

СЕКЦИЯ 2

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Среда, 24 апреля 2012 г., ауд.278 (гл. корпус МГТУ).

Начало в 10.00.

Председатель: профессор, д.т.н. Шахнов В.А.

Руководитель экспертной комиссии: доцент Соловьев В.А.

Ученый секретарь: асс. Аверьянихин А.Е.

Экспертная комиссия:

А.Е.АВЕРЬЯНИХИН, А.А.АДАМОВА, А.И.АРАБОВ, К.И.БИЛИБИН, А.И.ВЛАСОВ, В.А.ВЕРСТОВ, В.Н.ГРИДНЕВ, Л.В.ЖУРАВЛЕВА, Л.А.ЗИНЧЕНКО, Ю.В.ИВАНОВ, Э.Н.КАМЫШНАЯ, А.А.КАРПУНИН, И.А.КОСОЛАПОВ, А.Е.КУРНОСЕНКО, А.В.ЛАВРОВ, В.В.ЛЕОНИДОВ, Н.В.МАКУШИНА, Э.В.МЫСЛОВСКИЙ, В.В.МАКАРЧУК, В.В.МАРКЕЛОВ, Е.В.РЕЗЧИКОВА, В.А.СОЛОВЬЕВ, С.Г.СЕМЕНЦОВ, Н.А.СЕРГЕЕВА, М.Д.СЕРГЕЕВА, Ю.Н.ТИНЯКОВ, В.М.ШКОЛЬНИКОВ, К.А.УСАЧЕВ.

В рамках работы секции будет осуществлен первый этап конкурсного отбора проектов для участия в конкурсе инновационных проектов МГТУ им.Н.Э.Баумана. Критериями конкурсного отбора участников молодежного научно-инновационного конкурса являются:

1. Уровень инновационности идеи (предложения, метода, способа ...).

1.1. Идея должна быть новой, впервые сформулированной именно самим номинантом. В этом смысле все номинанты равны. Остальные просто не могут быть номинированы на участие в этой программе.

1.2. Уровень наукоемкости тем выше, чем более:

- основательны научные исследования, в результате которых она появилась;

- основательны дальнейшие научные исследования, необходимые для ее реализации.

1.3. Техническая значимость тем выше, чем большее влияние ее реализация окажет на уровень техники. «Пионерные» идеи (изобретения) – пенициллин, лазер, синтез алмазов - открывают новые отрасли науки и техники. Идеальная по инновационности идея неожиданна для рынка. Поэтому она им не может быть сейчас востребована, она сама формирует новую потребность и нишу рынка.

Высокий технический уровень имеют решения, например, многоотраслевого использования.

Оригинальные технические решения дают новые принципы решения известной задачи.

Есть решения, позволяющие решить проблему еще одним, дополнительно к известным, способом. Но и в этом случае, если уже известно 10 способов решения задачи, то новый способ может и не давать существенных преимуществ в решении задачи или давать их только в очень ограниченном по масштабам применения числе случаев.

1.4. Масштабность использования предложения тоже может сильно различаться – от решения локальной задачи одного местного потребителя до ...

1.5. Срок превращения идеи в конечный продукт с выходом его на рынок: новизна, рискованность идеи, объем необходимых научных исследований не позволяют уложиться в 2-3 года, но и не требуют 10-15 лет

1.6. Идея тем актуальней, чем меньше вероятность того, что за 5-7 лет в результате научных исследований появятся и «раскрутятся» до продукта другие более эффективные пути решения задачи.

Победитель сам организует работу по привлечению необходимого финансирования. Инновационная программа МГТУ им.Н.Э.Баумана оказывает ему поддержку на начальном этапе работы над его идеей.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ТРАНСФОРМАЦИИ ТОПОЛОГИЙ СУБМИКРОННЫХ СБИС ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО ФОТОШАБЛОНА

Аверьянихин А.Е.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Зинченко Л.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

FEATURES OF REALIZATION OF SUBMICRONIC CIRCUITS TOPOLOGY TRANSFORMATION ALGORITHM FOR DOUBLE PATTERN LITHOGRAPHY

Averyanikhin A.

Supervisor: Dr., Prof., Zinchenko L.

Аннотация

В статье рассматриваются возможные подходы к решению задачи трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного фотошаблона.

Ключевые слова: топология, СБИС, двойной шаблон

Abstract

In article possible approaches to the decision of a problem of transformation of topology submicronic circuits for technology of a double pattern lithography are considered.

Keywords: physical design, double pattern, technology

Введение

В настоящее время современная полупроводниковая промышленность развивается в сторону уменьшения топологических размеров элементов, последовательно осваивая технологические нормы изготовления элементов с критическими размерами 90,65,45 нм [1]. Тенденция размещения большего количества элементов на единице площади отвечает стремлениям производителей к микроминиатюаризации элементной базы электронной промышленности и созданию более сложных вычислительных устройств.

Однако с уменьшением технологических норм производства элементов топологии связаны определенные проблемы. Среди них и проблема эффективного теплоотвода, а так же возрастающая сложность производства элементной базы, связанная с негативным влиянием фундаментальных ограничений [2]. Примером таких ограничений может служить реализация эффекта оптической близости контуров элементов топологии, что приводит к их искажению при экспонировании из-за негативного влияния эффекта взаимной диффракции [3].

Таким образом, уменьшение критических размеров топологии СБИС приводит к возрастающему влиянию фундаментального противоречия [4] между стремлением производителей к микроминиатюаризации элементной базы, и возрастающей сложностью производства элементов, отвечающим современным требованиям. По мнению ряда крупнейших аналитиков, предел классической КМОП технологии будет достигнут при приближении проектных норм к отметке 18 нм и менее. В этих условиях актуальной становится задача усовершенствования способов производства элементной базы для обеспечения возможности топологического воспроизводства элементной базы нового поколения [5].

Среди таких методов можно отметить:

- изменение характеристик облучающего воздействия в процессе проекционной фотолитографии, например уменьшение длины волны или переход в область глубокого ультрафиолета;
- изменение оптических характеристик среды экспонирования, например иммерсионная фотолитография;

- математическое моделирование сложных фотошаблонов, которые при экспонировании в конкретных условиях реализации оптических эффектов близости дадут необходимый отпечаток элемента топологии, например фазосдвигающие фотошаблоны.
- разделение слоя топологии с высокой плотностью расположения элементов на два слоя с меньшей плотностью расположения элементов и их последовательное экспонирование – технология двойного фотошаблона.
- в работах [3, 5] описываются теоретические вопросы реализации декомпозиции топологии субмикронных СБИС для технологии двойного фотошаблона. Рассмотрим более подробно аспекты реализации алгоритмов трансформации топологии и представления топологической информации.

1 Постановка задачи трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного фотошаблона

Современная СБИС содержит множество элементов, производство которых выполняется, как правило, поэтапно в процессе проекционной фотолитографии. Сложность современной СБИС создает необходимость применения систем автоматизированного проектирования в подготовке проекта СБИС, сохранению данного проекта и передаче его в программно-аппаратный комплекс для воспроизводства. Таким образом, проект современной СБИС представляет собой файл специального формата. На сегодняшний момент существует несколько распространенных форматов файлов топологии, отличающихся между собой способом описания геометрических примитивов слоя топологии, взаимосвязей между ними, а так же, возможно, применением средств уменьшения энтропии символьного потока.

Распространенными форматами описания топологии являются GDS, OASIS и ряд других. Для решения задачи трансформации топологии необходимо иметь аппарат представления элементов топологии в виде связанных структур, таким образом, задача разделения слоев не является тривиальной. Необходимо обеспечить чтение топологической информации из файла определенного формата, и представление данной информации в памяти вычислительной системы таким образом, что бы не прибегать к избыточному использованию ресурсов, так как размеры файлов топологии современных СБИС могут достигать сотен гигабайт, что, конечно, накладывает ограничения на возможности их математической обработки на вычислительных системах класса IBM-PC совместимого персонального компьютера.

В данной статье рассматривается следующая формулировка задачи трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного шаблона.

Для заданного множества геометрических объектов $GeO = \{GeO_1, GeO_2, \dots, GeO_n\}$, представляющих собой заданную топологию СБИС, необходимо найти такое решение, чтобы были выполнены следующие ограничения:

$$d(GeO_i, GeO_j) \geq d_{dr}(GeO_i, GeO_j), \quad (1)$$

$$d(GeO_i, GeO_j) \geq d_{dp}(GeO_i, GeO_j), \quad (2)$$

где: $d(GeO_i, GeO_j)$ – расстояние между геометрическими объектами GeO_i и GeO_j после трансформации топологии по оси K , $K = \{X, Y\}$;

$d_{dr}(GeO_i, GeO_j)$ - минимально допустимые расстояния между геометрическими объектами GeO_i и GeO_j согласно конструкторско-технологическим ограничениям;

$d_{dp}(GeO_i, GeO_j)$ - минимально допустимое расстояние между геометрическими объектами, лежащими в одном слое, допускающее воспроизведение этих геометрических объектов в одном слое;

$$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n.$$

При этом полагается, что множество геометрических объектов $GeO = \{GeO_1, GeO_2, \dots, GeO_n\}$ упорядочено по слоям, затем по координате X и затем по координате Y левого нижнего угла каждого геометрического объекта.

2 Особенности реализации алгоритма раскраски графа

В работе [6] предложены алгоритмы трансформации топологии субмикронных СБИС по технологии двойного фотошаблона. Однако реализация описанных алгоритмов требует определенной организации представления топологической информации. Это в первую очередь связано с большим объемом входной информации, а так же с необходимостью адаптации топологической информации для применения методов ее обработки.

В статье рассматриваются особенности реализации алгоритма раскраски графа противоречий, так как анализ расстояния между контурами геометрических примитивов имеет смысл проводить только в том случае, если исходная топология слоя может быть модифицирована путем разделения на два подслоя без потери целостности, а так же может быть восстановлена в первоначальном виде операцией объединения слоев. Для проверки делимости топологии используется алгоритм раскраски графов.

Математическая постановка задачи раскраски графа заключается в нахождении минимального числа цветов, в которые можно раскрасить вершины графа так, что бы концы любого ребра имели разные цвета. Мера минимального количества цветов, в которое может быть раскрашен граф – хроматическое число. Под хроматическим числом графа понимают минимальное число k , такое, что множество V вершин графа можно разбить на k непересекающихся классов:

$$V = \bigcup_i C_i; C_i \cap C_j = \emptyset, \quad (3)$$

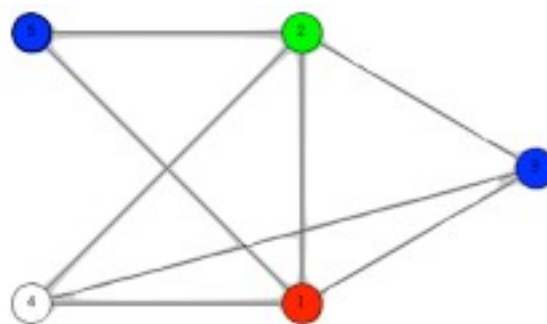
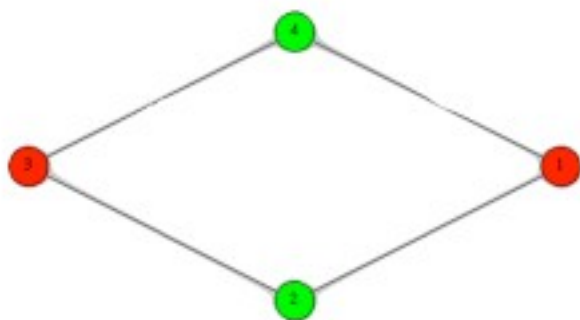
Для раскраски графов выбран последовательный алгоритм раскраски графов. Перечислим его основные этапы.

На первом этапе выполняется сортировка вершин в порядке убывания степеней вершин. Вершине с максимальным числом связей присваивается цвет $k=1$. Он будет называться текущим цветом для данной итерации цикла.

На втором этапе, неокрашенные вершины просматриваются в порядке возрастания номера, полученного в порядке сортировки. Вершины, смежные с одной из окрашенных в текущий цвет, не могут быть раскрашены в этот цвет. В текущий цвет раскрашивается всякая вершина, не смежная с другой, уже окрашенной в этот цвет. После рассмотрения всех вершин номер цвета увеличивается на единицу и второй этап повторяется.

Для уменьшения вычислительных затрат в статье предложен модифицированный алгоритм раскраски графа, ориентированный на применение в задачах трансформации топологии СБИС для технологии двойного шаблона.

В предложенном алгоритме выполняются первый и второй этапы, однако раскраска графа продолжается до тех пор, пока не будет использовано более двух цветов. В этом случае процедура раскраски графа завершается и сообщается, что заданная топология не может быть обработана. Если в процессе раскраски графа используется не более двух цветов, процедура раскраски графа завершается успешно, присвоив каждой вершине один из двух цветов (рис. 1). В этом случае происходит запуск процедуры трансформации анализируемой топологии.



а)

б)

Рисунок 1 – Пример работы модифицированного последовательного алгоритма раскраски графа
(а – граф двухцветный, трансформация топологии возможна; б – граф недвухцветный, трансформация невозможна)

После завершения процедуры трансформации топологии результат обработки сохраняется в исходном формате в виде файла с большим количеством слоев по сравнению с исходным.

3 Структура программного обеспечения TPLConeverter

Для выполнения операций с топологией СБИС используются списочные модели [6]. Конечная модель представляет собой иерархическую структуру, таким образом, конечную модель можно хранить в оперативной памяти и производить необходимую обработку.

Для представления описанной структуры, а так же для выполнения необходимых операций над ее элементами, разработаны специальные классы и методы. На рисунке 2 приведена зависимость между сущностями хранения элементов топологии, на рисунке 2 приведена диаграмма классов программного обеспечения TPLConeverter. Для формирования графов применяется списочный метод, реализуемый на базе класса `ar_impl`, он имеет процедуры и методы для описания вершин графа, связей между вершинами в виде связанных списков, а так же выполнения элементарных операций.

