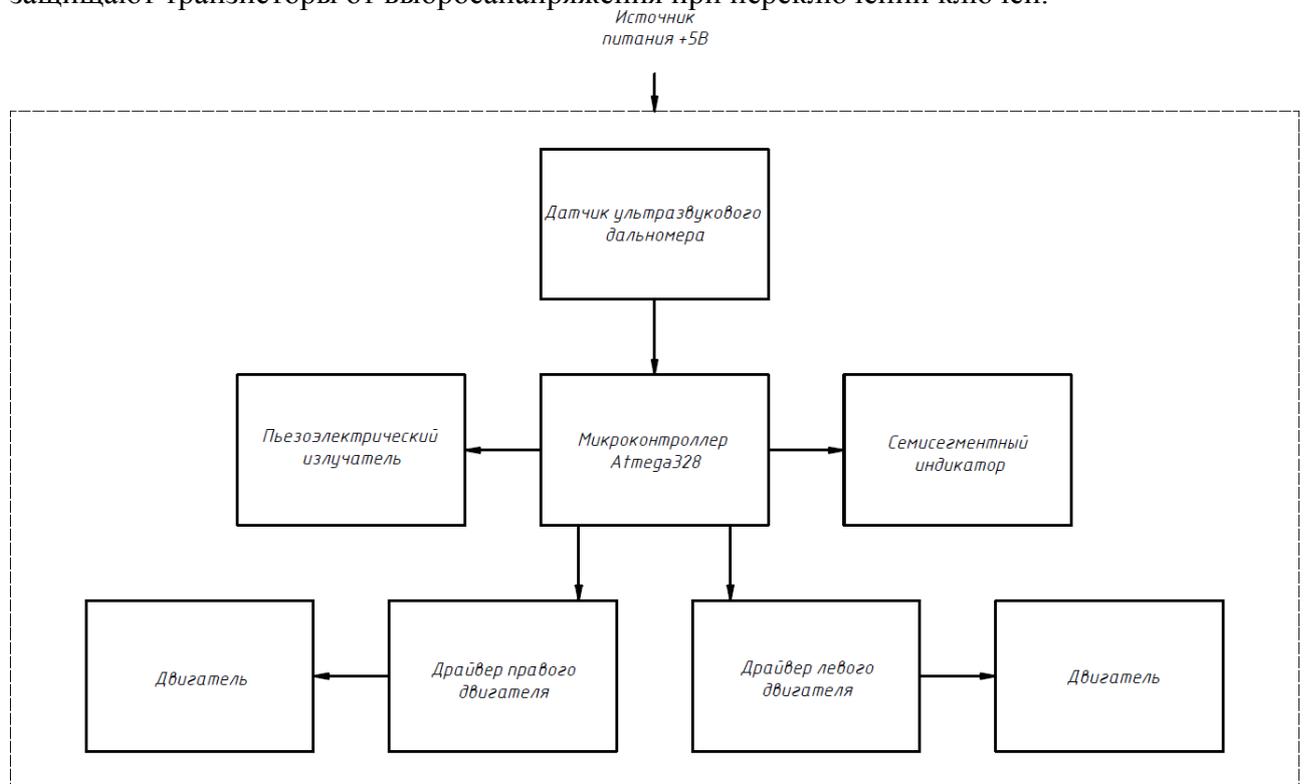


Рисунок 1 - Структурная схема

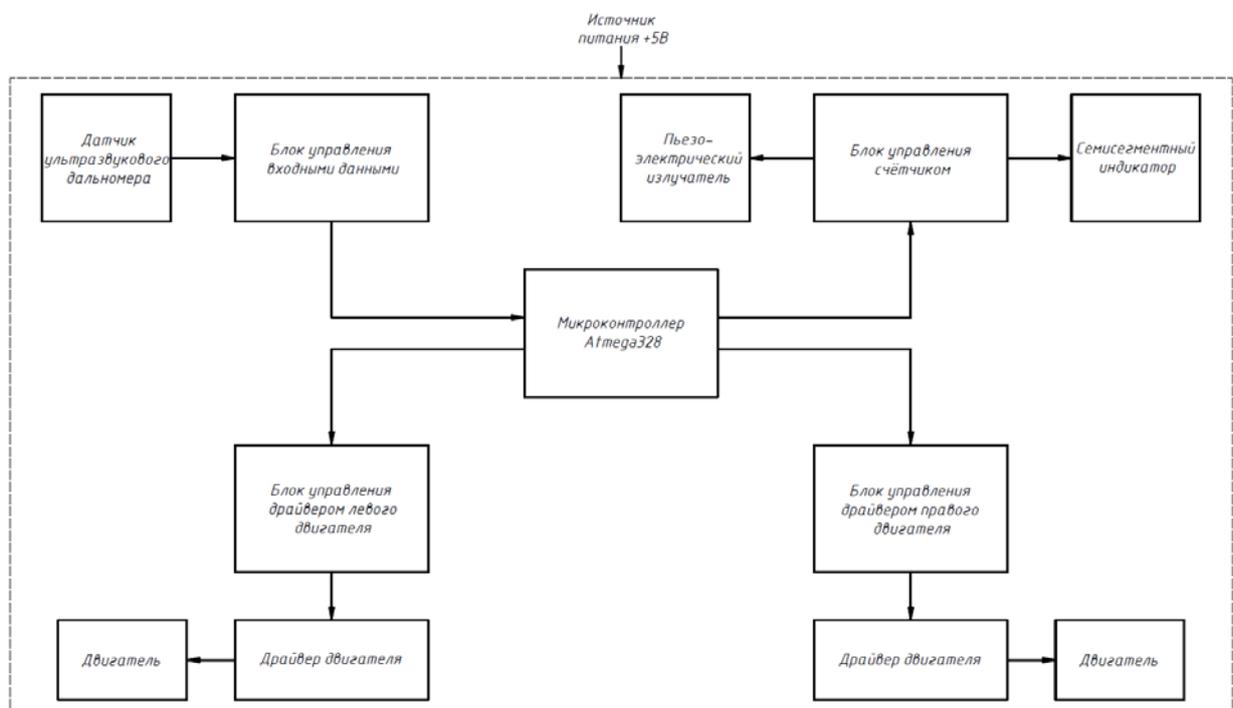


Рисунок 2 - Функциональная схема

Принципиальная схема устройства была разработана согласно ГОСТ2.702-2011. В качестве среды разработки была выбрана программа для черчения электронных схем «AltiumDesigner». Принципиальная схема устройства приведена на Рис.3.

В качестве логического устройства был выбран микроконтроллер ATmega328, семейства AVR 8Бит, 16МГц, который будет считывать входные данные иуправлять драйверами двигателей. Входные данные поступают с ультразвукового дальномера серии HC-SR04. Для индикации был выбран одноразрядный семисегментный индикатор, в качестве излучателя звуковых сигналов используется пьезоэлектрический излучатель. Резисторы R13-R16, R1-R8 являются токоограничивающими резисторами, применяются они для того,чтобы ограничивать ток, поступающий с выходных контактов (outputpins).

Напряжение, в состоянии, когда контакт включен (HIGH), составляет 5 В.Исходя из документации, ток не должен превышать 40 мА. Таким образом,чтобы обезопасить нашконтроллер от выхода из строя, нам понадобитсярезистор номиналом 4,7 кОм и длястабильной работы индикаторов резисторы220 Ом. Резисторы R3, R6 обеспечиваютотрицательную обратную связь (ООС)по току для стабильности работы усилителя приизменении температуры транзисторов.

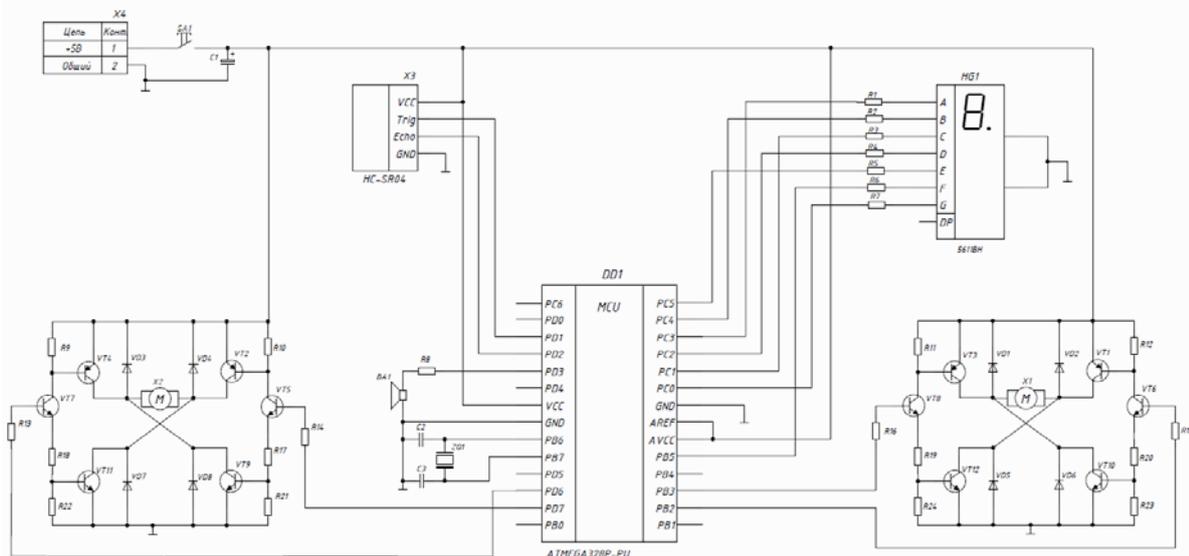


Рисунок 3 - Принципиальная схема

Резисторы R9-R12, R21-R24 являются делителями напряжения, они обеспечивают при открытии транзистора VT5-VT8 смещение на транзисторахVT1-VT4, VT9-VT12. Диоды VD1-VD8 в электронике, так называемые flybackdiode (от англ. диод обратной цепи),обеспечивают защиту запираемогооттранзистора от пробоя напряжением самоиндукции обмотки мотора.

2 Подбор элементной базы

Микроконтроллер ATmega328 (Рис.4) является главным элементом устройства. Микроконтроллер обрабатывает входные данные и с помощью заданного алгоритма отправляет последовательные сигналы на драйвер двигателя.

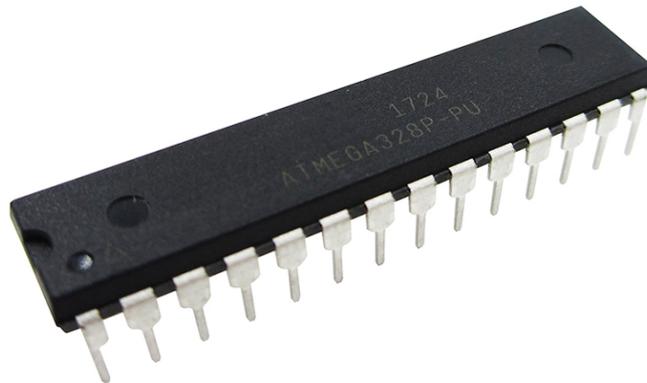


Рисунок 4 - Внешний вид микроконтроллера ATmega328P-PU

Бесконтактный направленный датчик HC-SR04 (Рис. 5), используя ультразвуковые волны, измеряет расстояние до объекта или просто обнаруживает препятствие на пути движения подвижной конструкции. На плате модуля размещены пьезоизлучатель ультразвука и воспринимающий отраженную волну микрофон.



Рисунок 5 - Внешний вид ультразвукового дальномера HC-SR04

Биполярные комплементарные транзисторы КТ815А (VT5-VT12) и КТ815А (VT1-VT4) (Рис. 6) присутствуют во всех каскадах схемы, обеспечивают работу усилителя в ключевом режиме.

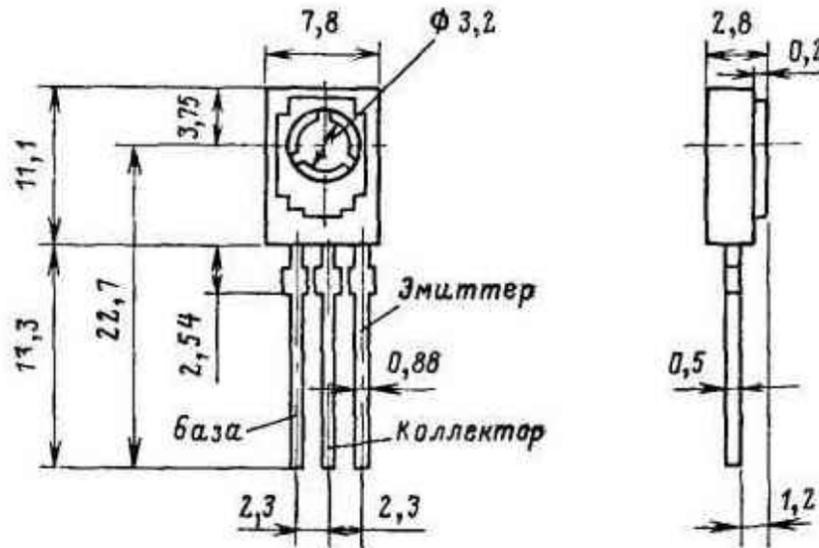


Рисунок 6 - Внешний вид транзисторов КТ815А, КТ814А в корпусе КТ-27(ТО-126)

Диод КД522А (Рис.7)обеспечивает работу шунтирования транзисторов, защищая их от пробоя.

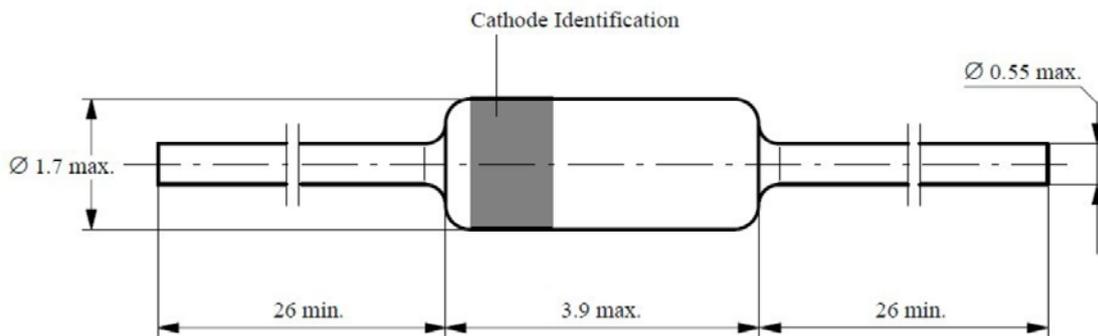


Рисунок 7 - Внешний вид и цоколёвка диода КД522А

Для того чтобы сгладить возможные броски напряжения, особенно всхемах с общим питанием для микросхем и моторов, параллельно питающим линиям включают электролитический конденсатор 100 мкФ.



Рисунок 8 - Внешний вид электролитического конденсатора

Рассмотрены основные технические характеристики микроконтроллера, ультразвукового дальномера, электролитического конденсатора, транзисторов в усилительных каскадах, диодов, а также устройство работы транзисторов в ключевом режиме, обосновано их применение. Определено, что с параметрами схемы устройства управления драйвером двигателя данные компоненты согласованы.

3 Компьютерное моделирование устройства управления драйвером двигателя

Моделирование работы устройства было проведено в программном пакете Proteus Design Suite. В ходе моделирования в микроконтроллер ATmega328 был загружен исполнительный код, по которому выполнялся алгоритм действий устройства. Далее было снято максимальное потребление мощности устройства, она составила 3.5 Вт.

4 Разработка топологии печатной платы и сборочного чертежа изделия

Топология печатной платы была разработана согласно ГОСТ 2.702-2011. В качестве среды разработки была выбрана программа для трассировки печатных плат «Altium Designer». Топология печатной платы приведена на Рис.10, Рис.11, Рис.12. Разработанная печатная плата представляет собой одностороннюю печатную плату с КМО. Материал – стеклотекстолит фольгированный СФ-1-35Г-1,5. Данный вид стеклотекстолита выбран из-за его невысокой розничной цены. Метод изготовления платы – комбинированный позитивный метод изготовления ПП. Этот метод изготовления выбран из-за двухсторонней разводки печатной платы с переходными металлизированными отверстиями со сложным контуром. Шаг сетки – 1 мм. Габаритные размеры платы – 150 x 120 мм. В плате всего 176 отверстий. Из них: монтажных диаметром 3 мм – 12, диаметром 1 мм – 116 и диаметром 0.8 мм – 48. Все отверстия с металлизацией.

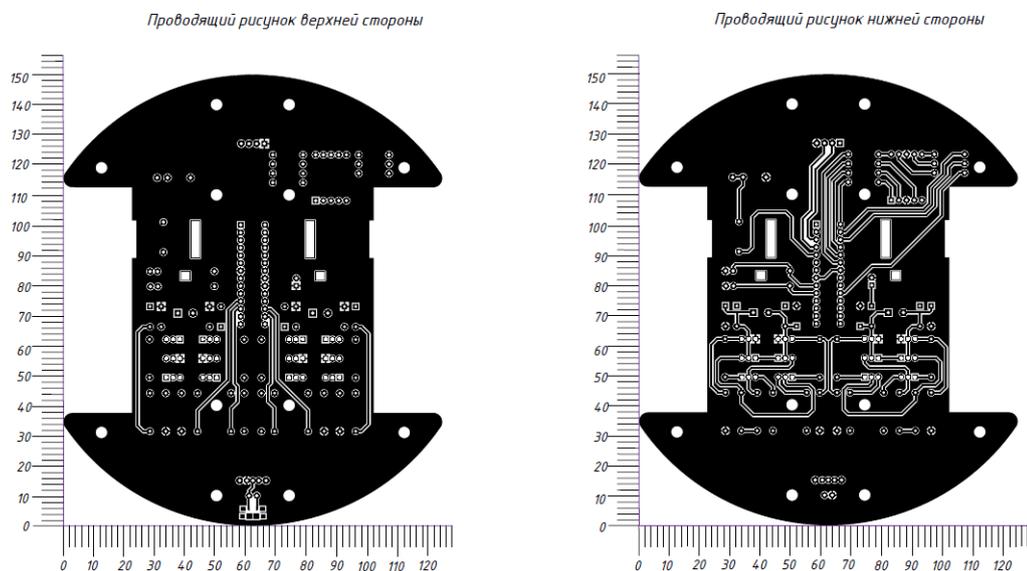


Рисунок 9 - Элементы несущей конструкции

Плата соответствует классу точности 2 и группе жёсткости 3. На основе чертежа топологии печатной платы был разработан сборочный чертёж печатной платы. Он представлен на Рис.13. На нём указана информация, необходимая для сборки платы и установки КМО.

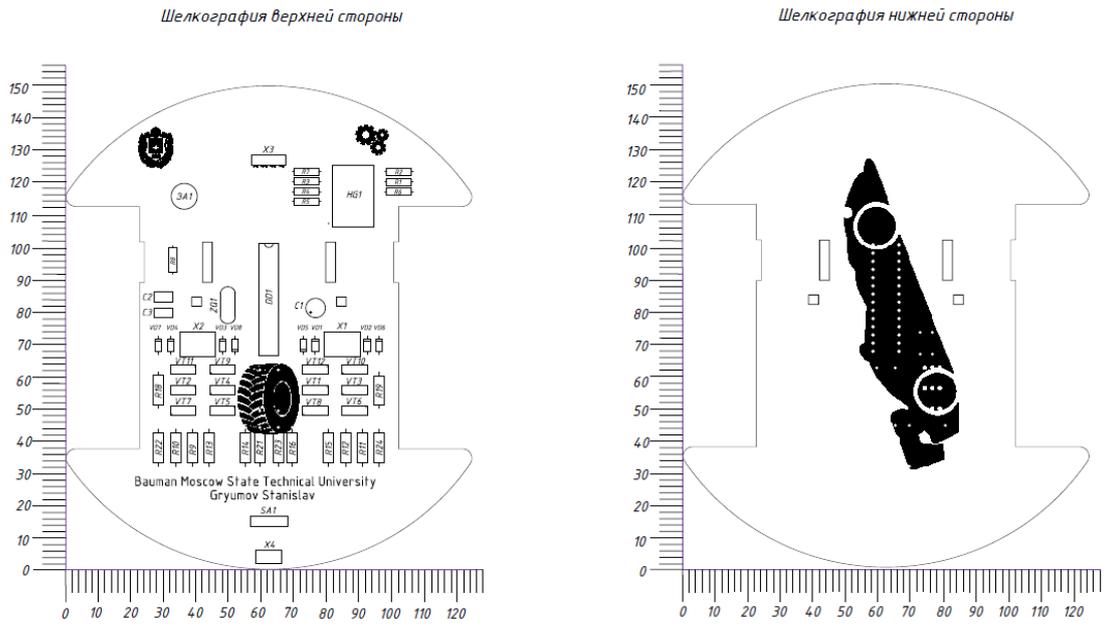


Рисунок 10 - Элементы несущей конструкции

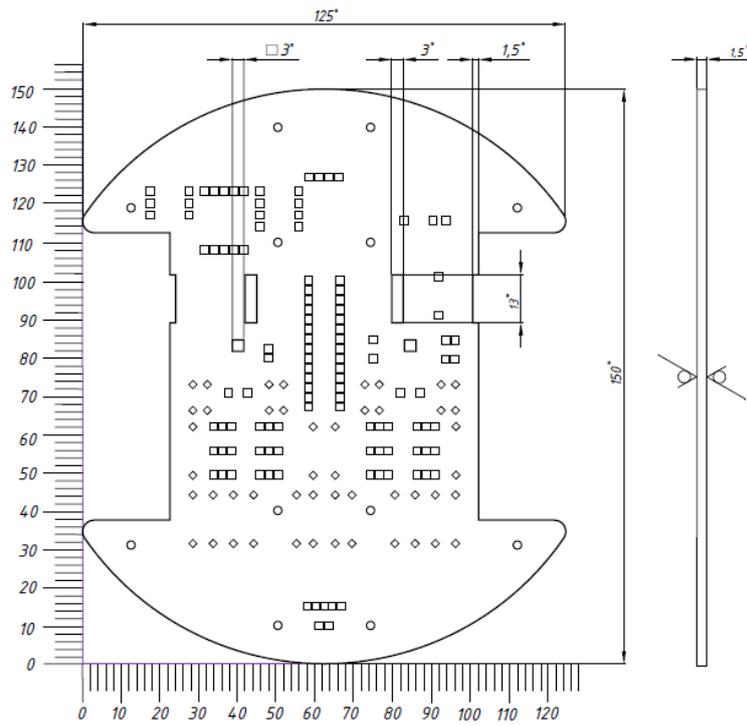


Таблица отверстий

Обозначение	Диаметр отверстия, мм	Диаметр контактной площадки, мм	Металлизация	Количество
◇	0.8	1.8	есть	48
□	1.0	1.8	есть	116
○	3.0	-	нет	12

Рисунок 11 - Несущая конструкция

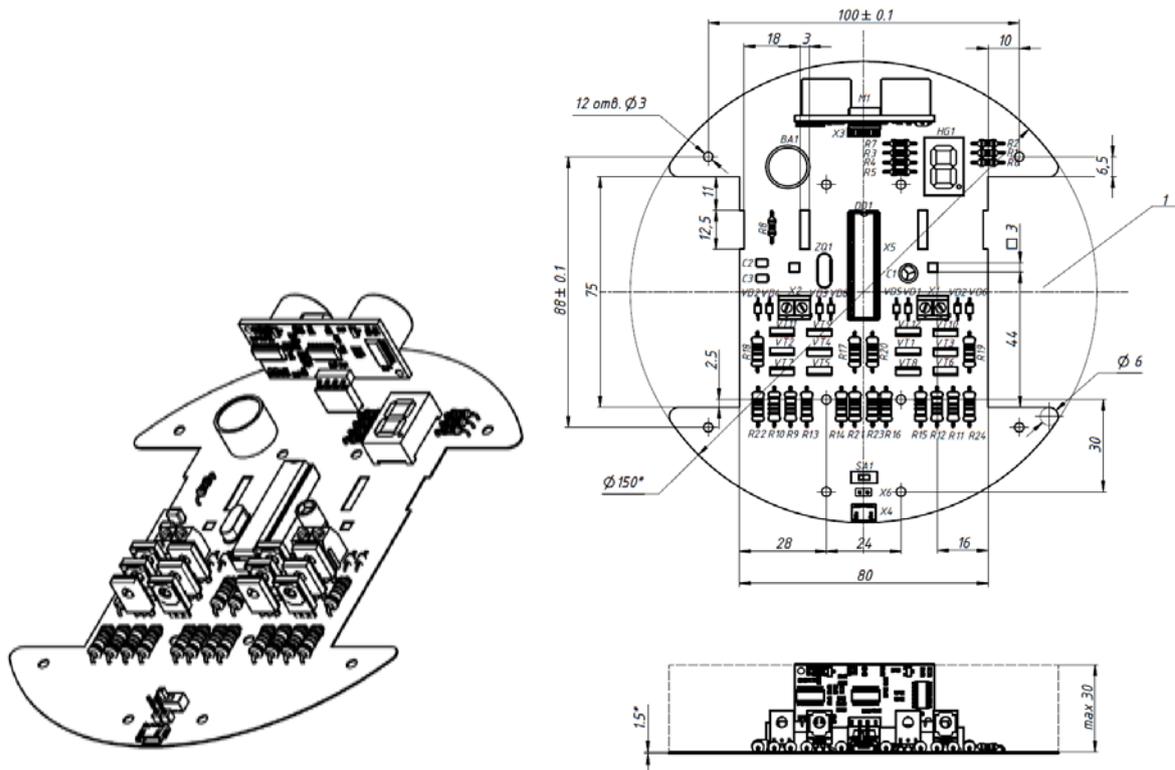


Рисунок 12 - Общий вид

5 Изготовление печатной платы и сборка устройства

Плата была изготовлена комбинированным позитивным методом. В комбинированном позитивном методе фоторезистом защищают пробельные места. Все отверстия металлизированы.

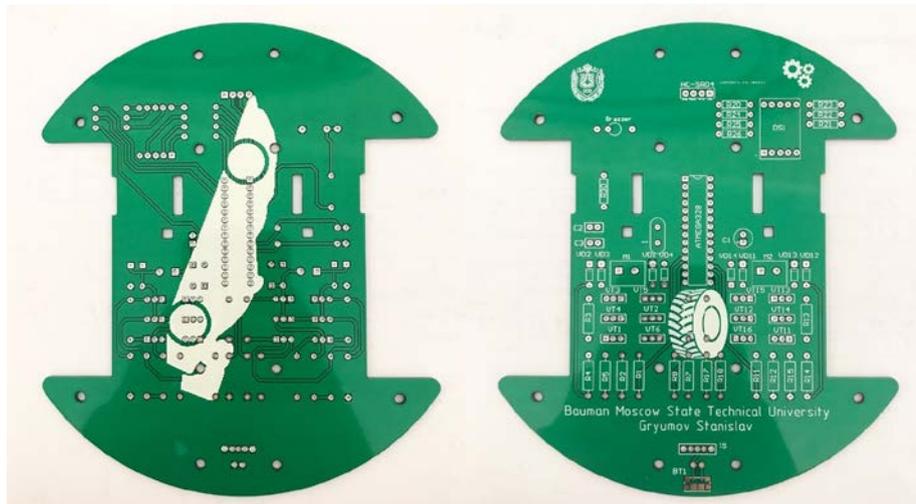


Рисунок 13 - Внешний вид печатной платы

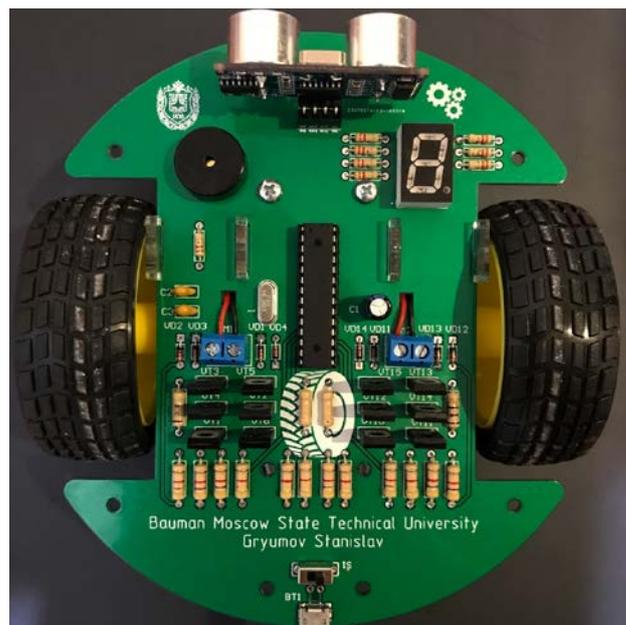


Рисунок 14 - Макетный образец колесного робота на ультразвуковом дальномере

Заключение

В результате работы была проанализирована схема драйвера управления низковольтным двигателем. Подробно проанализирована принципиальная схема и выбранная элементная база устройства. Было проведено моделирование устройства в схемотехнической САПРОг CADPSpiceDesigner, в которой была установлена работоспособность изделия и проверена правильность работы программы.

Разработана топология печатной платы в программе AltiumDesigner, создан чертёж топологии печатной платы и сборочный чертёж печатной платы. Разработан работающий макет драйвера. Результаты экспериментальных исследований показали результат, близкий к результату моделирования.

Литература

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – 5-е изд, перераб. М.: Мир, 1998. – 704 с., ил.
2. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для Вузов/ К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Под общей редакцией В.А.Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002.– 528 с.: ил.
3. А.Е. Аверьянихин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева, Л.А. Зинченко, В.А. Соловьев. Применение положений технического регламента для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов/ под ред. В.А. Шахнова – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. – 53 с.: ил.
4. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник./ В. А. Аронов, А. В. Баюков, А. А. Зайцев и др. Под общ. ред. Н. Н. Горюнова. – М.: Энергоиздат, 1982 – 904с., ил.
5. Семенцова С.Г. Лекции по курсу Основы аналого-цифровой схемотехники - М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2018.

АЛГОРИТМ ЗАРЯДА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Садовников А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

CHARGING ALGORITHM OF LI-ION BATTARIES

Sadovnikov A.V.

Supervisor: Dr., assistant professor Makarchyk V.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Краткоприведено обобщенное описание и основные технические параметры литий-ионных аккумуляторов и представлены методы определения уровня их заряда. Предложен алгоритм заряда Li-ion аккумуляторов, который, по мнению автора статьи, может продлить срок их службы и обезопасить аккумуляторы от перезаряда.

Abstract

In this paper is presented a short overview and main technical parameters of lithium-ion batteries and methods of exact determination of the charge level of accumulators are given. The algorithm for charging Li-ion batteries is suggested, which, in the author's opinion, can prolong their service life and protect accumulators from recharging.

Введение

Точное измерение уровня заряда аккумулятора является важной и актуальной задачей, особенно в условиях наблюдаемого развития мобильных технологий. На сегодняшний день используется множество приложений, где проблема точности оценивания уровня заряда аккумулятора особенно важна. Это транспорт, использующий электротягу, летательные аппараты, различные медицинские установки и другие устройства.

Уровень заряда аккумулятора (*State of Charge, SOC*) измеряется в процентах и показывает, какая часть от полного заряда еще остается запасенной в аккумуляторе. Однако следует принять во внимание и отметить, что в данном случае величина полного заряда не соответствует заряду при номинальной емкости. Проблема в том, что по мере эксплуатации реальная емкость аккумулятора снижается и к окончанию срока службы может стать меньше в среднем на 20%. Кроме того, величина емкости заряда аккумулятора зависит от температуры, при которой эксплуатируется литий-ионная батарея и значения тока разряда.

1 Литий-ионные аккумуляторы

В настоящее время Li-ion аккумуляторы и батареи обладают высокими удельными характеристиками: 100-180 Втч/кг и 250-400 Втч/л. Их рабочее напряжение составляет от 3,5 до 3,7 В. Если не так давно разработчики полагали, что емкость Li-ion аккумуляторов не может превышать нескольких ампер-часов, то сейчас многие производители выпускают аккумуляторы емкостью в сотни ампер-часов [1].