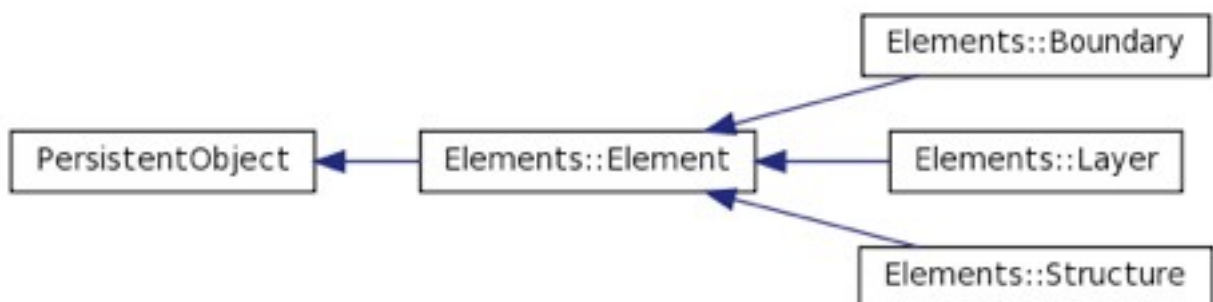


Рисунок 2 – Сущности хранения топологической информации и взаимосвязи между ними

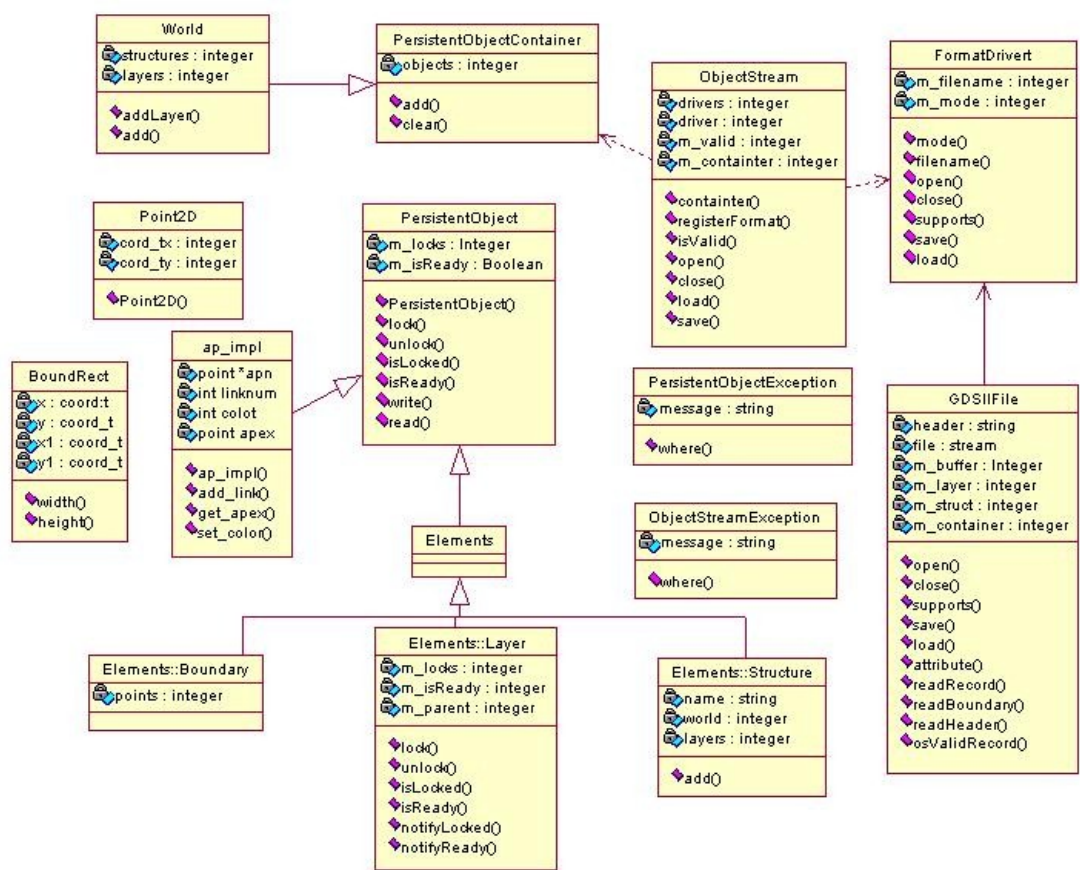


Рисунок 3 – Диаграмма классов программного обеспечения трансформации топологии СБИС

Для каждого элемента структуры выделен определенный класс с множеством элементарных методов, применимых к структуре. Обработка элементов заключается в их последовательном переборе, анализе расстояний между контурами геометрических примитивов на предмет удовлетворения заданному критерию. Если расстояние между контурами геометрических примитивов не удовлетворяет заданному критерию, производится разделение анализируемых примитивов на два различных слоя топологии.

Для хранения данных применяются ссылочная модель. Данная модель оптимизирована с точки зрения использования памяти по пространственному признаку и является более оптимальной в сравнении с такими моделями хранения графовых моделей, как табличная модель, матричная модель и другие.

Для обработки данных применяются оптимизированные по временному признаку методы обработки. Работа с моделями основана на элементарных логических операциях работы с множествами, такими как «И», «ИЛИ», «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», «ВЫЧИТАНИЕ».

Заключение

Проектирование интегральных микросхем осуществляется с учетом конкретных физических технологий производства. Это, в свою очередь накладывает определенные ограничения на процесс создания новых ИМС. За 40 лет развития микроэлектроники такими базовыми технологиями ИМС были биполярная эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ, или ECL), биполярная транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ, или TTL), р- и n-канальные МОП-технологии (PMOS- и NMOS-структуры). На сегодняшний момент базовой технологией производства ИМС является КМОП технология – технология на объемном монокристаллическом кремнии.

Физическим процессом производства до сих пор остается фотолитография. Однако данный процесс, при стремительном уменьшении проектных норм ИМС начинает подвергаться негативному влиянию самых различных факторов. Так, с переходом к проектным нормам глубокого субмикрона, актуальными становятся негативные влияния волновой структуры облучающего воздействия, начинает проявляться взаимная диффракция от близко расположенных элементов.

Для преодоления означенных проблем уже сейчас применяется ряд инновационных методик, таких как:

- Переход в область жесткого ультрафиолета
- Применение фазосдвигающих фотошаблонов
- Применение технологии двойного фотошаблона

В статье рассмотрены возможные подходы к решению задачи трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного шаблона. Рассмотрен алгоритм раскраски графа для проведения анализа топологии на предмет возможности трансформации для технологии двойного фотошаблона. Приведена разработанная диаграмма классов.

Отдельные результаты работы получены при поддержке гранта №[12-07-31168](#) в рамках программы РФФИ «Мой первый грант».

Литература

1. Евтушенко Н. Д., Немудров В. Г., Сырцов И. А. Методология проектирования систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства // Электроника, 2003, №3, с. 7-11.
2. Немудров В., Мартин Г. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие.- М.: Техносфера, 2004.- 212 с.
3. Аверьянихин А.Е. Разработка алгоритма трансформации маски для фотолитографии по технологии двойного фотошаблона // Сборник трудов второй всероссийской школы — семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению наноинженерия. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 – 209 с.
4. Аверьянихин А.Е. Особенности описания топологий субмикронных СБИС по технологии двойного фотошаблона в САПР СБИС // Сборник трудов 12 молодежной международной научно-технической конференции «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2010» - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 207 с.
5. Зинченко Л.А., Резчикова Е.В., Аверьянихин А.Е. Алгоритмы трансформации топологии субмикронных СБИС // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана - 2011, 97 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИЛУЧШИХ ОБЛАСТЕЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИТОРОВ

Андреев К.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

SIMULATION OF THE PRESSURE SENSOR TO DETERMINE THE OPTIMAL LOCATION AREA FOR THE GAGES

Andreev K.A.

Supervisor: Ph.D. in Engineering, Assoc. Prof., Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы моделирования микроэлектромеханических датчиков давления тензорезистивного типа. Подробно исследована модель мембраны из монокристаллического кремния и деформация мембраны равномерно нагруженной распределенным давлением, рассмотрена методика определения оптимальных точек расположения тензорезисторов. Кратко представлены вопросы анизотропии механических свойств кремния. В заключении приведены рекомендации по составлению топологии тензорезистивного моста на поверхности кремниевой мембраны.

Abstract

The article deals with modeling of MEMS pressure sensors. Thoroughly investigated the model of single-crystal silicon membrane, has been studied the deformation of the membrane loaded uniformly distributed pressure, discover the method of optimal point location gauges. Briefly reviewed the anisotropy of mechanical properties of silicon. In the conclusion the recommendations for the compilation tensorresistive bridge topology on the surface of the silicon membrane.

Введение

Вопросы измерения давления возникают в самых различных областях науки и техники, и касаются различных значений давления (от разрежения до высоких давлений) и различных величин (абсолютные, относительные или разностные величины давления). Широкий спектр потребностей, привел к большому разнообразию применяемых датчиков потому как, каждый датчик должен наилучшим образом соответствовать поставленной задаче и условиям эксплуатации.

Таким образом, актуальность работы определяется необходимостью создания методов и моделей синтеза мембранных датчиков давления и сравнительно быстрое создание модификаций существующих датчиков.

Микроэлектромеханические системы датчиков давления включает электрическую и механическую подсистемы. Механическая подсистема обычно представляется тонкой мембраной (квадратной или круглой формы) из монокристаллического кремния, заземленной по контуру. Теория тонких пластин достаточно хорошо изучена, а также разработано достаточно много вариантов конструкций мембран для микродатчиков [1,2]. В электрическую подсистему, обычно включают преобразователи давления (резистивные, емкостные, резонансные), и схемы усиления и управления сигналами [3]. По результатам анализа существующих моделей мембранных датчиков, сделаны выводы о необходимости более тщательного исследования вопросов касающихся неточных математических моделей, носящих оценочный характер, а также создание общей модели чувствительного элемента.

Таким образом, целью работы является создание методики синтеза датчиков на основе модификаций математических моделей динамики мембран чувствительных элементов, способов компенсации, тензорезистивных эффектов. Методика позволит упростить проектирование, а также создаст возможность быстрого внесения изменений в общий конструктив датчиков для создания модификаций.

В процессе работы предполагается решить задачи связанные с исследованием уже существующих моделей и методов, составить обобщенную модель для формирования конструкции чувствительного элемента датчика. Также для оценки методики необходимо провести анализ модели на частном примере (в данной работе квадратная мембрана, заземленная по контуру).

На первом этапе работы проводится оценка деформации выбранной мембраны. Затем проводится анализ анизотропии свойств кремния для кристаллографической ориентации выбранного чувствительного элемента. Далее проводится оценка оптимальных областей расположения тензорезисторов. В заключение делается вывод о границах применимости данной методики и необходимости введения в модель дополнительных условий.

1 Деформация квадратной мембраны

Для оценки деформации рассмотрим частный случай заземленной по контуру квадратной мембраны размером 4x4мм и толщиной $s_n=100$ мкм, нагруженной равномерно распределенным разностным давлением Δp , (рис. 1). Мембрана может быть получена анизотропным травлением в плоскости (100).

Если частота изменения интенсивности Δp значительно меньше частоты колебаний основного (нижнего) тона, функция перемещения точек мембраны имеет вид [3]:

$$\omega(x, z) = \Lambda \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{A} \right) \left(1 - \cos \frac{2\pi z}{A} \right), \quad (1)$$

Где $\Lambda = \frac{\Delta p A^4}{32\pi^4 D}$; $D = \frac{E s_n^3}{12(1-\nu^2)}$ – цилиндрическая жесткость пластины (ν – коэффициент Пуансона; E – модуль Юнга, Н/м²; s_n – толщина мембраны, м)

На рис. 2 представлен вид деформации мембраны, нагруженной $\Delta p=2,5$ МПа.

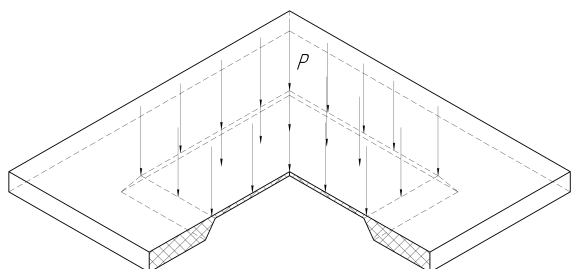


Рисунок 1 – Эскиз кремниевой мембраны

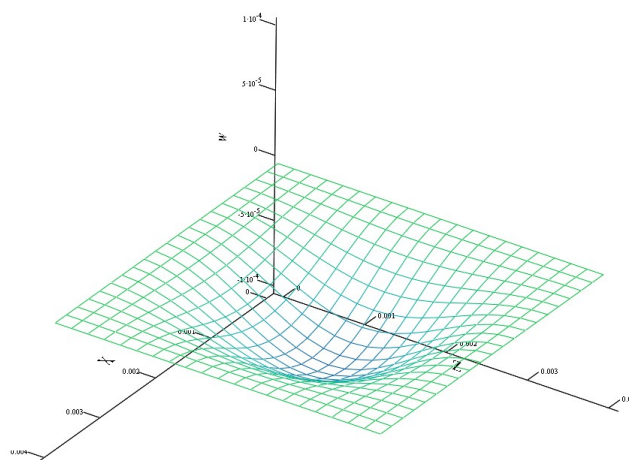


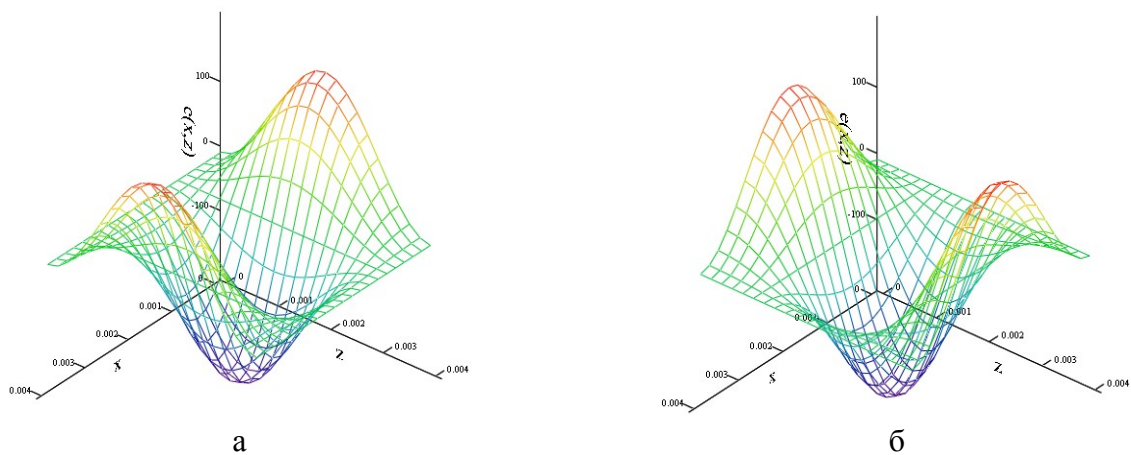
Рисунок 2 – Деформация квадратной кремниевой мембраны заземленной по всему контуру

Расчёты и построение графиков проводится в Mathcad 15.

По данной модели возможно сделать вывод, что максимальное перемещение соответствует центру мембраны, максимальные положительные удлинения наблюдаются на серединах краев мембраны (рис. 3).

Относительные удлинения мембраны в направлении осей X и Z [3]:

$$\left. \begin{aligned} e_x &= -y \frac{\Delta p S}{8\pi^2 D} \cos \frac{2\pi x}{A} \left(1 - \cos \frac{2\pi z}{A} \right); \\ e_z &= -y \frac{\Delta p S}{8\pi^2 D} \cos \frac{2\pi z}{A} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{A} \right). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$



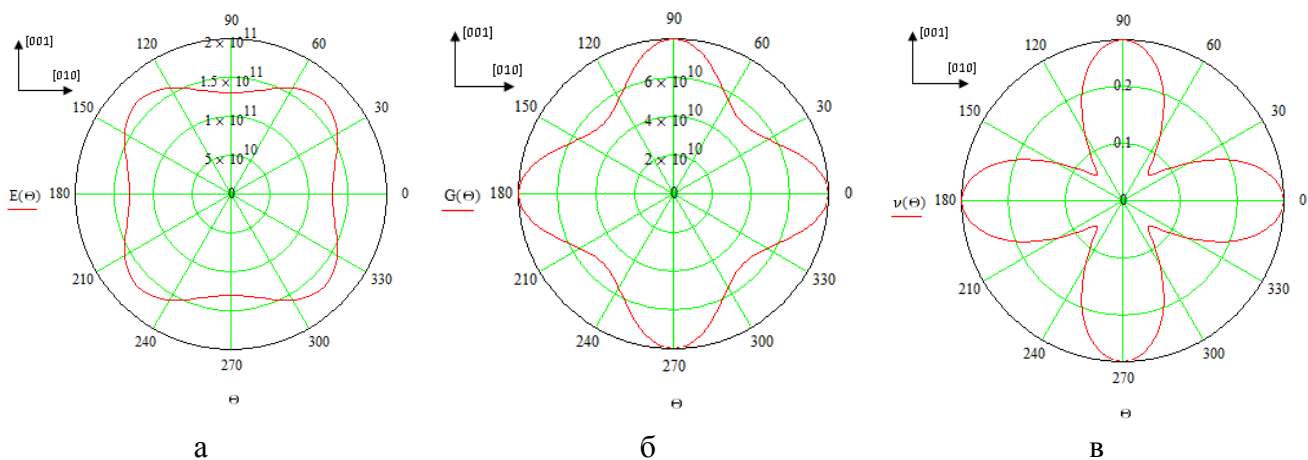
а б

Рисунок 3 – Относительное удлинение мембраны
(а – относительное удлинение по оси X; б – относительное удлинение по оси Z)

Таким образом, для получения наибольшей величины выходного сигнала тензорезисторы следует располагать именно в точках наибольшей положительного или отрицательного относительного удлинения.

2 Анизотропия механических свойств кремния

На характеристики мембраны оказывает влияние анизотропия механических свойств кремния. Графический вид различных механических коэффициентов представлен на рис. 4 [2- 4].



а

б

в

Рисунок 4 – Анизотропия механических свойств кремния в полярных координатах (а - модуль Юнга, Н/м²; б – модуль сдвига, Н/м²; в – коэффициент Пуассона)

Коэффициенты рассчитаны по разным кристаллографическим направлениям для частного случая мембраны расположенной в плоскости (100).

3 Определение оптимальных областей расположения тензорезисторов на мембране

Для преобразования давления обычно используется тензорезистивный мост Уитстона. Выходной сигнал с мостовой схемы напрямую зависит от топологии тензорезисторов в плоскости мембраны, учитывая анизотропию свойств кремния.

Для получения наибольшего выходного сигнала необходимо определить точки наибольшего изменения сопротивления тензорезисторов.

Известно, что при учете напряжений только в плоскости упругого элемента относительное изменение сопротивления тензорезистора определяется выражение (3):

$$\delta = \pi'_{11}\sigma'_1 + \pi'_{12}\sigma'_2 + \pi'_{16}\sigma'_6, \quad (3)$$

где $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_6$ - компоненты тензора механических напряжений в системе координат, связанной с тензором; $\pi'_{11}, \pi'_{12}, \pi'_{16}$ - пьезорезисторные коэффициенты.

Радиальное σ_r и тангенциальное σ_τ напряжение в любой точке круглой мембраны радиусом R можно рассчитать по формулам (3):

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{3p}{8c_m^2} [R^2(1+\nu) - r^2(3+\nu)], \\ \sigma_\tau &= \frac{3p}{8c_m^2} [R^2(1+\nu) - r^2(1+3\nu)], \end{aligned} \quad (4)$$

где ν - коэффициент Пуассона (распределение по разным кристаллографическим направлениям рис. 4)

При изменении положения тензорезисторов, имеют место следующие равенства (2):

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_1 &= \sigma_r \cos^2 \psi + \sigma_\tau \sin^2 \psi; \\ \sigma'_2 &= \sigma_r \sin^2 \psi + \sigma_\tau \cos^2 \psi; \\ \sigma'_6 &= \frac{1}{2} (\sigma_\tau - \sigma_r) \sin 2\psi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где ψ - угол поворота продольной оси тензорезистора относительно радиус-вектора в точке расположения тензорезистора. Относительное изменение сопротивления в зависимости от положения тензорезистора в цилиндрических координатах изображены на рис. 5.

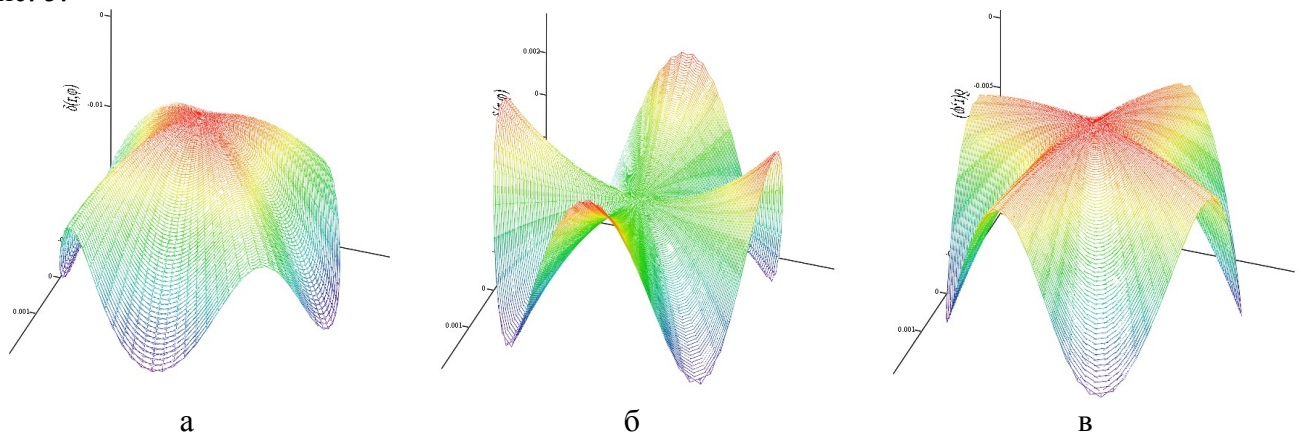


Рисунок 5 – Относительное изменение сопротивления в плоскости упругого элемента (а – при радиальном расположении тензорезисторов; б - при тангенциальном расположении тензорезисторов; в - при расположении тензорезистора под углом 45°)

Для достижения лучшей линейности и величины выходного сигнала, тензорезисторы располагают на кристалле таким образом, чтобы одна пара резисторов из разных плечей тензорезистивного моста, располагалась в точках положительного изменения сопротивления, а вторая в точках отрицательного изменения сопротивления. С учетом этого, из построенных моделей видно, что в центре мембраны относительное изменение сопротивления минимально, и наиболее оптимальным будет расположить тензорезисторы по краям

мембраны вдоль линии защемления, в местах наибольшего относительного удлинения (рис. 3).

Заключение

Моделирование мембранных датчиков с целью оценки оптимальных точек расположения тензорезисторов является важной задачей при проектировании микромеханических датчиков. В данной работе изложена методика оценки прогиба мембраны и выбора топологии тензорезистивного моста, с учетом анизотропии механических свойств монокристаллического кремния. Рассматривается конкретный случай квадратной мембраны защемленной по контуру.

Преимуществом данной методики является возможность разработки новой топологии чувствительного элемента, исходя из конкретной ситуации, а не только методом выбора из заранее рассчитанных вариантов компоновки тензорезистивного моста. Для уточнения полученной модели необходимо оценить влияние линейного ускорения и температуры.

Отдельные результаты работы получены в рамках Гранта № 14.В37.21.0453 по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Литература

1. Вавилов В.Д. Интегральные датчики. — Нижний Новгород.: Нижегород. Гос. Техн. Ун-т, 2003. 499 с.
2. Зимин В.Н., Панков В.В., Подволоцкая Е.В. Микроэлектронные чувствительные элементы давления и техномодули. – М: Датчики и системы. 1999. № 2. с.55-59
3. Распопов В.Я. Микроэлектромеханические приборы. — М: Машиностроение, 2007. — 400 с.
4. Нестеров В.А., Власов А.И., Руткевич А.В. Модуль преобразования сигналов чувствительных элементов датчиков давления// Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. № 12. С. 39-39.

МАГНИТНЫЕ ЭНКОДЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ

Антохин А. И.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Власов А. И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MAGNETIC ENCODERS AND ITS APPLICATION IN THE SYSTEMS STABILIZATION

Antokhin A. I.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor Vlasov A. I.
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

В статье даются общие сведения о магнитных энкодерах и их применении в системах стабилизации. Рассмотрены механические, оптические, магнитные энкодеры, их основные принципы работы, конструкции, преимущества и недостатки, а также область применения. Представлена структурная схема магнитного энкодера на примере AS5030. Даны общие сведения о точности существующих на сегодняшний день магнитных энкодеров. Обоснована необходимость применения сервопривода в системах стабилизации, а также обоснована концепция применения одного точного 12-ти битного магнитного энкодера вместо двух менее точных энкодеров других типов. Описан применяемый сервопривод и его модификация.

Abstract

This article provides general information about the magnetic encoders and their applications in stabilization systems. We consider the mechanical, optical, magnetic encoders to the basic principles of operation, design, advantages and disadvantages, as well as scope. The block diagram of a magnetic encoder AS5030 is given. General information about the accuracy of currently existing magnetic encoders is given. The necessity of the stabilization servo systems is described, and proved the concept of a single precision 12-bit magnetic encoder instead of two less accurate encoders of other types. Servo used is described and its modification method.

Введение

Энкодер – устройство для определения угла поворота какого-либо вала (существуют также линейные энкодеры, определяющие линейные перемещения объектов, однако они в данной статье не рассматриваются). В настоящее время энкодеры широко используются во множестве устройств, начиная от игровых приставок, кончая промышленными установками. Существует несколько распространенных типов энкодеров – механические, резисторные, оптические, магнитные и другие. Каждый тип энкодера представлен множеством различных моделей, выпускаемых сотнями фирм по всему миру. У каждого типа энкодеров есть свои преимущества и недостатки, делающие их применение оправданным или нет в определенных случаях. Нельзя говорить о преимуществе, какого либо типа энкодеров над другими типами в целом, однако в конкретных приложениях такое преимущество как правило не вызывает сомнений. В данной статье рассматриваются магнитные энкодеры, производится их сравнение с энкодерами других типов и обосновывается применение магнитных энкодеров в электромеханических системах стабилизации [1].

1 Классификация энкодеров

Все энкодеры можно разделить на два типа по режиму работы:

- а) **Инкрементальные** энкодеры – при вращении формируют импульсы, количество которых зависит от угла поворота. Как правило, такие энкодеры не отличаются высокой точностью (менее 200 импульсов на оборот), кроме того не позволяют определить точное положение вала (без использование референтных меток). Подобные энкодеры используются в устройствах, где нужно определять на сколько

повернулся какой либо вал, без определения его точного положения ("шариковые" компьютерные мышки, ручки регулировки громкости и пр.)

- б) **Абсолютные** энкодеры – формируют выходной сигнал, позволяющий однозначно определить положение выходного вала без использования референтных меток. Существуют однооборотные и многооборотные абсолютные энкодеры. Многооборотные энкодеры позволяют определять не только положение вала, но и количество оборотов вала.

В настоящее время существует множество различных конструкций энкодеров. Рассмотрим самые распространенные:

- **Механические** энкодеры (рис. 1, а). Для определения положения вала могут использоваться скользящие контакты, контакты приводимые в действие кулачками и другие конструкции. Как правило, механические энкодеры обладают сравнительно не высокой точностью (от 8 до 128 импульсов на оборот). Существуют как абсолютные, так и инкрементальные механические энкодеры. Механические энкодеры обычно применяются в устройствах, где нужна максимальная дешевизна и простота, при этом нет требований к высокой точности.
- **Оптические** энкодеры (рис. 1, б). Для определения положения вала используются диски с прорезями или прозрачными окнами. Через прорези, с одной стороны, направляется луч (как правило, от ИК светодиода), с другой стороны устанавливается фотоприемник. Существуют оптические инкрементальные и абсолютные энкодеры. В инкрементальных устанавливают два фотодиода с небольшим смещением, тем самым позволяя определять направление вращения энкодера. При этом прорези находятся на одной окружности. В абсолютных оптических энкодерах используют несколько фотоэлементов, располагая их на различном удалении от оси вращения диска и формируя прорези на различных окружностях диска. Прорези формируют определенный код, тем самым по засветке фотодиодов можно определить точное положение диска. Существуют реализации с несколькими дисками, связанными через редуктор, для повышения точности. Размер оптических энкодеров можно отнести к недостаткам. Чем больше точность энкодера, тем больше размер самого энкодера. Оптические энкодеры являются одними из самых распространенных типов энкодеров.
- **Магнитные** энкодеры (рис. 1, в). Определяют угол поворота вала за счет измерения магнитного поля. Магнитный энкодер состоит из микросхемы и магнита закрепленного над микросхемой, при этом магнит может вращаться, и напрямую связан с валом, положение которого надо определить. Внутри микросхемы расположены датчики холла и управляющая схема. Магнитные энкодеры всегда абсолютные. Неоднозначность определения положения вала может возникнуть только в случае применения многополюсных магнитов.

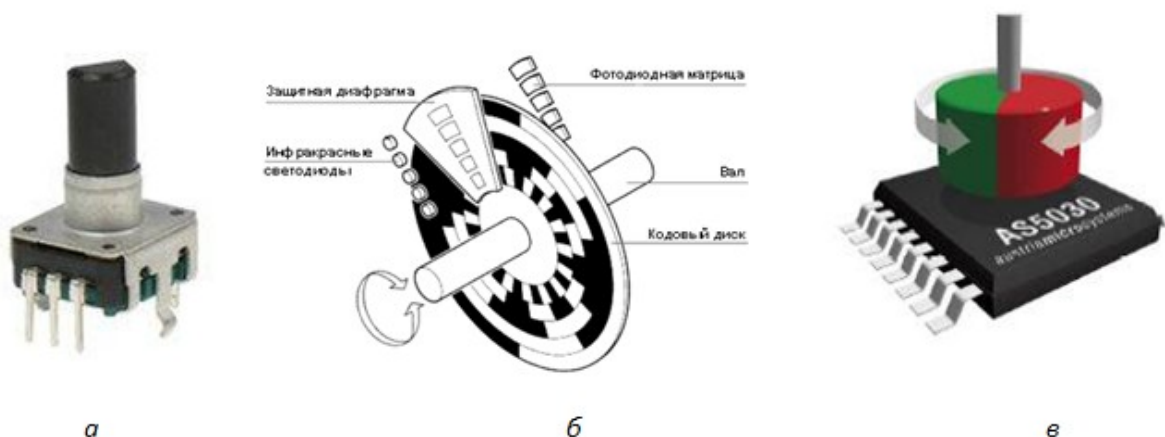


Рисунок 1 – Некоторые виды энкодеров [2]

Среди описанных видов энкодеров, следует выделить магнитные энкодеры, как сравнительно новое направление в данной области. Магнитные энкодеры выполняются по стандартной CMOS технологии. Высокая степень интеграции позволила разместить в корпусе микросхемы не только датчики холла, но и схему обработки данных, калибровки, а также ряд дополнительных функций. Кроме того, магнитные энкодеры в большинстве имеют цифровой интерфейс, что позволяет подключать их напрямую к микроконтроллерам или другим устройствам с цифровым интерфейсом.