В ходе эксплуатации Li-ion аккумуляторы постоянно подвергаются процессам заряда и разряда. Следует принять во внимание, что в процессе их заряда точное определение уровня заряда аккумулятора крайне необходимо для предотвращения перезарядки, что сокращает сроки службы. Большинство производителей литий-ионных

батарей рекомендуют прерывать цикл их заряда при достижении значения напряжения на аккумуляторе равном 4.2 В. На рисунке 1 представлен график зависимости количества циклов заряда Li-ion аккумулятора и его емкости от напряжения заряда.

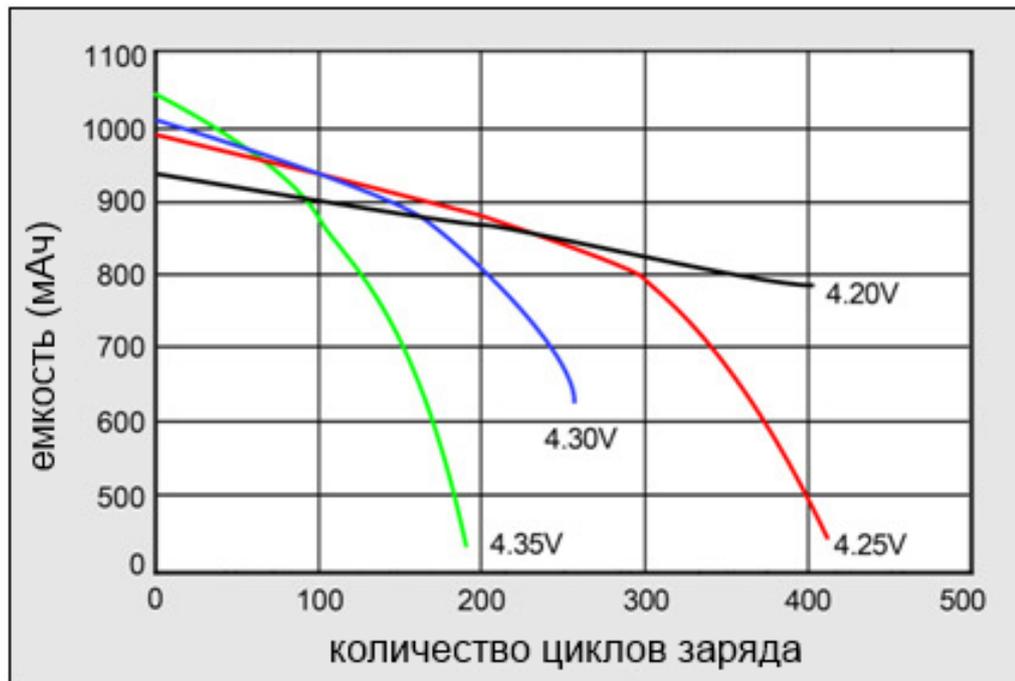


Рисунок 1 - Зависимость емкости и напряжения Li-ion аккумулятора от количества циклов заряда

Следует обратить внимание, что шкала ординат не линейна, а сами кривые не графикелишь иллюстрирую количество циклов перезаряда, при котором емкость аккумулятора уменьшится в два раза. Отметим, что при напряжении заряда равном 4,2 В аккумулятор деградирует крайне медленно, и количество циклов перезаряда до момента, когда емкость батареи уменьшится вдвое может быть порядка 1000 [2].

2 Методы измерения уровня заряда аккумулятора

В настоящее время существуют различные методы измерения уровня заряда аккумулятора. Некоторые из них являются достаточно специфичными. Оценивая их, можно использовать объективные показатели, такие, например, как точность измерений, сложность реализации, стоимость и габариты измерительной аппаратуры [3].

Прямые измерения с помощью приборов. Данный метод применим для ограниченного числа приложений, в которых литий-ионный аккумулятор эксплуатируется с постоянным сопротивлением нагрузки. В этом методе используют зависимость постоянного выходного тока от значения уровня разряда. Известно, что если в процессе разряда питающего элемента сопротивление нагрузки остается неизменным, то ток разряда уменьшается. Зная значение этого тока, можно вычислить уровень разряда аккумулятора.

Однако все сказанное является верным только при соблюдении ряда условий, таких как отсутствие импульсной нагрузки и наличие выверенной разрядной кривой. Это объясняется нелинейной зависимостью степени заряда от нагрузочного тока. В случае изменения тока точность измерений существенно снижается. Дополнительные трудности возникают при старении литий-ионных аккумуляторов и учете их температурных энергетических характеристик. Приведенный метод имеет довольно

большую погрешность, а потому используется достаточно редко. Главным его достоинством является простота реализации с помощью подручных средств.

Химический метод определения уровня заряда. Идея метода заключается в вычислении концентрации химических реагентов в растворе электролита. На сегодняшний день этот метод не применим в сфере мобильной электроники.

Определение уровня заряда по напряжению аккумулятора. Хорошо известно, что при разряде аккумулятора его напряжение снижается. Поэтому имеет смысл использовать эту зависимость для определения уровня заряда аккумулятора. Ведь в этом случае потребуется только лишь один АЦП. Однако необходимо учесть, что зависимость мгновенного напряжения на аккумуляторе от уровня разряда не является однозначной. Как видно из рисунка 2, на котором представлены временные диаграммы изменения напряжения и уровня заряда, одному и тому же значению мгновенного напряжения могут соответствовать разные уровни SOC. Из графика видно, что одному и тому же значению мгновенного напряжения 3,8 В соответствует SOC 2%, 50% и 75%. Таким образом, в реальных условиях разброс может достигать десятков процентов [4].

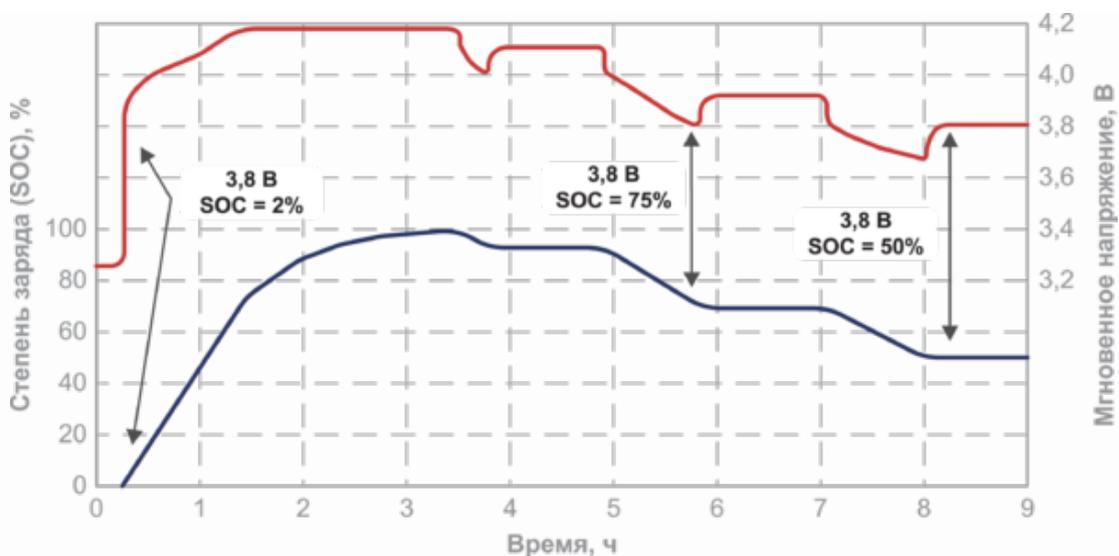


Рисунок 2 - Соответствие степени заряда и мгновенного напряжения в цикле работы

Вместе с тем представленные графики по форме схожи, а значит использовать значения напряжения для расчета SOC на некоторых участках возможно. Однако есть и другие проблемы, которые нужно учитывать.

Во-первых, напряжение аккумулятора имеет нелинейную зависимость от величины тока нагрузки (рисунок 3).

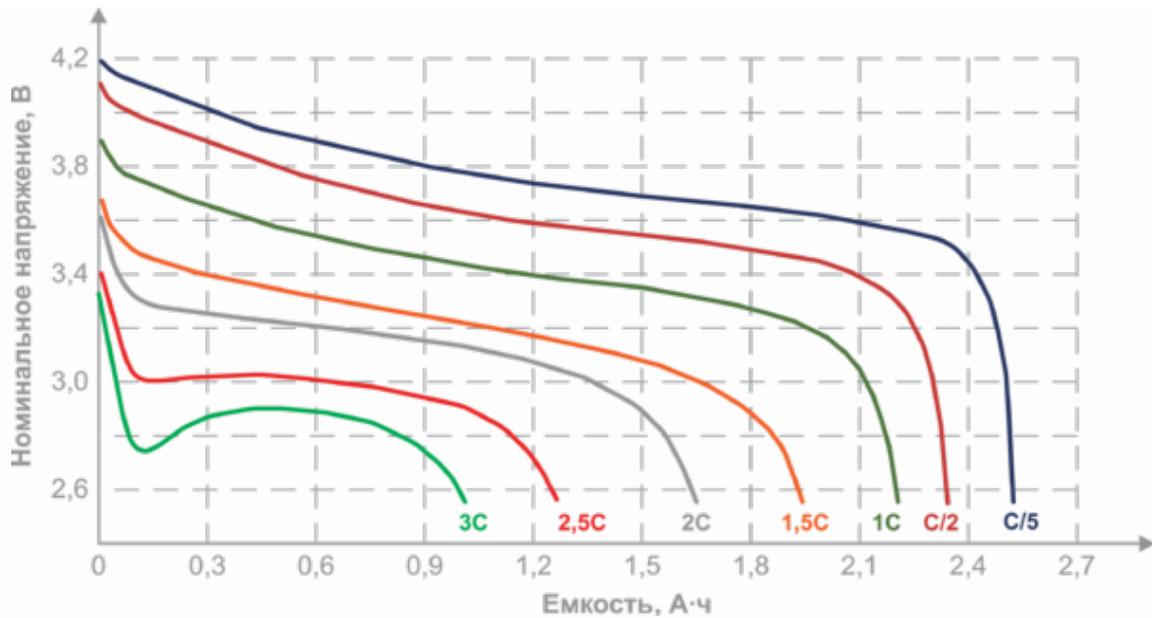


Рисунок 3 - Типовая зависимость напряжения Li-ion-аккумулятора от характеристик разряда

Во-вторых, напряжение аккумулятора имеет нелинейную зависимость от температуры, при которой он эксплуатируется (рисунок 4).

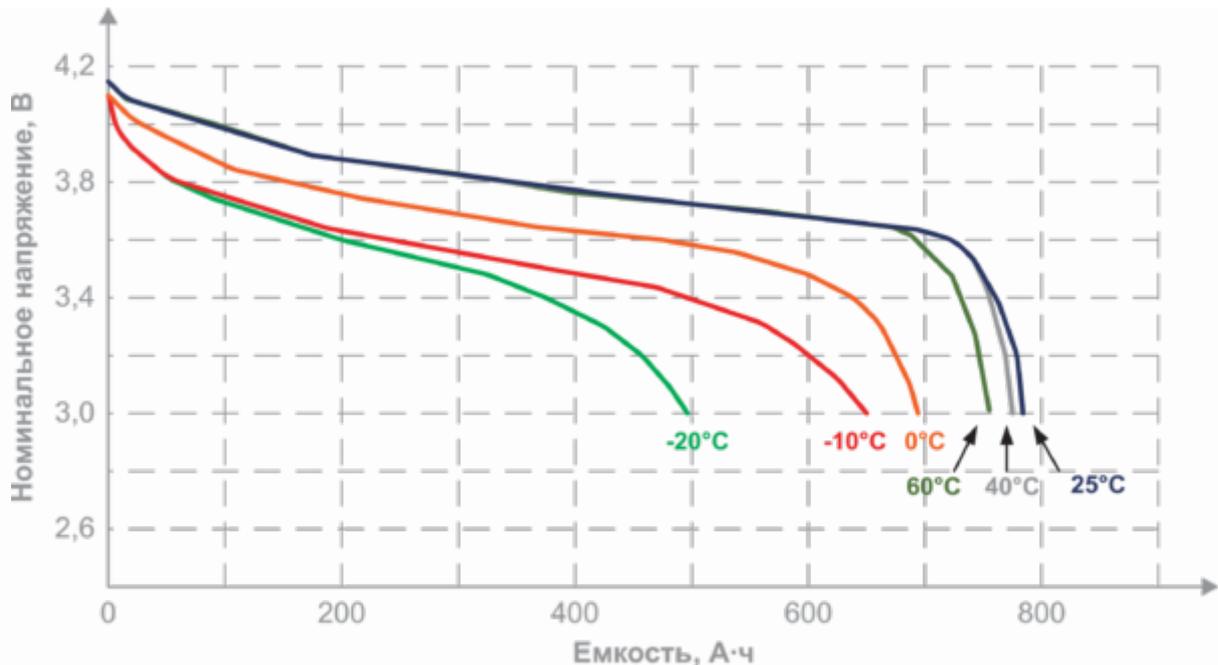


Рисунок 4 - Типовая зависимость напряжения Li-ion-аккумулятора от температуры

Таким образом, данный метод характеризуется простотой реализации, однако применяется весьма редко в связи с низкой точностью. Тем не менее, в самых простых случаях его можно использовать, например, чтобы не допускать критического разряда аккумулятора. Исходя из всего сказанного выше, можно сделать вывод, что простые методы измерений не обеспечивают высокой точности, и приходится прибегать к более сложным решениям.

Метод измерения импеданса аккумулятора. В процессе эксплуатации аккумулятора концентрация носителей заряда в активном веществе электролита меняется.

Определить степень заряда аккумулятора можно путем измерения импеданса элемента питания.

Рассматриваемый алгоритм является достаточно перспективным, особенно учитывая появление специализированных интегральных микросхем. Данный алгоритм обладает высокой точностью, однако для получения определенной зависимости требует некоторого числа циклов «обучения» и калибровки. Кроме того, алгоритм сложен в реализации, поскольку в схеме обучения требуется большое количество дополнительных компонентов [5].

Метод измерения напряжения на разомкнутых контактах (*OpenContactVoltage, OCV*). Несмотря на значительную погрешность, в некоторых случаях значение уровня заряда можно определить при помощи мгновенного напряжения на аккумуляторе. Данный метод можно существенно улучшить, применив в расчетах не мгновенное, а установившееся значение напряжения, а в идеальном случае – установившееся напряжение на разомкнутых контактах.

Суть в том, что напряжение на разомкнутых контактах имеет почти идеальную линейную зависимость от уровня заряда (рисунок 6).

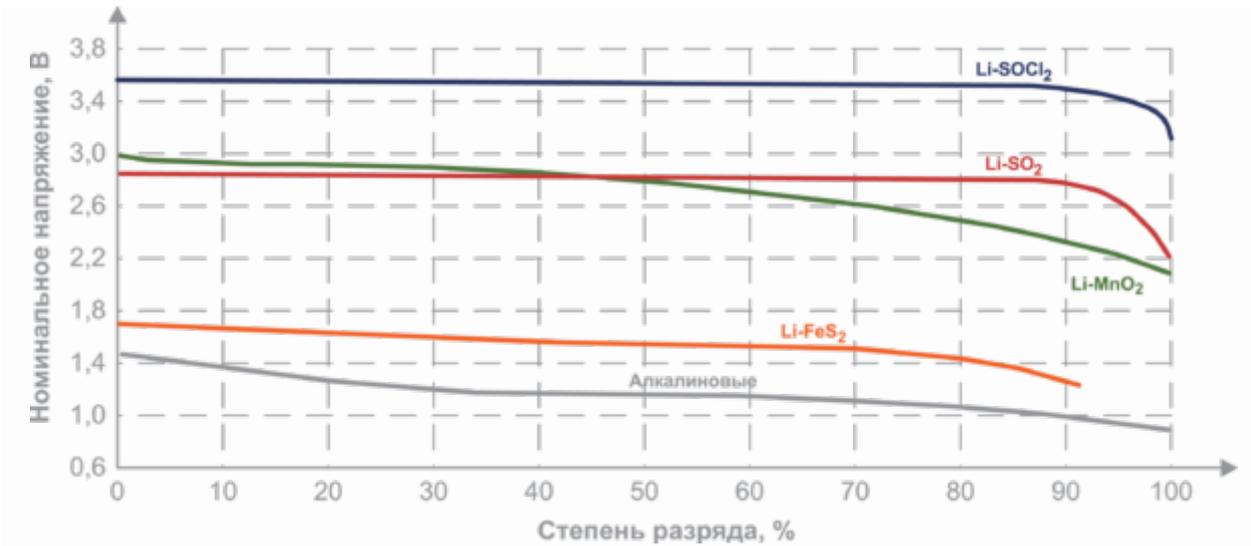


Рисунок 6 - Зависимость уровня разряда от напряжения на разомкнутых контактах

При этом, чтобы на клеммах аккумулятора появилось «истинное» значение установившегося напряжения OCV, он должен быть отключен от нагрузки и выдержан при номинальной температуре от 8 до 9 часов. Выполнить эти условия не всегда возможно. Однако рассчитать OCV по мгновенному напряжению и дополнительным параметрам вполне реально. Именно такой метод использует, например, компания "Maxim" в своей технологии ModelGauge [6].

3 Алгоритм заряда литий-ионных аккумуляторов

Метод интегрирования тока предполагает для измерения и суммирования мгновенных токов использование быстродействующих АЦП.

Алгоритм действия данного метода следующий. Мгновенный ток с помощью датчиков тока (датчики Холла, шунты, магниторезистивные сенсоры и т.д.) преобразуется в напряжение, которое оцифровывается с помощью быстродействующего АЦП. Полученные отсчеты интегрируются с помощью процессора или микроконтроллера. Зная суммарный ток, можно определить, сколько энергии отдал аккумулятор.

Как отмечалось ранее, номинальная и реальная емкости аккумулятора могут значительно отличаться. Поэтому, при измерениях необходимо знать, какая часть энергии

может быть реально запасена в аккумуляторе. В итоге, для расчёта SOC, сначала необходимо определить энергию, которая содержится в элементе питания. Для этого требуется провести измерения тока в процессе заряда аккумулятора. Реальное значение емкости, полученное при заряде аккумулятора, можно считать за 100% только принимая во внимание некоторые нюансы. Хорошо известно, что в процессе заряда часть мощности расходуется на нагрев. Помимо этого, проявляется эффект саморазряда. В итоге полезная мощность всегда будет больше той мощности, которую выделяет аккумулятор в ходе процесса разряда.

Существуют различные готовые микросхемы, работающие по данному принципу. Они объединяют в одном корпусе таймеры, АЦП, цепи тактирования и питания.

Данный метод дает возможность достичь высокой точности определения SOC, поскольку измерения зарядных и разрядных токов осуществляются с малой погрешностью. Но у такого метода присутствуют и недостатки. Интегрирование является эффективным только при постоянных или медленно меняющихся токах. В случае же использования импульсных нагрузок часть энергии оказывается неучтенной даже при использовании самых быстрых АЦП. Рисунок 5 иллюстрирует наихудший случай при работе с импульсным током. Каждый раз в моменты измерения (отсчеты времени 1...8) АЦП получает одно и то же значение тока. В таком случае система полагает, что ток является постоянным, в то время как на самом деле скорость разряда меняется, а уровень разряда оказывается выше.

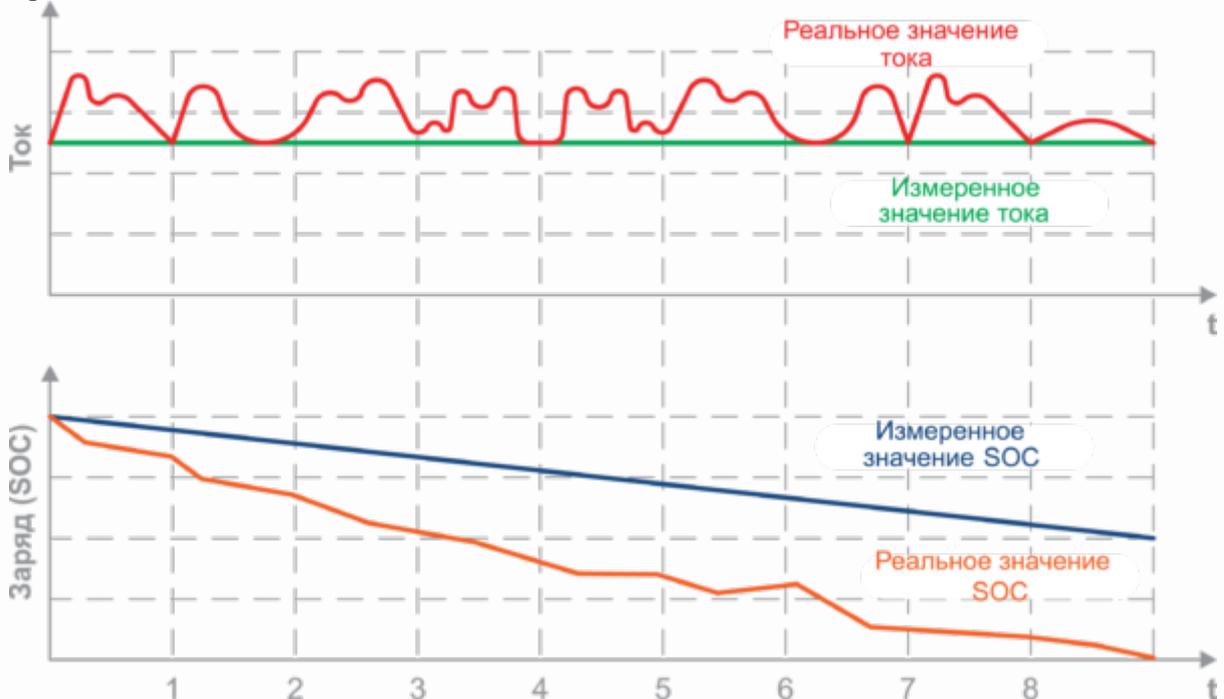


Рисунок 5 - Ошибка измерений при импульсном характере нагрузки

В этом случае приведенная погрешность, очевидно, будет накапливаться, а ее устранение возможно только при обнулении в калибровочных точках, то есть при полном разряде или полном заряде аккумулятора.

Заключение

Используя современные методы измерения уровня заряда аккумулятора, стало возможным определить уровень SOC, используя только напряжение, что намного проще и дешевле, чем измерение и интегрирование токов. Новые алгоритмы используют связь между SOC и OCV. Такая технология работает в режиме реального времени, учитывает нелинейное поведение и временные эффекты в аккумуляторе и обеспечивает высокую точность результатов без измерения тока. С ее помощью даже можно оценить OCV, когда аккумулятор находится под нагрузкой, используя характеристики батареи и моделирование в реальном времени.

Новые специализированные интегральные микросхемы датчиков заряда, представленные на рынке, сочетают традиционный метод интегрирования токов с новым алгоритмом оценки заряда, что еще более повышает точность измерения уровня заряда аккумулятора. Такие датчики используют метод интегрирования тока, внося по мере необходимости небольшие корректировки. Если в традиционных интеграторах полная ошибка с течением времени растет вследствие накопления погрешностей измерений, то новая технология измерения заряда лишена этого недостатка и не накапливает ошибки, что позволяет вовремя прерывать цикл заряда аккумулятора и продлевать срок их службы.

Литература

1. Кашкаров А.П. Аккумуляторы. Справочник. – М.:ЛитРес, 2014. - 210с.
2. IsidorBuchmann. Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers, Second Edition. — Cadex Electronics, 2011 – 328с.
3. Valer Pop, Henk Jan Bergveld, Dmitry Danilov, Paul P. L. Regtien, Peter H. L. Notten. Battery Management Systems: Accurate State-of-Charge Indication for Battery-Powered Applications // Springer Science & Business Media, 2008 – 226 с.
4. Powerinfo: Литий-ионные (Li-ion) : [Электронный ресурс] / Дата обращения 10.02.2018. Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php> (дата обращения 10.02.2018)
5. BU-409: ChargingLithium-ion / [Электронный ресурс] / Дата обращения 10.02.2018. Режим доступа: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries, (дата обращения 10.02.2018)
6. Точное определение уровня заряда? – алгоритм ModelGauge: [Электронный ресурс] / Дата обращения 10.02.2018. Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2016/11/7-tochnoe-opredelenie-urovnya-zaryada-algoritm-modelgauge> (дата обращения 10.02.2018)

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЯ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Щелбанин А. В.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Артемьев Б.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION PRINCIPLES OF THE MODULE FOR CONTROL AND MONITORING OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF THE FOR THE «SMART HOUSE» SYSTEM

Schelbanin A. V.

Supervisor: Dr. Artemiev B.V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрены общие принципы реализации, а также алгоритмы работы программно-аппаратного комплекса для мониторинга и контроля экологических параметров окружающей среды в системе «умный дом». В работе использовался подход декомпозиции системы на несколько физических уровней, с использованием открытых протоколов передачи данных, а также программного обеспечения с открытым исходным кодом. Результатом работы является прототип системы, реализованный как на физическом, так и на программном уровне.

Abstract

This paper represents the general principles of implementation, as well as the algorithms of the hardware and software complex for control and monitoring environmental parameters in the «smart house» system. The approach was based on the system decomposition into several physical levels, using open data transfer protocols, as well as open source software. As a result, a prototype of the system was developed at both the physical and the software level.

Введение

Система «умный дом» (СУД) - это программно-аппаратный комплекс, предназначенный для увеличения уровня комфорта жизни человека, путем автоматизации множества повседневных рутинных задач. К таким задачам можно отнести управление системами безопасности, освещения, вентиляции, кондиционирования, отопления, водоснабжения и энергоснабжения жилых помещений [1]. Задачей СУД является сбор данных с различного рода датчиков, обработка и хранение полученной информации, а также формирование управляющих воздействий на основе анализа собранной информации или команд пользователя.

Экологический модуль СУД (ЭМСУД) является одной из подсистем СУД, необходимой для мониторинга различных параметров окружающей среды и оповещения пользователя и системы в целом об изменениях в контролируемых параметрах.

Параметры, контролируемые ЭМСУД, можно разделить на следующие группы:

- параметры, отвечающие за экологию воздуха (как внутри помещения, так и снаружи) – температура, влажность, уровень содержания вредных и ядовитых примесей, уровень радиационного фона;
- параметры, отвечающие за экологию воды (как внутри помещения, так и снаружи) – температура, содержание солей тяжелых металлов, радиоактивных изотопов и других патогенных примесей в воде;
- параметры, отвечающие за экологию почвы (как внутри помещения, например, в горшках, так и снаружи) – влажность, уровень содержания вредных примесей или удобрений.

В зависимости от специфики помещения, а также от нужд конечного потребителя, виды датчиков, используемых в ЭМСУД, их расположение, а также их количество может варьироваться.

1 Принципы построения экологического модуля системы "умный дом"

В результате анализа спектра задач, выполнение которых потенциально возможно с помощью ЭМСУД, на этапе разработки данной системы были разработаны основные принципы ее построения:

- принцип декомпозиции ЭМСУД на уровни, согласно специфики задач, выполняемых на каждом из них. Такой подход позволяет разделить модули системы таким образом, чтобы они выполняли строго регламентированные задачи;
- необходимость использования открытых протоколов передачи данных, а также программного обеспечения с открытым исходным кодом;
- необходимость использования универсальных интерфейсов и оборудования, что обусловлено снижением затрат на внедрение и эксплуатацию системы. Узлы каждого уровня должны соответствовать общепринятым стандартам и состоять из типовых устройств;
- обработка «сырых данных» и их визуализация на последних уровнях системы. Такой подход обусловлен тем, что модули первых уровней располагаются в более труднодоступных местах, а также обладают минимальными вычислительными мощностями и не имеют предустановленной операционной системы, что, в совокупности, значительно усложняет внесение изменений в исполняемые ими программы.

На рисунке 1 представлена структурная схема, разработанная согласно изложенным выше принципам.

На первом уровне системы находятся различные датчики, например, датчики температуры и влажности (ДТнВ), датчики угарного газа (ДУГ), датчики углекислого газа (ДКУГ) и т.д.

На втором уровне системы находятся модули приема-передачи (МПП) представляющие собой микропроцессорные устройства, соединенные с одним или несколькими датчиками, необходимые для сбора сырых данных, их нормирования и передачи полученной информации на устройства третьего уровня ЭМСУД. МПП должны быть реализованы с использованием универсальных интерфейсов и иметь возможность собирать информацию как с цифровых датчиков, так и с датчиков подключаемых по аналоговым интерфейсам, при этом в упрощенном варианте реализации, они могут не содержать никакой логики для обработки собранных данных.

На третьем уровне находятся модули сбора данных (МСД), которые являются более сложными высокоуровневыми узлами ЭМСУД, с возможностью подключения к глобальной сети Интернет и способные обеспечить передачу полученных данных от МПП устройствам четвертого уровня ЭМСУД при наличии сбоев в работе сетей и даже отказе отдельных модулей. Данный узел соединяется и получает информацию от одного или нескольких МПП, а также должен содержать логику поддержания целостности потока данных и первичной обработки сырых данных.

На последнем, четвертом уровне ЭМСУД, находится сервер-ядро системы (СЯ) - удаленный или локальный сервер/кластер серверов, отвечающий за хранение и обработку данных, полученных от МСД. На сервере-ядре также могут быть развернута серверная часть пользовательского приложения для управления системой.

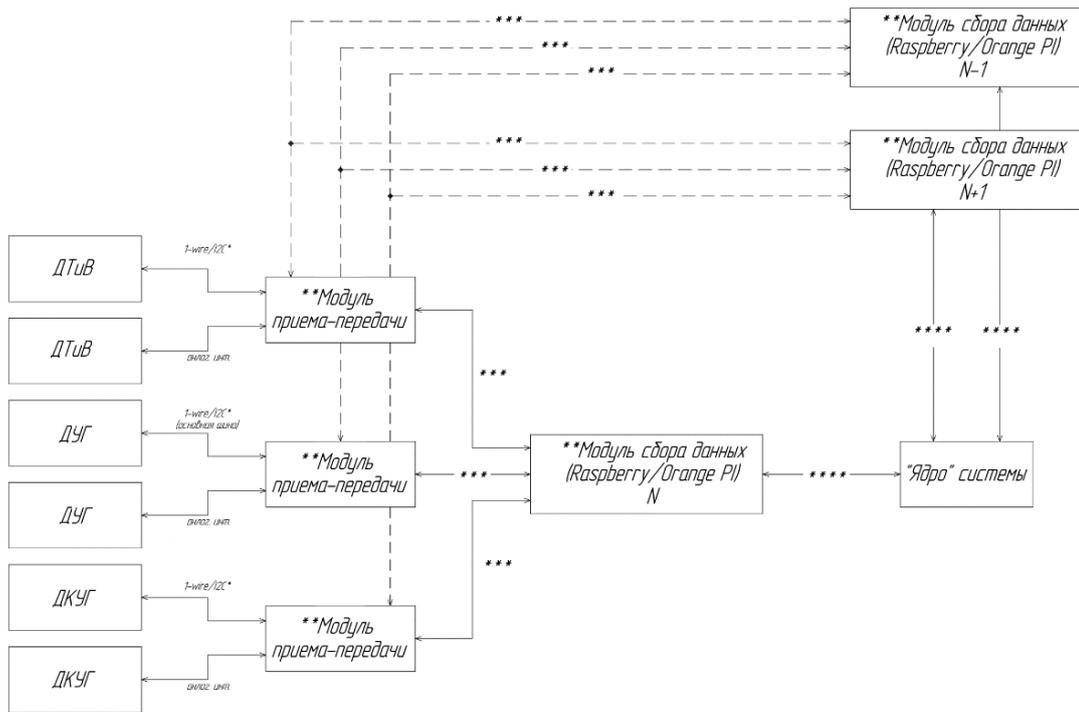


Рисунок 1 – структурная схема ЭМСУД

В таблице 1 представлены комментарии к рисунку 1.

Таблица 1 – Спецификация к рисунку 1

Обозначение	Комментарий
*	Интерфейс выбирается в зависимости от типа датчика
**	Каждый модуль системы должен иметь автономные и независимые источники питания
***	Передача данных от МПП к МСД осуществляется по протоколу MQTT
****	Передача данных от МСД к СЯ осуществляется по протоколу HTTP

Передача данных от МПП к МСД осуществляется по протоколу MQTT (Message Queue Telemetry Transport), который является упрощенным сетевым протоколом, работающим поверх TCP/IP, передающим сообщения между основными узлами ЭМСУД по принципу издатель-подписчик [2]. На рисунке 2 представлена диаграмма последовательности действий при передаче данных от МПП к МСД по протоколу MQTT.



Рисунок 2 – Диаграмма последовательности действий при передаче данных от МПП к МСД

Выбор протокола MQTT на данном уровне ЭМСУД обусловлен тем, что данный протокол был разработан для использования его на маломощных встраиваемых устройствах, поэтому требования для передачи данных по этому протоколу минимальны [3].

Разработка прототипа экологического модуля системы "умный дом"

Описанные выше принципы нашли применение в реализованном прототипе ЭМСУД, общий алгоритм работы которой представлен на рисунке 3 в виде диаграммы последовательности действий.

В реализованном прототипе сервер-ядро представляет собой локальный сервер, на котором запущены сервисы для клиентского приложения, реализованного в виде тонкого клиента, а также сервис системы управления базами данных (СУБД), в качестве которой был выбран PostgreSQL 9.6.

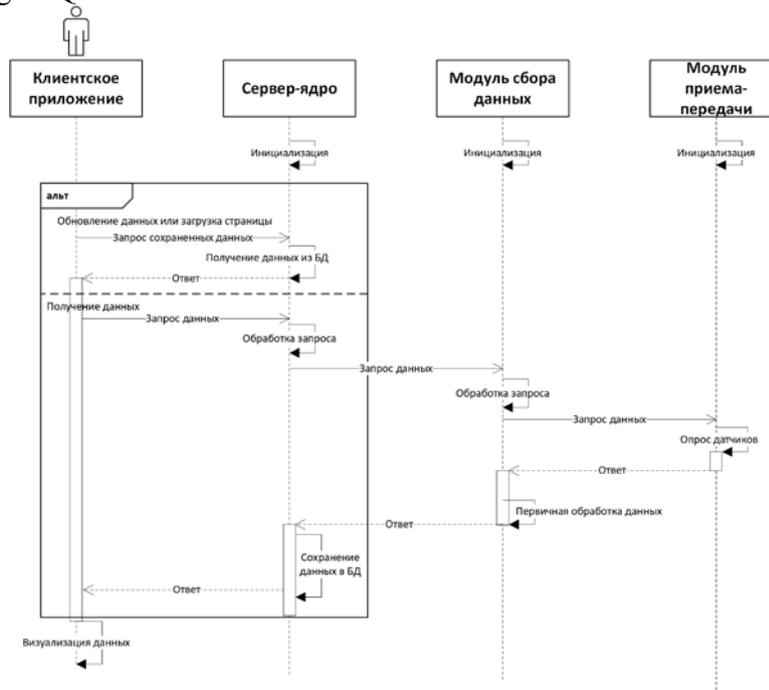


Рисунок 3 – Общий алгоритм работы ЭМСУД в виде диаграммы последовательности действий

В случае первичной загрузки страницы клиентского приложения или по запросу обновления данных, происходит получение данных, которые хранятся в БД. В противном случае выполняется цепочка запросов для получения данных непосредственно с датчиков.

Все запросы выполняют асинхронно, что дает гарантию того, что потоки выполнения на основных функциональных узлах системы не будут заблокированы до тех пор, пока не будут получены ответы на эти запросы. При получении «сырых» данных МПП, МСД производит их первичную обработку, приводя измеренные физические величины к формату, свободно воспринимаемому человеком [4].

Полученные от МСД сервером-ядром данные, сохраняются в схеме в СУБД, пройдя предварительную проверку их корректности, после чего становятся доступны пользователю в эго клиентском приложении через Web-интерфейс.

Рассматриваемое решение можно использовать в различных областях деятельности, при условии использования его на маломощных встраиваемых устройствах. Например, реализации системы оповещений по экологическим параметрам на транспорте [5], муниципальных систем мониторинга экологической обстановки [6], мониторинге технологических сред [7, 8] и т.п.

Заключение

В результате работы был создан прототип ЭМСУД, согласно определенным выше принципам, выработанным на этапе анализа разрабатываемой системы. Разработанный прототип был логически поделен на четыре уровня, на каждом из которых функциональные узлы системы выполняют строго регламентированные задачи, согласно алгоритму работы системы. Все уровни системы и модули работают в асинхронном режиме и могут динамически переключать каналы обмена информацией между собой.

Отдельные результаты работы получены в рамках проекта №14.579.21.0142 UID RFMEFI57917X0142 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

Литература

1. Обзор технологий и оборудования для умного дома: [Электронный ресурс] / Дата обращения 15.10.2017. – Режим доступа: <http://www.aptech.ru/tehnologii-dom>.
2. Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.: ил. – (Серия «Классика computer science»).
3. Протокол MQTT. Особенности, варианты применения, основные процедуры MQTT Protocol: [Электронный ресурс] / Дата обращения 15.10.2017. Режим доступа: <http://www.tssonline.ru/articles2/fix-corp/protokol-mqtt-osobennosti-varianty-primeneniya-osnovnye-protsedury-mqtt-protocol/>, (дата обращения: 15.10.2017).
4. Andrey I. Vlasov, Anton V. Yudin, Maria A. Salmina, Vadim A. Shakhnov and Konstantin A. Usov Design Methods of Teaching the Development of Internet of Things Components with Considering Predictive Maintenance on the Basis of Mechatronic Devices // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Volume 12. Number 20. PP. 9390-9396.
5. Буторин П.С., Григорьев П.В. Система оповещения в автобусном транспорте на основе технологии «Интернета вещей» // Энергосбережение и эффективность в технических системах. Сборник трудов. - Тамбов. 2017. 384-385.
6. Артемьев Б.В., Матвеев В.И. К вопросу экологической безопасности Москвы (на примере сероводорода) // В сборнике: Доклады сессии «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций» © ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», 2014. 2014. С. 69-78.
7. Власов А.И., Григорьев П.В., Жалнин В.П. Применение методов и средств радиочастотной идентификации в корпоративных информационных производственных системах // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 1. С. 272-277.
8. Сажин С.Г., Артемьев Б.В. Промышленные анализаторы состава и качества технологических сред // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. №9. С. 68-70.

ОСОБЕННОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Трифонов А.А.

Научный руководитель: канд., техн. наук, доцент Резчикова Е.В.

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана,
Кафедра “Проектирование и технология производства ЭА” (ИУ4)

FEATURES AND TRENDS OF APPLICATION OF CERAMICS IN THE MANUFACTURE OF PRINTED BOARDS

Trifonov A.A.

Supervisor: Ph.D. Rezchikova E.V.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
Department IU4

Аннотация

В статье рассмотрены этажерочные и плоские микромодульные сборки, материалы, применяемы при изготовлении многослойных керамических печатных плат, их технические характеристики, а также особенности проектирования многослойных керамических печатных плат.

Abstract

In this article, we consider floor and flat micromodule assemblies, materials used in the manufacture of multi-layer ceramic printed circuit boards, their technical characteristics, and also the design features of multi-layer ceramic printed circuit boards.

Введение

Впервые о применении керамики для изготовления печатных плат стали говорить в 50-х – 60-х годах прошлого века. Но из-за недостаточно развитых технологий, керамику для производства электрорадиоизделий и печатных плат отложили на некоторое время. Но в истории техники наблюдается тенденция спирального развития – это значит, что решения, от которых отказались по каким-то причинам возрождаются на новой основе, на более высоком технологическом уровне.

Существует два основных вида микромодульных изделий – плоские и этажерочные. Плоские микромодули — это законченные функциональные узлы радиоэлектронной аппаратуры, выполненные из микроэлементов, смонтированных с одной или двух сторон печатной платы, защищенные от внешних воздействий металлическим колпачком и герметизированные эпоксидным компаундом. Плоские микромодули представляют собой залитую таблетку с проволочными выводами. Этажерочные микромодули состоят из набора микроэлементов и перемычек, расположенных на микроплатах; микроплаты собирают в виде этажерки и соединяют между собой проводниками.

Из микромодулей собирают микроблоки. При микромодульном методе конструирования заполнение объема увеличивается в 5—10 раз по сравнению с объемным и навесным монтажом.

Микромодульный метод конструирования способствует унификации схемных решений, нормализации и стандартизации конструктивных элементов радиоаппаратуры и обеспечивает дальнейшую миниатюризацию и повышение надежности. Радиоаппаратуру, спроектированную на микромодулях, можно изготавливать на высокопроизводительном автоматизированном оборудовании.

Микромодули имели большое число недостатков, таких как низкая надежность контактных соединений, относительно высокое (по сравнению с SMD компонентами)

увеличение объема и площади печатной платы, поэтому их вскоре перестали применять. На смену микромодульным конструкциям пришли SMD элементы. В настоящее время, благодаря развитию технологий, применение керамики связано с новым решением – это технология использования низкотемпературной керамики.

1 Особенности применения многослойных керамических печатных плат

Многослойные керамические платы (МПК) изготавливают по технологии LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics – низкотемпературная совместно обжигаемая керамика) спеканием заготовок из «сырых» керамических пленок с нанесенным на них проводящим, резистивным рисунком. Электрические соединения между слоями обеспечиваются через отверстия, заполненные проводящей пастой. Технология МПК быстро развивается и успешно применяется для различных приложений – телерадиовещания, телекоммуникаций, мобильной связи, портативных компьютеров, производства ВЧ- и СВЧ-микросхем низкой и средней степени интеграции и др. Развитие глобальных сетей вызвало повышенный интерес к LTCC-технологии. И в первую очередь это относится к высокочастотным модулям обмена данными с их высокой степенью интеграции, небольшими размерами компонентов и, конечно, предельными рабочими параметрами. LTCC-технология – это недорогое решение для массового производства электронных устройств, применяемых как в коммерческой, так и военной сфере радио-электронной промышленности.

1.1 Материалы, применяемые при изготовлении МКП

Для изготовления МКП рекомендуется применять керамику марок Green Tape™ фирмы DuPont и А6-S фирмы Ferro, технические характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики керамик марок Green Tape и А6-S

Параметр	Значение			
	Green Tape		А6-S	
Марка	951PT	951PX	5-B-5.00	10-B-5.00
Толщина слоя «сырой» керамики, мкм	114	254	125	254
Коэффициент усадки (X, Y), K_{yc}	1,15		1,19	
Коэффициент усадки (Z), K_{yc}	1,23		1,27	
ТКЛР, ppm/К	5,8		7,0	
Теплопроводность, Вт/м·К	3,0		2,0	
Сопротивление изоляции, МОм	1000		1000	
Напряжение пробоя, В/мм	свыше 1000		свыше 1300	
Диэлектрическая проницаемость, ϵ на $f=10$ ГГц	7,8		5,9	
Тангенс угла диэлектрических потерь, $tg \delta$ на $f=10$ ГГц	0,0015		не более 0,002	
Предел прочности на изгиб, МПа	320		свыше 170	

Для изготовления проводящего рисунка применяются пасты фирм DuPont, технические характеристики данной пасты представлены в таблице 2 и Ferro - технические характеристики данной пасты представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Перечень проводниковых паст фирмы DuPont

№ п/п	Марка пасты	Состав	Толщина проводниковой пасты на МКП после обжига, мкм	Заявленное сопротивление, МОм	Полученное сопротивление, МОм	Рекомендации по применению
1	5734	Au	6-9	< 6	-	Наружные совместновжигаемые проводники под сварку
2	5742	Au	6-12	< 6	-	Наружные совместновжигаемые проводники под сварку
3	6146	Ag/Pd	9-12	<50	100-120 при толщине слоя 9 мкм	Наружные совместновжигаемые проводники лицевой и обратной стороны под пайку
4	QS 171	Ag/Pt	8-12	< 4	-	Металлизация торцов и сплошной обратной стороны МКП, после-вжигаемая паста под пайку
5	6142D	Ag	6-9	< 5	6-7 при толщине слоя 6 мкм	Внутренние совместновжигаемые проводники (сигнальные цепи)
6	6148	Ag	6-9	< 6	-	Внутренние совместновжигаемые проводники (земляные слои), наружные под приклейку
7	6141	Ag	-	-	-	Заполнение внутренних металлизированных переходов. Паста соединяет внутренние и наружные проводники, выполненные сереброрсодержащими пастами
8	6138	Ag/Pd	-	-	-	Заполнение внутренних металлизированных отверстий. Паста соединяет внутренние Ag и наружные Au проводники

Сопротивление межслойного перехода в слое керамики марки Green Tape PX, выполненного

- пастой 6141:

6 МОм/отв. для $\varnothing_{\text{отв.}} = 200$ мкм

21 МОм/отв. для $\varnothing_{\text{отв.}} = 100$ мкм;

- пастой 6138:

< 40 МОм/отв. для $\varnothing_{\text{отв.}} = 220$ мкм (по данным фирмы DuPont).

Таблица 3 – Перечень проводниковых паст фирмы Ferro

№ п/п	Марки паст	Состав	Толщина проводниковой пасты на МКП после обжига, мкм	Сопротивление, мОм	Рекомендации по применению
1	CN30-080M	Au	5-12	< 2	Наружные совместно-вжигаемые проводники под сварку
2	CN36-020	Au/Pt/Pd	10-15	< 50	Наружные совместно-вжигаемые проводники под пайку
3	CN33-391	Ag	6-9	< 1	Наружные совместно-вжигаемые проводники под пайку
4	CN33-398	Ag	6-9	< 2	Внутренние совместно-вжигаемые проводники
№ п/п	Марки паст	Состав	Толщина проводниковой пасты на МКП после обжига, мкм	Сопротивление, мОм	Рекомендации по применению
5	CN33-407	Ag	-	-	Заполнение внутренних металлизированных отверстий. Паста соединяет внутренние и наружные проводники, выполненные серебросодержащими пастами
6	CN39-005	Ag	-	-	Заполнение внутренних металлизированных отверстий. Паста соединяет внутренние Ag и наружные Au проводники

Для проведения операций сварки и пайки на наружном слое применяется способ комбинирования золотосодержащих и серебросодержащих паст путем наложения золотых проводников на серебряные, при этом зона перекрытия должна быть не менее 200 мкм. Способ комбинирования золотосодержащих и серебросодержащих паст при пайке на наружном слое представлен на рисунке 1.

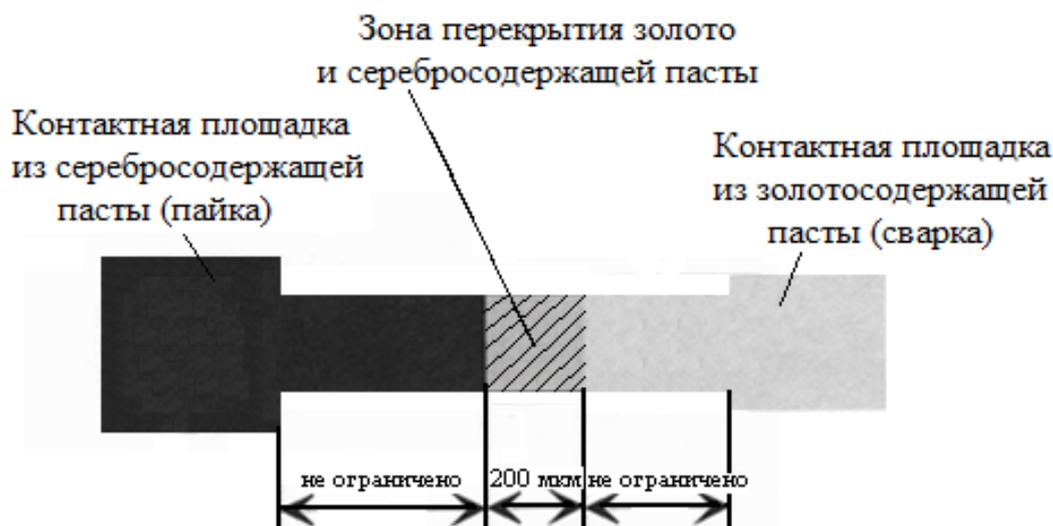


Рисунок 1 – Способ пайки, позволяющий сочетать на наружном слое

МКП золото и серебросодержащие пасты

Рекомендации по использованию паст фирмы DuPont:

Для выполнения внутренних слоев со вскрытыми участками топологии использовать следующую комбинацию паст:

- «вскрытые» участки – 6146, «закрытый» рисунок – 6142, 6146;
- «вскрытые» участки – 5742, «закрытый» рисунок – 6146.

Примечание: Комбинация Au (5742) пасты с внутренними пастами 6142 и 6148 не допустима, т.к. в процессе обжига наблюдали нарушение целостности металлизации в месте наложения (трещины).

Для выполнения сплошной металлизации обратной стороны использовать после-вжигаемую пасту QS 171 для получения заданной плоскостности, если рисунок обратной стороны занимает меньше 50% площади, то топологию выполнять совместно-вжигаемой пастой 6146.

При проектировании МКП рекомендуется на наружные слои выносить только КП для проведения сборочных операций и измерений.

2 Особенности проектирования МКП

При проектировании МКП важно учитывать следующие рекомендации:

- 1) Число слоев МКП должно быть четным для обеспечения равномерной усадки.

Данный факт не критичен при количестве слоев более 8.

- 2) При использовании в МКП керамики разной толщины, слои должны располагаться симметрично относительно середины платы для минимизации коробления и обеспечения равномерности усадки.

- 3) Большие площади металлизации (больше $\frac{1}{2}$ площади слоя) рекомендуется выполнять в виде сетки.

- 4) Металлизация, по возможности, должна быть распределена равномерно по слою. При необходимости размещения металлизации большой площади на определенном участке слоя необходимо на свободном участке слоя создавать элементы для обеспечения равномерности усадки.

- 5) Смещение многоярусного сквозного отверстия рекомендуется проводить через каждые 6-8 слоев керамики. При сборке пакета наращиваемые одно над другим отверстия негерметичны и могут привести к неоднородности профиля поверхности МКП. На рисунке 2 представлена структура МКП со смещенным многоярусным сквозным отверстием.

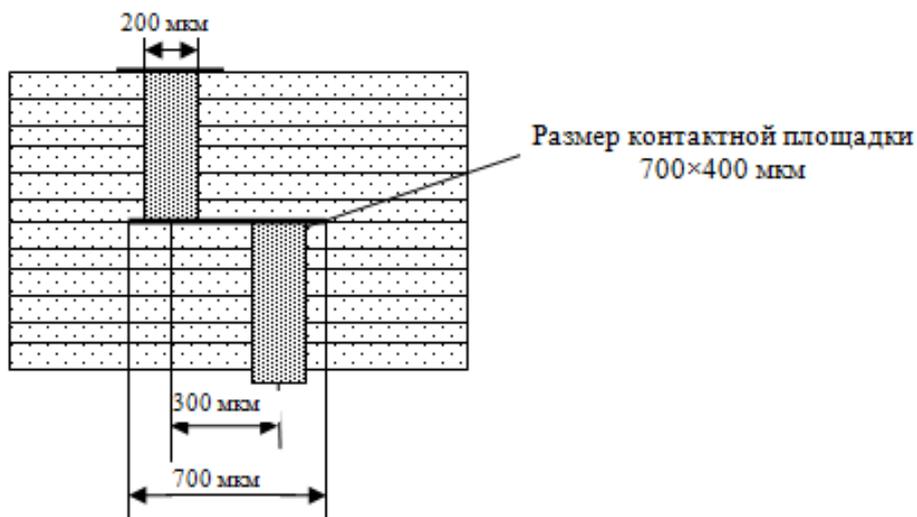


Рисунок 2 - Структура МКП со смещенным многоярусным сквозным отверстием

Заключение

В данной статье был представлен первый этап применения керамических плат в виде этажерочных и плоских микромодулей, материалов применяемых при изготовлении многослойных керамических печатных плат, а затем приведен обзор особенностей проектирования МКП для понимания сложностей данной технологии, что является продолжением и усовершенствованием МПК.

Развитие техники идет, образно говоря, по спирали, возвращаясь в своем развитии к старым решениям, но на следующем витке – на более высоком техническом уровне, что подтверждается на примере рассмотренной технологии.

Число предприятий, проявляющих интерес к технологии LTCC, за последнее время значительно вырос по сравнению с предыдущими годами. Об этом говорят проведенные мероприятия (семинары, конференции, выставки), посвященные как конкретно данной технологии, так и СВЧ-технике в целом. В ближайшее время МКП будут все активнее применяться в спецтехнике и в коммерческой аппаратуре.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-06-00404 а.

Литература

1. Imanaka Y. Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology, Springer Science+Business Media, Inc. (2005), p.103–104.
2. ГОСТ РВ 5901-004-2010 «Изделия электронной техники. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Корпуса. Общие технические условия»
3. Development of Ubiquitous Service using Wireless Technology, NTT. – Technical Journal, 2003, № 3, p. 6–12.
4. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач: учеб. пособие, М.: ФОРУМ : Инфра-М, 2015. 384с.

СОНИФИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Тютин А.К.

Научный руководитель: д-р, проф. Зинченко Л.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

SONIFICATION OF TECHNOLOGICAL FAULTS INFLUENCE ON SINGLE- WALLED CARBON NANOTUBES TRANSPORT PROPERTIES

Tyutin A.K.

Research supervisor: Dr., prof. Zinchenko L.A.
MSTU, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрена проблема возникновения одностенных углеродных нанотрубок с металлическим типом проводимости при их изготовлении на подложке в целях изготовления полупроводниковых приборов наноразмеров. Рассмотрены данные, известные технологу в этом процессе. Предложено использовать техники сонификации для оценки возможного брака при производстве. Рассмотрены три метода сонификации и проанализирована область их применения. Разработана программа сонификации, реализующая один из предложенных методов формирования звуковых сигналов.

Abstract

The paper deals with the problem of the appearance of single-walled carbon nanotubes with a metallic type of conductivity when they are fabricated on a substrate for the purpose of fabricating semiconductor nanoscale devices. The data known to the technologist in this process are considered. It is proposed to use the techniques of sonification for the evaluation of a possible faults in production. Three methods of sonification are considered and the area of their application is analyzed. A program of sonification has been developed, which implements one of the proposed methods for generating sound signals.

Введение

Применение одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) может найти применение при разработке высокопроизводительных цифровых и аналоговых схем. Так, продемонстрирована структура диода на ОУНТ с настраиваемым прямым падением напряжения до 4.3 В, который так же обладает нелинейностью в обратном включении, превышающую таковую в идеальном диоде [1], что позволит использовать данный элемент в качестве базового элемента интегральных схем нового поколения. Так же получены транзисторы на ОУНТ с плотностью тока выше, чем у транзисторов их германия или арсенида галлия [2]. Однако, для схем очень плотной упаковки необходимо использовать несколько ОУНТ на один нанотранзистор для обеспечения необходимой плотности тока в высокопроизводительных цифровых схемах [3-5]. Для этого ОУНТ выращиваются параллельно друг другу на подложках. При этом, среднее квадратическое отклонение диаметра ОУНТ при номинальном диаметре 1.2 нм достигает 0.3 нм [6]. Изменение диаметра ОУНТ при производстве критично и влияет на транспортные свойства ОУНТ, т.е. изменяя желаемый тип проводимости с полупроводникового на металлический, что является браком.

В данной работе рассмотрена сонификация влияния технологической погрешности на транспортные свойства ОУНТ, т.е. использование звуковых сигналов для помощи технологу в предсказании вероятности брака при изготовлении подложек с ОУНТ, при этом реализуется звуковой интерфейс с функцией предупреждения [7].

1 Выбор звуковых сигналов

Существует два принципиальных подхода в выборе звукового сигнала:

1. Воспроизведение реального звукового сигнала, то есть такого сигнала, который можно с помощью предметов окружающего мира. Например, звук, возникающий при ударе о деревянную поверхность или при столкновении двух металлических предметов. Такой подход применяется при разработке игр, съемках фильмов, симуляции музыкальных инструментов на компьютере. При этом, звук может формироваться двумя способами:

А) воспроизведение заранее записанного звука;

Б) формирование звукового сигнала на основе алгоритмов, принимающих во внимание геометрию объекта, окружающую среду, законы распространения звука [8-10].

2. Использование условных сигналов. Это популярный метод для функции предупреждения или оповещения о чем-либо: тональный набор в мобильных телефонах, различного рода сигнализации, звуки переключения меню.

В рассматриваемой задаче необходимо минимум два различных сигнала: для ОУНТ полупроводникового типа и металлического. Проанализировав звук, получаемый при столкновении двух кремниевых образцов, был сделан вывод, что данный звук очень похож на металлический, что мешает четко отделить полупроводниковые ОУНТ от металлических. Таким образом, для сонификации будут использоваться условные сигналы. При этом, наиболее простыми в реализации являются синусоидальные сигналы одной частоты.

2 Выбор метода озвучивания

Для выбора необходимого и достаточного метода озвучивания необходимо рассмотреть данные, которые необходимо обработать и информацию, которую должен получить пользователь. На рисунке 1 показаны результаты измерений в работе [6].

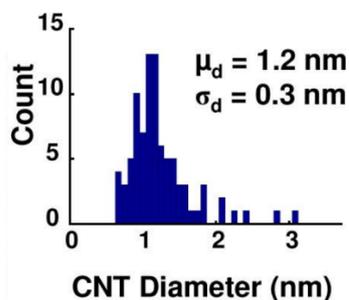


Рисунок 1 – Гистограмма распределения диаметров ОУНТ на подложке [6]

В данном случае данными, необходимыми для анализа являются:

- 1) набор дискретных значений диаметров ОУНТ;
- 2) количество полученных ОУНТ конкретного диаметра;
- 3) транспортные свойства ОУНТ конкретного диаметра;
- 4) номинальный диаметр формируемых ОУНТ;
- 5) среднее квадратическое отклонение диаметра полученных ОУНТ.

Поскольку сонификация предполагается до процесса изготовления подложки с ОУНТ, то данные о количестве полученных ОУНТ конкретного диаметра неизвестны, а их случайное формирование и озвучивание может привести к неверным выводам. Таким образом, изначально можно задать номинальный диаметр ОУНТ и планируемую технологическую погрешность. Исходя из этого, возможны следующие методы озвучивания.

Прямой проход. При таком методе формируются звуковые сигналы для каждого диаметра ОУНТ, попавшего в рассматриваемый диапазон. На рисунке 2 показано, как формируются звуковые сигналы.

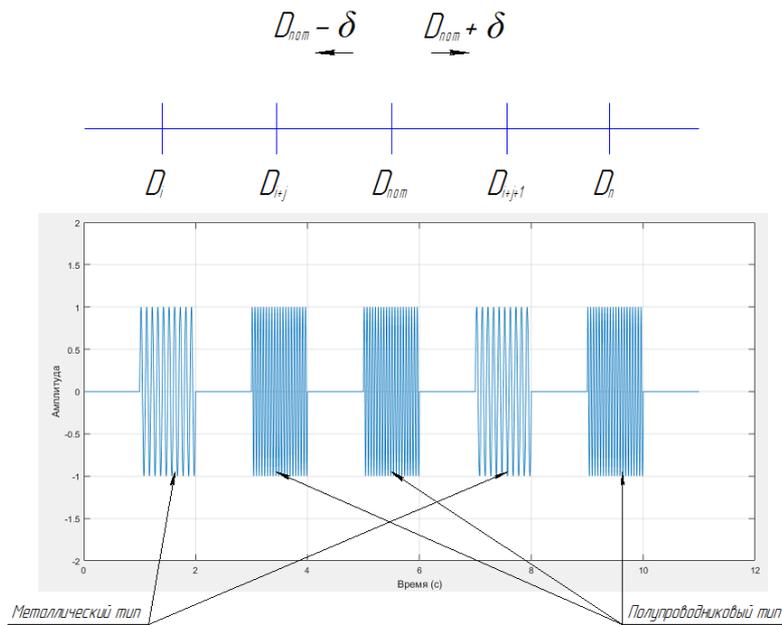


Рисунок 2 – Формирование сигналов в прямом проходе

Из рисунка видно, что окончательный звуковой сигнал состоит из последовательности отдельных сигналов одной амплитуды, характеризующих тип проводимости ОУНТ от наименьшего диаметра D_i до наибольшего D_n , попавших в заданный диапазон $D_{ном} \pm \delta$.

Такой подход позволяет:

- 1) оценить общее количество возможных ОУНТ при заданном номинальном диаметре $D_{ном}$ и технологической погрешности δ ;
- 2) оценить состав получаемого семейства ОУНТ: относительную величину диаметров полупроводниковых и металлических ОУНТ, возможные места концентрации ОУНТ одного типа.
- 3) при введении дополнительных звуковых сигналов можно отслеживать так же ОУНТ armchair и zigzag конфигураций.

Метод кластеризации. При таком подходе предполагается вычислять относительное количество ОУНТ каждого типа в семействе. Графически это показано на рисунке 3.

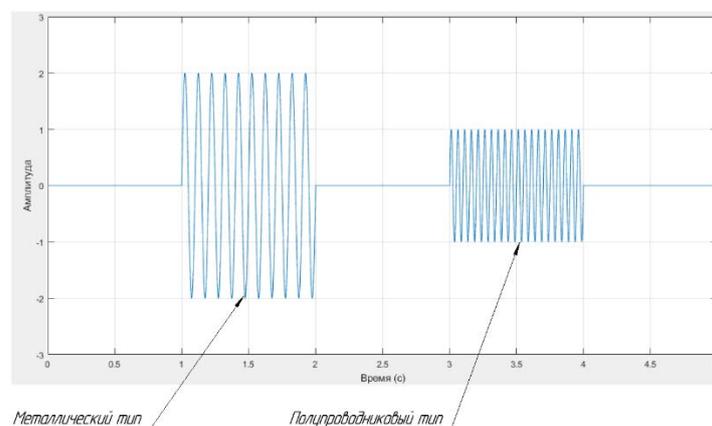


Рисунок 3 – Формирование сигналов при кластеризации

Таким образом формируется всего два (в случае отслеживания armchair\zigzag конфигураций – три) сигнала, относительная амплитуда которых зависит от частоты, с которой встречаются ОУНТ с конкретным типом проводимости в семействе.

При использовании этого метода можно:

- 1) быстрее, чем при прямом проходе, определять, есть ли ОУНТ металлического типа в семействе (при большом количестве возможных диаметров ОУНТ);
- 2) проще, чем при прямом проходе, определить относительную величину ОУНТ какого-либо типа в семействе (в случае введения дополнительных сигналов – и armchair\zigzag конфигураций).

Однако, в этом случае сложно оценить общее количество ОУНТ в семействе и количество ОУНТ различных диаметров.

Сигнализация. В случае, если нужно зафиксировать сам факт наличия хотя бы одной ОУНТ с металлическим типом проводимости в семействе, то достаточно сформировать какой-либо произвольный условный сигнал. Этот метод наиболее простой, быстрый, но не даёт никакой другой информации о составе семейства.

3 Разработка программы

В данной работе представлена разработанная программа средствами Qt и OpenAl, которая реализует метод прямого прохода. Интерфейс программы представлен на рисунке 4.