2 Магнитные энкодеры

В основе принципа работы магнитных энкодеров лежит эффект холла – явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также холловским напряжением) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле. На кристалле микросхемы располагается массив датчиков холла, выходы которых подключены к АЦП, располагающемуся на этом же кристалле. Данные полученные на выходе АЦП обрабатываются встроенным контроллером и записываются в память. Кроме того, на кристалле реализована АРУ (автоматическая регулировка усиления), система контроля питания, последовательный интерфейс и модуль вывода ШИМ. Структурная схема магнитного энкодера AS5030 представлена на рис. 2.

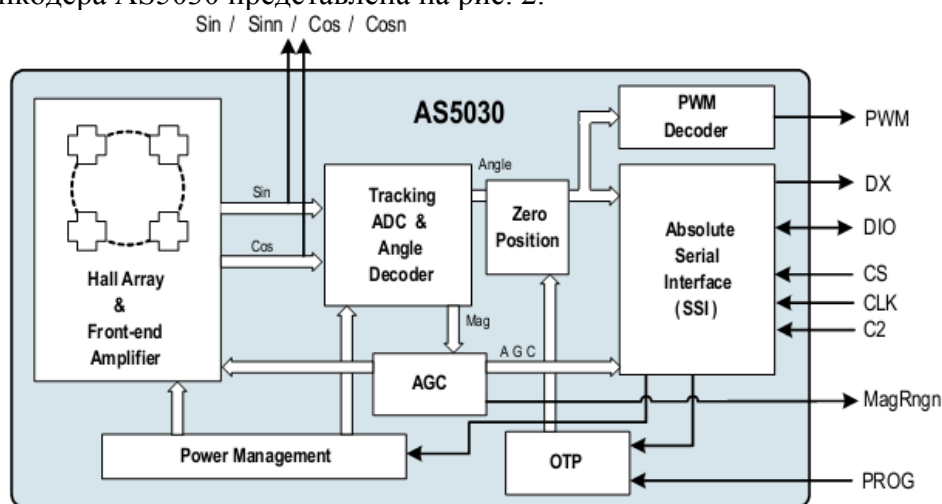


Рисунок 2 – Структурная схема магнитного энкодера AS5030

В качестве магнита, как правило, используют цилиндрические магниты. Важно, чтобы магнит был диаметрально намагничен. В таком случае, вертикальная составляющая магнитного поля, формируемая магнитом будет представлять собой кривую, изображенную на рис. 3.

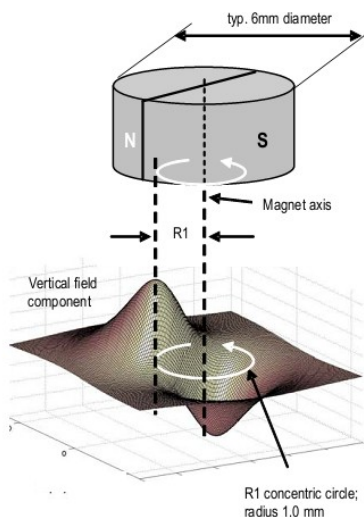


Рисунок 3 – Магнитное поле, формируемое цилиндрическим магнитом [3]

В настоящее время существуют магнитные энкодеры с разрядностью от 8 до 16 бит, таким образом позволяя получать от 256 до 65536 шагов на один оборот магнита (вала). При этом физические размеры энкодера крайне малы – корпус микросхемы TSSOP-16 (~10x10x1мм), размер магнита 6x2.5мм (возможно применение магнитов меньшего размера). Точность позиционирования магнита над микросхемой должна составлять не менее 0.5 мм в плоскости магнита, а расстояние от магнита до микросхемы +/- 0.8 мм.

3 Применение магнитных энкодеров в системах стабилизации

Электромеханические системы стабилизации состоят из датчика угловых скоростей (гироскопа), управляющей электроники, а также электропривода [1]. В задачу электропривода входит вращение стабилизируемого тела таким образом, чтобы компенсировать вращение основания системы стабилизации. К системам стабилизации фото-видео техники предъявляются достаточно высокие требования по точности стабилизации – допустимое угловое смещение камеры не должно превышать 0.1-0.2°. Несложно подсчитать, что для достижения такой точности нужен сервопривод или шаговый привод с дискретностью не менее 3600 шагов на оборот. Подобных характеристик можно достичь применяя шаговый электродвигатель в режиме микрошага, однако он обладает существенными недостатками – энергопотребление и масса в разы выше, чем у сервоприводов с аналогичными характеристиками. Таким образом, предпочтительнее использовать сервопривод. Однако если шаговый двигатель в ряде случаев можно использовать без обратной связи, то в сервоприводе она необходима. Энкодер можно установить непосредственно на вал двигателя, в таком случае не нужна будет высокая дискретность отсчетов, так как общая точность будет являться произведением передаточного числа редуктора и дискретности энкодера, но встает задача определения положения стабилизируемого объекта в момент включения системы. Задача решается установкой второго энкодера на стабилизируемый объект. Данный подход существенно усложняет конструкцию, так как приходится использовать два энкодера (даже не смотря на допустимую низкую точность, например 128 шагов на оборот). Магнитные энкодеры позволяют упростить конструкцию, используя только один точный энкодер на стабилизируемом объекте (рис. 4).

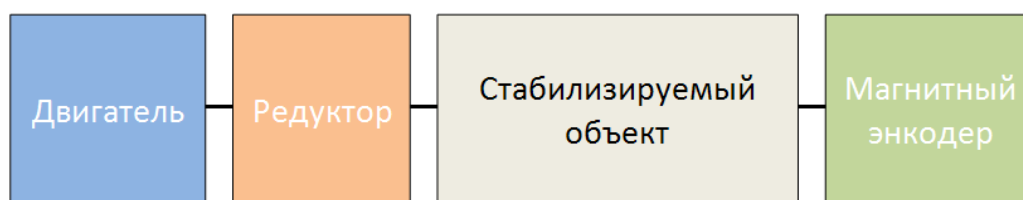


Рисунок 4 – Кинематическая схема системы стабилизации

Современные магнитные энкодеры позволяют получить точность 4096 позиций на оборот, при крайне низкой стоимости энкодера (до 6\$) и малых размерах (сборка энкодера с магнитом умещается в куб 10x10x10мм), при этом аналогичные оптические абсолютные энкодеры имеют высокую стоимость (выше 100\$) и габариты (свыше 50x50x30мм).

4 Практическая реализация

В качестве электропривода для прототипа системы стабилизации был выбран стандартный сервопривод НК47003. Однако существующая система управления встроенная в привод не смогла обеспечить необходимые характеристики. Для достижения повышенной точности, система управления была заменена на усовершенствованную с использованием обратной связи на базе магнитного энкодера AS5045 фирмы Austria Microsystems. Данный энкодер имеет разрешающую способность 12 бит, то есть 4096 отсчетов на оборот, дискретность 0.087°, что удовлетворяет требованиям поставленной задачи. На рис. 5 представлен внешний вид микросхемы магнитного энкодера, установленной на плату.

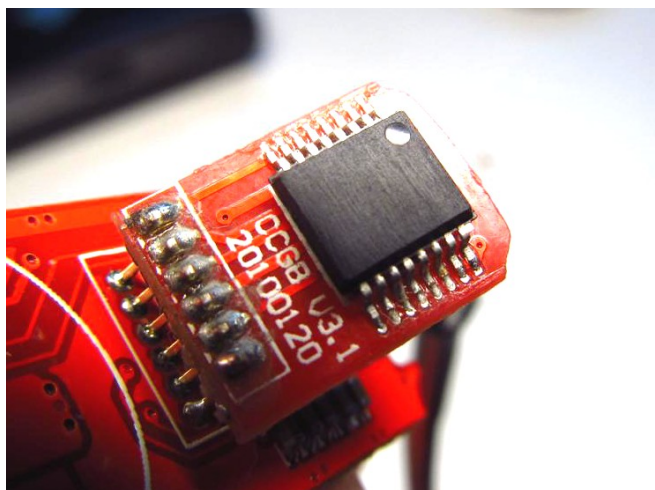


Рисунок 5 – Печатная плата с установленным магнитным энкодером

В качестве магнита используется неодимовый магнит диаметром 6мм и толщиной 2.5мм, закрепленный в пластмассовом креплении, установленном в подшипник, что обеспечивает необходимую точность установки магнита над микросхемой.

Отдельные результаты работы получены при поддержке гранта РФФИ 13-07-00073а.

Литература

1. Антохин А. И., Власов А. И., Косолапов И. А. Концепция системы стабилизации на базе МЭМС гироскопа // Наука и образование: Электронное научно-техническое издание. 2011. №10. С.2-2.

2. JSC "Multichip", Принцип работы абсолютного энкодера, http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical/encoder.html , проверено 27.06.2012 в 22.35.

3. Austriamicrosystems, AS5030, http://www.ams.com/eng/content/download/11929/212604/file/AS5030_Datasheet_v2-3.pdf , проверено 27.06.2012 в 22.42.

РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ЧЕРЕЗ СОМ-ПОРТ

Анучин С.Ю.

Научный руководитель: Шниев В.А.

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

DESIGN CROSS-PLATFORM APPLICATION FOR MANAGING ELECTRONIC DEVICES THROUGH COM-PORT

Anuchin S.Y.

Supervisor: Schpies V.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается разработка кроссплатформенных приложений для управления электронными устройствами посредством СОМ-порта. Проанализированы возможные варианты реализации работы с СОМ-портом посредством существующих на сегодняшний день библиотек для взаимодействия с СОМ-портом. Кратко представлены существующие варианты программного обеспечения решающего схожие задачи и выявлен их общий недостаток. Реализовано и протестировано собственное решение поставленной задачи.

Abstract

The article deals with the development of cross-platform applications for the management of electronic devices through the COM-port. In analyzing a possible implementation of a COM-port by currently existing libraries to interact with COM-port. Summarizes existing software options decisive similar tasks and revealed their total lack. Implement and test their own solution to the problem.

Введение

Последовательный порт, англ. serial port (а также серийный порт или СОМ-порт, англ. communications port) — двунаправленный последовательный интерфейс. Наиболее часто для последовательного порта персональных компьютеров используется стандарт RS-232C. RS-232 (англ. Recommended Standard 232) — используемый в телекоммуникациях стандарт последовательной асинхронной передачи двоичных данных между терминалом (англ. Data Terminal Equipment, DTE) и коммуникационным устройством (англ. Data Communications Equipment, DCE). Чаще всего используется в промышленном и узкоспециальном оборудовании, встраиваемых устройствах. Достоинством технологии является крайняя простота оборудования. Недостатком является низкая скорость, крупные размеры разъемов, а также зачастую высокие требования к времени отклика ОС и драйвера и высокое количество прерываний [1, 2].

Актуальность работы обусловлена тем, что последовательный порт позволяет достаточно легко управлять электронными устройствами и организовывать передачу данных, поскольку многие микроконтроллеры имеют встроенный приемо-передатчик интерфейса UART (совместимый с RS-232 при подключении через схему сопряжения логических уровней), но для реализации взаимодействия между персональным компьютером и электронным устройством желательно иметь программное обеспечение, обладающее следующими характеристиками:

- кроссплатформенность;
- легкая расширяемость;
- простота поддержки;
- наличие простого и понятного графического интерфейса.

Цели данной работы - разработать простой прототип кроссплатформенного ПО (с возможностью дальнейшего расширения и улучшения) для работы с последовательным портом.

Задачи, решаемые в работе:

- провести краткий обзор возможных решений для реализации управления последовательным портом;
- проанализировать примеры готовых вариантов ПО для взаимодействия с устройствами по последовательному порту;
- реализовать работающий прототип ПО для управления устройством через СОМ-порт;
- провести тестирование разработанного ПО.

1 Обзор и анализ возможных решений для реализации управления последовательным портом

На данный момент для различных языков программирования существует большое количество библиотек позволяющих обращаться к последовательному порту:

- *java-simple-serial-connector*, библиотека для языка Java. Поддерживает операционные системы Windows, Linux, Solaris, MacOS. Может запускаться в виде java-апплета в интернет-браузере. Последнее обновление 16 ноября 2012 года. Поставляется по лицензии GNU LGPL(свободная лицензия пригодная для коммерческого использования).

- *ruby-serialport*, библиотека для языка Ruby. Поддерживает операционные системы Windows и семейство POSIX(Linux, Solaris, MacOS и т.д.). Последнее обновление 11 января 2009 года. Поставляется по лицензии GNU GPL 2.0 (свободная лицензия, код программы необходимо сохранять открытым).

- *SerialPort*, класс библиотеки .NET Framework для языка C#. Поддерживает операционную систему Windows.

- *node-serialport*, библиотека для серверной реализации языка JavaScript (Node.js). Поддерживает операционные системы Windows и POSIX семейства. Последнее обновление 14 ноября 2012. Поставляется по собственной лицензии(свободная лицензия, код программы необходимо сохранять открытым).

- *qextserialport*, библиотека фреймворка Qt для языка C++. Поддерживает операционные системы Windows, Linux, FreeBSD, Linux. Последнее обновление 12 ноября 2012 года. Поставляется по лицензии MIT License(свободная лицензия пригодная для коммерческого использования).

- *pySerial*, библиотека для языка Python. Поддерживает операционные системы Windows и семейство POSIX систем, есть возможность работы на Android. Посредством альтернативных реализаций языка Python (Jython и IronPython), данная библиотека может использоваться языками Java и C#. Последнее обновление 3 августа 2010 года. Поставляется по собственной лицензии(свободная лицензия пригодная для коммерческого использования).

В табл. 1.1 представлено сравнение рассмотренных библиотек.

Таблица 1.1 Сравнение библиотек для работы с последовательным портом

Библиотека	Язык программирования	Операционные системы	Дата последнего обновления	Лицензия
java-simple-serial-connector	Java	Windows, Linux, Solaris, MacOS	16.11.12	GNU LGPL
ruby-serialport	Ruby	Windows и семейство POSIX	11.01.09	GNU GPL 2.0
SerialPort .NET	C#	Windows	-	-
qextserialport	C++	Windows, Linux, FreeBSD, Linux	14.11.12	MIT License
node-serialport	JavaScript	Windows и POSIX семейства	12.11.12	-
pySerial	Python Java(Jython) C#(IronPython)	Windows и семейство POSIX, Android	03.08.10	-

Выбирать библиотеку для управления последовательным портом мы будем исходя из следующих критериев:

- количество поддерживаемых операционных систем;
- удобство использования языка программирования;
- библиотека не должна быть устаревшей, т.е. последнее обновление не должно быть старше 3-5 лет;
- лицензия, по которой распространяется библиотека, должна позволять использовать ее без ограничений.

Перечисленным выше критериям лучше всего отвечает библиотека pySerial [3], которую мы будем использовать для реализации прототипа кроссплатформенного ПО на языке Python.

Для реализации пользовательского интерфейса будет использоваться кроссплатформенный фреймворк Kivy [4] для языка Python.

2 Анализ готовых вариантов ПО и реализация собственного кроссплатформенного прототипа ПО

В качестве демонстрации возможностей библиотеки pySerial и фреймворка Kivy мы реализуем простую программу-терминал позволяющую отправлять и принимать данные через COM-порт. Перед разработкой собственного прототипа были проанализированы следующие варианты готовых решений:

- Serial IO (Linux);
- GTKterm (Linux, FreeBSD, MacOS);
- VPTerminal (Linux);
- Advanced Serial Port Monitor (Windows);
- Terminal 1.9B (Windows);
- Termite (Windows);
- Termie (Windows).