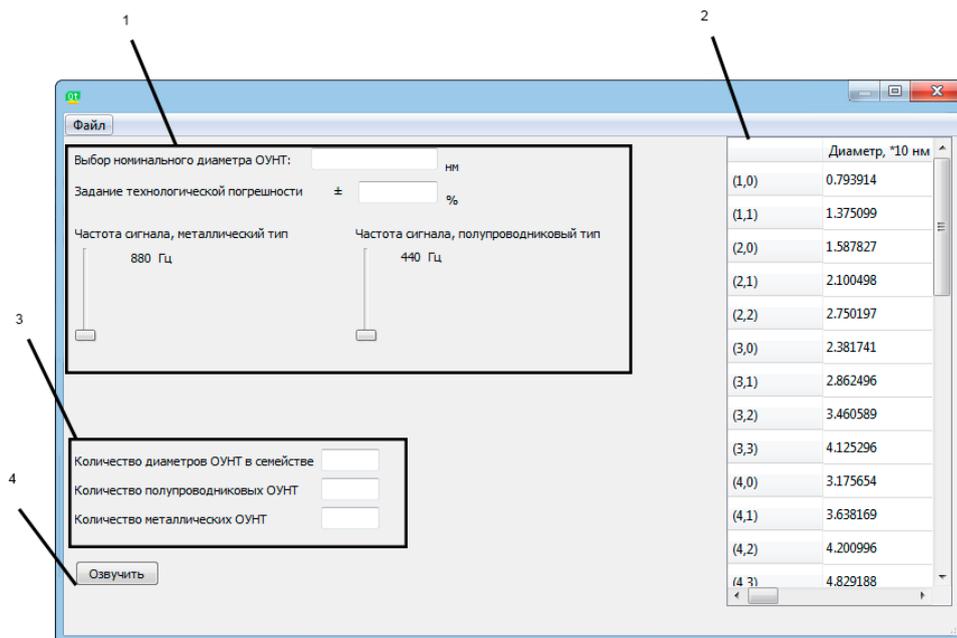


Рисунок 4 – Интерфейс разработанной программы сонификации

В данной программе пользователю предоставляется возможность задания номинального диаметра ОУНТ вручную, задание технологической погрешности, а также выбор желаемой частоты звукового сигнала для каждого типа ОУНТ (1). При этом есть возможность выбора номинальной ОУНТ из заранее заготовленной таблицы (2). После задания исходных данных в блоке (3) формируются данные о рассматриваемом семействе ОУНТ: количество диаметров ОУНТ, попадающих в рассматриваемый диапазон, а также количество ОУНТ каждого типа. При нажатии на кнопку «Озвучить» (4) на основе рассчитанных данных формируется звуковой сигнал средствами OpenAl методом прямого прохода, т.е. для каждого уникального диаметра ОУНТ от наименьшего к наибольшему формируется звуковой сигнал с одинаковой для всех амплитудой и с частотой, выбранной для данного типа ОУНТ. Длина отдельных звуковых сигналов и интервалов между ними одинакова и равна 0.5 секунд.

Заключение

В результате работы были рассмотрены данные, получаемые при производстве ОУНТ на подложках, исходя из них был предложен три метода сонификации данных перед производством ОУНТ, которые помогли бы технологу быстро оценить возможное количество брака в виде ОУНТ металлического типа на подложке:

1) метод прямого прохода, когда каждому уникальному диаметру ОУНТ соответствует свой звуковой сигнал, характеризующий транспортные свойства ОУНТ;

2) метод кластеризации, в котором данные о количестве ОУНТ каждого типа суммируются и выдается всего два сигнала с разной частотой и амплитудой, исходя из которых можно оценить количество ОУНТ каждого типа в семействе;

3) метод сигнализации, при котором формируется звуковой сигнал при наличии хотя бы одной ОУНТ металлического типа.

Так же показаны преимущества и недостатки этих методов. Так, метод прямого прохода предоставляет наибольшую информацию о семействе ОУНТ, а метод сигнализации – самый быстрый и простой в реализации.

Другим результатом работы является разработанная программа, позволяющая получать звуковой сигнал по методу прямого прохода исходя из информации о номинальном диаметре ОУНТ и технологической погрешности.

Литература

1. Chang-Hua Liu, Chung-Chiang Wu, and Zhaohui Zhong. A Fully Tunable Single-Walled Carbon Nanotube Diode. *Nano Lett.* 2011. T.11. №4. P. 1782-1785. doi:10.1021/nl200371z
2. Gerald J. Brady, Austin J. Way, Nathaniel S. Safron et al. Quasi-ballistic carbon nanotube array transistors with current density exceeding Si and GaAs. *Science Advances.* 2016. Vol. 2. № 9. P. 1-9. doi:10.1126/sciadv.1601240
3. J. Deng, N. Patil, K. Ryu, A. Badmaev, C. Zhou, S. Mitra, and H.-S. P. Wong. Carbon nanotube transistor circuits: Circuit-level performance benchmarking and design options for living with imperfections. *Proc. Int. Solid State Circuits Conf.* 2007. P. 70–588. doi: 10.1109/ISSCC.2007.373592
4. J. Deng and H.-S. P. Wong. A compact SPICE model for carbon nanotube field effect transistors including non-idealities and its application—Part I: Model of the intrinsic channel region. *IEEE Trans. Electron Devices.* 2007. Vol. 54. № 12. P. 3186–3194. doi: 10.1109/TED.2007.909030
5. J. Deng and H.-S. P. Wong. A compact SPICE model for carbon nanotube field effect transistors including non-idealities and its application—Part II: Full device model and circuit performance benchmarking. *IEEE Trans. Electron Devices.* 2007. Vol. 54. № 12. pp. 3195–3205. doi:10.1109/TED.2007.909043
6. Nishant Patil, Albert Lin, Edward R. Myers et al. Wafer-Scale Growth and Transfer of Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes. *IEEE Transactions on Nanotechnology.* 2009. Vol. 8. № 4. P. 498-504. doi:10.1109/TNANO.2009.2016562
7. Тютин А.К., Казаков В.В., Верстов В.А. Использование методов сонификации в задачах классификации нанотрубок. *Политехнический молодежный журнал.* 2017. № 1. С.1-9.
8. Camille Schreck, Damien Rohmer, Doug James, Stefanie Hahmann and Marie-Paule Cani. Real-time sound synthesis for paper material based on geometric analysis. *Eurographics/ ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation.* 2016. P. 1-10.
9. Perry R. Cook. *Real Sound Synthesis for Interactive Applications*, 2002.
10. Andy Farnell. *Designing sound.* The MIT Press, 2010.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПОИСКА СПОСОБОВ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

Захарова А.С., Корчагин А.И., Марикова Е.А., Узеньков Д.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Журавлева Л. В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF FINDING WAYS TO INSTALL THE COMPONENTS ON THE PCB

Zakharova A. S., Korchagin A. I., Marikova E. A., Uzenkov D. A.

Supervisor: PhD, Associate Professor, Zhuravleva L. V.

BMSTU, IU4, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрена проблема поиска вариантов монтажа элементов на печатную плату. В результате разработана концепция поиска способов установки компонентов на печатную плату. Описаны принципы работы предложенной поисковой системы.

Abstract

In the article the method of search of variants of installation of elements on a printed circuit board are considered. Based on the results of the analysis, the concept of searching for ways to install components on a printed circuit board has been developed. The principles of the proposed search system are described.

Введение

Присборке изделий электронной техники не обойтись без пайки. В процессе производства возникает множество технических проблем и противоречий. Одной из таких является выбор варианта установки электронного компонента на печатную плату (ПП) [1]. На первый взгляд несложная операция превращается в трудную задачу, на решение которой затрачивается много времени и силы. Разработчику приходится изучать техническую документацию абсолютно каждого элемента, присутствующего на печатной плате. В случае с высоконагруженными проектами подобный подход становится крайне нецелесообразен.

В данной статье предлагается сильно понизить сложность данной задачи посредством использования локальной базы данных, заключающей в себе всё многообразие стандартизированных типов корпусов элементов, монтируемых на печатные платы, а также вариантов установки с соответствующими им способами фиксации элементов. База данных (БД) – совокупность информации, организованной таким образом, чтобы легко можно было ей управлять, обновлять и получать ее. Данные организованы в строки, столбцы или таблицы, и они индексируются, чтобы упростить поиск нужной информации. Данные обновляются, расширяются и удаляются по мере добавления новой информации. Для работы с БД используются системы управления базами данных (СУБД). СУБД – специальные программные средства, они и позволяют создавать БД, осуществлять доступ к их содержимому, выполнять различные манипуляции с данными, такие как: добавление, редактирование, удаление и обеспечение безопасности данных [2].

Поисковая система (ПС) — программный комплекс, предназначенный для осуществления функции поиска, реагирующий на пользовательский запрос в виде какой-либо порции информации, и выдающий список ссылок на файлы, в которых имеется данная информация, в том числе и в неполном объеме.

1 Разработка концепции

Для оптимизации и повышенного быстродействия поискового процесса предлагается создать БД вариантов монтажа электронных компонентов, содержащую информацию о способах установки элементов на плату. Заполнение и поддержка может выполняться любой стандартной СУБД. Учитывая специфику задачи, дополнительные требования к системе управления не предъявляются.

Существует огромное множество разновидностей БД. По модели данных, например, БД можно подразделить на *иерархические* (БД представлены как дерево, где между объектами есть связи и каждый объект может включать в себя несколько объектов более низкого уровня), *реляционные* (можно описать как множество связанных друг с другом таблиц, каждая из которых содержит информацию об объектах определенного вида) и *сетевые* (представление БД в виде древовидной структуры, где любой элемент может быть связан с любым другим элементом), представленные на рисунке 1. [3]

Проанализировав вышеупомянутые модели представления информации в БД, было принято решение реализовать сетевую структуру, так как она логически соответствует идее разрабатываемой поисковой системы. Сетевой подход к организации данных является расширением иерархического, где запись-потомок должна иметь только одного предка; в сетевой же структуре данных потомок может иметь любое число предков, что и является для нас наиболее подходящим.

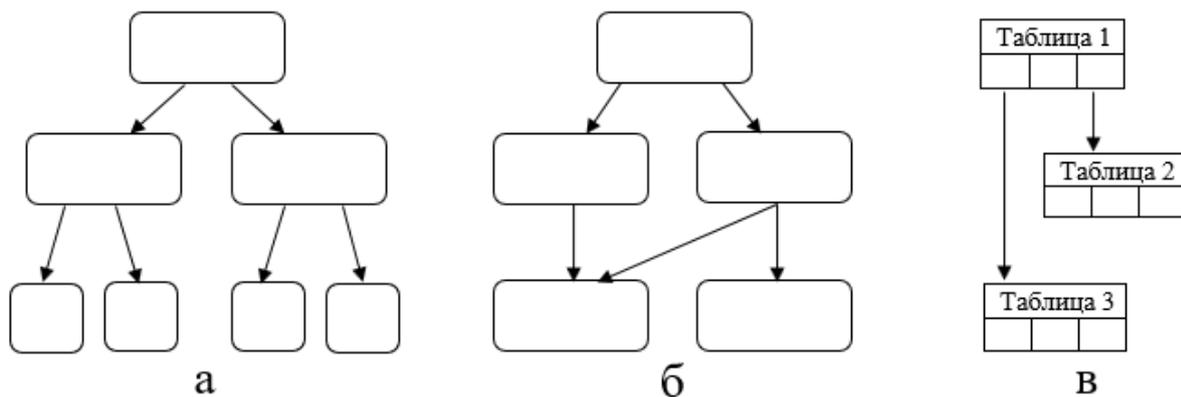


Рисунок 1 – Модели представления данных:
а – иерархическая; б – сетевая; в – реляционная

Для удобства пользователя поиск делится на несколько этапов, причём их количество должно быть сведено к минимуму, но при этом пользователем получен максимум информации для оперативного ответа системе.

Подготовительный этап: определение вида монтажа. Пользователь начинает поиск посредством передачи системе информации о виде монтажа — поверхностный или в отверстие. [4]

Первый этап: определение типа элемента. Пользователь оповещает систему, какой элемент необходимо установить на ПП: резистор, конденсатор, транзистор и т.д.

Второй этап: определение типа корпуса. Система предоставляет выбор подходящих элементу типов корпусов, хранящихся в базе данных.

Третий этап: выбрать вариант монтажа из предложенных ИПС.

Для упрощения поиска вариантов инсталляции компонентов на ПП этапы поиска сопровождается визуализация — текстовая информация, выдаваемая системой, сопровождается эскизами наиболее часто используемых компонентов. Наглядно этапы поиска представлены на рисунке 2.

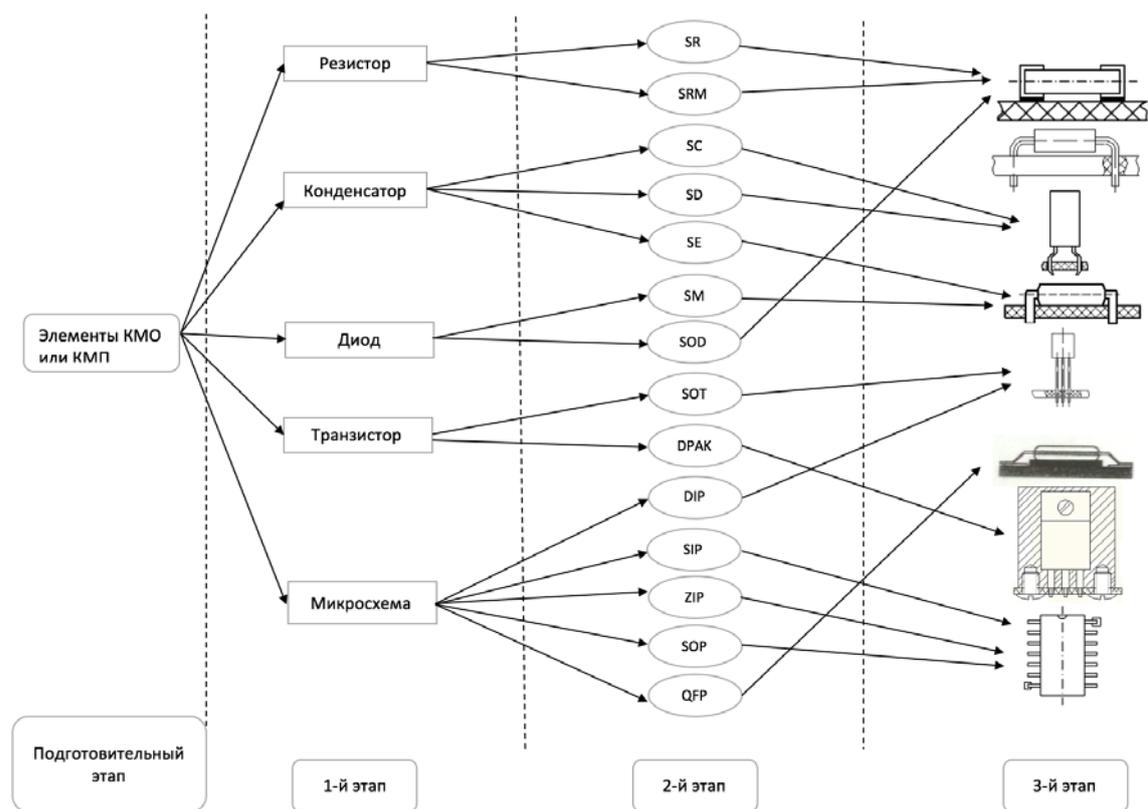


Рисунок 2 – Схематичное представление этапов поиска

Заключение

Разработка систем, позволяющая разрозненную информацию представить в структурированном виде и предоставить к ней (информации) простой и удобный доступ, работа над оптимизацией этих систем и их функционалом имеет большое значение при сборке и проектировании электронных устройств. В результате установлено, что хорошая ИПС является достаточно сложной структурой, которая не может существовать без БД, и разработана концепция поисковой системы, позволяющей оперативно осуществить поиск вариантов монтажа в зависимости от поставленных требований и критериев.

Литература

1. Билибин К. И. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 568 с.
2. Гасанов Э. Э. Теория хранения и поиска информации, Фундамент. и прикл. матем., — М.: МГУ, 2009, том 15, выпуск 3, 49–73
3. Илющечкин В. М. Основы использования и проектирования баз данных : учебник для академического бакалавриата — М.: Юрайт, 2014. — 213 с.
4. Журавлева Л. В. Формализация информации по прототипам технологической оснастки для сборки электронной аппаратуры / Л. В. Журавлева, А. С. Лебедев // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2017. – № 2 (166). – С. 67-72.

ПРИМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ МЕТАЛЛОВ В ЗАДАЧЕ ИХ ДИСКРИМИНАЦИИ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРОМ

Ванройе Н.К.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Глушко А.А.

МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE APPLICATION OF METALS ELECTRIC CONDUCTIVITY PROPERTIES IN PROBLEM OF METAL DISCRIMINATION BY PULSE DETECTOR

Vanroye N.K.

Supervisor: Ph.D., Assoc. Prof. Glushko A.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлены результаты исследования влияния магнитного поля, порожденного токами Фуко, на скорость изменения ЭДС катушки индуктивности при работе в импульсном режиме. Рассмотрены физические основы возникновения вихревых токов в объеме проводника, определены зависимости времени спада вихревых токов от проводимости металла. Описан принцип работы модуля обнаружения металлов с их дискриминацией.

Abstract

The article presents the results of the study of the influence of the magnetic field generated by the Foucault currents on the rate of change of EMF inductors when operating in pulse mode. Physical bases of occurrence of eddy currents in the conductor volume are considered, dependences of time of decrease of eddy currents on conductivity of metal are defined. The principle of the metal detection module with their discrimination is presented.

Введение

Взаимная индукция - это возникновение электродвижущей силы индукции в одном проводнике вследствие изменения силы тока в другом проводнике. В данном случае изменение силы тока в катушке индуктивности порождает переменное магнитное поле вокруг ее витков. Нахождение проводника вблизи переменного электромагнитного поля вызывает возникновение в его объеме вихревых токов, обусловленных изменением во времени потока действующего на него магнитного поля.

На основе данного физического эффекта работают широко распространенные в промышленности импульсные металлоискатели. Принцип их работы основан на возбуждении в зоне расположения металлического объекта импульсных вихревых токов и измерении вторичного электромагнитного поля, которое наводят эти токи. В данном случае, возбуждающий сигнал передается в катушку датчика не постоянно, а периодически, в виде импульсов.

Однако в подавляющем большинстве прикладных задач, где требуется применение металлоискателя, одного лишь сигнала об обнаружении металла как источника магнитного поля, препятствующего спада магнитной индукции поисковой катушки, бывает недостаточно. Таким образом, необходимо расширить функционал данного устройства до возможности дискриминации металлов.

В настоящей работе подробно рассматривается метод дискриминации металлов импульсным детектором по скорости спада вихревых токов в приповерхностном объеме проводника, зависящей от его проводимости.

1 Методы обнаружения металлов

На рис.1 представлена классификация существующих методов для обнаружения металлических предметов в нейтральной или слабопроводящей среде за счёт их проводимости.

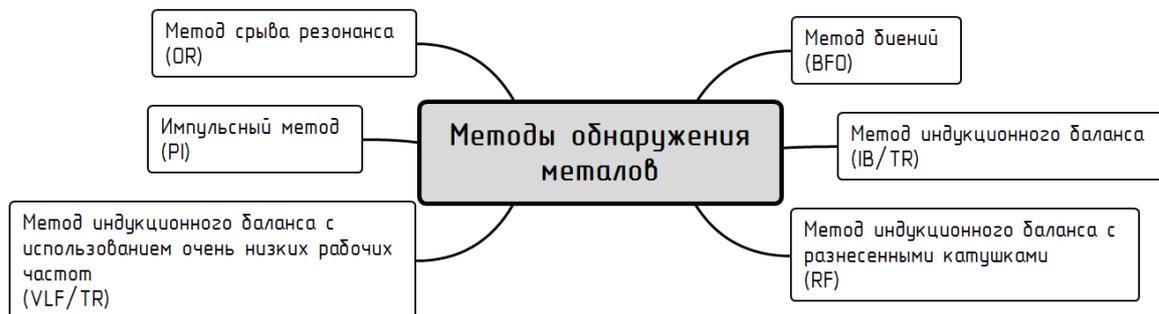


Рисунок 1 - Схематические решения для обнаружения металлов

Метод биений (BFO)

Измеряемым параметром является частота LC-генератора, включающего катушку поисковой головки. Частота сравнивается с эталонной, и полученная разностная частота биений выводится на звуковую индикацию. Рабочая частота 40-500 кГц.

Метод индукционного баланса (IB/TR)

Такие металлоискатели имеют рабочую частоту 80-100 кГц. Поисковую головку образуют две катушки, расположенные в одной плоскости и сбалансированные так, что при подаче сигнала в передающую катушку на выходах приемной присутствует минимальный сигнал. Передающая катушка часто включается в контур LC-генератора. Измеряемым параметром является амплитуда сигнала на приемной катушке и фазовый сдвиг между переданными и принятыми синусоидальными сигналами.

Метод индукционного баланса с использованием очень низких рабочих частот (VLF/TR)

Известен факт, что при снижении рабочей частоты ниже 20 кГц можно отстроиться от влияния фунта, глубина действия прибора при этом несколько снижается, зато резко возрастает стабильность работы и исчезают ложные сигналы.

VLF - метод позволяет построить высокочувствительные приборы с хорошим различением металлов за счет анализа фазовых характеристик. Дискриминация объектов и отстройка от грунта в таких приборах осуществляется сравнительно просто с помощью фазосдвигающих цепей.

Метод индукционного баланса с разнесенными катушками (RF)

Это высокочастотный вариант TR, где передающая и приемная катушки образуют не плоский трансформатор, а разнесены в пространстве и расположены перпендикулярно друг к другу. Приемная катушка принимает отраженный от металлической поверхности сигнал, излучаемый передающей катушкой. Этот метод используется в глубинных приборах и характеризуется нечувствительностью к мелким объектам и невозможностью различать черные и цветные металлы.

Метод срыва резонанса (OR)

Анализируемым параметром является амплитуда сигнала на катушке колебательного контура, настроенного близко к резонансу, относительно амплитуды подаваемого на него сигнала от генератора. Появление металла в поле катушки вызывает или достижение резонанса, или уход от него, в зависимости от вида металла.

Импульсный метод (PI)

Импульсные приборы создают электромагнитное поле, воздействующее на объект, однако это поле действует не все время, а периодически - то включается, то выключается (пульсирует) многократно в течение одной секунды.

При включении поля на поверхности объекта наводятся вихревые токи. При выключении поля вихревые токи постепенно затухают, хотя и в течение очень короткого промежутка времени. В этот момент катушка действует как приемная антенна, улавливающая этот затухающий сигнал.

Недостатком импульсных металлоискателей является высокая чувствительность к черным металлам и трудности с дискриминацией.

Ниже подробнее будет рассматриваться именно этот метод.

2 Вихревые токи

При работе на высоких частотах на зажимы катушки индуктивности подается короткий импульс тока, при прерывании которого в катушке возникает ЭДС самоиндукции, что влечет за собой генерацию импульсов магнитного поля. При появлении проводника вблизи катушки наблюдается явление взаимной индукции. Согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, при изменении магнитного потока, пронизывающего электрический контур, в нём возбуждается ток, называемый индукционным.[1]

При выключении магнитного поля токи затухают в течение короткого промежутка времени и возбуждают затухающее электромагнитное поле. Поле, в свою очередь, наводит в исследуемой катушке затухающий ток, препятствующий изменению потока магнитного поля. Соответственно, в зависимости от проводящих свойств и размера объекта, сигнал меняет свою форму и длительность.

3 Исследование работы IP-металлодетектора

На рис. 2 представлена структурная схема аналогового импульсного металлодетектора без дискриминации металлов по проводимости.

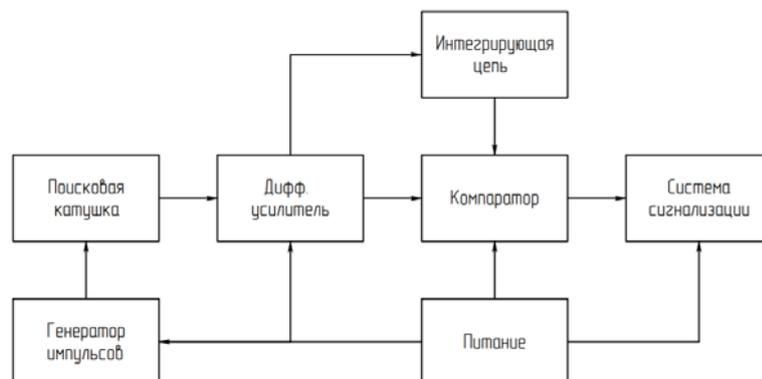


Рисунок 2 - Структурная схема аналогового IP-металлодетектора

Детектирование влияния вихревых токов на скорость переключения производится за счет обнаружения удлинения заднего фронта импульса с катушки. Уровень сигнала, поступающего на инвертирующий вход компаратора, сравнивается с уровнем опорного напряжения, поданного на неинвертирующий вход.[2,4]

На рис. 3 представлены осциллограммы сигналов на компараторе при наличии металла вблизи катушки индуктивности.

Значение напряжения на инвертирующем входе компаратора становится ниже опорного, и на выходе операционного усилителя будет положительное напряжение насыщения.

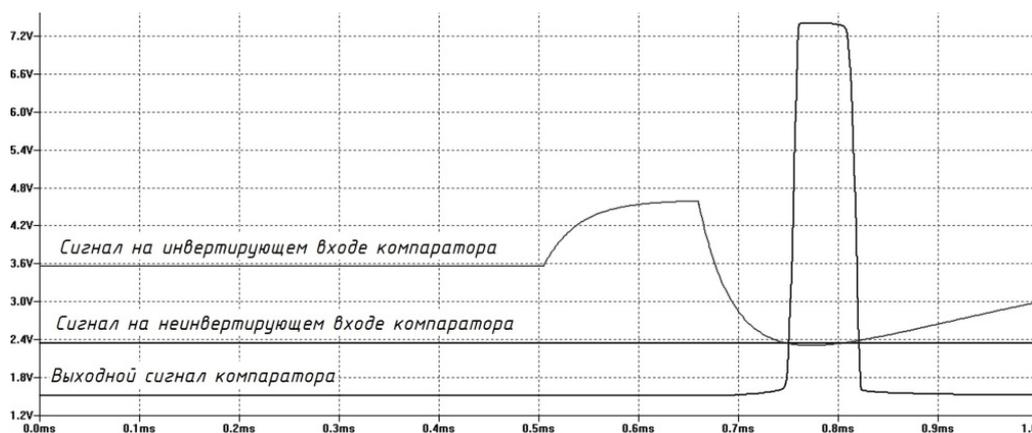


Рисунок 3 – Осциллограммы сигналов на входах и выходе компаратора при наличии проводника вблизи катушки

4 Характер токов Фуко

Характер токов Фуко связывается исключительно с сопротивлением проводника, и их структура обуславливается исключительно фактом проводимости металлов, будучи одинаковой, как для ферро-, пара-, так и для диамагнетиков. Направленность этих токов встречна индуцирующему переменному полю, хотя сами указанные вещества во внешних полях ведут себя принципиально различно. Как известно, диамагнетики создают собственное поле, направленное встречно внешнему, пара- и ферромагнетики создают поля, совпадающие по направлению с внешним магнитным полем.[3]

В табл. 1 приведены относительные электрические проводимости различных материалов по отношению к золоту.

Таблица 1 - Относительные электрические проводимости различных материалов к золоту

Материал	Ag	Cu	Au	Al	Fe	Pt
Относительная проводимость	1,5	1,4	1	0,86	0,24	0,23

Вихревые токи применяются для исследования свойств материалов посредством измерения электрической проводимости, так как материалы имеют уникальное значение проводимости в зависимости от их состава и способа изготовления. В качестве стандарта используется при этом значение проводимости химически чистой меди при температуре 20 °С - стандарт *International Annealed Copper Standard (IACS)* - удельное сопротивление $1,7241 \times 10^{-8}$ Ом·м или $5,8001 \times 10^7$ См/м (100% IACS).

Постоянная времени $\tau = LG = L/R$, определяющая длительность протекания вихревых токов, зависит от электрической проводимости материала мишени G (или сопротивления R) и ее индуктивности L.

На рис. 4 представлена измененная структурная схема IP-металлодетектора с учетом задачи дифференцирования металлов по их проводимости.

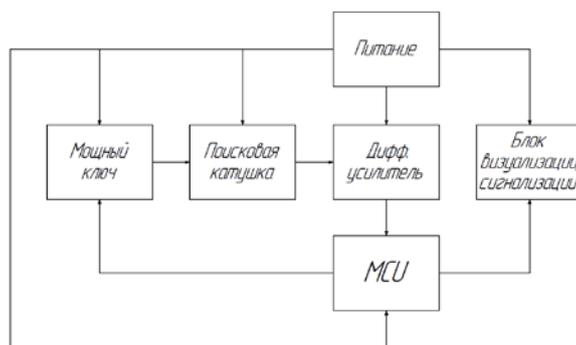


Рисунок 4 - Структурная схема IP-металлодетектора с дискриминацией металлов

Микроконтроллер осуществляет формирование импульсной последовательности, аналогово-цифровое преобразование выходного сигнала дифференциального усилителя с целью подсчета времени задержки заднего фронта сигнала с катушки. Подсчет производится за счет применения системного таймера микроконтроллера.[5,6] Дифференциальный усилитель служит для усиления сигнала, напряжение которого выше напряжения питания и привязке его к потенциалу +5В. Мощный ключ производит импульсное накопление энергии в катушке.

Таким образом, классификация металлов в предложенной системе осуществляется по длительности выходного сигнала компаратора. Определение длительности сигнала в данном решении подразумевает применение микропроцессорной системы в качестве вычислительного ядра.

Заключение

Проведен краткий анализ измерительного сигнала аналогового металлодетектора, длительность заднего фронта которого зависит от проводимости обнаруженного материала. На основе данного явления предложена структурная схема металлодетектора с дискриминацией металлов по их проводимости.

Однако, при всех преимуществах, недостатком рассматриваемого метода является высокая вероятность ошибочного определения металла по причине зависимости длины измерительного сигнала от габаритных размеров образца.

Литература

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики, т. 3. Электричество //Учебное издание., М.: Наука, 1979. – 656 с.
2. Ванройе Н.К. Влияние вихревых токов на скорость изменения напряжения на выводах катушки индуктивности, работающей в импульсном режиме// Сборник научных трудов 19-я Молодежная научно-техническая конференция Научно-технологические и интеллектуальные системы 2017. - М.: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2017
3. Кузнецов В.А. Измерения в электронике. Справочник. М.:Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.
4. Привалов Е.Е. Электротехническое материаловедение//Учебное издание ., М. - Берлин: Директ-Медиа, 2015 - 234 с.
5. Белов А. В., Конструирование устройств на микроконтроллерах — СПб.: Наука и Техника, 2005. - 255 с. - (Радиолюбитель). - Библиогр.: с. 255.
6. Бойко В. И., Гуржий А. Н., Жуйков В. Я. [и др.], Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры, - СПб. : БХВ-Петербург, 2004. - 453 с. : ил. - Библиогр.: с. 445-448.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И АЛГОРИТМА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ИК ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ

Васин Ю.О.

Научный руководитель: Цивинская Т.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

IMPROVEMENT OF THE DESIGN AND ALGORITHM OF SIGNAL TRANSMISSION OF THE CONTROL REMOTE CONTROLLER

Vasin Y.O.

Supervisor: Civinskay T.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье описан процесс разработки конструкции и написания алгоритма работы ИК пульта. Рассмотрены основные принципы передачи информации по инфракрасному каналу. Представлен прототип ИК передатчика, который разработан для управления каким-либо устройством. Основная проблема решаемая в статье, это способ создания простой пары устройств взаимодействующих по ИК каналу.

Abstract

The article describes the process of developing the design and writing the algorithm for the IR remote control. The basic principles of information transmission through the infrared channel are considered. A prototype of an IR transmitter is presented, which is designed to control a device. The main problem solved in the article is the way to create a simple pair of devices interacting over the IR channel.

Введение

Существует много различных ИК передатчиков. Большинство из них реализуют конкретный, один, выбранный протокол передачи данных по беспроводному каналу. Реализация таких алгоритмов требует некоторых усилий, как при создании приемника, так и передатчика. К сожалению, не всегда целесообразно использовать такие протоколы передачи, как NEC. При создании устройств, которым нужно отправлять всего несколько различных команд, хотелось бы использовать простой протокол, который легко реализовать на стороне приемника и на стороне передатчик. А также который возможно легко изменить для любого другого устройства, зная количество импульсов, их длину и несущую частоту.

1 Основы передачи данных по ИК каналу

Чаще всего для создания ИК передатчиков используют инфракрасные светодиоды, реже инфракрасные лазеры. Для регистрации сигнала применяют тепловые и фотоэлектрические приемники и специальные фотоматериалы. Передача осуществляется путем формирования импульсов определенной длины, разделенных паузами. Каждый импульс должен быть промодулирован несущей частотой. ИК приемник принимает такую последовательность импульсов и выполняет демодулирование с получением огибающей. Такой метод передачи и приема отличается высокой помехозащищенностью, поскольку приемник настроенный на частоту передатчика, уже не реагирует на помехи другой частоты. Принципиальная схема на рис.1.

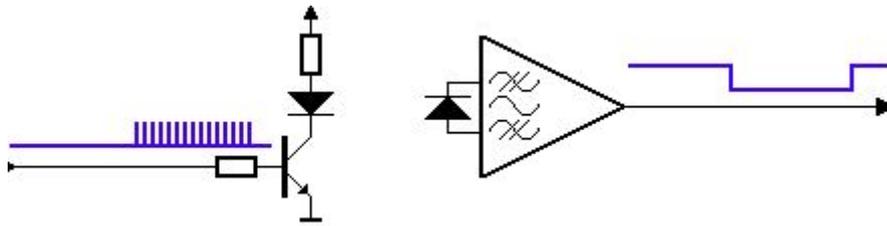


Рисунок 1 - Функциональная схема приемник-передатчик

Сегодня для приема ИК сигнала обычно применяется специальная микросхема, объединяющая фотоприемник, усилитель с полосовым фильтром, настроенным на определенную несущую частоту, усилитель с АРУ и детектор для получения огибающей сигнала. Кроме электрического фильтра, такая микросхема имеет в своем составе оптический фильтр, настроенный на частоту принимаемого ИК излучения, что позволяет в максимальной степени использовать преимущество светодиодного излучателя, спектр излучения которого имеет небольшую ширину.

2 Обзор некоторых протоколов передачи по ИК каналу

Есть два основных протокола, чаще всего применяемые производителями электроники: NEC и RC5.

В протоколе RC5 каждая командная посылка состоит из 14 бит информации:

- 2 (или 1 для протокола RC5X) стартовых бита (всегда "1")
- 1 управляющий бит (Toggle)
- 5 бит адреса устройства
- 6 бит кода команды (7 бит для протокола RC5X)

Пять бит адреса позволяют управлять до 32 различных типов устройств. Шесть бит команды дают возможность передавать до 64 различных команд.

Формат NEC, первоначально разработанный одноименной японской фирмой, встречается в большом количестве вариаций. Здесь представлен так называемый Японский вариант.

- 8 бит данных и 8 бит команда
- Адрес и команда передаются дважды для исключения ошибки
- Метод кодирования бит - интервалами
- Несущая частота 38 кГц
- Время передачи бита 1.125 мс или 2.25 мс

NEC формат использует для передачи информации опорную частоту 38 кГц со скважностью 3 или 4. Все пакеты кроме преамбулы имеют длительность 560 мкс (21 импульс опорной частоты). "Единица" передается интервалом 2.25 мс, "ноль" - интервалом 1.125 мс.

3 Предлагаемая доработка конструкции и алгоритма пульта

Рассматривая различные схемотехнические решения ИК пультов, стоит отметить, что для увеличения дальности работы можно использовать более мощный светодиод и применить схему включения светодиода через биполярный транзистор, как на рис.2. Проводя анализ эксплуатации ИК пультов, несложно заметить, что иногда, пульты для управления различными устройствами не нуждаются в большом количестве команд. На этот случай был разработан алгоритм (на языке Assembler для микроконтроллера ATTiny13A) способный воспроизвести любой выбранный сигнал, исходя из длины импульсов и пауз между ними, их количества и несущей частоты. При его использовании разработчик может упростить себе задачу, самостоятельно выбрать небольшую последовательность импульсов, задать их длительность и пауз между ними, а также выбрать несущую частоту. Особенностью предлагаемого алгоритма является возможность

задать для каждой кнопки управления не только свою последовательность, но и выбор частоты модуляции. Так появляется возможность создать пульт для любого устройства с заранее известным сигналом, в том числе и имитировать любой из ранее упомянутых протоколов.

В таком способе управления количество команд ограничено количеством выводов МК, а несущая частота ограничена тактовой частотой микроконтроллера. Но большим преимуществом является возможность быстро запрограммировать приемник и передатчик для выбранного сигнала, без необходимости реализовывать, протоколы, вроде NEC (передача 32 бит).

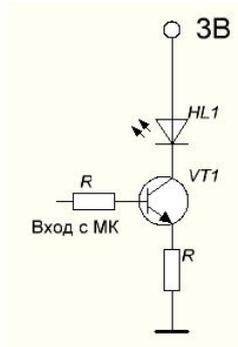


Рисунок 2 - Схема включения светодиода через транзистор.

Заключение

Предлагаемый алгоритм рационально использовать для воспроизведения сигналов состоящих из небольшого количества импульсов, иначе логичнее использовать один из протоколов указанных выше. Выгодно будет применение не только при создании передатчика под конкретное устройство (такое, как пульт к фотоаппарату), но и при разработке устройства, которым необходимо управлять, если оно не требует большого количества различных команд, а лишь, например функцию включить и выключить. Также возможно применение, если необходимо воспроизводить сигнал с нестандартной несущей частотой.

Литература

1. Принципы работы ИК пульта управления [Электронный ресурс]. URL: http://leddisplays.ru/ir_remote_theory.html (дата обращения 12.12.2017).
2. Справочник по основам инфракрасной техники. Под ред. Л.З. Криксунова. — М.: Советское радио, 1978. 401 с.
3. Общая теория связи : учебное пособие / Ю. А. Брюханов, А. Л. Приоров ; Ярославль : ЯрГУ, 2014. – 216 с.

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Вирясова А. Ю.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гладких А.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DOMAIN ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF DATABASE FOR THE IMPLEMENTATION OF TESTING OF INTEGRATED STRUCTURES

Virasova A.Y.

Supervisor: Ph.D. Gladkich A.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье рассматривается предметная область и база данных для реализации дефектоскопии интегральных структур. Для этого в первой части выполняется выбор метода реализации классификации изображений, рассмотрены три основных метода: k-ближайших соседей, нейронные сети прямого распространения и сверточные нейронные сети. Показаны преимущества и недостатки каждого из методов. Так же описывается выбор и функциональные возможности платформы для работы с выбранным алгоритмом. В третьей же части описаны основные алгоритмы обучения нейронной сети и выбран самый оптимальный.

Abstract

This article discusses the subject area and database for the implementation of the inspection of integrated structures. For this first part, you select the implementation method of classification considered three main methods: K-nearest neighbors, neural networks, feedforward and convolutional neural networks. The advantages and disadvantages of each method. It also describes the selection and functionality of the platform to the selected algorithm. The third part describes the main learning algorithms of neural network and selected the best.

Введение

В последнее время система неразрушающего контроля и диагностики электронной аппаратуры (ЭА) приобретают все большее распространение. Классификационная дефектоскопия поможет снизить степени риска комплектования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) ИС и приборов, несоответствующих требованиям к их конструктивно технологическому исполнению. В основе классификационной дефектоскопии лежат задачи обработки цифровых изображений [1 - 3].

Одной из областей классификационной дефектоскопии является анализ результатов монтаже функциональных узлов ЭА и самих коммутационных структур. В работе [4, 5] рассмотрены вопросы дефектоскопии печатных плат по микрошлифам и особенности применения нейронных сетей для решения классификационных задач.

В работах [7-9] приведены результаты применения методов нейросетевого анализа при обработке данных тепловизионного контроля функциональных узлов ЭА.

Например, для автоматизированного накопления статических данных об уровнях качества изготовления микросхем, а также для использования данных результатов отбраковки при прогнозировании наиболее вероятного срока активного функционирования поставляемых партий [10].

Проблема анализа дефектов интегральных структур приобретает все большую актуальность с уменьшением проектных норм и формированием пространственных интегральных структур. Обработка цифровых данных фотографий топологии кристаллов интегральных микросхем, необходима, в частности при их дефектоскопии и может быть использовано для оценки показателей качества поставляемых партий ИС и приборов.

1. Анализ методов классификации изображений

На данный момент имеются следующие основные методы классификации изображений, а именно: метод k-ближайших соседей, нейронные сети прямого распространения и сверточные нейронные сети [1-3]. Ниже будут рассмотрены преимущества и недостатки каждого, из них.

На рисунке 1 представлена архитектура нейронной сети прямого распространения [3, 11, 12]. Модели нейронной сети часто организованы в отдельные слои нейронов. Для обычных нейронных сетей, наиболее распространенный тип слоя - это полносвязный слой, в котором нейроны между двумя соседними слоями полностью попарно соединены, но в пределах однослойной части нет ни одного соединения.

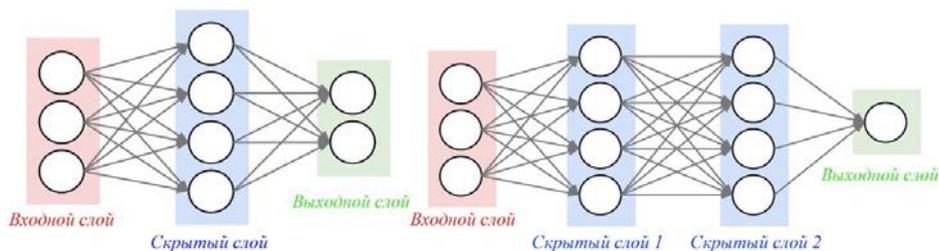


Рисунок 18 – Топология нейронной сети полносвязных слоев

Ниже показаны основные недостатки полносвязных нейронных сетей:

- большое количество обучаемых параметров и низкая скорость обучения;
- отсутствие возможности распараллеливания вычислений и реализации алгоритмов обучения сети на графических процессорах (GPU);
- восприимчивость к сдвигу позиции объекта во входных данных.

Метод K-ближайших соседей – это один из самых простых алгоритмов классификации, также иногда используемый в задачах регрессии [13].

Оценить работу алгоритма можно с помощью визуализации некоторого множества изображений. Причем изображения, которые имеют наименьшее расстояние (наиболее похожи) должны быть размещены как можно ближе друг к другу. Изображения, которые находятся рядом друг с другом гораздо больше зависят от общего распределения цвета изображений или типа фона, а не их семантической идентичности.

Одно преимущество классификатора k-ближайших соседей заключается в том, что это очень просто реализовать и понять. Кроме того, классификатор не требует времени на тренировки, требуется лишь хранение и индекс обучающих данных. Тем не менее большие временные затраты уходят на проведение испытаний, так как классификация тестового набора требует сравнения с каждым отдельным примером обучения.

Недостатком данного метода является необходимость сохранения огромной базы эталонов и сравнения входного изображения с каждым из базы данных, и также высокая восприимчивость этого метода к поворотам, положению объектов на поле классификатора и масштабированию.

Все эти недостатки решаются при помощи сверточных нейронных сетей, архитектура которой представлена на рисунке 2 [14-17].

Первые два типа слоёв чередуясь между собой, формируют входной вектор признаков для многослойного персептрона. Свёрточный слой реализует идею т.н. локальных рецептивных полей, т.е. каждый выходной нейрон соединен только с определённой (небольшой) областью входной матрицы и таким образом моделирует некоторые особенности человеческого зрения.

В упрощённом виде этот слой можно описать следующей формулой [16].

$$x^l = f(x^{l-1} * k^l + b^l)$$

Здесь x^l – выход слоя l , $f()$ – функция активации, b – коэффициент сдвига, символом $*$ обозначена операция свёртки входа x с ядром k .

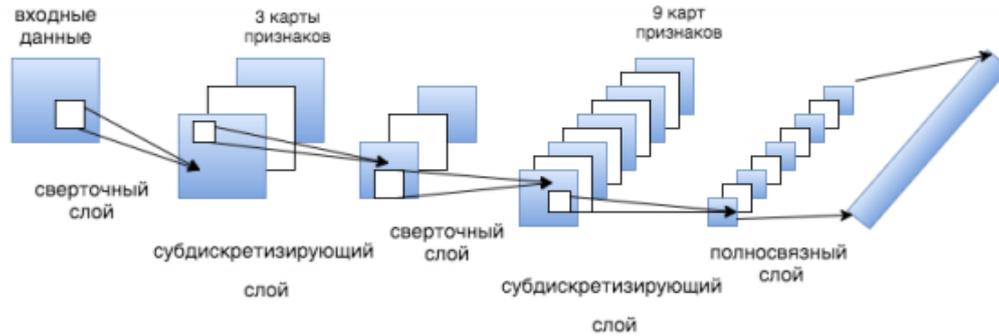


Рисунок 19 – Визуализация структуры сверточной нейронной сети

Субдискретизирующий слой выполняет уменьшение размерности (обычно в несколько раз). Это можно делать разными способами, но используется метод выбора максимального элемента (max-pooling) – вся карта признаков разделяется на ячейки, из которых выбираются максимальные по значению [16].

Формально слой может быть описан следующим образом .

$$x^l = f(a^l \cdot \text{subsample}(x^{l-1}) + b^l)$$

Здесь x^l – выход слоя l , $f()$ – функция активации, a, b – коэффициенты, $\text{subsample}()$ – операция выборки локальных максимальных значений.

Последний из типов слоёв это слой “обычного” многослойного перцептрона (MLP), фигура 6, его можно описать следующим соотношением [16].

$$x_j^l = f\left(\sum_i x_i^{l-1} \cdot w_{ij}^{l-1} + b_j^{l-1}\right)$$

Здесь x^l – выход слоя l , $f()$ – функция активации, b – коэффициент сдвига, w – матрица весовых коэффициентов.

В результате анализа показано что свёрточные нейронные сети хорошо подходят для задачи анализа и классификации именно изображений, однако их можно применять и для решения различных типов задач: распознавания речи, классификации текстов и т.п. В контексте задачи классификации дефектов интегральных структур свёрточная нейронная сеть имеет большое преимущество по сравнению с обычной нейронной сетью. При использовании свёрточной нейронной сети можно существенно уменьшать количество обучаемых параметров и получать более высокое качество классификации изображений (которые являются входными данными для нейронной сети при классификации дефектов интегральных структур).

Для правильной работы нейронной сети необходимо подобрать нужную библиотеку. Далее будет показано сравнение библиотек глубокого обучения. Рассматриваются только четыре основных библиотеки: Caffe и Torch – самые используемые, а также Keras+Theano и Keras+TensorFlow – самые зрелые и функционально развитые, их основные параметры представлены в таблице 1

В результате анализа показано что для библиотек Keras, Torch, Caffe и Tensorflow время обучения 4-х слоёв составило 30 секунд, а библиотеки Deeplearning4J 210 секунд. Время прогнозирования для библиотек Keras, Torch, Caffe и Tensorflow составило от 0.2 до 0.3 секунд, библиотеки Deeplearning4J 1.1 секунду. Наилучшую точность показала библиотека Keras (98%), далее идет Deeplearning4J (97%), Caffe (95%) и гораздо менее точными оказались Tensorflow (87%) и Torch (84%).

Таблица 1. Основные параметры библиотек глубокого обучения

Имя	Платформа	Язык	Интерфейс	OpenMP	OpenCL	CUDA	Рекуррентные сети	Свёрточные сети	Парал-ные выч.
Torch	Linux, Mac OS X, Windows, Android,iOS	C, Lua	Lua, LuaJIT, C, библиотека утилит для C++/OpenCL	Да	Внешняя реализация	Да	Да	Да	Да
Theano	Кроссплатформенность	Python	Python	Да	В разработке	Да	Да	Да	Да
TensorFlow	Linux, Mac OS X, Windows	C++, Python	Python, C/C++, Java, Go	Нет	В разработке	Да	Да	Да	Да
Keras	Linux, Mac OS X, Windows	Python	Python	Через Theano	В стадии разработки через Theano, планируется через TensorFlow	Да	Да	Да	Да
Caffe	Linux, Mac OS X, Windows	C++	Python, MATLAB	Да	В разработке	Да	Да	Да	Да

Так же приведен анализ исходных фреймворков в строках исходного кода, необходимых для реализации соответствующего алгоритма, а также их языков программирования интерфейса, результаты показаны на рисунке 3.

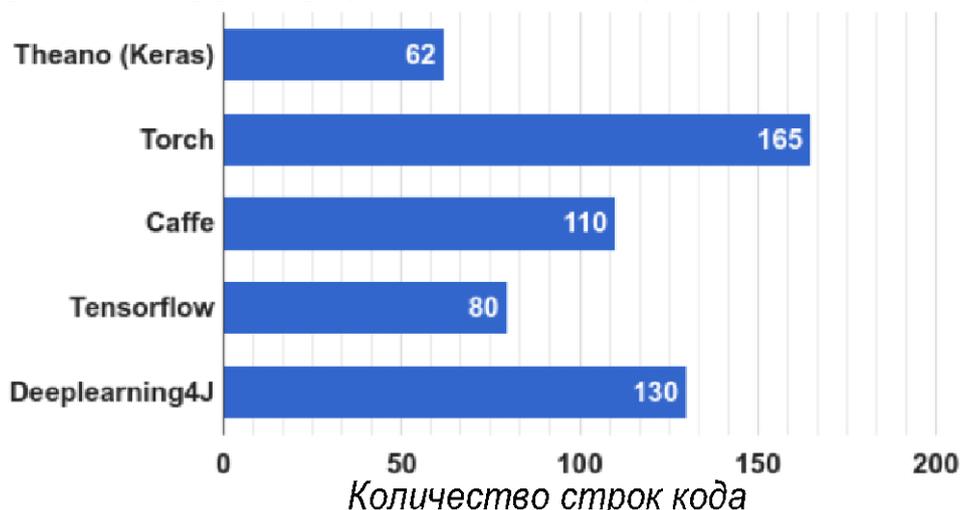


Рисунок 3 - Кодовая сложность, измеряемая как количество строк кода, необходимых для реализации алгоритма

Подводя итог, можно сказать, что наиболее зрелой является библиотека Theano (Keras). Библиотека Torch является очень сложной в написании, и не показывает ни высокой точности, ни скорости. При этом библиотеки Caffe и Tensorflow не уступают Theano по многим критериям, поэтому нельзя исключать возможность их последующего использования.

2. Сравнительный анализ существующих архитектур нейронных сетей

В данной статье приведено сравнение основных архитектур нейронных сетей: AlexNet, CaffeNet, VGGNet, GoogleNet.

Сеть AlexNet проста по сравнению с другими современными вариантами. Сеть содержит пять сверточных слоев (convolutional layer) с применением дропаута (dropout) и пулинга по максимуму (max-pooling), а также три полносвязных слоя. Данная сеть позволяет классифицировать изображения из 1000 различных категорий (рисунок 4).

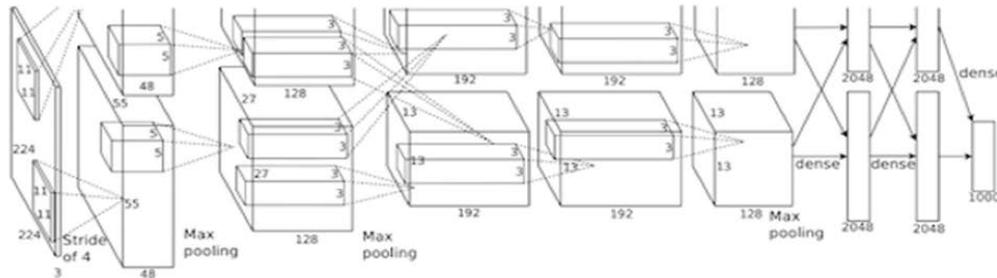


Рисунок 4 – Архитектура AlexNet

Архитектура GoogLeNet - это 22-слойная сверточная нейронная сеть с коэффициентом ошибки 6.7%. Преимущество данной архитектуры — это рациональное использование вычислительных ресурсов. Но большое количество фильтров и слоев требует больших вычислительных ресурсов, и также повышает вероятность переобучения. Архитектура сети GoogLeNet представлена на рисунке 5

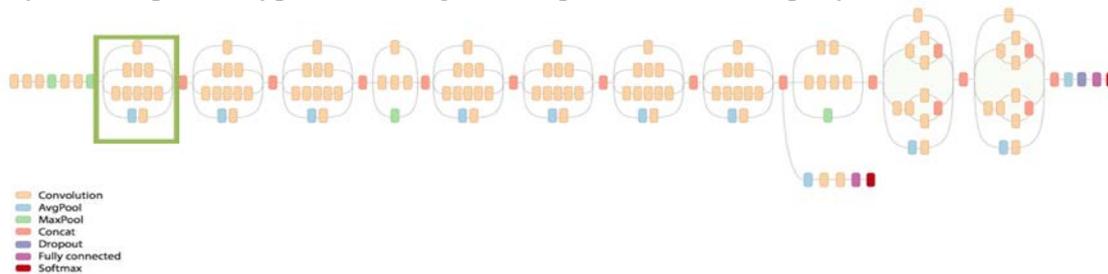


Рисунок 5 – Архитектура GoogLeNet.

В архитектуре GoogLeNet не все происходит последовательно как в CaffeNet и AlexNet. На рисунке 6 зеленым обведены фрагменты сети которые выполняются параллельно.

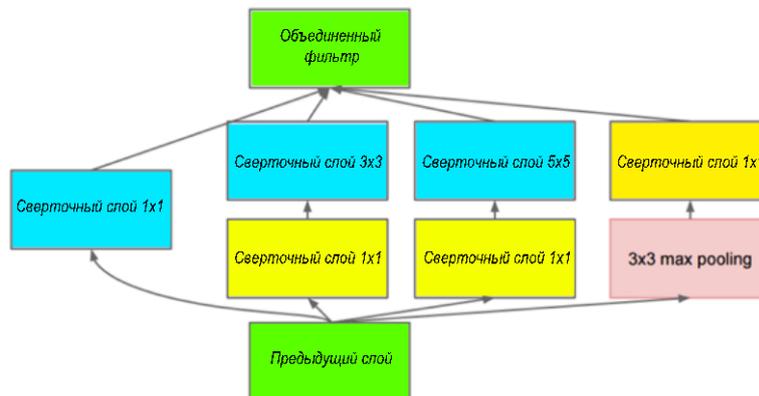


Рисунок 6 – Структура модуля Inception.

Архитектура CaffeNet, является основой обучения с открытым исходным кодом, которая имеет очень похожую архитектуру с AlexNet, за исключением двух модификаций: (1) обучение без увеличения данных и (2) замена порядка пулов и

уровней нормализации, за счет этого вычисления происходят быстрее и занимают меньше памяти. Архитектура сети представлена на рисунке 7.

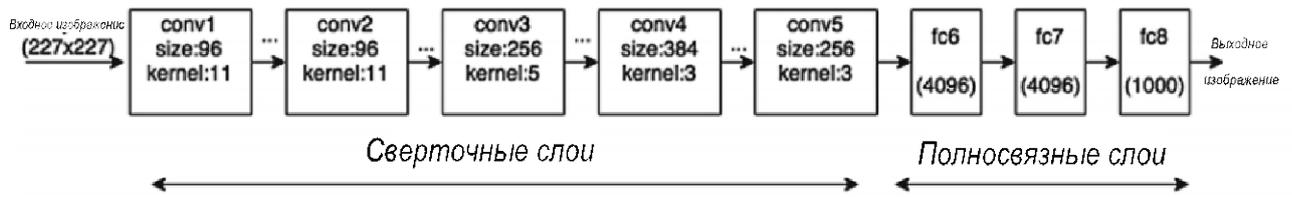


Рисунок 7 Архитектура сети CaffeNet

Архитектура VGGNet содержит 16 сверточных и полносвязных слоев и имеет чрезвычайно однородную архитектуру, которая выполняет свертывание 3×3 и пулинг 2×2 от начала до конца. Архитектура сети VGGNet представлена на рисунке 8.

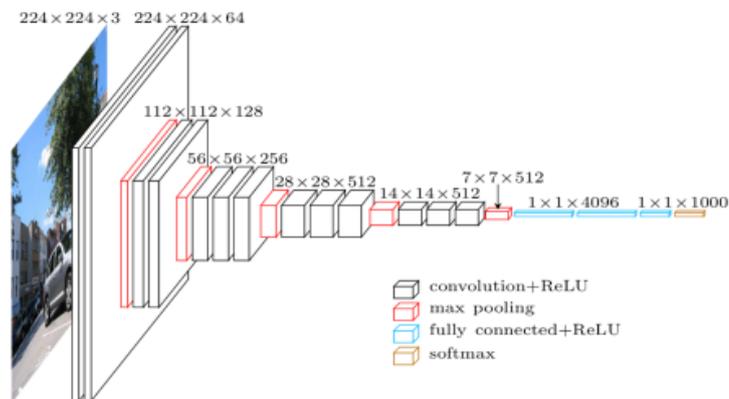


Рисунок 8 – Архитектура сети VGGNet

Так же в приведены сравнительные эксперименты, подтверждающие правильный выбор метода классификации. Таким образом в результате классификаций были получены следующие показатели метрик (таблица 2, 3, 4)

Таблица 2 показатели метрик методом классификации к-ближайших соседей

recall	precision	acc
0,133	0,149	0,799

Таблица 3 показатели метрик при использовании полносвязной нейронной сети

recall	precision	acc
0,442	0,805686	0,6035

Таблица 4 показатели метрик при использовании сверточных нейронных сетей

recall	precision	acc
0,98	0,99	0,98

Приведены результаты экспериментальных исследований сверточных нейронных сетей. Сеть AlexNet практически линейно увеличивает свою точность (рисунок 9), и на 80 эпохе точность уже превышает 90%. Время обучения составляет 123 часа.

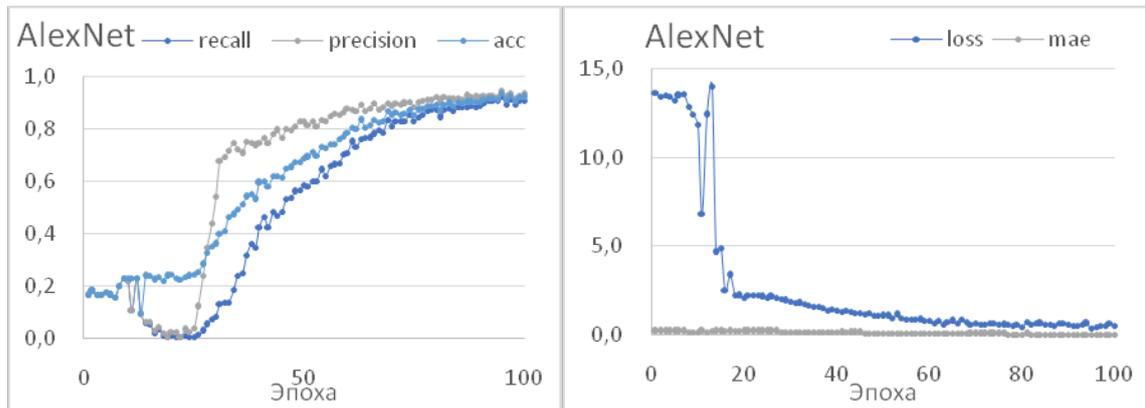


Рисунок 9 - Качество обучения сети AlexNet

Но по графикам (рисунок 10) видно, что CaffeNet работает гораздо точнее и имеет меньшее количество случайных ошибок в отличие от AlexNet, начиная с 40 эпохи точность сети сводится к 100% за исключением случайных ошибок. Время обучения составляет 52 часа.

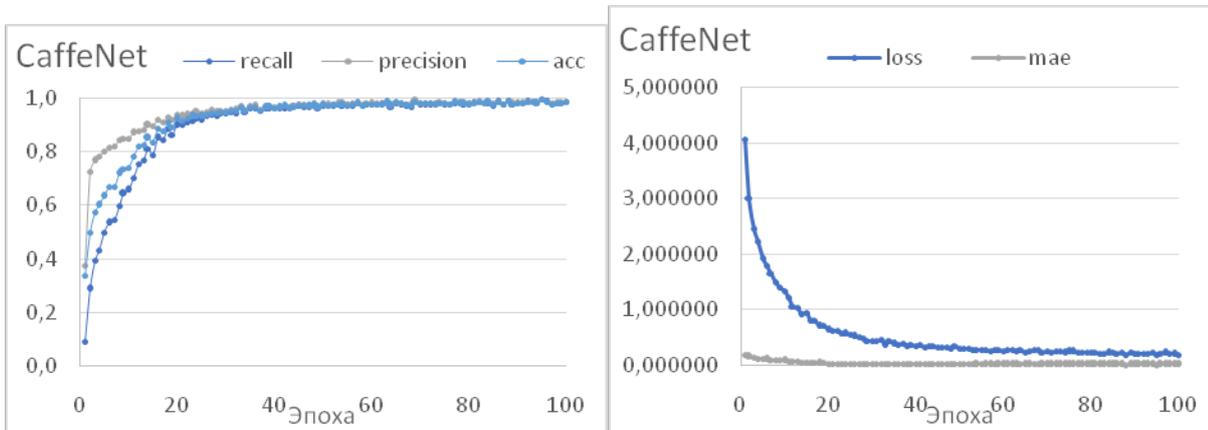


Рисунок 10 - Качество обучения сети CaffeNet

При эксперименте с сетью GoogleNet на графиках (рисунок 11) видно начиная с 60 эпохи все три критерия качества обучения свелись к 1, а это значит, что распознаваемость класса практически 100%.Время обучения сети составило 97 часов.

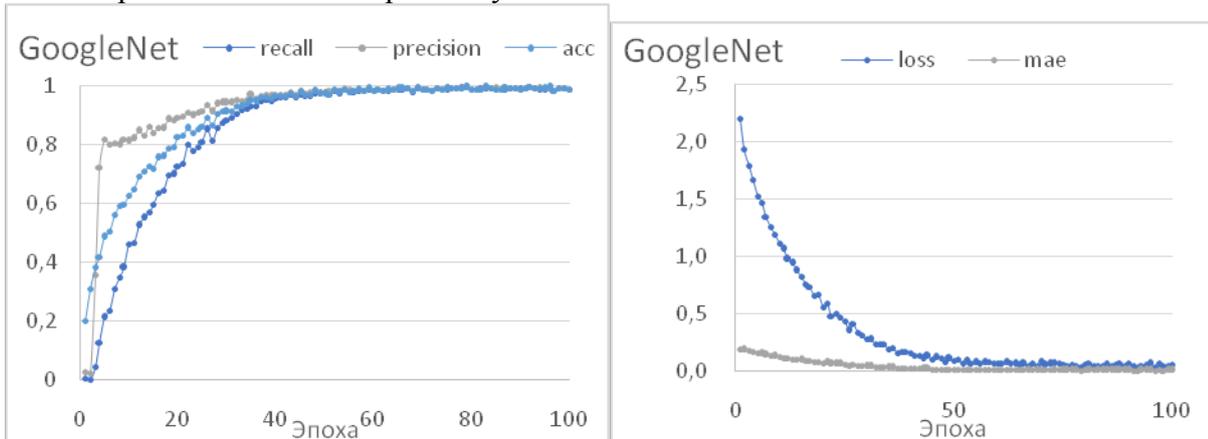


Рисунок 11 - Качество обучения сети GoogLeNet

Архитектуры VGG16 и VGG19 показали худшие результаты. В связи с тем, что для обучения данной сети требовалось большое количество времени и оперативной памяти, с целью экономии ресурсов, данная архитектура обучалась лишь на 25 эпохах и время обучения 20 эпох составило 288 часов.