Общим недостатком всех перечисленных вариантов является отсутствие кроссплатформенности. На основе анализа была разработана структура интерфейса прототипа кроссплатформенного ПО (рис.2.1):

- блок настройки соединения, выбора порта и подключения;
- блок истории принятых сообщений;
- блок ввода данных для отправки.



Рисунок 2.1 - Структура интерфейса прототипа кроссплатформенного ПО

Интерфейс прототипа ПО реализованный с помощью фреймворка Kivy представлен на рис. 2.2.

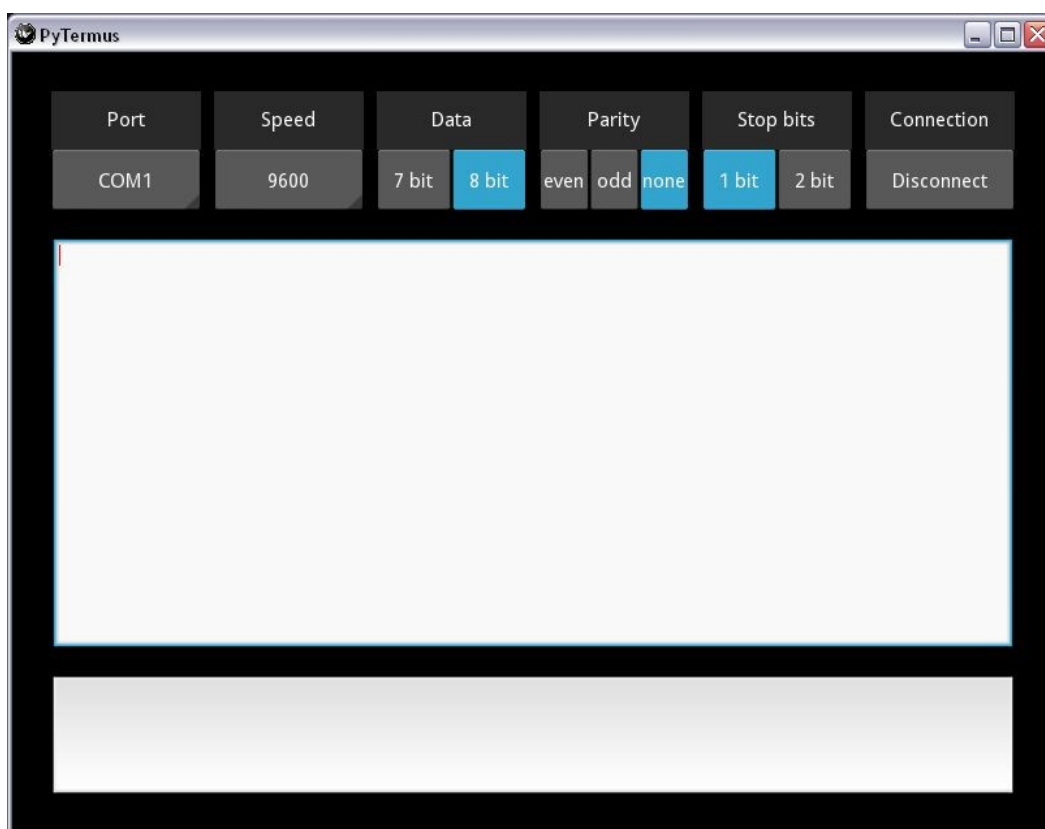


Рисунок 2.2 - Интерфейс прототипа ПО реализованный с помощью фреймворка Kivy

Разработанное ПО можно разделить на две составляющие:

- внутренняя логика (лист. 2.1);
- внешнее представление (лист. 2.2).

Листинг 2.1 - Внутренняя логика ПО

```
from kivy.app import App
from kivy.uix.widget import Widget
from kivy.uix.floatlayout import FloatLayout
from kivy.properties import ObjectProperty, ListProperty
from kivy.uix.spinner import Spinner
from kivy.factory import Factory
from kivy.clock import Clock
import struct
import serial

ser = serial.Serial()

DATABITS_DICT = {
    '7 bit': serial.SEVENBITS,
    '8 bit': serial.EIGHTBITS
}

PARITY_DICT = {
    'even': serial.PARITY_EVEN,
    'odd' : serial.PARITY_ODD,
    'none': serial.PARITY_NONE
}

STOPBITS_DICT = {
    '1 bit': serial.STOPBITS_ONE,
    '2 bit': serial.STOPBITS_TWO
}

class PyTermus(FloatLayout):
    port = ObjectProperty()
    speed = ObjectProperty()
    databits = ObjectProperty()
    parity = ObjectProperty()
    stopbits = ObjectProperty()
    input = ObjectProperty()
    button = ObjectProperty()
    output = ObjectProperty()

    def open_connection(self):
        ser.port = self.port.text
        ser.baudrate = int(self.speed.text)
        ser.bytesiz = DATABITS_DICT[self.databits.value]
        ser.parity = PARITY_DICT[self.parity.value]
        ser.stopbits = STOPBITS_DICT[self.stopbits.value]
        ser.timeout = 0
        ser.close()
        ser.open()
        Clock.schedule_interval(self.update_output, 0.5)

    def change_state(self):
        if self.button.text == 'Connect':
            self.open_connection()
            self.button.text = 'Disconnect'
            return
        if self.button.text == 'Disconnect':
            ser.close()
            Clock.unschedule(self.update_output)
```

```

        self.button.text = 'Connect'
        return

    def update_output(self, dt):
        data = ser.read(20)
        self.output.insert_text(data)

    def input_send(self):
        ser.write(self.input.text)
        self.input.text = ''

class PyTermusApp(App):
    def build(self):
        pytermus = PyTermus()
        return pytermus

Factory.register("PyTermus", PyTermus)
if __name__ == '__main__':
    PyTermusApp().run()

```

Листинг 2.2 - Внешнее представление ПО

```

#:kivy 1.4.1
#:import ports serial.tools.list_ports.comports

<PyTermus>:
    port: port_val
    speed: speed_val
    databits: databits_val
    parity: parity_val
    stopbits: stopbits_val
    input: input_val
    button: con_button
    output: output_val

    BoxLayout:
        orientation: 'vertical'
        padding: 20

        BoxLayout:
            orientantion: 'horizontal'
            padding: 10
            spacing: 10
            size_hint: 1, 0.2
            pos_hint: {'top': 1}
            BoxLayout:
                orientation: 'vertical'
            HSeparator:
                text: 'Port'
            Spinner:
                id: port_val
                values: [str(item[0]) for item in ports()]
                text: self.values[0]

        BoxLayout:
            orientation: 'vertical'

            HSeparator:
                text: 'Speed'

            Spinner:
                id: speed_val

```

```
values: ('9600', '19200', '38400', '57600', '115200')
text: self.values[0]
```

```
BoxLayout:
orientation: 'vertical'
```

```
HSeparator:
text: 'Data'
```

```
BoxLayout:
id: databits_val
value: ""
orientation: 'horizontal'
```

```
ToggleButton:
text: '7 bit'
group: 'data'
on_state: root.databits.value = self.text
```

```
ToggleButton:
text: '8 bit'
group: 'data'
on_state: root.databits.value = self.text
```

```
BoxLayout:
orientation: 'vertical'
```

```
HSeparator:
text: 'Parity'
```

```
BoxLayout:
id: parity_val
value: ""
orientation: 'horizontal'
```

```
ToggleButton:
text: 'even'
group: 'parity'
on_state: root.parity.value = self.text
```

```
ToggleButton:
text: 'odd'
group: 'parity'
on_state: root.parity.value = self.text
```

```
ToggleButton:
text: 'none'
group: 'parity'
on_state: root.parity.value = self.text
```

```
BoxLayout:
orientation: 'vertical'
```

```
HSeparator:
text: 'Stop bits'
```

```
BoxLayout:
id: stopbits_val
value: ""
orientation: 'horizontal'
```

```
ToggleButton:  
text: '1 bit'  
group: 'stopbits'  
on_state: root.stopbits.value = self.text
```

```
ToggleButton:  
text: '2 bit'  
group: 'stopbits'  
on_state: root.stopbits.value = self.text
```

```
BoxLayout:  
orientation: 'vertical'
```

```
HSeparator:  
text: 'Connection'
```

```
Button:  
id: con_button  
text: 'Connect'  
on_release: root.change_state()
```

```
BoxLayout:  
orientantion: 'horizontal'  
padding: 10  
spacing: 10  
size_hint: 1, 0.6
```

```
TextInput:  
id: output_val  
multiline: True  
readonly: False
```

```
BoxLayout:  
orientantion: 'horizontal'  
padding: 10  
spacing: 10  
size_hint: 1, 0.2
```

```
TextInput:  
id: input_val  
multiline: False  
readonly: False  
on_text_validate: root.input_send()
```

```
[HSeparator@Label]:  
size_hint_y: None  
height: 45  
text: ctx.text if 'text' in ctx else "  
text_size: self.size  
valign: 'middle'  
halign: 'center'  
canvas.before:  
  Color:  
    rgba: .2, .2, .2, .8  
  Rectangle:  
    size: self.size  
    pos: self.pos
```

3 Методика тестирования

Для тестирования разработанного ПО будут применяться программы Advanced Virtual Com Port (для создания двух виртуальных COM-портов и NULL-модемного соединения между ними) и Advanced Serial Port Monitor (в качестве второго терминала через который будет вестись взаимодействие с тестируемым ПО) [5]. Блок схема тестирования представлена на рис. 3.1.

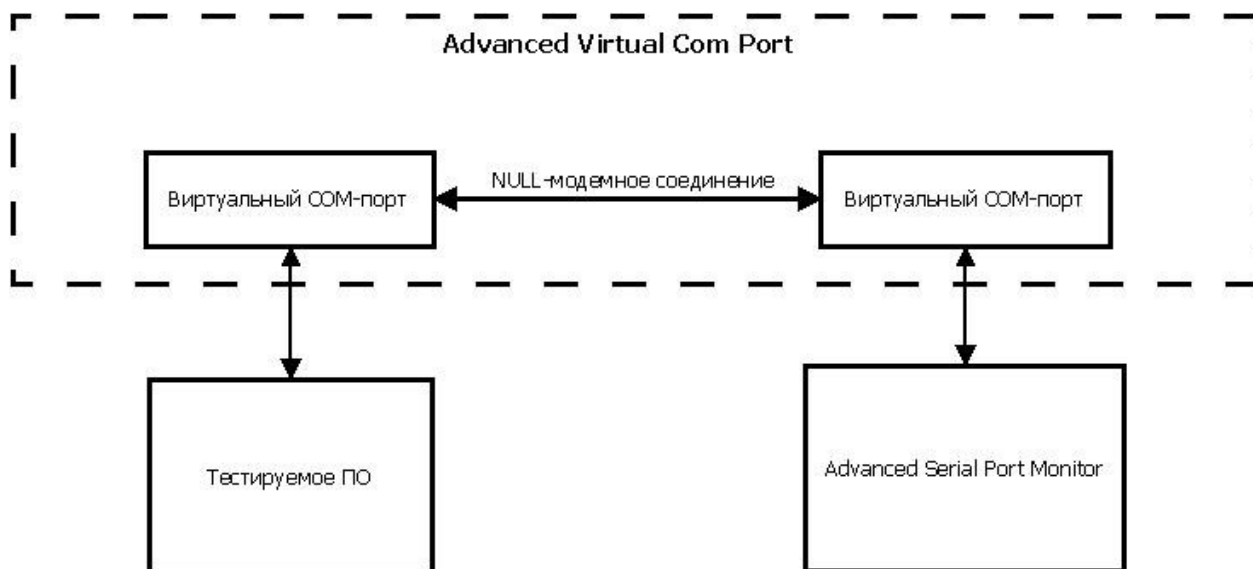


Рисунок 3.1 - Блок схема тестирования разработанного ПО

Результаты тестирования показали, что разработанный прототип кроссплатформенного ПО корректно отправляет и принимает данные через интерфейс COM-порта.

Заключение

Последовательный порт (COM-порт) до сих пор является весьма распространенным интерфейсом для взаимодействия с электронными устройствами, поэтому разработка ПО для работы с COM-портами является актуальной задачей.

Преимуществом метода разработки ПО для работы с COM-портами предложенного в данной работе является кроссплатформенность (за счет использования фреймворка Kivy) и применение современного языка программирования Python, обладающего большим набором библиотек для работы с данными.

Литература

- 1 Последовательный порт / Википедия – свободная энциклопедия (URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Последовательный_порт), проверено 12.12.12
- 2 RS-232 / Википедия – свободная энциклопедия (URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RS-232>), проверено 12.12.12
- 3 PySerial docemetation / sourceforge.net (URL: <http://pyserial.sourceforge.net/index.html>), проверено 12.12.12
- 4 Kivy Documantation / Kivy Foundation (URL: <http://kivy.org/docs/index.html>), проверено 13.12.12
- 5 А.И.Власов, Л.А.Зинченко, В.В.Макарчук, И.А.Родионов Автоматизированное проектирование наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 184 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.13).

СИСТЕМА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭХОКОМПЕНСАЦИИ

Байкина Л. Р.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Семенов С. Г.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ACOUSTIC ECHO CANCELLER

Baykina L.R.

Supervisor: Dr., Prof., Sementsov S.G.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы обеспечения эхокомпенсации в системах связи. Приводится постановка проблемы акустического эха. Представлен процесс разработки систем эхоподавления. В заключении представлены рекомендации по тестированию систем эхокомпенсации.

Abstract

This article presents the acoustic echo cancellation (AEC) problems in communication systems. Describes in detail the full process of designing an AEC systems. Gives a broad overview of AEC functionality. Finally, there are some recommendation for testing AEC systems.

Введение

В связи развитием сетевых технологий и увеличением производительности процессоров, происходит активное развитие технологий организации и поддержки видео/аудио конференций. Поскольку связь может быть организована на разных типах оборудования (персональные компьютеры, мобильные устройства, планшеты и т.д.) и в различных условиях (улица, офис и т.д.), актуальным является вопрос об обеспечении достаточного для общения качества связи. Одним из основных факторов, ухудшающих качество связи, является эхо, возникающее в каналах из-за интерференции и акустической обратной связи. Для борьбы с эхом в каналах связи используются различные методы эхокомпенсации.

В общем случае эхокомпенсация — процесс удаления эха из канала связи для повышения качества передачи акустических сигналов. Эхокомпенсатор — встраиваемое устройство, которое может быть реализовано на различной элементной базе, чаще всего с использованием цифровых сигнальных процессоров.

На рисунке 1 представлена типовая блок-схема эхокомпенсатора. Эхо образуется в результате попадания звука из громкоговорителя в микрофон. Кроме того, происходит его искажение вследствие отражения от предметов окружающей обстановки, этот процесс называют "реверберацией".