В результате исследований, получены 5 моделей сверточных нейронных сетей, обученных на 1400 изображениях дефектов и проведена классификация по 9 различным классам. В результате экспериментально доказано, что при классификации изображений дефектов топологии СБИС наилучшие результаты по скорости и качеству обучения показывает архитектура CaffeNet. Есть вероятность что модели VGG16 и VGG19 дали бы лучшие показатели качества обучения, но, в связи с большим потреблением ресурсов, данные архитектуры, уступают CaffeNet.

3. Исследование алгоритмов обучения различных архитектур сверточной нейронной сети.

Самым простым является алгоритм стохастический градиентный спуск. Это алгоритм обучения требует информации из вектора градиента, и, следовательно, это метод первого порядка [11-14]. Градиентный спуск рекомендуется, когда нейронная сеть очень большая, со многими тысячами параметров. Причина в том, что этот метод хранит только вектор градиента (размер n), и он не хранит матрицу Гесса (размер n^2). Результаты обучения представлены на рисунке 12.

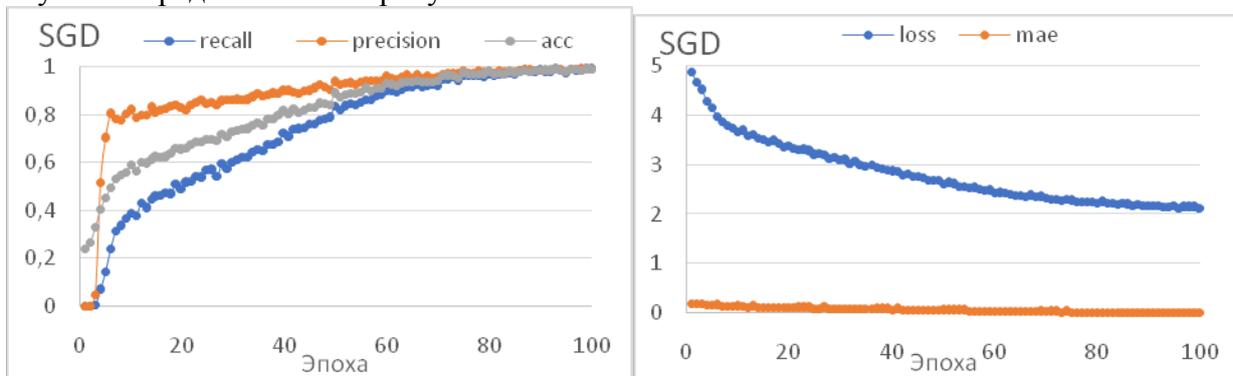


Рисунок 12 Качество обучения сети CaffeNet по алгоритму SGD

На данных графиках видно, что, начиная с 40 эпохи точность сети сводится к 100% за исключением случайных ошибок. Время обучения составило 55 часов.

Так же приведен анализ алгоритма адаптивного градиента, который работает следующим образом если данный параметр относится к цепочке часто активирующихся нейронов, то итоговая сумма быстро накапливается. Формула обновления будет выглядеть следующим образом [18]:

$$\begin{cases} G_t = G_t + g_t^2 \\ \theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{G_t + \epsilon}} g_t \end{cases}$$

Где G_t -сумма квадратов обновлений, ϵ -сглаживающий параметр, который необходим для избегания деления на 0. Результаты обучения представлены на рисунке 13

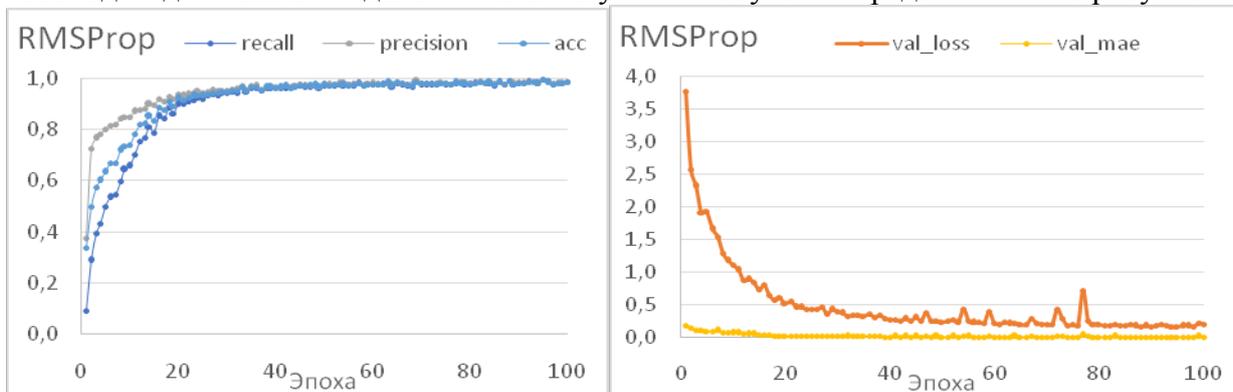


Рисунок 13 Качество обучения сети CaffeNet по алгоритму RMSProp

На данных графиках видно, что, начиная с 40 эпохи точность сети сводится к 100% за исключением случайных ошибок. Время обучения составило 52 часа.

Приведен анализ алгоритма среднеквадратического распределения. В данном алгоритме часто обновляющиеся веса так же обновляются меньше, но используется усредненный квадрат градиента, а не полная сумма обновлений. То есть используется затухающее экспоненциально бегущее среднее. Результаты обучения показаны на рисунке 14.

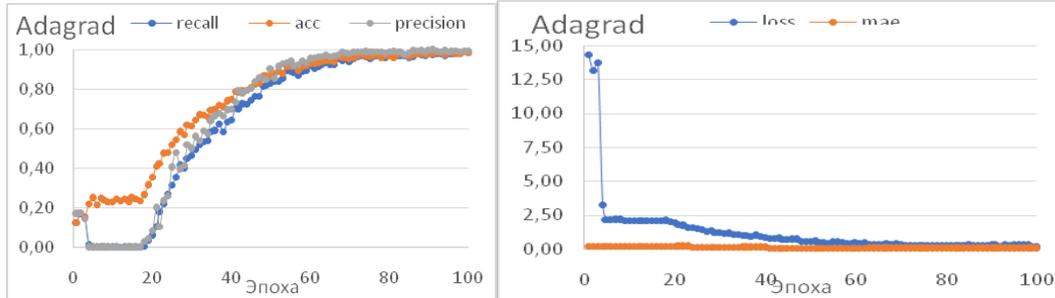


Рисунок 14 Качество обучения сети CaffeNet по алгоритму Adagrad

На данных графиках видно, что, начиная с 70 эпохи точность сети сводится к 100% за исключением случайных ошибок. Время обучения составило 19 часов.

Приведен анализ алгоритма по методу адаптивного обучения который отличается от RMSProp только тем что в числитель добавляется стабилизирующий член. Плюсом данного алгоритма является то что скорость обучения подбирать точно не обязательно, достаточно просто подобрать примерное значение. Результаты обучения показаны на рисунке 15.

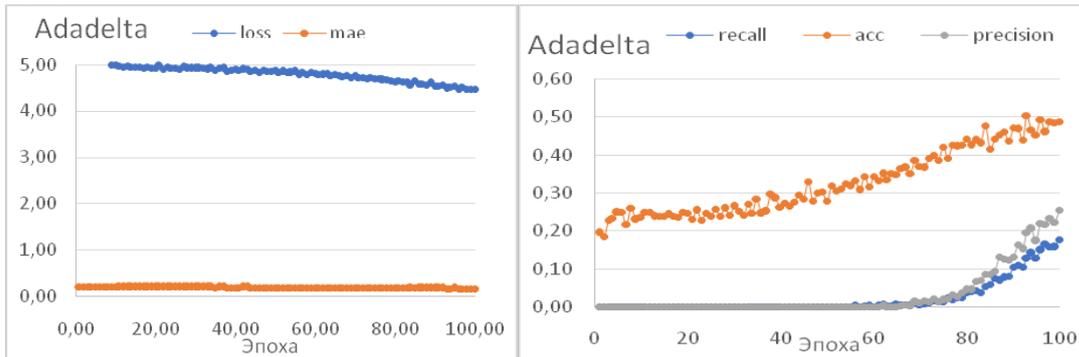


Рисунок 15 Качество обучения сети CaffeNet по алгоритму Adadelta

На данных графиках видно, что, сеть практически не обучилась, ее точность не достигла даже 60%. Время обучения составило 21 час.

Приведен анализ алгоритма построенного на оценке адаптивного момента. Данный алгоритм сочетает в себе сразу две идеи, идею слабого обновления весов и идею накопления движения для часто обновляемых признаков. В данном алгоритме происходит оценка средней нецентрированной дисперсии. Результаты обучения показаны на рисунке 16.

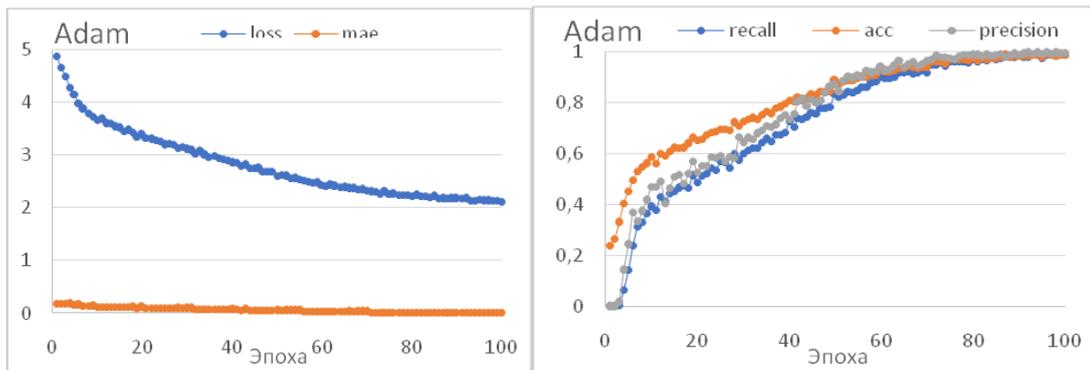


Рисунок 16 Качество обучения сети CaffeNet по алгоритму Adam

На данных графиках видно, что, сеть хорошо обучилась, ее точность достигла 98,9% уже на 50 эпохе. Время обучения составило 27 часов.

Приведен анализ алгоритма, построенного на инерционном моменте распределения. Данный алгоритм вместо дисперсии использует инерционный момент распределения градиентов произвольной степени. Результаты обучения показаны на рисунке 17.

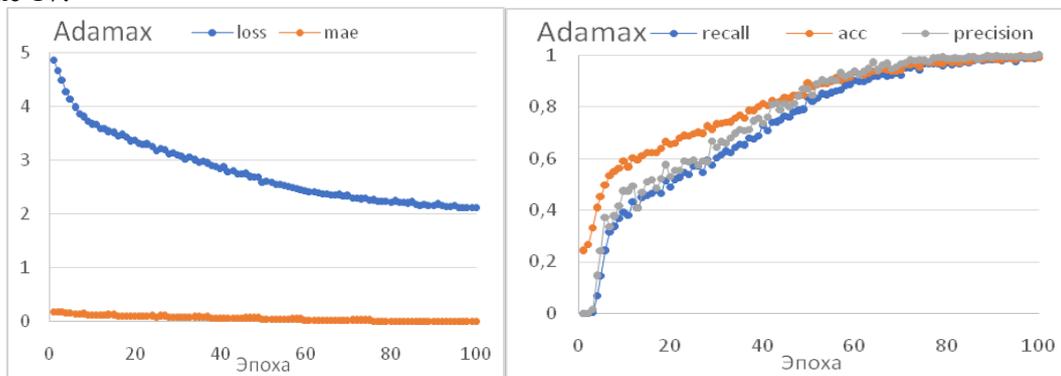


Рисунок 17 Качество обучения сети CaffeNet по алгоритму Adamax

На данных графиках видно, что, сеть практически обучилась, ее точность достигла 97,25% уже на 70 эпохе. Время обучения составило 20 часов.

Заключение

Из приведённого выше анализа следует, что решение задачи классификации дефектов топологии интегральных микросхем является актуальным. Это позволит улучшить показатели надежности приборов, в состав которых входят интегральные микросхемы.

В данной статье был проведен сравнительный анализ существующих методов классификации изображений (K-ближайших соседей, при помощи нейронной сети прямого распространения и сверточной нейронной сети), моделей различных нейронных сетей (AlexNet, CaffeNet, VGGNet, GoogLeNet) и инструментов для их использования (Caffe, Keras+Theano, Torch, Keras+ TensorFlow) а также алгоритмов обучения нейронных сетей (SGD, RMSProp, Adadelta, Adagrad, Adam, Adamax).

В результате проведенного сравнительного анализа было установлено, что недостатком метода K-ближайших соседей является необходимость сохранения огромной базы эталонов и сравнения входного изображения с каждым из базы данных, и также высокая восприимчивость этого метода к поворотам, положению объектов на поле классификатора и масштабированию. К недостаткам нейронных сетей прямого распространения можно отнести большое количество обучаемых параметров и низкая скорость обучения, отсутствие возможности распараллеливания вычислений и реализации

алгоритмов обучения сети на графических процессорах (GPU) и восприимчивость к сдвигу позиции объекта во входных данных.

С учетом вышеуказанных факторов, в качестве основного подхода к построению системы компьютерного зрения в приложении задачи классификации дефектов микросхем были выбраны свёрточные нейронные сети, т.к. свёрточные нейронные сети обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Из библиотек для работы с нейронными сетями была выбрана Keras, а в качестве бекендной библиотеки необходимо использовать библиотеку Theano, так как данный инструмент показал наилучшие временные и точностные показатели.

Из алгоритмов обучения, наилучшие показатели по скорости и качеству обучения сети показал алгоритм Adagrad, поэтому именно его рекомендуется использовать в задачи классификации топологии интегральных микросхем.

Литература

1. Yann LeCun, J. S. Denker, S. Solla, R. E. Howard and L. D. Jackel: Optimal Brain Damage, in Touretzky, David (Eds), Advances in Neural Information Processing Systems 2 (NIPS*89), Morgan Kaufman, Denver, CO, 1990.
2. Балухто А.Н., Булаев В.И., Власов А.И. и др. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений - Москва, Изд-во Радиотехника. 2003. Сер. Библиотека журнала "Нейрокомпьютеры: разработка, применение". Том 7. 192 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика, 1992 – 184с.
4. Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В. Нейросетевые методы дефектоскопии печатных плат // Электронные компоненты. 2004. № 8. С. 148-155.
5. Буянов А.И., Власов А.И., Загоскин А.В. Применение нейросетевых методов при дефектоскопии печатных плат // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2002. № 3. С. 42-70.
6. Панфилова С.П., Власов А.И., Гриднев В.Н., Червинский А.С. Бесконтактный тепловой контроль электронно-вычислительных средств // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. № 6 (72). С. 42-49.
7. Панфилова С.П., Власов А.И., Гриднев В.Н., Червинский А.С. Бесконтактный тепловой контроль изделий электронной техники // Производство электроники. 2007. № 3. С. 25-30.
8. Гриднев В.Н., Сергеева М.Д., Чебова А.И. Линейные модели распознавания тепловизионных изображений неисправностей электронных ячеек // Контроль. Диагностика. 2014. № 8. С. 57-66.
9. Семенцов С.Г., Гриднев В.Н., Сергеева Н.А. Тепловизионные методы оценки влияния температурных режимов на надежность электронной аппаратуры // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2016. № 1 (106). С. 3-14.
10. Амирханов А.В., Аристов Р.С., Власов А.И., Гладких А.А., Захарченко А., Макаруч В.В. Использование современных моделей искусственных нейронных сетей для анализа дефектов при изготовлении субмикронных СБИС // Наноиндустрия. 2017. № Спецвыпуск (74). С. 395-406.
11. Власов А.И. Аппаратная реализация нейровычислительных управляющих систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 1999. № 2. С. 61-65.
12. Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А., Кузнецов А.С. Нейрокомпьютеры: архитектура и схемотехника - Москва, Изд-во Машиностроение. 2000. 64 с. Сер. Приложение к журналу "Информационные технологии". Том. 9.
13. Дж. Ту, Р. Гонсалес Принципы распознавания образов - Москва, Издательство «Мир». 1978.

14. Прохоров В.Г. Использование сверточных сетей для распознавания рукописных символов - Институт программных систем НАН Украины, 2004.
15. Классификация изображений без использования нейронных сетей. Эл. публ. Режим доступа: <http://cs231n.github.io/classification/>.
16. CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition: ImageClassification. Эл. публ. Режим доступа: <http://cs231n.github.io/classification/>.
17. Рысьмятова А.А. Использование сверточных нейронных сетей для задачи классификации текстов - Выпускная квалификационная работа. Москва, 2016. Режим доступа: http://www.machinelearning.ru/wiki/images/c/c7/2016_417_RysmyatovaAA.pdf.
18. Садовников П.С. Методы оптимизации нейронных сетей. Эл. публ. Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/318970/>.

ОБЗОР МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА AVR ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Вьюгин А.М., Маковой А.М.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Глушко А.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

REVIEW OF MICROCONTROLLERS OF THE AVR FAMILY APPLICATIONS AND MODELING METHODS.

V'ugin A.M., Makovey A.M.

Supervisor: Ph.D., Assoc. Dr., Glushko A.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются понятия микропроцессора и микроконтроллера. Подробно исследованы возможности микроконтроллера серии AVR.. Кратко описаны функциональные особенности данной линейки микроконтроллеров. В заключении представлены рекомендации по их использованию.

Abstract

In the article the concepts of microprocessor and microcontroller are discussed. The possibilities of AVR series microcontroller are studied in detail. The functional features of the AVR microcontroller are briefly presented. In conclusion, recommendations on the use of these microcontrollers are presented.

Введение

В современной электронике микропроцессором называют специальную микросхему, которая предназначена для выполнения некоего набора сложных функций по управлению тем либо иным электронным устройством. Микропроцессоры имеют широкое распространение в бытовой электронике, военной промышленности, автомобилестроении.

В классической микропроцессорной системе используется отдельная микросхема процессора, отдельные микросхемы памяти и отдельные порты ввода вывода. С течением времени были разработаны микросхемы, которые объединяют в себе сразу все элементы микропроцессорной системы. Такие элементы называются микроконтроллерами. Для однокристалльных микроконтроллеров понятие «центральный процессор» не употребляется, так как процессор считается отдельным устройством. Функции процессора в микроконтроллере заменяет арифметико-логическое устройство. Кроме того, микроконтроллер содержит в своем составе: порты ввода-вывода, тактовый генератор, память данных, память программ[1].

Все эти элементы соединены между собой внутренними шинами данных и адреса. С внешними устройствами микроконтроллер взаимодействует при помощи портов ввода-вывода. Любой микроконтроллер всегда имеет один или несколько портов. Кроме того, современные микроконтроллеры имеют встроенную систему прерываний, встраиваемые программируемые таймеры, компараторы, цифроаналоговые преобразователи и многое другое.

Основные требования, которые потребители предъявляют к управляющим блокам приборов (микроконтроллерам) можно сформулировать следующим образом:

- низкая стоимость,
- высокая надежность,

- высокая степень миниатюризации,
- малое энергопотребление,
- работоспособность в жестких условиях эксплуатации;
- достаточная производительность для выполнения всех требуемых функций.

В отличие от универсальных компьютеров к управляющим контроллерам, как правило, не предъявляются высокие требования к производительности и программной совместимости[2].

Выполнение всех этих довольно противоречивых условий одновременно затруднительно, поэтому развитие и совершенствование техники пошло по пути специализации, и в настоящее время количество различных моделей управляющих микроконтроллеров чрезвычайно велико.

Существует несколько популярных семейств микроконтроллеров, которые используются для различных целей. Наиболее распространенными из них являются семейства микроконтроллеров 8051, PIC и AVR[3].Ниже более подробно речь пойдет о семействе микроконтроллеров AVR.

Микроконтроллеры семейства AVR

Прежде всего, микроконтроллеры этой серии являются быстрыми. Большинство инструкций процессор микроконтроллера выполняет за один цикл. Микроконтроллеры AVR примерно в 4 раза быстрее, чем PIC. Кроме того, они потребляют немного энергии и могут работать в 4 режимах экономии энергии.

Большинство контроллеров AVR являются 8-разрядными, хотя сейчас существует и 32-разрядная разновидность контроллеров AVR32. Кроме того, как уже упоминалось выше, AVR принадлежат к типу RISC-микроконтроллеров. Архитектура RISC означает, что набор инструкций, которые может выполнять процессор устройства, является ограниченным, но, в то же время, подобная архитектура дает преимущество в скорости. Противоположностью архитектуры RISC является архитектура CISC (ComplexInstructionSetComputers) [4].8-битность контроллера означает, что он способен передавать и принимать 8-битные данные. Доступные регистры ввода/вывода также являются 8-битными.

Архитектура контроллера основана на регистрах. Это означает, что для хранения исходных данных операций и ее результата в контроллере используются регистры.

Процессор контроллера считывает данные из двух входных регистров, выполняет логическую операцию и сохраняет результат в выходном регистре. Все это занимает 1 исполняемый цикл.

Микроконтроллеры "mega", "xmega" и 32-bit AVR применяются в более сложных устройствах:

- робототехника;
- спутниковые навигационные системы;
- функциональные разрядно-зарядные устройства с программированием;
- сложные дистанционные системы управления;
- сетевые устройства;
- быстродействующие системы для передачи и обработки данных;
- сложная бытовая техника;
- другие многофункциональные устройства.

Порядок работы с микроконтроллером при разработке устройства

При разработке устройства на микроконтроллере необходимо поставить техническое задание на разрабатываемое устройство, определиться, какую именно функцию устройство должно выполнять. После этого следует составить схему принципа работы для облегчения процесса написания программы. Разбить задачи на мелкие подзадачи. После разбивки необходимо посмотреть, какие модули необходимо использовать из доступных модулей микроконтроллера: модуль АЦП, USART, USB, I2C, SPI и т.д. Лучше всего составить список модулей, которые будут использованы. После этого нужно посмотреть документацию на микроконтроллеры, удовлетворяющие требованиям технического задания, чтобы выбрать модель микроконтроллера для устройства[5].

Пример моделирования устройства на Atmega8 в среде Proteus

Разрабатываемое устройство предназначено для обучения работы с микроконтроллером Atmega8, поскольку присутствует работа на вход и выход портов микроконтроллера. Устройство представляет собой бегущую строку из светодиодов. При нажатии на кнопку световая дорожка начинает бежать в обратном направлении.

Программа, определяющая работу микроконтроллера, может быть написана на языках программирования Си или Assembler.

После написания программы необходимо проверить корректность ее работы в среде Proteus. Электрическая принципиальная схема модели устройства в Proteus представлена на рисунке 1.

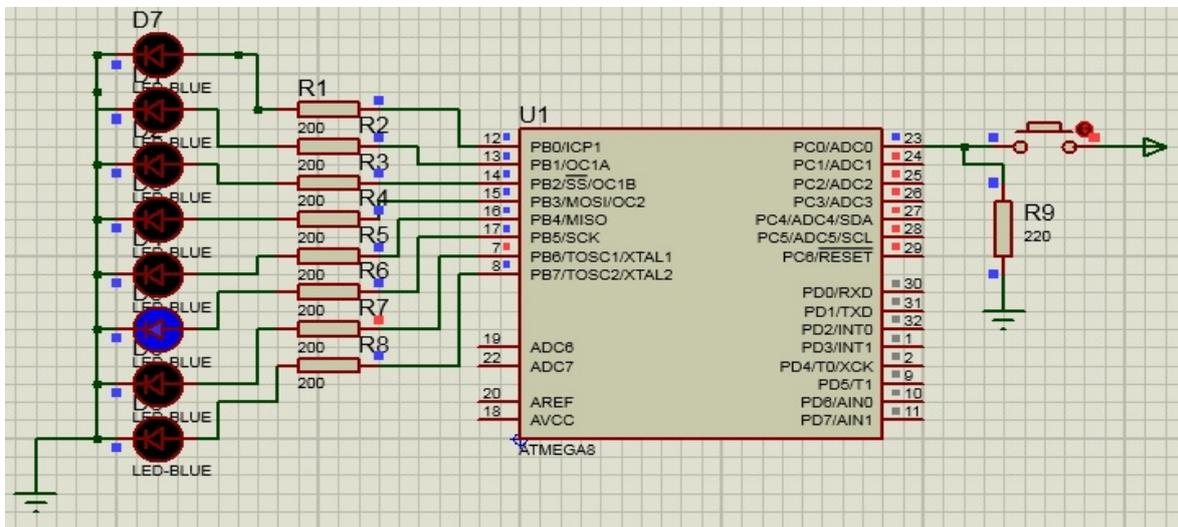


Рисунок 1 – электрическая схема бегущей световой дорожки в программной среде Proteus

Для моделирования устройств на микроконтроллерах AVR была использована программа Proteus, так как в ней существуют все необходимые библиотеки для создания полноценного электронного устройства. Для удобства написания программы используют различные компиляторы, такие как WinAvr (бесплатно), AvrStudio4 (бесплатно), AvrStudio6 (бесплатно), CodeVisionAVR (платно), IAR (платно). Наиболее широкое распространение получили студии AvrStudio4 и AvrStudio6, так как они имеют удобный и понятный интерфейс.

Как видно из рисунка 1, схема успешно заработала это означает, что данное устройство вполне можно собрать и рассчитывать на его корректную работу.

На дальнейшем этапе работы с микроконтроллерами семейства AVR предстоит изучение работы микроконтроллера с LCD дисплеем с использованием необходимых библиотек, а также задействование АЦП в данном микроконтроллере для преобразования входных аналоговых сигналов в цифровой код для его последующей обработки, данные свойства пригодятся для различных измерительных устройств собранных на микроконтроллере (вольтметр, амперметр, термометр и т.д.).

Выводы

В качестве преимуществ микроконтроллеров AVR можно выделить тот факт, что для AVR не существует понятия машинного цикла: большинство команд выполняется за один такт. Для сравнения отметим, что пользующиеся большой популярностью МК семейства PIC выполняют команду за 4 такта, а классические 8051 — за 12 тактов. Также существенным преимуществом является, что семейство AVR рекомендуется для начинающих радиолюбителей-практиков, в силу простоты и универсальности устройства, простоты структуры для различных типов контроллеров, простоты схемотехники и программирования (в данном случае под "программированием" понимается процесс написания прошивки и записи программ в микросхему).

Литература

1. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – Санкт-Петербург: Наука и техника – 2005г.
2. Белов А.В. Самоучитель по микропроцессорной технике. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Наука и техника – 2007г.
3. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. – Изд. 2-е доп. и перераб. – Санкт-Петербург: Наука и техника – 2010 г.
4. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel/Мировая электроника – изд. 5 – М.:Издательский дом «Додэка-XXI». – 2008 г
5. Горелков Р. AVR-микроконтроллеры с ультранизким потреблением// Компоненты и технологии 2006 №12.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ДЕГРАДАЦИИ НА АВТОЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАЛОВЫХ СТРУКТУР

Ясакова П. В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Панфилова Е.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

MULTIPHYSICS TRANSFORMATION IN MULTISCALE MODELLING OF MOEMS

Yasakova P. V.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor, Panfilova E.V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается влияние процесса деградации на автоэмиссионные характеристики тонкопленочных структур, осажденных на поверхность опаловой матрицы. Проведен анализ экспериментальных данных и составлена математическая модель влияния времени на автоэмиссионные характеристики холодных катодов. Проведено исследование образцов многослойных структур на опаловых матрицах и анализ влияния времени исследования вольт-амперных характеристик на структуры.

Abstract

The influence of the degradation process on field emission characteristics of thin film structures deposited on the surface of an opal matrix is considered. The analysis of experimental data is analyzed and a mathematical model of the influence of time on the field emission characteristics of cold cathodes is compiled. A study was made of samples of multilayer structures on opal matrices and an analysis of the influence of the time of studying the current-voltage characteristics on structures.

Введение

Возможность практического применения автокатодов в значительной степени определяется стабильностью их автоэмиссионных свойств [1] в процессе эксплуатации. Несмотря на интенсивные исследования в этой области, актуальными остаются задачи, связанные с изучением стабильности разнообразных автоэмиссионных структур и определения механизмов их деградации в зависимости от экспериментальных условий.

На основании результатов и экспериментального следования структурных автоэмиссионных характеристик нанографитных холодных катодов, представленных в [2] была разработана представленная ниже математическая модель, описывающая влияние времени на автоэмиссионные характеристики катодов. Соответственно возникла задача оценки значимости эффекта деградации опаловых автоэмиссионных структур при их исследовании в условиях лаборатории.

1 Анализ экспериментальных данных и составление математической модели влияния времени на автоэмиссионные характеристики катодов

Представленные в работе [2] экспериментальные исследования автоэмиссионных свойств нанографитных материалов позволяют сделать вывод о влиянии времени и межэлектродного расстояния на автоэмиссионные характеристики катодов. Для оценки степени этого влияния нами была использована методика полного факторного эксперимента. В этом случае учитывается влияние на функцию отклика исследуемого процесса не только каждого рассматриваемого в эксперименте фактора в отдельности, но и их взаимодействий. В качестве выходного параметра Y была выбрана плотность автоэмиссионного тока, в качестве варьируемых входных факторов использовались время

приложения постоянного напряжения и межэлектродное расстояние. Диапазоны варьирования входных факторов представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Уровень	Время, [мин], X ₁	Межэлектродное расстояние, [мкм], X ₂	В безразмерной системе координат уровни факторов
Верхний	9.5	1000	+1
Нижний	0.5	50	-1

После выполнения соответствующих методике полного факторного эксперимента расчетов и статистических проверок была получена следующая математическая модель:

$$Y = 0.776 - 0.274 X_1 + 0.355 X_2 - 0.055 X_1 X_2$$

Влияние межэлектродного расстояния на плотность автоэмиссионного тока было очевидным, однако оказалось, что влияние времени приложения постоянного напряжения к зазору столь же существенно. Этот факт заслуживает внимания не только при эксплуатации автоэмиссионных устройств, но и при их исследовании.

2 Исследование образцов многослойных опаловых структур и анализ влияния времени на их автоэмиссионные характеристики

В предыдущем разделе показано, что исследование вольт-амперных характеристик эмиссионных структур может привести к их деградации. В связи с этим была поставлена задача оценки существенности этого явления при исследовании автоэмиссионных опаловых структур в условиях лаборатории. Были проанализированы результаты исследования ранее полученных многослойных структур медь-опал-медь-углерод методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) [3] (рис. 1 и 2). В процессе исследования в разных точках проводили несколько последовательных измерений показания тока с временным интервалом равным 1 минуте.

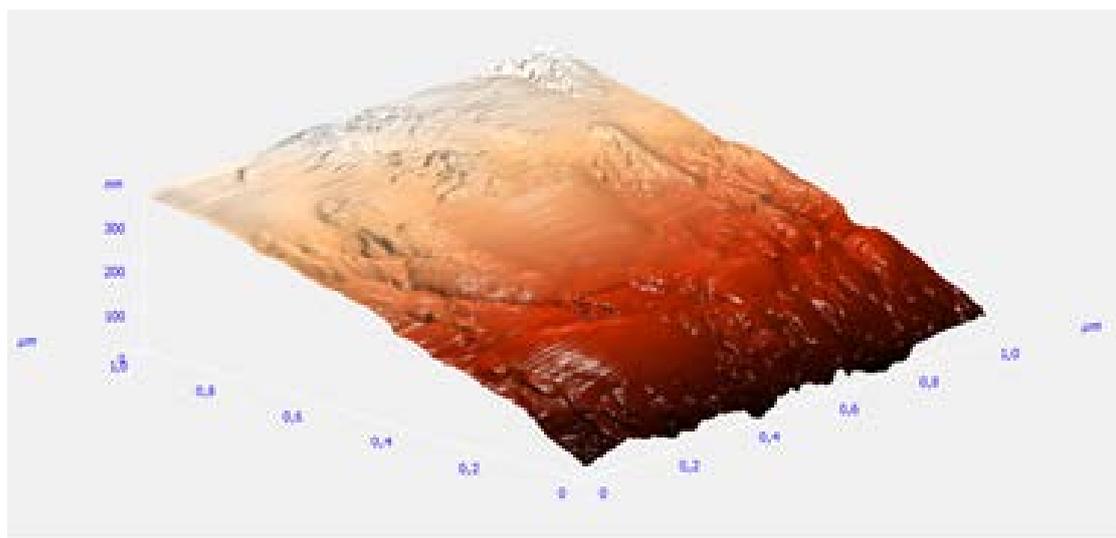


Рисунок 1 - Изображение поверхности образца, полученное с помощью сканирующего туннельного микроскопа

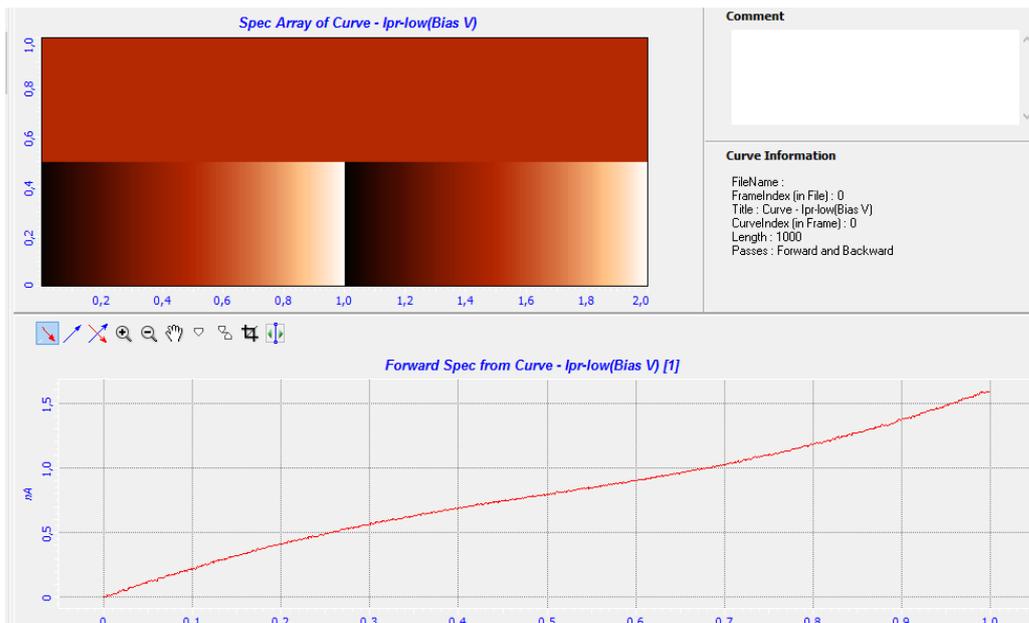


Рисунок 2 – Исследование вольт-амперных характеристик образцов методом СТМ

На рисунке 3 представлены полученные в трех точках образца значения тока в зазоре зонд-образец при исследовании образца в течение 9 минут.

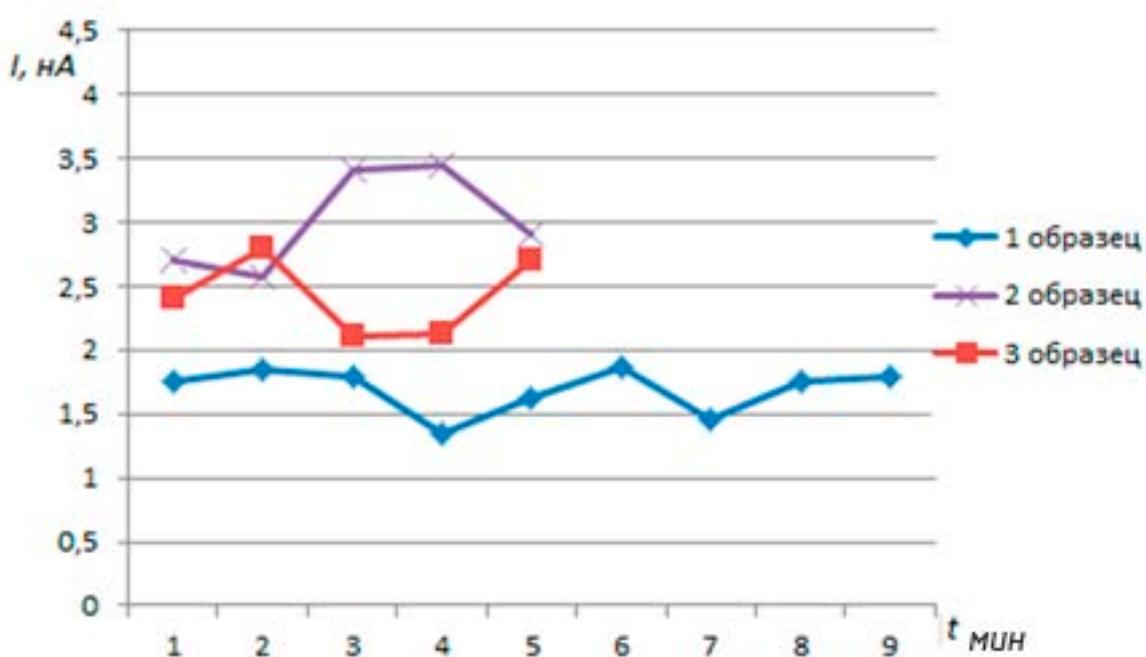


Рисунок 4 – Исследование эффекта деградации многослойной опаловой структуры

Дисперсионный анализ представленных результатов свидетельствует о том, что при проведении измерений методом сканирующей туннельной микроскопии в условиях лаборатории, не происходит снижения эмиссионной способности и падения тока со временем, т.е. эффект деградации не наблюдается. Следовательно время, в течение которого производится исследование, не значимо.

Заключение

Метод сканирующей туннельной микроскопии хорошо зарекомендовал себя при изучении опаловых структур. Существенным его недостатком является продолжительное время исследования. Тем более, что анализ результатов исследования вольт-амперных характеристик нанографитных холодных катодов, полученных в работе [2], свидетельствует о значимом влиянии времени приложения напряжения к зазору на изменение плотности автоэмиссионного тока.

Однако представленные в настоящей работе результаты позволяют сделать вывод о том, что используемая нами методика СТМ-исследования опаловых структур не приводит к их деградации и может быть использована не только для изучения поверхности образцов, но и их вольт-амперных характеристик.

Литература

1. Елинсон, М.И. Автоэлектронная эмиссия [Текст]/ М.И. Елинсон, Г.Ф. Васильев, Под ред.Зернова Д.В. – М.: «Гостехиздат», 1958. – 272 с.
2. Смольникова Е.А. Исследование структурных и автоэмиссионных характеристик нанографитных холодных катодов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. – Москва: МГУ им. М.В.Ломоносова. 2015. – 146 с.
3. Панфилова Е.В., Сырицкий А.Б., Доброносова А.А. Применение методов сканирующей зондовой микроскопии в исследовании опаловых наноструктур / Панфилова Е.В., Сырицкий А.Б., Доброносова А.А. // Наноинженерия, 2018, 11 с.

**МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛИ КНИ МОП-ТРАНЗИСТОРА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ TCAD**

Яшин Г.А.

Научные руководители: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.

Российская федерация, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ-4

к.т.н. Глушко А.А.

Российская федерация, Москва, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

**THE METHOD OF OBTAINING THE STATISTICAL DISTRIBUTION OF
PARAMETERS SPICE-MODEL SOI MOS TRANSISTOR WITH THE USE OF CAD
FOR INSTRUMENT-TECHNOLOGICAL MODELING TCAD**

Yashin G.A.

Supervisors: Ph. D., Associate Professor Makarchuk V.V.

Moscow, Russia, Bauman MSTU

Ph. D. Glushko A.A.

Russia, Moscow, SRISA RAS

Аннотация

Разработана методика получения статистического распределения параметров SPICE-модели HISIMSOI 1.30 на примере КНИ МОП-транзистора А-типа по данным, полученным в результате приборно-технологического моделирования в среде TCAD. Изложены теоретические основы построения модели КНИ МОП-транзистора на примере конструктива МОП-транзистора А-типа. Приведена последовательность шагов по экстракции статистических значений параметров его SPICE-модели и набор типоразмеров транзисторов для нее.

Abstract

A technique for extracting the statistical values of the SPICE-model HISIMSOI 1.30 parameters of the A-type MOSFET has been developed from the data obtained as a result of the instrument-technological simulation in the TCAD environment. The theoretical foundations of the construction of the MOS model of a MOS-transistor are described using the example of a MOSFET A-type construction. The sequence of steps for extraction of statistical values of parameters of its SPICE-model and a set of sizes of transistors for it are resulted.

При разработке СБИС в процессе электрической верификации необходимо проверить, остается ли схема работоспособной при вариации технологического процесса изготовления МОП-транзисторов, и соответственно, изменении электрических характеристик этих транзисторов.

Для моделирования технологического разброса в SPICE-симуляторе используют два подхода – угловой анализ (англ. corner analysis [2]) и метод Монте-Карло.

Первый подход заключается в создании карт моделей с граничными параметрами, соответствующими максимальным отклонениям параметров технологического процесса. Обычно эти отклонения равны 3σ [2], но для более критических схем, таких как схемы памяти, это отклонение принимают равным не менее 7σ [2]. Для МОП-транзисторов существует 5 наборов параметров: типичный (typical) – транзисторы n- и p- типа имеют стандартный набор параметров, полученный по “идеальному кристаллу” (англ. golden crystal); быстрый NMOS и быстрый PMOS (ff) – параметры, при которых оба типа транзистора имеют максимальное быстродействие; медленный NMOS и медленный PMOS (ss) – параметры, при которых оба типа транзистора имеют минимальное быстродействие; два оставшихся набора – когда попеременно используются транзисторы одного типа проводимости с медленным быстродействием, а другой тип проводимости – с высоким быстродействием. Данный метод позволяет оценить работоспособность проектируемых

схем в экстремальных случаях, без запуска большого количества расчетов, требующих значительных временных затрат. Также, очень часто при использовании данного метода помимо технологического разброса используют еще и предельно допустимые значения температуры и напряжения питания.

Второй метод заключается в запуске множественных расчетов схемы со случайным набором параметров модели в соответствии с определенным законом распределения, наиболее часто используемые – нормальное и равномерное распределения. Рассматриваемый метод требует запуска большого количества расчетов, однако позволяет выявить такой набор значений параметров, который ведет к отсутствию работоспособности схемы, но не входит в набор параметров углового анализа.

При разработке новой технологии или модификации существующей, необходимо помимо стандартных электрических характеристик транзистора определить технологический разброс этих характеристик для дальнейшего построения компактной модели с учетом статистики. Это необходимо для использования ее при моделировании комплексной схемы. Однако, в большинстве случаев не удается получить полный набор экспериментальных статистических данных для построения модели.

В настоящей работе для получения полного набора статистики используется трехмерная приборно-технологическая модель, которая учитывает разброс технологических параметров при изготовлении транзистора на примере транзистора А-типа по технологии КНИ КМОП с минимальной проектной нормой 0.35 мкм. На основе этих данных методом BPV, описанным в [2], строится компактная модель КНИ МОП-транзистора с учетом статистической вариации электрических параметров транзисторов.

Целью данной работы являлась разработка методики получения статистического распределения параметров модели HISIMSOI1.30 МОП-транзистора А-типа с минимальной проектной нормой 0.35 мкм с использованием пакета приборно-технологического моделирования TCAD Sentaurus и оптимизационного пакета IC-CAP для последующего схемотехнического моделирования в пакете Virtuoso Cadence и SPICE-симуляторе Spectre.

Конструкция транзистора А-типа

N-канальный МОП-транзистор с конфигурацией затвора А-типа, приборно-технологическая модель которого изображена на рисунках 1 и 2, представляет собой КНИ МОП-транзистор, имеющий подключение его кармана к истоку при помощи слоя силицида титана $TiSi_2$ через специальные легированные области. В результате в такой конструкции возможность подачи на карман потенциала, отличного от потенциала истока, исключена, что позволяет избежать эффектов плавающей подложки. Однако отсутствие отдельного контакта к карману МОП-транзистора в этом случае не позволяет получить полный набор кривых для экстракции параметров модели.

Модель HISIMSOI 1.30

Модель HISIMSOI 1.30 является SPICE-моделью МОП-транзисторов, изготовленных по технологии КНИ с минимальной проектной нормой более 65 нм [4]. Она является представителем 4-го поколения моделей транзисторов, моделирование электрических характеристик которых основано на вычислении поверхностного потенциала. Данное поколение транзисторов максимально близко подходит к идеалу компактных моделей МОП-транзисторов – минимальный набор не коррелирующих между собой параметров, которые имеют явный физический смысл и явное влияние на электрические характеристики транзисторов в сочетании с быстрым моделированием. Рассматриваемая модель обладает единым выражением для тока во всех режимах работы, что достигается без использования сглаживающих функций. Модель учитывает эффекты короткого и узкого каналов, имеет температурные зависимости для всех режимов работы в соответствии с физикой полупроводниковых МОП-структур.

Метод BPV (Backward Propagation of Variance)

Данный метод построения статистической модели МОП-транзистора заключается в нахождении минимального набора не коррелирующих между собой параметров исходной модели. Найденные параметры должны оказывать максимальное влияние на целевые электрические характеристики. На заключительном этапе производится построение распределения целевых электрических характеристик модели на основе заранее известного распределения этих характеристик[2].

Для КНИ МОП-транзисторов, выполненных по технологии с минимальной проектной нормой 0.35 мкм, такими характеристикам являются: пороговое напряжение V_{th} и ток открытого транзистора I_{on} . Пороговое напряжение V_{th} определяется по методике постоянного тока на уровне 10^{-7} А на переходной характеристике при напряжении на стоке 0.1В. Ток открытого транзистора определяется как ток транзистора при напряжении на затворе и на стоке 3.3В. Данные параметры находятся для 4-х угловых типоразмеров транзистора – минимальная длина и минимальная ширина, максимальная длина и максимальная ширина, минимальная длина и максимальная ширина, максимальная длина и минимальная ширина.

Согласно [1], для модели HISIMSOI1.30 минимальным набором не коррелирующих между собой параметров, оказывающих максимальное влияние на электрические характеристики, являются следующие параметры: поверхностная концентрация NSUBS, параметр подвижности MUESR0, отвечающий за вариацию рассеяния носителей на поверхностных шероховатостях, сокращение длины канала транзистора XWL и ширины канала транзистора XWD. Этих 4-х параметров достаточно для моделирования вариации электрических характеристик технологии 0.35 КНИ КМОП в модели HISIMSOI1.30 [1].

В работе предлагается выполнить расчет электрических характеристик при помощи САПР приборно-технологического моделирования и параметров их статистического распределения. Затем следует выполнить оптимизацию по критерию минимальной суммы квадратов отклонений результатов приборно-технологического моделирования от результатов, получаемых в модели HISIMSOI1.30

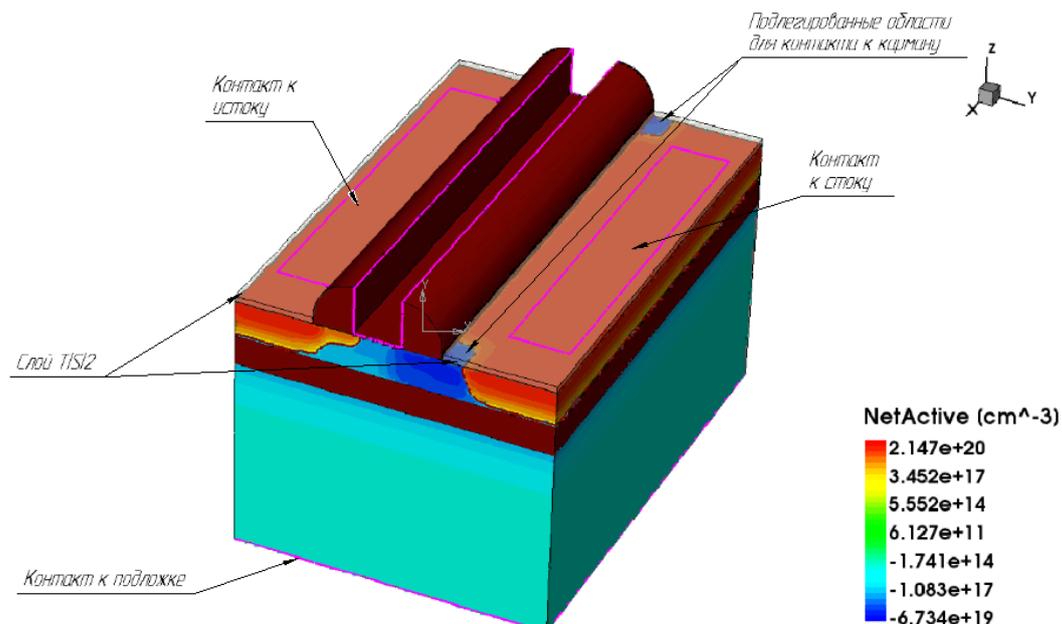


Рисунок 1 –Трехмерная структура *n*-канального МОП-транзистора А-типа (интенсивность оттенков серого в области отсеченного кремния соответствует степени легирования)

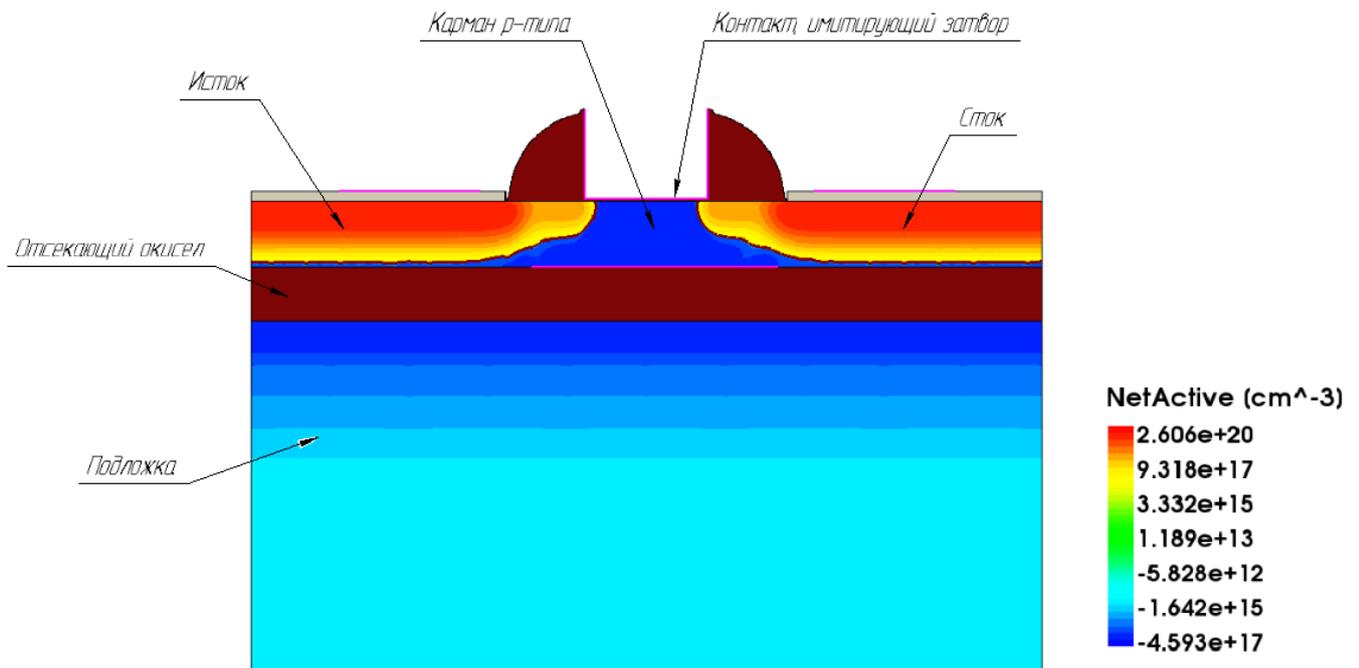


Рисунок 2 – Вертикальный профиль КНИ МОП-транзистора с затвором А-типа

Получение параметров статистического распределения характеристик в TCAD Sentaurus

Система приборно-технологического моделирования TCAD Sentaurus позволяет получить электрические характеристики полупроводникового прибора при моделировании структуры с различными технологическими отклонениями, такими как: изменение толщин масочных слоев перед различными стадиями ионной имплантации, колебания времени и температуры при термическом отжиге и окислении, изменение толщины осажденных слоев, различные вариации длины и ширины характерных элементов в результате случайных вариаций процессов травления и оптической литографии, и т. д.

Если после анализа технологического процесса известны параметры, влияющие на электрические характеристики транзистора, известно, как они влияют качественно, а также известны их статистические характеристики (среднеквадратическое отклонение), возможно найти максимальные отклонения (3σ) характеристик транзистора и построить на основе этих отклонений статистические модели транзисторов.

Таблица 1 – Изменяемые параметры технологии

Параметр	Быстрый транзистор (fast), 3σ	Медленный транзистор (slow), 3σ
Толщина масочного слоя перед имплантацией кармана	+15Å	-15Å
Температура термического окисления при формировании окисла перед имплантацией LDD	-5°C	+5°C
Температура термического окисления при формировании подзатворного окисла	-5°C	+5°C
Длина затвора	-0.06 мкм	+0.06 мкм
Ширина затвора	+0.12 мкм	-0.12 мкм

В качестве изменяющихся параметров для транзистора, выполненного по технологии КНИ КМОП 0.35 используются следующие параметры: изменение толщины масочного слоя перед имплантацией кармана, изменение толщины масочного слоя перед имплантацией LDD, изменение температуры при формировании подзатвора окисла, изменение длины затвора транзистора, изменение ширины затвора транзистора [3]. А в таблице 1 перечислены все изменяемые параметры со знаком, который соответствует определенной модели углового анализа.

В результате проведения приборно-технологического моделирования с указанными отклонениями для *n*-канального МОП-транзистора, получены его вольт-амперные характеристики. На основе этих характеристик вычислены среднеквадратичные отклонения порогового напряжения и тока открытого транзистора для 4-х типоразмеров транзисторов с каналом *n*-типа. Эти среднеквадратичные отклонения и центры распределений приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры нормального распределения

L, мкм	W, мкм	Vth, В	Ids, А	$\sigma(Vth)$, В	$\sigma(Ids)$, А
0.35	3.5	0.4312	$1.847 \cdot 10^{-3}$	0.0211	$9 \cdot 10^{-5}$
0.35	0.6	0.4368	$3.16 \cdot 10^{-5}$	0.0221	$3.47 \cdot 10^{-5}$
10	3.5	0.4765	$1.75 \cdot 10^{-5}$	0.0046	$3.25 \cdot 10^{-6}$
10	0.6	0.4810	$3 \cdot 10^{-5}$	0.0058	$2.33 \cdot 10^{-6}$

Экстракция статистических параметров HISIMSOI 1.30

После получения параметров нормальных распределений для тока и порогового напряжения транзисторов, необходимо последовательно экстрагировать характеристики распределений параметров компактной модели. В таблице 3 приведена последовательность экстракции среднеквадратичных значений распределений параметров. Изначально экстрагированная модель уже содержит средние значения токов и напряжений, поэтому необходимо найти лишь среднеквадратичные отклонения. Для получения статистического распределения целевых электрических характеристик используется моделирование методом Монте-Карло в SPICE-симуляторе Spectre.

Таблица 3 – Экстракция среднеквадратичных значений нормальных распределений параметров модели

№ п/п	Типоразмер транзистора, W/L, мкм	Электрическая характеристика	Среднеквадратичное значение экстрагируемого параметра
1	3.5/10	Vth	$\sigma(NSUBS)$
2	3.5/10	Ids	$\sigma(MUESR0)$
3	3.5/0.35	Vth, Ids	$\sigma(XWL)$
4	0.6/0.35, 0.6/10	Vth, Ids	$\sigma(XWD)$

В результате экстракции были получены среднеквадратичные значения распределений параметров, указанные в таблице 4. На рисунках 3-6 указаны полученные модельные распределения параметров некоторых типоразмеров транзисторов в сравнении с распределениями, полученными с помощью приборно-технологической модели. Цифрой 1 указаны распределения компактной модели, а цифрой 2 – полученные из приборно-технологической модели.

Поскольку из модели TCAD мы получаем только значения среднеквадратичного отклонения и среднего значения, построить гистограмму для распределения, полученного из TCAD, не представляется возможным.

Таблица 4 – Полученные значения параметров

№	Параметр	Среднеквадратическое значение
1	NSUBS	$3,7 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$
2	MUESR0	10^{15}
3	XWL	$1,7 \times 10^{-8} \text{ мкм}$
4	XWD	$4,1 \times 10^{-8} \text{ мкм}$

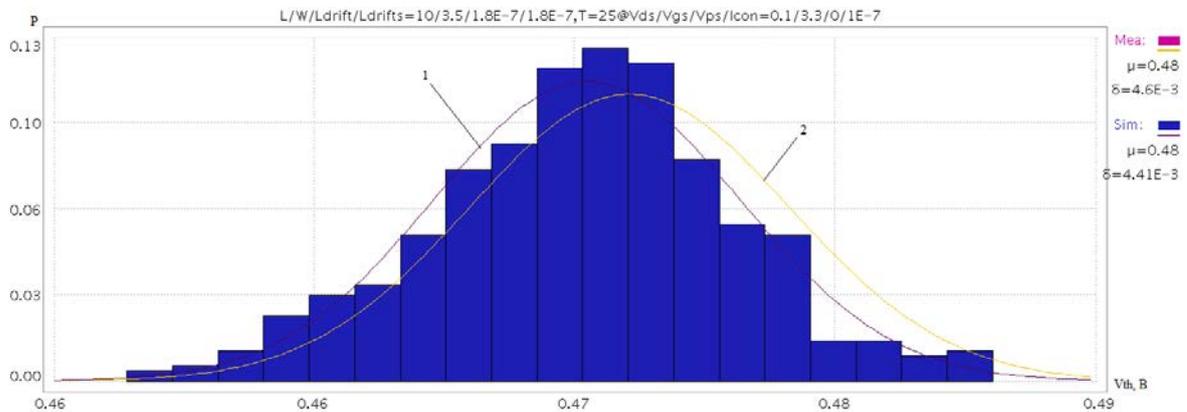


Рисунок 3 – Статистическое распределение порогового напряжения в МОП-транзисторе с $W/L=3.5/10$

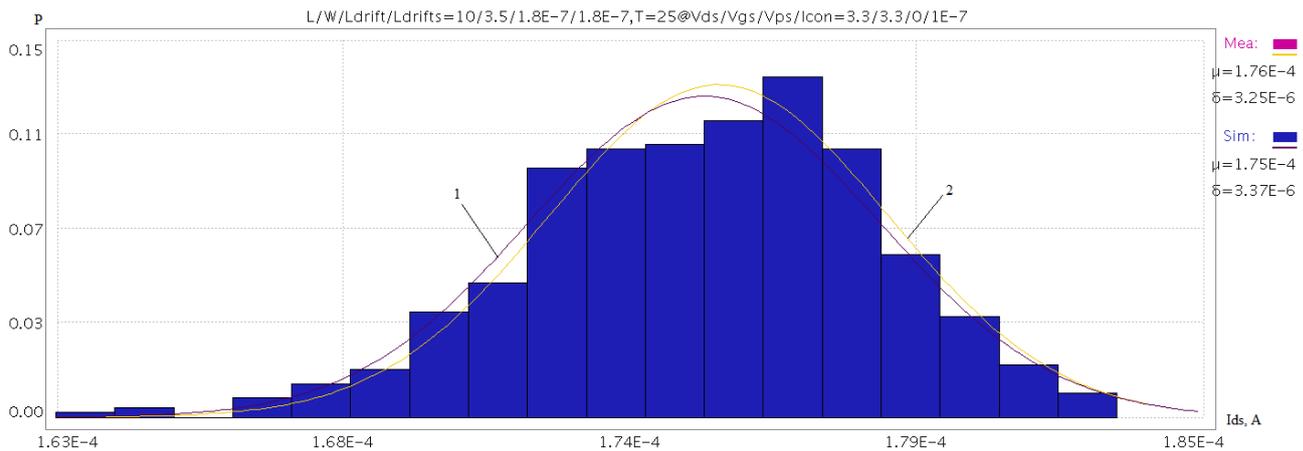


Рисунок 4 – Статистическое распределение тока насыщения для транзистора $W/L=3.5/10$

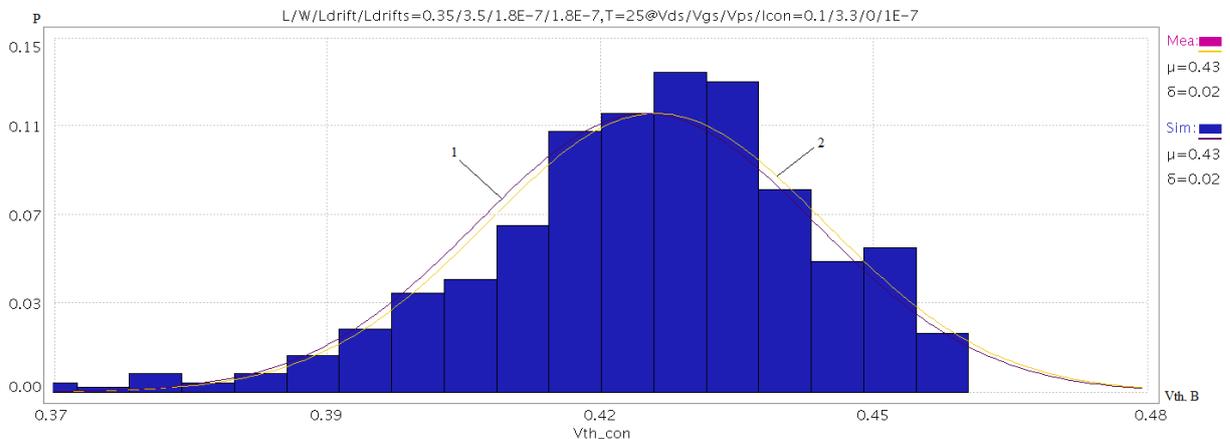


Рисунок 5 – Статистическое распределение порогового напряжения МОП-транзистора $W/L=3.5/0.35$

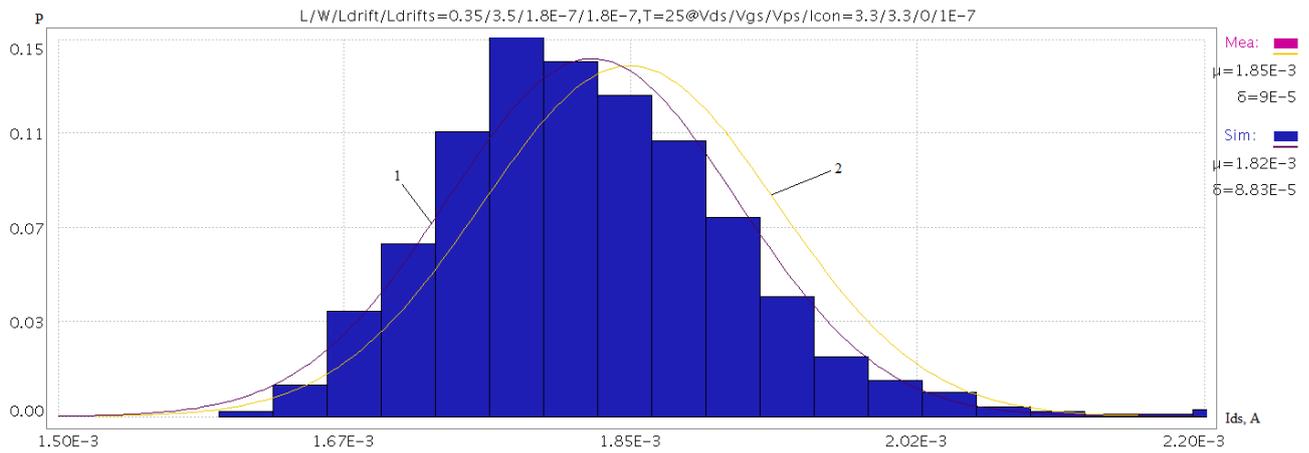


Рисунок 6 – Статистическое распределение тока насыщения МОП-транзистора W/L=3.5/0.35

Заключение

В соответствии с предложенной методикой было проведено приборно-технологическое моделирование в САПР TCAD и были получены параметры нормальных распределений порогового напряжения и тока при вариации технологического процесса КНИ КМОП транзисторов по технологии с минимальной проектной нормой 0.35 мкм. Методом BPV были получены характеристики нормальных распределений параметров для модели HISIMSOI 1.30 с учетом геометрических размеров, что позволило определить параметры статистической модели МОП-транзистора для использования в SPICE-симуляторе.