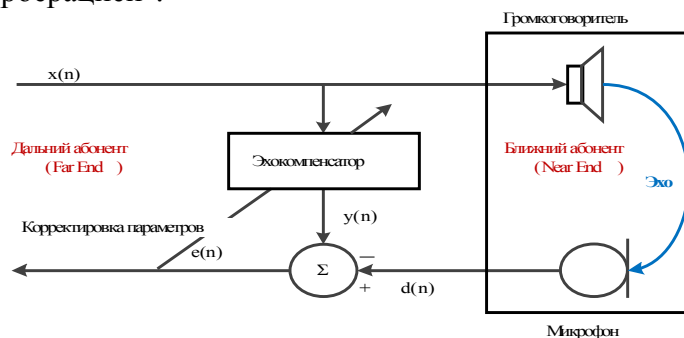


Рисунок 1 – Типовая блок-схема эхокомпенсатора

Работа эхокомпенсатора осуществляется следующим образом:

- Входной сигнал от дальнего абонента $x(n)$, поступает в систему и воспроизводится динамиком ближнего абонента.
- Микрофон ближнего абонента принимает этот сигнал и его последующую реверберацию - $d(n)$.
- Принятый от дальнего абонента сигнал фильтруется и задерживается, чтобы походить на сигнал от ближнего абонента.
- Отфильтрованный сигнал $y(n)$ вычитается из сигнала от ближнего абонента $d(n)$. Результирующий сигнал представляет собой очищенный от прямого эха и реверберационных составляющих сигнал от ближнего абонента.

Согласно рекомендациями МСЭ (Международного Союза Электросвязи) стандарта G.167 [1] акустический эхокомпенсатор (АЭК) должен обеспечивать:

- 1) быструю сходимость алгоритма;
- 2) низкий уровень возвращаемости эха в режиме одиночного разговора;
- 3) незначительное ухудшение подавления эхо-сигнала, при одновременном разговоре абонентов;
- 4) уверенное детектирование двойного разговора (double-talk).

На рисунке 2 представлена разработанная блок-схема системы управления, далее машина состояний, позволяющая решить проблему эхокомпенсации в условиях значительных фоновых акустических шумов и удовлетворяющая стандарту G.167 [1].

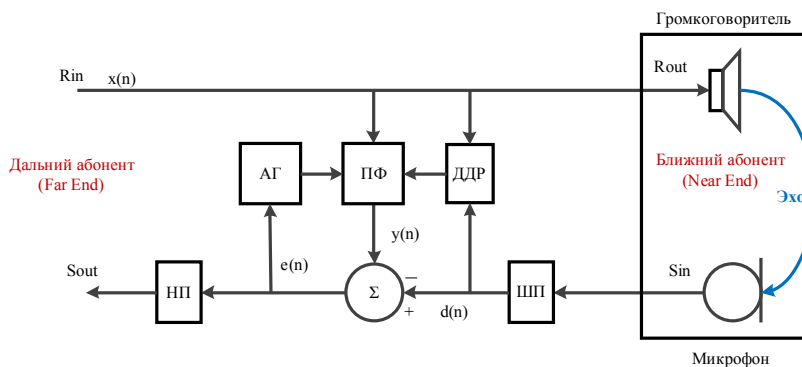


Рисунок 2 - Блок-схема системы управления эхокомпенсатором

Машина состояний состоит из следующих основных блоков:

- ПФ - программируемый фильтр, с настраиваемыми коэффициентами;
- АГ - адаптивный алгоритм, осуществляющих настройку фильтра для минимизации ошибки $e(n)$;
- ДДР - детектор двойного разговора;
- НП - нелинейный процессор - обеспечивает подавление остаточного эха;
- ШП - шумоподавитель;

Машина состояний обеспечивает четыре режима работы:

- 1) прием (receive) - присутствует речь только дальнего абонента;
- 2) передача (transmit) - присутствует речь только ближнего абонента;
- 3) двойной разговор (double-talk) - присутствуют речь дальнего абонента и речь ближнего абонента;
- 4) задержка (idle) - нет речевого сигнала.

Переключение между режимами работы осуществляется в реальном режиме времени. Наиболее критическими с точки зрения сложности работы для машины состояний являются режим "приема" и режим "двойного разговора". Для обеспечения правильности работы в

этих режимах в систему управления введены детектор двойного разговора и нелинейный процессор.

Основной алгоритмической базой АЭК является алгоритм наименьших средних квадратов (Least Mean Square - LMS) [2]. Данный тип алгоритма обладает сравнительно небольшой вычислительной сложностью и прост в реализации.

Блок-схема работы адаптивного фильтра системы АЭК представлена на рисунке 3, где $w(n)$ - коэффициенты фильтра, $x(n)$ - входные речевые отсчеты. Линия задержки D необходима для правильной работы фильтра. $e(n)$ - оценка ошибки сигнала, которая определяется как:

$$e(n) = d(n) - y(n), \quad (1)$$

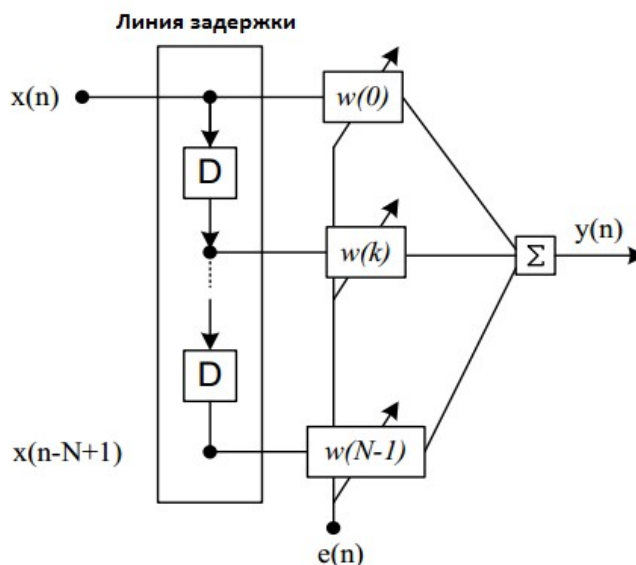


Рисунок 3 - Блок-схема адаптивного фильтра АЭК

В свою очередь выход фильтра вычисляется как:

$$y(n) = x^T(n) * w(n) \quad (2)$$

Для обеспечения максимальной производительности при портировании на сигнальные процессоры рассмотрим модификацию метода наименьших квадратов – нормализованный метод наименьших квадратов (Normalized Least Mean Square - NLMS), отличающийся предварительным нормированием входных данных [3].

В основе методов градиентного спуска (LMS, NLMS) лежит алгоритм минимизации значения среднеквадратичной ошибки (СКО - Mean Square Error (MSE)). В каждой итерации сигнал ошибки по цепи обратной связи поступает на вход адаптивного фильтра и коэффициенты фильтра меняются таким образом, чтобы минимизировать СКО. В случае эхокомпенсатора это означает, что когда сигнал $y(n)$ с выхода адаптивного фильтра равен сигналу $d(n)$ с микрофона ближнего абонента, сигнал ошибки $e(n)=0$ и весь эхо-сигнал подавлен.

Коэффициенты фильтра рассчитываются следующим образом:

$$w(n+1) = w(n) + \mu(n) e(n) x(n), \quad (3)$$

где μ - скорость обучения, не зависящая от входных данных, равная:

$$\mu = \frac{1}{\delta + x(n) \cdot x^T(n)}, \quad (4)$$

где δ - малая положительная константа, используемая для избегания деления на 0.

Алгоритм работы машины состояний, выполняющей адаптивную фильтрацию показан на рисунке 4, где SM - sign-and-magnitude form - специальный формат хранения целых чисел, а C2 - two's complement form (число в дополнительном коде).

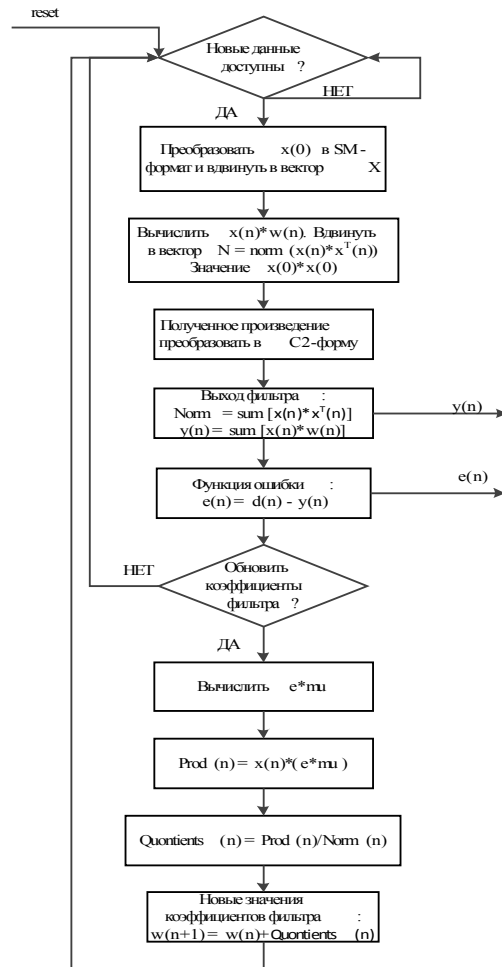


Рисунок 4 - Блок-схема управляющего алгоритма

Процедуру оценки качества работы эхокомпенсатора можно условно разделить на 2 части:

- 1) оценка сходимости адаптационного алгоритма;
- 2) оценка работы машины состояний.

На рисунке 5 показан входной речевой сигнал длительностью 10 мс $x(n)$, пропущенный затем через фильтр, импульсная характеристика которого представляет собой набор из 256 коэффициентов. Та же длина импульсной характеристики использована и для адаптивного фильтра. Значение параметра скорости обучения было выбрано равным 0,014.

На рисунке 6 представлены результаты тестирования управляющего алгоритма. Оценка производилась в среде MatLab. Значение среднеквадратичной ошибки (СКО) рассчитывалось по формуле:

$$СКО = 10 \cdot \log_{10} (E\{|e(n)|^2\}) \text{ дБ} \quad (5)$$

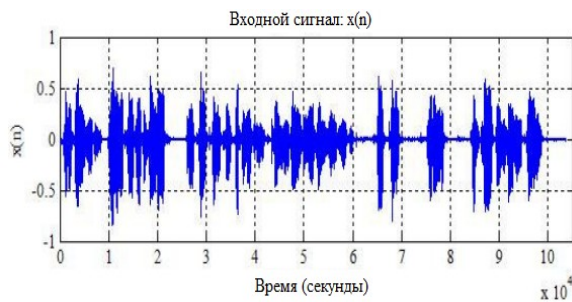


Рисунок 5 - Входной сигнал



Рисунок 6 - Сходимость алгоритма

Во многом качество работы эхокомпенсатора обеспечивается правильной организацией системы управления (машины состояний).

Большинство стандартных тестов являются статическими, т.е. направлены на тестирование сходимости алгоритмов адаптивной фильтрации. К сожалению, сходимость в этих условиях не гарантирует, что система будет адекватно работать в реальных условиях и в реальном режиме времени. Если машина состояний не устойчива, то остальные характеристики системы не имеют значения.

Тестирование работы системы управления осуществляется следующим образом: выбирается группа слушателей, которые субъективно оценивают качество работы системы по следующим критериям, согласно рекомендациям МСЭ [1, 4-6]:

- 1) остаточное эхо - если остаточное эхо достаточно велико, то возможны значительные звуковые искажения. Особенно заметно в режиме "прием".
- 2) потеря сходимости - эхокомпенсатор теряет сходимость, в результате чего эхо может звучать громче, чем при отсутствии какой-либо эхокомпенсации. Это происходит при ошибке машины состояний в режиме "двойного разговора".
- 3) самовозбуждение, возникающее когда стороны - участники связи используют оборудование с близкорасположенными динамиками и микрофонами (беспроводные гарнитуры с открытым микрофоном).
- 4) ослабление речевого сигнала в режиме "двойного разговора" - заметные изменения в уровне громкости в режиме "двойного разговора". Возникает в виду ошибки машины состояний в определении режима работы, вместо режима "двойного разговора" включается режим "приема", в процессе которого происходит ослабление ближайших сигналов для снижения остаточного эха (нелинейный процессор).
- 5) полудуплексный режим. Крайний случай ослабления речи в режиме "двойного разговора". Речь одной из сторон ослабляется настолько, что становится полностью неслышной.
- 6) зашумленная, искаженная речь. Очень заметные искажения, возникающие при нелинейных изменениях речевого сигнала. Речь может быть изменена до неузнаваемости. Происходит при переходе из режима "двойного разговора" в режим "приема"
- 7) состояние звуковых переходов. Звуковые изменения шумового фона, щелчки, изменения уровня громкости. Возникает при переходе машины состояний из одного режима в другой

Заключение

Управляющие структуры системы эхокомпенсации, реализованные по предложенной схеме могут быть использованы для создания эффективных систем акустической эхокомпенсации нового поколения. Возможность использования различных алгоритмов адаптации позволяет реализовать систему на большей части существующих архитектур сигнальных процессоров. Предложенная организация структуры машины состояний позволяет встроить её в существующие системы управления связью, такие как модемы или радиостанции.

Литература

1. ITU-T Recommendation G.167. Acoustic Echo Canceller, 2012.
2. Elliot S.J., Nelson P.A. Algorithm for multichannel LMS adaptive filtering // Electronic Letters - 2005. 21. P.979.
3. Paulo S.R. Diniz: Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation, Third Edition// Springer, 2009 P.627.
4. ITU-T Recommendation G.168. Digital Networks Echo Cancellers, 2012.
5. Власов А.И., Семенцов С.Г. Системный анализ на основе моделирования передаточных функций вторичного канала для систем активного гашения шума авиационной техники // Авиакосмическое приборостроение. 2008. №10, с. 43-49.
6. Власов А.И., Семенцов С.Г. Влияние конечной разрядности в системах цифровой обработки // Датчики и системы. 2009. № 6. С. 39-43.

ЛИТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ОКОН ПО ТЕХНОЛОГИИ 0.25 МКМ

Благова С.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.

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

LITHOGRAPHY FORMING CONTACT WINDOWS 0.25 MICRON

Blagova S.V.

Supervisor: Candidate of technical science, reader Makarchuk V.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье подробно рассмотрен литографический процесс создания контактных окон по технологии 0.25 мкм. На примере установки проекционной пошаговой мультипликации PAS 5500/250С фирмы ASML исследованы ее технические возможности и проведен анализ полученных экспериментальных результатов, что позволило дать рекомендации по улучшению технологического процесса вскрытия контактных окон.

Abstract

The article discussed in detail the process of creating a lithographic contact windows on 0.25 micron technology. On the example of the installation of the projection step animation company ASML PAS 5500/250S investigated the technical possibilities and the analysis of the experimental results, which allowed to make recommendations to improve the process of opening contact windows.

Введение

Процесс изготовления полупроводниковых приборов состоит из множества производственных операций. Третья часть производственных затрат приходится на литографические процессы [1]. Литография на сегодняшний день является одним из ключевых и широко используемых процессов в микроэлектронике. В то же время, это один из наиболее сложных, как по применяемым инструментальным методам, так и по технологическим приемам, процессов.

Наиболее быстрыми темпами литография стала развиваться с 1970-х годов. Предпосылками к этому был переход от контактной печати к проекционной печати. В 1992 году были получены проектные нормы в 0.35 мкм, для этого в качестве источника излучения использовалась ртутная лампа высокого давления с длиной волны 365 нм. Дальнейшее уменьшение критических размеров на пластине происходило за счет сокращения длины волны источника экспонирующего излучения: в 1996-98 г. в качестве источников излучения начали использовать излучение эксимерных лазеров, что позволило сократить длину волны излучения до 248 нм, а впоследствии и до 193 нм [2].

Из-за планомерного роста числа компонентов современных интегральных схем появляется потребность постоянного увеличения разрешающей способности процесса литографии и соответствующего улучшения точности совмещения слоев топологического рисунка.

Реализация данных тенденций идет по нескольким путям развития. Первый путь – это совершенствование оборудования и материалов для оптической литографии, и второй путь – это создание качественно новых фотолитографических систем [3].

Из классического уравнения Рэля, описывающего теоретические основы проекционной оптики, видно, что разрешающая способность системы зависит от коэффициента уровня технологии, длины волны экспонирующего излучения и числовой апертуры объектива:

$$R = \frac{k_1 \cdot \lambda}{N.A.}$$

R – разрешающая способность оптической системы,

k_1 – коэффициент уровня технологии, значение в диапазоне 0.5-1.0,

λ – длина волны экспонирующего излучения,
 $N.A.$ – числовая апертура объектива проекционной установки.

Как следует из вышеприведенной формулы, чем меньше коэффициент уровня технологии и больше апертура, тем выше разрешающая способность системы.

Было предложено несколько технических решений для уменьшения k_1 : от применения многослойных резистов до применения внеосевого освещения и использования фазосдвигающих шаблонов, однако реальное применение этих способов имеет весьма ограниченный характер, поскольку приводит к значительному усложнению и удорожанию процесса литографии.

Другое важное математическое выражение, имеющее отношение к характеристикам процесса, связывает глубину резкости изображения с длиной волны света и числовой апертурой объектива:

$$DOF = \frac{k_2 \cdot \lambda}{N.A.^2}$$

DOF – глубина резкости изображения,
 k_2 – коэффициент качества объектива, максимальное значение 2,
 λ – длина волны света для экспонирующего излучения,
 $N.A.$ – числовая апертура объектива.

Значение числовой апертуры объектива – это мера светособирающей способности оптики. Изготовители современных фотолитографических систем используют специальное оптическое устройство, обеспечивающее возможность изменение значений числовой апертуры. Таким образом, для каждого литографического слоя возможно выбрать оптимальное значение апертуры [3]. Кроме того, такие показатели процесса, как разрешающая способность, воспроизводимость размеров топологических элементов и глубина резкости объектива, можно существенно улучшить путем применения метода топологической коррекции некоторых дифракционных эффектов («оптической близости» и локальной расфокусировки изображения на элементах рельефа) и тщательного подбора оптимальных режимов литографического процесса формирования контактных окон, посредством построения процессных окон в пространстве «фокус — доза экспозиции».

В НИИСИ РАН для проведения литографических процессов используется установка PAS5500/250C фирмы ASML (Голландия) с длиной волны экспонирующего излучения 365 нм, которая обеспечивает разрешение до 0.3 мкм. Необходимость улучшения проектных норм до размеров 0.25 мкм потребовала исследования возможностей установки и оптимизации самого литографического процесса.

В настоящее время стоит вопрос оптимизации параметров процесса получения контактных окон с различной плотностью распределения по слою, используя моделирование процесса литографии и введение топологической коррекции.

Установка PAS5500/250C фирмы ASML (Голландия)

Это высокопроизводительная проекционная установка (степпер), обладающая высоким разрешением, с длиной волны 365 нм (i -линия излучения ртути) и обеспечивающей разрешение 0.3 мкм. Среди аналогичных установок, использующих i -линию излучения ртути, эта модель отличается гибкостью настройки большого числа процессных параметров.

Конструктивно установка состоит из нескольких модулей. Основой главного модуля является массивная стальная рама, непосредственно на которой смонтирована оптическая система (рисунок 1). В таблице 1 приведены технологические параметры установки.

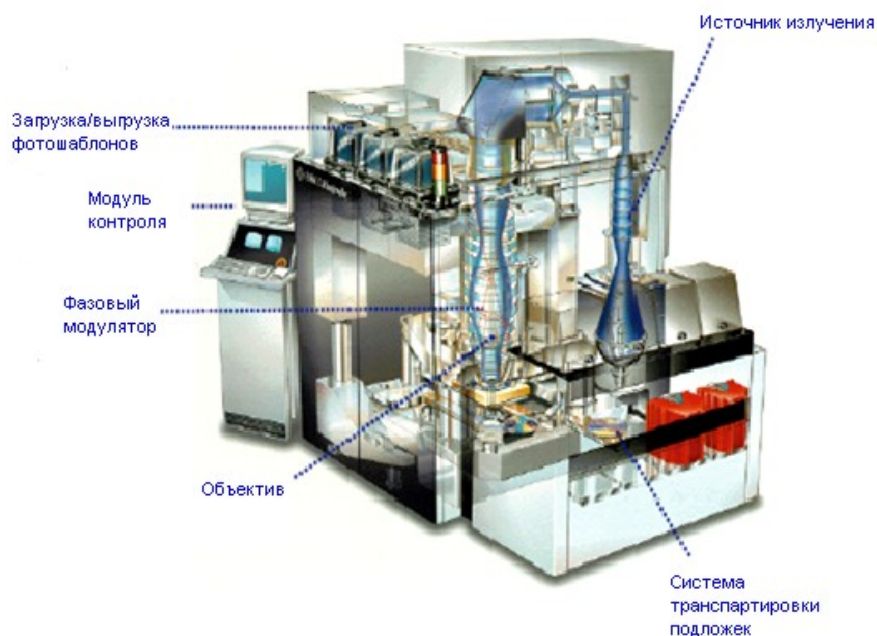


Рисунок 1 – Общий вид проекционной литографической установки PAS5500/250C

Таблица 1 - Технические параметры установки PAS5500/250C

Коэффициент отъема	5:1
Источник излучения	<i>i</i> -line Hg
Длина волны	365 нм
Числовая апертура	0.48-0.6
Разрешение	0.3 мкм
Размер кадра	22×22 мм
Рассовмещение	40 нм
Оптическая дисторсия	40 нм
Размер пластин	6", 8"
Производительность, пластин/час	120 (6") 90 (8")

Фотошаблон автоматически загружается в установку из специального SMIF-контейнера, и идентифицируется по специальному штрихкоду. Экспонируемая пластина автоматически загружается из кассеты. Перед ее установкой на стол она проходит процедуру предварительного совмещения, после которой переносится на стол экспонирования. Совмещение фотошаблона с пластиной осуществляется с помощью специальной подсистемы [4].

Во время литографического процесса происходит покадровая фокусировка. Экспонирование ведется по оптимальному алгоритму обхода пластины с учетом доступности в текущий момент информации от датчика уровня. Во время экспонирования одной пластины, следующая проходит процедуру предварительного совмещения. Это значительно повышает производительность установки [4].

Получение слоя «контактные окна»

Процесс получения контактных слоев представлен на рисунке 2.

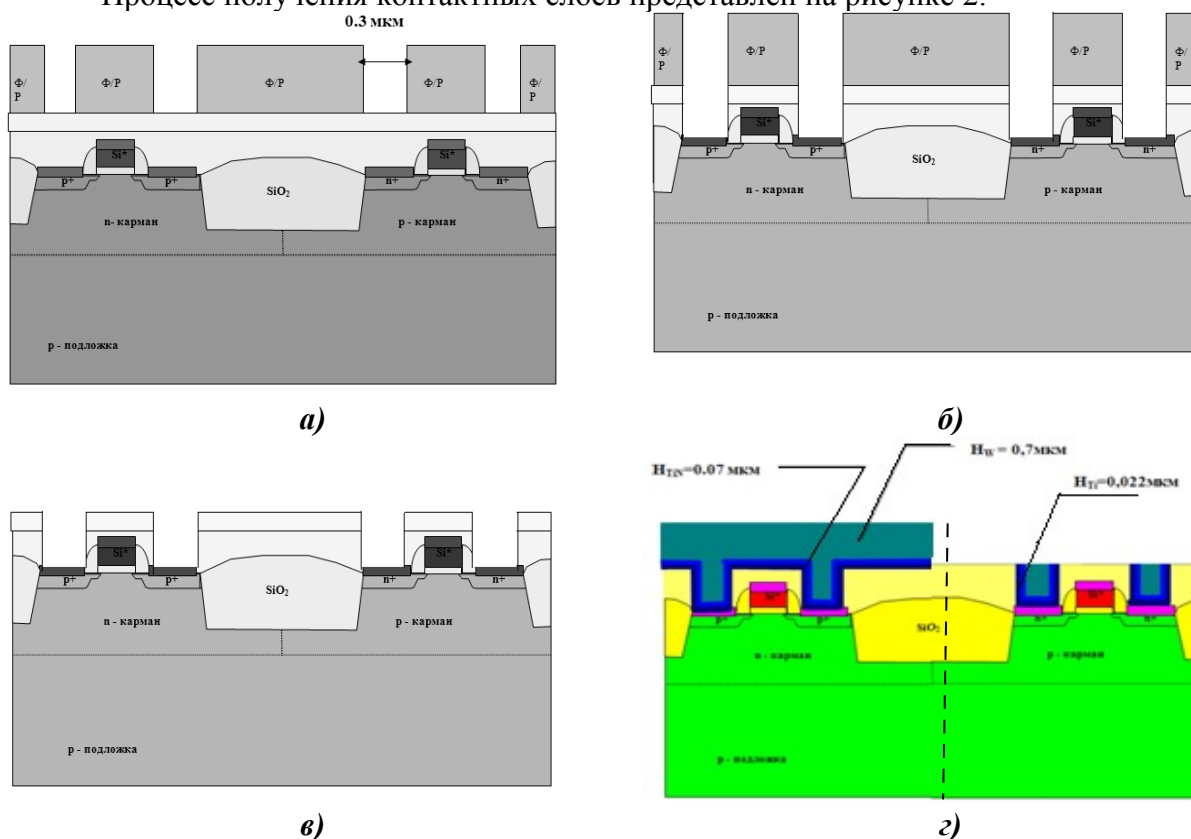


Рисунок 2 – Процесс получения контактных слоев

Литографический процесс получения контактных окон представляет собой стандартный набор ключевых операций, использующихся при фотолитографии остальных слоев, но так же используются некоторые операции, характерные только для получения контактного слоя.

Данный процесс можно разбить на четыре основных этапа, которые представлены на рисунке 2. На первом этапе происходит нанесение резиста на поверхность планаризованного предыдущего слоя, экспонирование и проявление (а). Второй этап представляет собой анизотропное травление оксида кремния в местах, незащищенных фоторезистивной маской (б). На третьем этапе происходит удаление фоторезиста в специальном растворителе и химическая очистка (отмывка) поверхности пластины (в). Четвертый этап – это осаждение на поверхность проводящего слоя, состоящего из таких веществ как титан Ti , нитрид титана TiN и вольфрам W . После их осаждения проводят полировку, в результате которой частично удаляется проводящий слой с поверхности пластины. Он остается только в вытравленных областях для создания проводящих «пробок» (г). На завершающей стадии этапа происходит отмывка пластины, с целью удаления с нее возможных загрязнений.

Несмотря на кажущуюся простоту процесса формирования контактных слоев в теории, на практике технологи сталкиваются с проблемой разброса линейных размеров, получаемых структур с различной плотностью распределения по площади кристалла СБИС. Что сказывается в ухудшении качества и работоспособности всей структуры. Для решения данной проблемы необходимо разработать методику оптимизации получения контактных слоев с субмикронными размерами элементов при различной плотности их распределения по площади кристалла СБИС [5].

Экспериментальные результаты, получения контактных окон

С целью решения возникшей проблемы был проведен эксперимент по получению одиночных контактных окон размером в интервале 0.28 – 0.34 мкм и последующему измерению их размеров с помощью оптического микроскопа (рисунок 3). Измерения проводились по нижней плоскости контактного окна и были сведены в общую таблицу. По результатам измерения было построено процессное окно в пространстве «фокус — доза экспозиции» и определены его границы, удовлетворяющие исходному условию (таблица 2). Исходные параметры для экспонирования были выбраны, опираясь на сведения о материале резиста и предыдущих опытах: доза экспонирования $E = 800 \pm 14$, фокус $F = -0.1 \pm 0.1$. Для каждого шага экспонирования менялось значение дозы и фокуса.

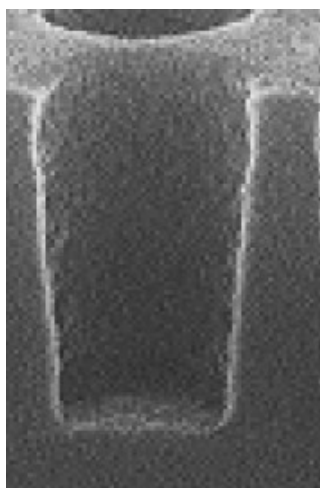


Рисунок 3 – Контактное окно в разрезе

Таблица 2 – Результаты измерений

Доза\Фокус	0.2	0.1	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
730	0.2781	0.3146	0.2969	0.2856	0.2734	0.2145	0.1970
744	0.3160	0.2941	0.2971	0.2812	0.2661	0.2672	0.2658
758	0.2962	0.3025	0.2921	0.2825	0.2751	0.2310	0.1630
772	0.3055	0.2891	0.3057	0.2922	0.2800	0.2142	0.1281
786	0.3202	0.3103	0.3049	0.3049	0.2777	0.2514	0.1663
800	0.2998	0.3184	0.3170	0.3028	0.3063	0.2621	0.2557
814	0.3279	0.3186	0.3234	0.3154	0.3062	0.2922	0.2426
828	0.3164	0.3109	0.3301	0.3193	0.2963	0.2854	0.2186
842	0.3421	0.3274	0.3298	0.3377	0.3323	0.3058	0.2599
856	0.3534	0.3371	0.3436	0.3415	0.3406	0.3406	0.3061
870	0.3480	0.2923	0.3545	0.3265	0.2900	0.2242	0.3084

Из результатов, представленных в таблице, были выбраны те из них, которые удовлетворяют заданному интервалу размера контактных окон. Кроме того необходимо учитывать, что выбранные результаты должны быть представлены единой областью в таблице. После анализа результатов была выбрана область, для которой выполняются все поставленные ограничения (в таблице она выделена жирным шрифтом). Эта область и является процессным окном для получения контактных слоев с необходимыми размерами.

Заключение

В результате проведенного эксперимента было выбрано процессное окно для воспроизведения одиночных контактных окон с заданными размерами. Подбор режима был осуществлен по средствам построения технологических окон в пространстве «фокус — доза экспозиции».

Однако для группы контактных окон с различной плотностью распределения по слою, данный результат не будет удовлетворять всем заданным условиям. Подобрать для них процессное окно, отвечающее всем ограничениям путем построения технологических окон в пространстве «фокус — доза экспозиции» сложнее, чем для одиночных окон. Соответственно для выполнения таких задач, возможно, придется воспользоваться методом топологической коррекции при моделировании процесса.

Литература

1. Моро У. Микролитография. Принципы. Методы. Материалы. Часть 1. Перевод с английского канд. физ.-мат. наук Д.Ю. Зарослова — М: Мир, 1990. — 612 с.
2. Chris Mack. Fundamental principles of optical lithography. — Wiley, 2007. — 515 с.
3. Обзор: современное состояние, проблемы и пути развития технологии и оборудования микролитографии. — Зеленоград: Микрон-принт, 2004. — 8 с.
4. Родионов И.А. Проблемы проекционной фотолитографии i-line диапазона при получении СБИС с субмикронными размерами элементов. Квалификационная работа бакалавра. — М: МГТУ, 2006.
5. А.И.Власов, Л.А.Зинченко, В.В.Макарчук, И.А.Родионов Автоматизированное проектирование наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 184 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.13).