Литература

1. Hans J. Mattausch: Correlating Microscopic and Macroscopic Variation With Surface-Potential Compact Model - IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, VOL. 30, NO. 8, AUGUST 2009 – 3 с.
2. Samar K. Saha: Compact models for integrated circuit design. Conventional transistors and beyond - CRC Press Taylor & Francis Group 2016 – 537 с
3. Synopsys: Sentaurus™ Device User Guide -Version K-2017.09, September 2017. – 1494 с.
4. HiSIM SOI 1.3.0 User's Manual - Hiroshima University 2017 – 64с

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ

Зайцев А.С.

Научный руководитель: Цивинская Т.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ELECTROCHEMICAL ETCHING OF ALUMINIUM

Zaytsev A.S.

Supervisor: Tsivinskaya T.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается концепция электрохимического травления в применении к дизайну электронной аппаратуры. Описана методика формирования и получения рисунка на алюминиевом корпусе.

Abstract

This paper describes an idea and methods of electrochemical etching of aluminium in case of design of electronics and other stuff.

Введение

Электрохимическое травление – это физико-химический процесс электролиза металла. Данный процесс можно применить для разного рода визуальных и дизайнерский решений в оформлении электронной аппаратуры. В частном случае, с помощью электрохимического травления на поверхности металла можно легко получить какое-нибудь простое изображение. Или получить желаемый рельефа поверхности. Эта методика достаточно проста и доступна каждому [1-3].

В данной статье мы рассмотрим последовательность и методику электрохимического травления на конкретном примере изготовления алюминиевого корпуса для простого электронного устройства – гитарного эффекта «овердрайв» для электрогитары.

1 Подготовительные операции

Прежде всего требуется заранее определиться с рисунком и принт-макетом изготавливаемого изделия. Наиболее сложная часть заключается в процессе переноса рисунка на плату. Однако, стоит отметить, что данный процесс почти в точности повторяет перенос рисунка на плату перед травлением текстолита.



Рисунок 1 – Подготовка заготовки и принт-макета

Сначала необходимо нарисовать принт-макет нашего устройства. Сделать это можно в любом современном САПР, будь то Fusion 360, AutoCad или КОМПАС3Д, но можно использовать и программы попроще, например Splan. Затем необходимо выбрать рисунок, графически оформить рисунок и надписи вместе с принт-макетом. Удобнее всего это сделать следующим образом. Принт-макет печатается на обычной офисной бумаге, а будущий рисунок печатается на прозрачной пленке, чтобы в дальнейшем стать шаблоном для переноса рисунка на фоторезист. Более того, такой подход позволит увидеть, насколько точно совпадает наш рисунок с принт-макетом. Важно отметить, что если мы распечатаем рисунок в негативе, то как раз-таки сравним большую часть поверхности. Инвертировать его тоже не нужно, поэтому печатаем без дополнительных настроек.

После того, как принт-макет и шаблон будут готовы, можно переходить к непосредственному переносу рисунка на заготовку.

2 Перенос рисунка

Процесс переноса рисунка точь-в-точь совпадает со схожим процессом при травлении платы [1-3]. Сначала мы подготавливаем наш корпус к фоторезисту. Его нужно зачистить и обезжирить. После чего, аккуратно приклеиваем фоторезист, отрезаем лишнее и прогреваем с помощью утюга. Здесь как и в случае с печатной платой, необходимо прогревать очень осторожно, чтобы не сжечь фоторезист.



Рисунок 2 – Заготовка с успешно исполненным рисунком

Затем фиксируем фотошаблон с помощью стекла, подойдет обычная фоторамка, и отправляем под свет ультрафиолетовой лампы примерно на 120 секунд. После чего, снимаем защитную пленку и аккуратно смываем пробельные места – контуры нашего рисунка. На данном этапе важно следить за концентрацией раствора, потому что при очень высокой концентрации, вместе с пробельными местами может смыться и сам фоторезист.

В конце концов мы получаем заготовку с рисунком. Однако, края корпуса придется чем-нибудь подкрасить, чтобы не стравить лишний металл. Для данных целей отлично подходит лак для ногтей или другая стойкая эмульсия.

3 Процесс травления

Теперь мы можем перейти непосредственно к процессу электрохимического травления данной заготовки. Для этого нам понадобится небольшая емкость, блок

питания на 5-12V с двумя контактами, какой-нибудь фиксатор (идеально подходит линейка и скотч), вода и хлористый натрий (обычная сода) [4].

Сначала продумываем фиксацию нашей заготовки. Заготовка должна хорошо держаться на определенном уровне, иначе процесс может обернуться излишним стравливанием металла.

После чего, размешиваем соду с водой в пропорции 1 к 5, фиксируем заготовку и доливаем воду по уровню нашего рисунка, чтобы уровень воды не превышал границы нашей области травления [5].



Рисунок 3 – Процесс травления заготовки

Далее подключаем анод (положительный контакт) на заготовку, а катод (отрицательный контакт) на отдельную металлическую деталь. В качестве катода можно использоваться лезвие от канцелярского ножа.

Процесс электрохимического травления достаточно долгий, но прямопропорционально зависящий от мощность блока питания, с помощью которого он проводится. Экспериментально было установлено, что для стравливания 1.5 мм металла с помощью маломощного блока питания на 5 В требуется примерно 60 минут, при условии сравнительно небольшой поверхности травления. Процесс так же замедляется в виду того, что стравленный металл не успевает полностью покинуть зону травления, и оседает в качестве осадка на поверхности металла [6].

4 После травления

Через 60 минут можно извлекать заготовку из электрохимической ванны. Как и в случае с печатной платой, очищаем поверхность металла от фоторезистивного материала с помощью растворителя.



Рисунок 4 – Заготовка после травления

Затем промываем заготовку под проточной водой. После чего, её можно отполировать мелкозернистой наждачной бумагой или специальной насадкой для электрической отвертки. Типовой процесс автоматизированного топологического проектирования представлен в работах [7-13].

Заключение

На данный момент, существует множество оригинальных способов графического оформления корпусов электронной аппаратуры. Однако, метод электрохимического травления алюминия (или любого другого металла) является очень доступным и простым способом такого визуального решения.

Литература

1. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. Проектирование коммутационных структур электронных средств - Москва, 2014. Том 7. 344 с.
2. Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Филин Г.В. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация - Москва, Издательство "Высшая Школа". 1984. 392 с.
3. Гриднев В.Н., Яншин А.А. Технология элементов ЭВА - Москва, Издательство "Высшая Школа". 1976. 288 с.
4. Адамова А.А., Башков В.М., Власов А.И. и др. Проведение научных экспериментов в нанотехнологии: Учебное пособие - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2015. 129 с.
5. Барон Ю.М. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов: [Электронный ресурс]. 2010 URL: <http://window.edu.ru/resource/360/41360> (Дата обращения: 27.10.2017).
6. Валиров В.В. Основы электрохимии: учебное пособие для студентов инженерно-технических специальностей университетов: [Электронный ресурс]. 2015 URL: http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/023/28023/11245?p_page=3 (Дата обращения: 03.11.2017).
7. Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Власов А.И., Леонидов В.В. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER // Датчики и системы. 2016. № 5 (203). С. 28-36.
8. Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Власов А.И., Карпунин А.А. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER: Управление проектом // Датчики и системы. 2016. № 6 (204). С. 46-52.
9. Гриднев В.Н., Григорьев П.В., Емельянов Е.И., Камышная Э.Н. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER. Разработка библиотеки посадочных мест // Датчики и системы. 2016. № 7 (205). С. 33-41.
10. Арабов Д.И., Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Леонидов В.В. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER. Разработка библиотеки компонентов // Датчики и системы. 2016. № 8-9 (206). С. 42-51.
11. Власов А.И., Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Емельянов Е.И. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER. Схемотехническое проектирование // Датчики и системы. 2016. №10 (207). С. 37-45.
12. Власов А.И., Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Емельянов Е.И. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER. Топологическое проектирование // Датчики и системы. 2016. №11 (208). С. 28-39.
13. Власов А.И., Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Емельянов Е.И. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER. Синтез проекта коммутационной структуры // Датчики и системы. 2016. №12 (209). С. 34-45.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДИВЕРСИОННОГО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ ВНЕДРЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Лебедев А.С.

Научный руководитель: Резчикова Е.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ELECTROCHEMICAL ETCHING OF ALUMINIUM

Lebedev A.S.

Supervisor: Rezchikova E.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена демонстрации возможностей применения инструментов диверсионного анализа при разработке стратегий контроля в технологии поверхностного монтажа. Основное внимание уделено последовательности разработки стратегий контроля в технологии поверхностного монтажа на примере одной из типовых ситуаций, которые могут возникнуть на предприятии в ходе производства. Рассмотрены типовые ситуации, которые могут возникнуть на производстве, в зависимости от которых может меняться подход к разработке стратегий контроля ПМ. Разработан типовой технологический процесс с использованием технологии поверхностного монтажа, на основе которого разрабатывалась стратегия контроля ПМ. Результатом работы является разработанная стратегия контроля ПМ для опытного образца изделия.

Abstract

This article is devoted to demonstrating the possibilities of using diversionary analysis tools in developing control strategies in surface mount technology. The main attention is paid to the sequence of development of control strategies in surface mount technology by the example of one of the typical situations that may arise in the enterprise during production. Typical situations that may arise in the production, depending on which the approach to the development of control strategies for PM may change, are considered. A standard technological process was developed using surface-mounted technology, on the basis of which a control strategy for PM was developed. The result of the work is the developed control strategy of the PM for the prototype product.

Введение

Что такое стратегии проектирования операций контроля технологии поверхностного монтажа? Традиционный подход - это разработанные схемы принятия решений для типовых ситуаций, возникающих в ходе производства того или иного изделия. Следовательно, чтобы ускорить процесс разработки контрольных операций для разных технологических процессов и избежать повторяющихся при их разработке ошибок, следует разработать типовые стратегии контроля, которые будут изначально заточены под определенные типовые ситуации. Приведем несколько возможных типовых ситуаций по проведению контроля [2 - 5]:

- проведение контроля для опытного образца изделия;
- проведение контроля при мелкосерийном производстве изделия;
- проведение контроля при крупносерийном производстве изделия и т.д.

Приведена лишь часть возможных типовых ситуаций, которых в действительности может быть гораздо больше, и каждая такая ситуация может иметь свою стратегию контроля. Рассмотрим типовой подход к разработке стратегии контроля ПМ при производстве изделий электронной техники для одной из приведенных типовых ситуаций.

1 Процесс внедрения операций контроля в технологический процесс

Разработаем типовой технологический процесс изготовления ПП с использованием технологии ПМ без применения контрольных операций [1]. Будем считать данный технологический процесс неизменным для всех типовых ситуаций, а в зависимости от этих ситуаций применять те или иные стратегии контроля качества ПМ [1, 10]. Итак, в типовой технологический процесс входят следующие операции:

- 1 Комплектование элементов;
- 2 Обезжиривание выводов элементов и контактных площадок ПП;
- 3 Нанесение паяльной пасты на контактные площадки ПП;
- 4 Установка элементов на ПП;
- 5 Уложить ПП на решетку и загрузить в печь;
- 6 Запустить выбранную программу пайки;
- 7 Изъять технологическую решетку с ПП и уложить ПП в тару цеховую;
- 8 Выполнить промывку ПП в УЗВ;
- 9 Провести ополаскивание под проточной водой;
- 10 Продуть ПП сжатым воздухом;
- 11 Выполнить сушку ПП в электрошкафу;
- 12 Изъять ПП и охладить до комнатной температуры.

Для того, чтобы понять, на каком этапе ТП целесообразно включать те или иные операции контроля, рассмотрим возможные дефекты, которые могут возникать при проведении каждой из представленных операций этого ТП. Для выявления такого рода дефектов, целесообразно “прогнать” каждую операцию ТП через инструменты диверсионного анализа [11, 12]. Процесс проведения диверсионного анализа опущен. Результаты диверсионного анализа типового технологического процесса представлены на рисунке 1. Номера позиций с дефектами соответствуют номерам операций типового ТП.

<p>1</p> <p>1. Попадание бракованных элементов в откомплектованных элементах</p> <p>=></p> <p>Необходимо предусмотреть визуальный контроль комплектуемых элементов</p>	<p>2</p> <p>Отсутствуют</p>	<p>3</p> <p>1. Сильное смещение капли паяльной пасты от центра КП 2. Слабая адгезия, капля “сползает” за пределы КП 3. Капля имеет неправильную форму 4. Капля перекрывает недостаточную область КП</p> <p>=></p> <p>Необходимо предусмотреть проверку качества нанесения паяльной пасты</p>	<p>4</p> <p>1. Выводы элемента не совмещены/совмещены не полностью с КП 2. Не выдержаны сроки по времени (прошло более 8ми часов с момента нанесения паяльной пасты)</p> <p>=></p> <p>Необходимо предусмотреть проверку правильности установки элементов и наладить ТП производства</p>	<p>5</p> <p>1. Не выдержаны сроки по времени (прошло более 8ми часов с момента нанесения паяльной пасты)</p> <p>=></p> <p>Необходимо наладить ТП производства</p>	<p>6</p> <p>1. Выбрана неправильная программа пайки: температурный режим/время пайки</p> <p>=></p> <p>Необходимо наладить ТП производства</p>
<p>7</p> <p>1. Получена неправильная форма галтелей припоя (выпуклые и т.д.) 2. Поверхность припоя получилась сильно матовой, с раковинами, темными пятнами, трещинами, загрязнениями или с посторонними включениями. 3. Наличие непропаев, перемычек и отдельных капелек из припоя</p> <p>=></p> <p>Необходимо произвести внешний осмотр качества паяных соединений</p>	<p>8</p> <p>1. Некорректно выбрана промывочная жидкость (не справляется с загрязнениями и т.д.) 2. Выбрана неправильная программа промывки: температура промывочной жидкости / рабочая частота печи / время промывки</p> <p>=></p> <p>Необходимо произвести внешний осмотр качества промывки</p>	<p>9</p> <p>1. Остались какие-либо загрязнения 2. Промывочная жидкость не смылась полностью</p> <p>=></p> <p>Необходимо произвести внешний осмотр качества ополаскивания</p>	<p>10</p> <p>Отсутствуют</p>	<p>11</p> <p>1. Выбрана неправильная программа сушки: температура сушки / время сушки (ПП не высохла полностью)</p> <p>=></p> <p>Необходимо наладить ТП производства</p>	<p>12</p> <p>1. На полученной ПП есть “коротыши”</p> <p>=></p> <p>Необходимо предусмотреть электрическую проверку</p>

Рисунок 1 – Результаты диверсионного анализа типового ТП

Знание статистики дефектных операций ТП позволяет предотвращать появление этих дефектов путем введения после этих операций контрольных операций. Контрольные

операции могут быть введены после каждой потенциально дефектной операции ТП или же одна контрольная операция может проверять сразу несколько дефектных операций ТП, также может существовать несколько способов контроля одной и той же операции. Для того, чтобы решить, где лучше применять контрольные операции в определенном ТП и какие это должны быть операции, необходимо учитывать множество факторов, в том числе и типовые ситуации, которые были рассмотрены ранее.

2 Проведение контроля для опытного образца изделия

В качестве примера разработаем стратегию контроля ПМ для ситуации, когда изготавливается опытный образец изделия (рисунок 2). Опытный образец изделия собирается предприятием “на коленке” для тестирования и отладки какого-либо устройства и только после этого начинается серийное производство и выпуск данного устройства на рынок. Следовательно, контроль такого устройства должен быть максимально дешевым и обеспечивать работоспособность устройства на время тестирования и отладки.

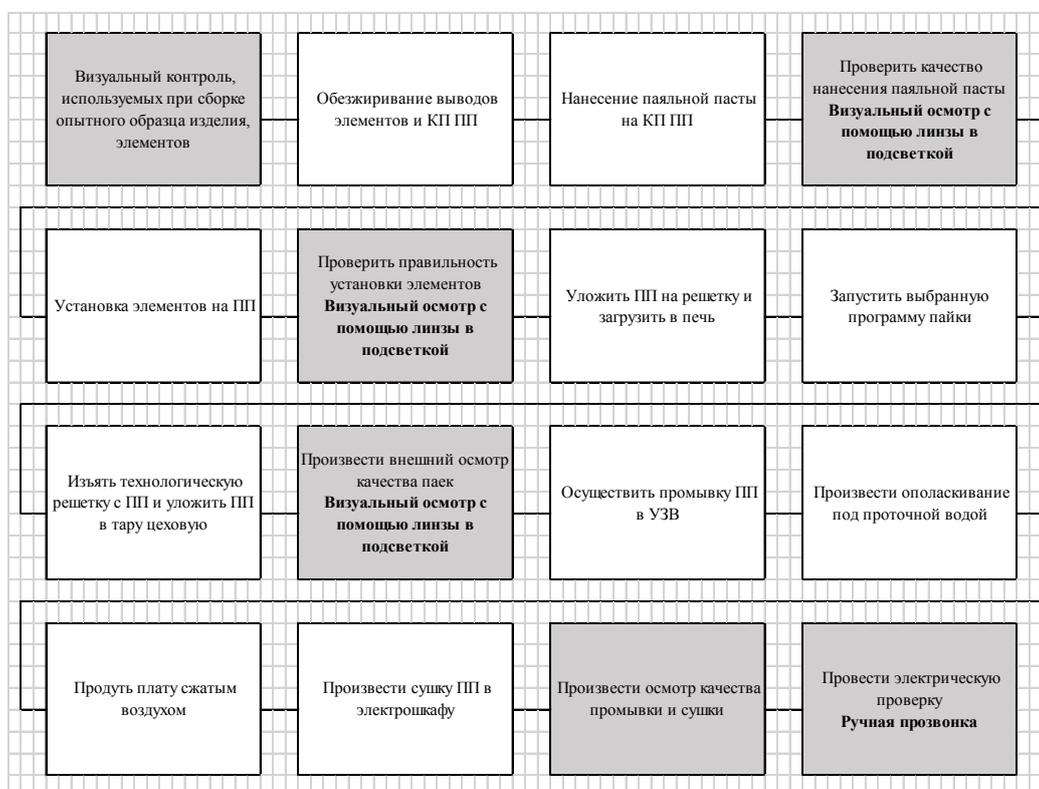


Рисунок 2 – Проведение контроля для опытного образца изделия

Так как, как правило, опытные образцы изделий собираются штучно, то нет необходимости в комплектовании большого количества компонентов и достаточно провести визуальный осмотр компонентов, которые будут непосредственно задействованы при сборке конкретного опытного образца изделия.

Все операции по контролю качества нанесения паяльной пасты, установке элементов, осмотру качества пайки, целесообразно выполнять вручную оператором с применением линз с подсветкой или аналогичного оборудования.

Электрическую проверку оператору следует выполнять с помощью ручной прозвонки электрических цепей схемы. Так как опытный образец изделия собирается для внутренних нужд предприятия и не выйдет за его пределы, то контроль ОТК не требуется.

Заключение

Описанный в данной статье порядок разработки стратегий контроля ПМ с применением диверсионного анализа для выявления потенциальных технологических дефектов позволил разработать стратегию контроля ПМ для одной из типовых ситуаций, которые могут возникнуть на производстве. Внедрение данной стратегии в производство позволит ускорить процесс разработки контрольных операций для технологических процессов в определенных ситуациях (опытный или серийный образец изделия, мелкосерийное производство изделия, крупносерийное производство изделия и т.д.) и избежать повторяющихся при их разработке ошибок, так как данные стратегии изначально разрабатывались для применения в таких ситуациях.

Литература

1. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. Сер. «Конструирование и технология электронных средств». Том 7. 344 с.
 2. Маркелов В.В., Кабаева А.С. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. 272 с. Сер. Библиотека «Конструирование и технология электронных средств». Том 2.
 3. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВХОДНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ В СРЕДЕ MATLAB // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 3 (7). С. 38-43.
 4. Маркелов В.В., Камышная Э.Н., Зотьева Д.Е. МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВХОДНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 68-84.
 5. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВИЗУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭС // Проектирование и технология электронных средств. 2014. № 1. С. 25-30.
 6. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 2 (10). С. 34-41.
 7. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е., Сергеева Н.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 1. С. 38-40.
 8. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е., Сергеева Н.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 1. С. 282-285.
 9. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГООСТУПЕНЧАТОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1 (9). С. 58-62.
 10. Еланцев А.В., Курбанмагомедов К.Д., Маркелов В.В., Набиуллин А.Н. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ - Москва, 1992. Том 2. 78 с.
 11. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ - Москва, Издательство "Форум". 2009. 382 с. (2-е издание, исправленное и дополненное).
- Шахнов В., Резчикова Е. ТРИЗ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ - Saarbrücken, LAP LAMBERT. 2015. 68 с.

Поздравляем

с 80 летним юбилеем!





Гриднев Владимир Николаевич
Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации
(родился 16.04.1938, г. Москва)

Владимир Николаевич Гриднев родился 16 апреля 1938 года в Москве. Отец, Гриднев Николай Алексеевич, инженер-металлург, работал главным инженером по строительству завода «Серп и Молот», а затем главным специалистом по реконструкции металлургических заводов в Госстрое СССР. Мать, Гриднева Валентина Васильевна, работала в отделе технического контроля завода по ремонту оборудования для аптек Москвы. Семья была дружная и спортивная.

Учился он в школе №407 рядом с заводом. Учеба давалась легко, особенно нравились уроки физики и химии. Много времени отдавал физкультуре: плавание, велосипед, беговые и горные лыжи. Школу закончил в 1955 году с золотой медалью и по собеседованию прошёл по конкурсу в Московское Высшее Техническое Училище имени Н.Э. Баумана на специальность «Технология машиностроения» Механико-Технологического факультета (МТ).

В группе было много ребят из разных городов Советского Союза, но все сдружились и даже после окончания училища регулярно встречались 9 мая. Начиная с первого курса все трудности учебы в училище преодолевали вместе, сидя в читальном зале: начертательную геометрию, тысячи по иностранному языку, сопромат, гидравлику, расчеты редукторов, порталных кранов, электрических цепей и т.д. и т.п. По окончании второго курса вместе с группой уехал со строительным отрядом на два месяца на Алтай, где качественно строили коровники.

Гриднев В.Н. учился с охотой и много времени уделял спорту: плавание, гребля и, конечно, любимый велосипед. Он был принят в училищную спортивную команду велогонщиков. Выступая за честь Училища как в гонках на шоссе, так и на треке, он получил звание мастера спорта по велоспорту. Друзья по команде стали его друзьями по жизни. В последствии он выполнил нормативы и мастера спорта по плаванию.

Проходя практику после третьего курса на заводе по производству экскаваторов в городе Краматорске, Гриднев В.Н. влюбился в сокурсницу с параллельной группы и только в конце пятого курса перед распределением убедил её выйти за него замуж. В этом 2018 году Гриднев Владимир Николаевич и Гриднева (Майорова) Галина Николаевна отмечают 58-летнюю годовщину со дня свадьбы.

Закончив в феврале 1961 года МВТУ имени Н.Э. Баумана, он был по распределению направлен в технический отдел НИИ инструмента, где работал до сентября 1963 года, выполняя работы по проектированию оснастки и инструментов для заводов по производству подшипников.

В сентябре 1963 года Владимир Николаевич поступил в аспирантуру МВТУ имени Н.Э. Баумана по специальности «Технология приборостроения» к профессору Малову Алексею Николаевичу. Свою научную работу он выполнял на Московском заводе «Знамя революции», отрабатывая технологию алмазной доводки прецизионных деталей топливной аппаратуры самолетов. Решение Совета МВТУ им.Н.Э.Баумана (Протокол №7) от 27 ноября 1967 года В.Н.Гридневу присуждена ученая степень кандидата технических наук.

В 1964 году с отличием закончил ВУМЛ при МГК КПСС. Являлся членом Президиума Совета молодых ученых при МГК ВЛКСМ, инструктором горкома.

В 1966 году после защиты диссертации Гриднев В.Н. был распределен на должность ассистента и начал свою педагогическую деятельность на кафедре "Технологии точного приборостроения" (П8) МГТУ им.Н.Э.Баумана (позже переименованной в кафедру "Конструирование и технология производства ЭА" (П8)). Как молодому преподавателю ему поручили чтение различных курсов:

- Технология приборостроения;
- Производство прецизионных деталей;
- Технология элементов электронно-вычислительной аппаратуры;
- Конструирование и технология печатных плат.

С 1968 года Владимир Николаевич являлся заместителем заведующего кафедрой по научной работе.

6 ноября 1970 года Владимиру Николаевичу присуждено ученое звание доцента по кафедре.

Кроме лекционных курсов большое внимание Владимир Николаевич уделял организации и руководству производственной и преддипломной практиками. В это время В.Н.Гриднев активно сотрудничал с Домом ученых Академии наук СССР в г.Москве. Неоднократно отмечался благодарностями за организацию и проведение секции Машиностроения в рамках программ Дома ученых Академии наук СССР.

В 70-е годы Гриднев В.Н. руководил технологической секцией, занимаясь совершенствованием технологической подготовки будущих инженеров, организовывал новые базы на современных предприятиях Советского Союза. Являлся председателем методической комиссии кафедры.

Активно занимался научной работой, был руководителем многих НИОКР, связанных с исследованиями и внедрением доводки координированных сферических поверхностей: газодинамических опор гиروهрипов, уплотняющих опор топливных агрегатов самолетов, а также плоских поверхностей дозирующих систем, профилированием рабочих поверхностей плавающих магнитных головок.

С 1990 года Владимир Николаевич ответственный за организацию конструкторско-технологических практик студентов. С 1991 по 1993 годы руководил практикой студентов на фирме FESTO (Германия) по производству пневмоавтоматики для промышленных предприятий. Из студентов этой группы многие организовали и возглавили собственные производственные предприятия в России.

За 52 года педагогической деятельности он прошёл путь от ассистента до доцента, подготовив 5 кандидатов технических наук и много молодых специалистов, которые стали руководителями производства.

Гриднев В.Н. совместно с преподавателями кафедры активно принимал участие в подготовке и изданию технической литературы по специальности.

В 1973 году в составе авторского коллектива под руководством А.Н.Малова В.Н.Гриднев приступил к работе над Справочником технолога-машиностроителя. Это издание на многие годы определило подходы к проектированию в точном приборостроении и являлось настольной книгой инженера-проектировщика точных деталей и узлов.

В 1978 году совместно с А.А.Яншиным Владимир Николаевич издает учебник ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭВА. В нем рассмотрена технология изготовления запоминающих устройств на ферритах, магнитных пленках, дисках, лентах и барабанах; дана технология изготовления магнитных головок, печатных плат, а также технология намоточных и электромонтажных работ. Большое внимание уделено вопросам конструктивных особенностей и конструктивно-технологических требований, предъявляемых к рассматриваемым элементам и узлам ЭВМ и ЭВА.

В 1984 выходит учебник " ТЕХНОЛОГИЯ ЭВА, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ" (написанный совместно с Алексеевым В.Г., Нестеровым Ю.И. и Филиным Г.В.). Он состоит из шести разделов. В нем впервые на системном уровне были рассмотрены конструктивно- технологические особенности узлов и общие вопросы производства ЭВА. основное внимание было уделено производству печатных плат на основе промышленных методов их изготовления, описаны технологии электромонтажных работ, изготовление и сборка типовых элементов замены (ТЭЗ), элементов памяти и матриц внутренних запоминающих устройств (ЗУ), изготовление подвижных магнитных носителей информации. Приведены сведения по моделированию, оптимизации ТП и технологической подготовке производства.

В 2014 году совместно с Галиной Николаевной Гридневой Владимир Николаевич опубликовал учебник ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. Этот учебник вошел в серию «Конструирование и технология электронных средств» (Том 2) под редакцией В.А.Шахнова.

В конце 80-х годов Владимир Николаевич принимал участие в разработке технического проекта научно-производственного комплекса МВТУ (Бутово).

3 сентября 2008 года В. Н. Гридневу присуждено почетное звание "Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации" (Приказ №1325/к-н).

Работая в институте Гриднев В.Н. не переставал заниматься спортом. Велосипед, плавание – летом, беговые и горные лыжи – зимой. Он не только научил этим видам спорта своих детей и внуков, но и заразил своих студентов, обучая их лично. У него большая дружная семья– две дочери, два взрослых внука и маленькая внучка. Много замечательных друзей.

За многолетнюю и успешную работу в области подготовки кадров Владимир Николаевич Гриднев неоднократно отмечался благодарностями Ректора МГТУ (МВТУ) им.Н.Э.Баумана, награжден медалью "Ветеран Труда", ему присуждено почетное звание "Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации".

Весь коллектив кафедры ИУ4 (П8) поздравляет Владимира Николаевича с юбилеем, желает невероятных сил и энергии, спортивного долголетия и уникальных способностей, внутренней силы и доброты души, большого человеческого счастья!

Литература

1. Научные школы Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана. История развития / Под ред.И.Б.Федорова , К.С.Колесникова. – 2-е изд. Доп. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005. – 464 с.: ил.
2. Выдающиеся выпускники МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1868-1930 / Г.П.Павлихин, Г.А.Базанчук. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2010. – 445 с.: ил.
3. Основатели научных школ Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана Краткие очерки / Под ред.Е.Г.Юдина , К.Е.Демихова. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005. – 632 с.: ил.
4. Н.Т.Медведь Бауманцы - М.: Рекламно-полиграфический центр, 1998. - 76 с.

Список основных публикаций

1. Малов А.Н., Гриднев В.Н., Орлов П.Н. и др. СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА-МАШИНОСТРОИТЕЛЯ - Москва. Научно-техническое издательство "Машиностроение". 1973 г. 568 с.
2. Гриднев В.Н., Яншин А.А. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭВА: для студентов специальности «Конструирование и производство электронно-вычислительной аппаратуры» вузов - Москва, Изд-во "Высшая Школа". 1978. 288 с.
3. Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Филин Г.В. ТЕХНОЛОГИЯ ЭВА, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: для студентов вузов специальности «Конструирование и производство ЭВА» - Москва, Изд-во "Высшая Школа". 1984. 392 с.
4. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. 344 с. Сер. «Конструирование и технология электронных средств».
5. Панфилова С.П., Власов А.И., Гриднев В.Н., Червинский А.С. БЕСКОНТАКТНЫЙ ТЕПЛОЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Производство электроники. 2007. № 3. С. 25-30.
6. Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Власов А.И., Леонидов В.В. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР В СРЕДЕ ALTIUM DESIGNER // Датчики и системы. 2016. № 5 (203). С. 28-36.
7. Билибин К.И., Гриднев В.Н., Кузин Л.П. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ СБОРКИ МОДУЛЕЙ ЭВА ПЕРВОГО УРОВНЯ. Методические указания к курсовому проектированию по курсам: «Технология приборостроения и производства ЭВА» и «Технология приборостроения и производства РЭА» - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1988. 32 с.
8. Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Чердаков Е.А. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО КУРСУ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭВА - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1983. 32 с.