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ALTIUM DESIGNER 10 НА ПРОИЗВОДСТВЕ И В ОБУЧЕНИИ

Шевчик А.А., Чернухин М.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Гриднев В.Н.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM ALTIUM DESIGNER 10 ON MANUFACTORY AND STUDYING

Shevchik A.A., Chernuhin M.V.
Supervisor: Dr., Prof., Gridnev V.N.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается комплексная система автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств Altium Designer 10. Подробно исследованы проблемы, возникающие в процессе внедрения данной системы в радиоэлектронное производство, а так же проблематика проведения лабораторных работ, ориентированных на изучение Altium Designer 10. В заключении представлены рекомендации для создания собственной библиотеки компонентов и методика ведения лабораторных работ.

Annotation

In article the end-to-end system of computer-aided design of radio-electronic means of Altium Designer 10 is considered. The problems arising in the course of implementation of this system in radio-electronic production are discovered, and the perspective of carrying out the laboratory operations oriented on study of Altium Designer 10 are probed. In the inference recommendations for creation of own library of components and a technique of guiding of laboratory operations are provided.

Введение

В настоящее время невозможно представить себе производство радиоэлектронной промышленности, не использующее системы автоматического проектирования (САПР). В 2008 году австралийская компания Altium представила свою систему Altium Designer, в настоящее время уже 10ой версии. В процессе производства электронной аппаратуры разработчик сталкивается с рядом проблем, которые необходимо решать комплексными средствами на всех этапах производства. Для этого на предприятиях внедряется САПР такая как Altium Designer, интегрированная с оборудованием, оснасткой и системой документооборота компании-производителя.

Целью работы является получение набора рекомендаций для успешного внедрения САПР Altium Designer 10 в производство и обучение сотрудников производства или студентов профильных специальностей его использованию.

Решаемые задачи:

- разработка библиотеки условных графических изображений компонентов (УГО) и библиотеки посадочных мест с последующей их интеграцией,
- разводка проводящего рисунка платы с учётом состава компонентов и их посадочных мест,
- разработка методики проведения лабораторных работ с целью освоения студентами Altium Designer.

Для решения поставленных задач были использованы ресурсы находящиеся на сайте разработчика в свободном доступе [1], а так же книга А.Е. Сабунина [2].

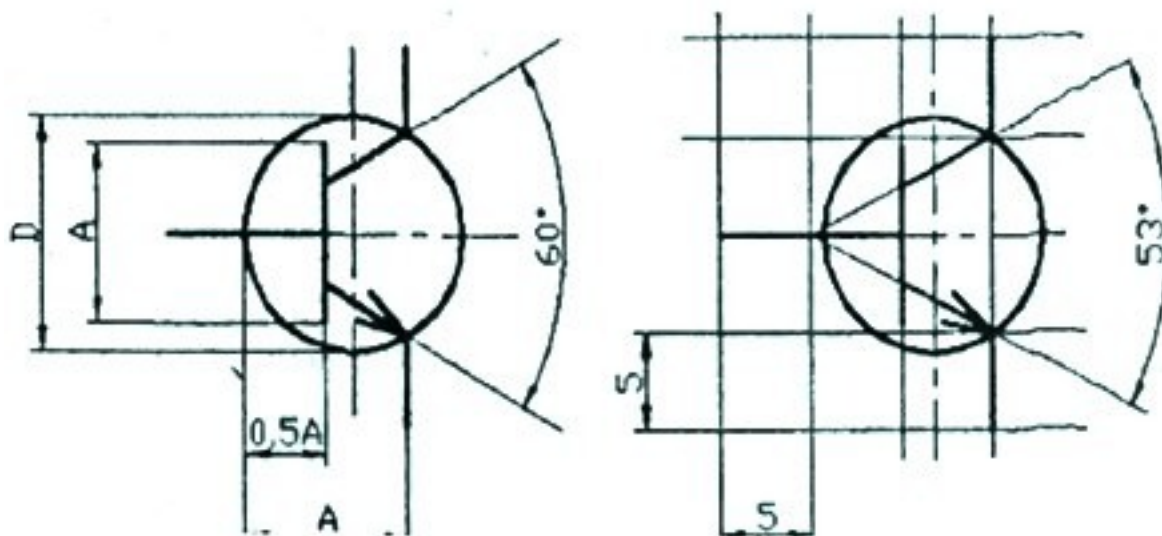
1 Создание библиотеки УГО

Для создания библиотеки условных графических обозначений необходимо открыть Altium Designer и пройти по File/New/Library/Schematic Library, в появившемся рабочем окне создать библиотеку УГО.

При создании УГО по ЕСКД удобнее всего использовать сетку с шагом 5 мм, но для более плотного размещения лучше подходит 2,5 мм. Рассмотрим особенности формирования схемного символа на примере биполярного транзистора. В соответствии с ГОСТ 2.730-73 УГО биполярного транзистора формируется геометрическим построением. В круге диаметром 12 или 14 мм под углом 60 градусов друг к другу и симметрично относительно диаметра строятся два луча. Размер «А» между исходной точкой лучей и точкой их пересечения с окружностью составляет 9 или 11 мм и определяет все остальные размеры УГО. Линия базы транзистора строится на расстоянии $0,5A$ от исходной точки лучей и имеет длину, также равную А (рисунок 1).

Так как создание УГО точно по ГОСТу неудобно в данной программе, рациональным решением будет построить биполярный транзистор, так как показано на рисунке 1б.

Линии УГО проводятся через узлы 5-миллиметровой сетки, линии выводов также имеют длину 5 или 10 мм, а окружность, изображающая корпус транзистора, смещена вправо так, что ее контур проходит через точки окончания линий эмиттера и коллектора. Угол раствора коллектора и эмиттера составляет при этом 53 градуса.



а) Изображение транзистора по ГОСТу

б) Изображение транзистора в Altium Designer

Рисунок 1 - Создание биполярного транзистора

Графика транзистора в этом случае будет немного не соответствовать ГОСТ (что не различимо при печати), при необходимости создания более точной графики следует рисовать УГО с меньшим шагом сетки.

Всё это повторяется для каждого компонента используемого для разводки и проектирования платы.

2 Создание библиотеки посадочных мест

Для создания библиотеки посадочных мест, необходимо выполнить команду File/New/Library/PCB Library. В результате появится рабочая область, в которой создаётся посадочное место для каждого УГО.

Созданию посадочного места проходит в два этапа: установка контактных площадок, разработка графического изображения корпуса компонента

Создание посадочного места может быть выполнено с помощью мастера или вручную.

Кликаем правой кнопкой мыши по области компоненты текущей библиотеки в появившемся окне выбираем New Blank Component, после чего в панели PCB Library появится новое посадочное место с условным названием, которое можно поменять, кликнув на него два раза левой кнопкой мыши.

Для установки контактной площадок выполним команду Place/Rad и нажмём клавишу Tab, откроется окно настройки контактной площадки. После установки нужных характеристик нажмём ОК и установим контактную площадку в нужное место, так же это окно вызывается двойным кликом левой кнопки мыши по контактной площадке.

Разрабатываемая графика корпуса компонента должна быть выполнена в слое Top Overlay, чтобы перейти в этот слой нажмём кнопку с соответствующим названием в нижней части экрана. Выбираем Place/Line это полилиния, предназначенная для создания графики.

Мы должны нарисовать нужную нам графику соответствующую контактным площадкам расположенным в рабочей области.

3 Синхронизация библиотеки символов и библиотеки посадочных мест

Созданная библиотека может быть использована только в пределах одного проекта. В следующем проекте пришлось бы проделывать однотипную работу и создавать библиотеку заново или её копировать, что тоже не является правильным решением.

Для создания общей библиотек нам потребуется сохранить все созданные нами файлы. Проходим в файл создания УГО там выберем нужный нам компонент и в окне подключаемых моделей нажимаем кнопку Add Footprint. Появляется окно, в котором мы нажимаем кнопку Browse для того что бы выбрать нужное нам посадочное место. Pin Map служит для указания соответствия между Designator в ручную, в автоматическом режиме они синхронизируются соответственно порядковому номеру.

Для создания интегрированной библиотеки, нам необходимо выполнить File/New/Project/Integrated Library. Во вкладке Projects появится проект, которому мы можем дать нужное нам название и сохранить в том же месте где сохранены предыдущие файлы. После чего необходимо перетащить файлы наших библиотек в этот проект.

Далее можно приступить к компиляции библиотеки, для этого надо выполнить Project/Compile Integrated library (название нашего проекта), если не произошло ошибок, то в правой части экрана появится окошко с нашей библиотекой и уже связанными посадочными местами с УГО. Эту библиотеку можно использовать в любых проектах, постепенно пополняя её.

4 Проведение практических занятий

Система Altium Designer 10 имеет гибкую многоуровневую систему настроек и большое количество различных опций, описывающих каждую возможную ситуацию в процессе разработки радиоэлектронной продукции.

Для обучения сотрудников производства или студентов профильных специальностей следует проводить ряд практических занятий, иллюстрирующие базовые этапы создания необходимого изделия.

Важным фактором на подобных занятиях является наглядность, т.е. методические материалы для этого курса должны иметь множество иллюстраций, поясняющих подписей и рассматривать всевозможные варианты развития событий.

Работнику или студенту следует самому, под присмотром учителя, повторить шаги, описанные в методическом пособии, и, затем, закрепить их на индивидуальном примере, пользуясь консультациями учителя.

Заключение

В результате внедрения на предприятии САПР Altium Designer стоит ожидать качественно новый уровень выпускаемой продукции с обновленной элементной базой и улучшенными темпами производства.

Наличие сквозной системы документооборота между различными этапами проектирования позволит сократить время затрачиваемое на оформление документации.

Сотрудники или студенты, прошедшие курс обучения работе в Altium Designer, должны быть способны к самостоятельному конструированию собственного модуля или выполнению любой из отдельных фаз конструирования.

Преимуществами системы Altium Designer 10 перед конкурентами является её унифицированность, иерархическое проектирование, реализация управления проектными данными на уровне предприятия, расширенный контроль проектных норм, гибкая структура проекта, поддержка новейших ПК и технологий обработки графики, широкие возможности управления библиотеками и синтез перспективных технологий.

На основе опыта применения Altium Designer 10 в производственных условиях и на базе изученного материала сайта компании Altium, было разработано методическое руководство для проведения лабораторных работ.

Литература

1. Altium Designer 10 список обучающей литературы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.altium.com/training/en/manuals-and-downloads.cfm>, свободный. – Проверено 29.12.2012
2. Сабунин А. Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. - 432 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ БИБЛИОТЕКИ СТАНДАРТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ С МИНИМАЛЬНОЙ ПРОЕКТНОЙ НОРМОЙ 0,25 МКМ

Чистяков М.Г.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Макаrchук В.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия
Руководитель группы проектирования ИМС Морозов С.А.
НИИ Системных исследований РАН, Москва, Россия

RESEARCH OF TOPOLOGY OF FIELD TRANSISTORS FOR LIBRARY OF STANDARD FUNCTIONAL KNOTS WITH THE MINIMUM DESIGN VALUE OF 0,25 MICRONS

Chistyakov M.G.

Supervisor: candidate of technical science, reader Makarchuk V.V.
MSTU named after N.E. Bauman, faculty IU4, Moscow, Russia
Head of group of design IC Morozov S.A.
SRI of System Analysis RAS, Moscow, Russia

Аннотация

В работе проведен обзор основных типов полевых транзисторов, используемых в аппаратуре специального назначения, по габаритным и электрическим параметрам. Основными критериями сравнения являлись плотность компоновки, входные емкости и потребляемая мощность. На основе проведенного анализа предложены пути усовершенствования конструктивно-топологических характеристик полевых транзисторов для повышения радиационной стойкости и уменьшения потребляемой мощности СБИС, создаваемых на их основе.

Abstract

In work the review of the main types of the field transistors, used in the equipment of a special purpose, on dimensional and electric parameters is carried out. The main criteria of comparison were the configuration density, entrance capacities and power consumption. On the basis of the carried-out analysis ways of improvement of constructive and topological characteristics of field transistors for increase of radiation firmness and reduction of power consumption of VLSI created on their basis are offered.

Введение

Уменьшение проектных норм ведет к необходимости разработки новой электронной компонентной базы (ЭКБ). Также для разработки радиоэлектронной аппаратуры специального назначения необходимо учитывать воздействия, которым подвержена аппаратура. Исследования авторов, проводимые в статье [1], дают представление о радиационном воздействии на интегральные микросхемы, функционирующие в космическом пространстве. Согласно исследованиям, радиационное воздействие вызывает единичные сбои и изменения уровня помехоустойчивости в ЭКБ. Для устранения проблем единичного сбоя используются схемные и программные методы, а также способы увеличения электрической емкости в критических узлах микросхем, которая сглаживает воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ).

В настоящее время для разработки микросхем используются языки высокого уровня, такие как Verilog или VHDL, позволяющие моделировать работу микросхем на логическом уровне на основе предварительно разработанной библиотеки базовых функциональных узлов, удовлетворяющих заданные критерии стойкости к внешним воздействиям. Из этих узлов и происходит автоматическое построение топологии. В частности, для создания библиотеки базовых функциональных узлов необходим выбор базового элемента – топологии полевого транзистора.

Основной задачей работы является выбор на основании экспериментальных данных топологии полевого транзистора для технологии кремний на изоляторе (КНИ) с

минимальной проектной нормой 0,25 мкм, используемого для разработки библиотеки стандартных функциональных цифровых узлов с обеспечением максимальной плотности компоновки и стойкостью к накопленной дозе радиации, используемой для проектирования ЭКБ специального назначения.

1 Сравнение и выбор конструктива по габаритным признакам

Для осуществления разработки библиотеки функциональных узлов был проведен сравнительный анализ топологических конструктивных решений транзисторов, наиболее подходящих для разработки ЭКБ специального назначения. Анализ существующих интегральных схем специального назначения показывает что в КНИ технологии используются транзисторы А-, О- и Н- типов, представленные на рисунках 1 - 3.

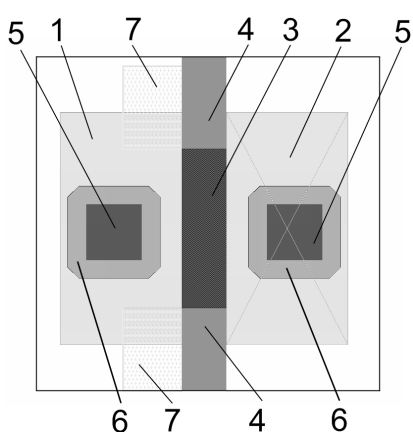


Рисунок 1 – Транзистор А-типа

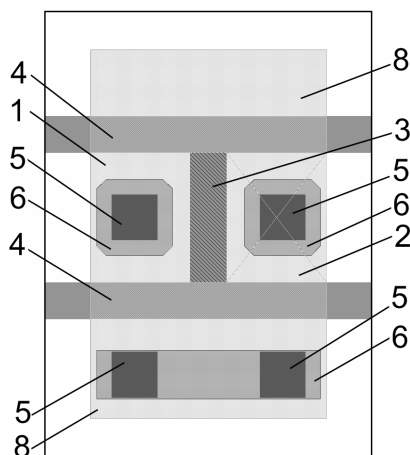


Рисунок 2 – Транзистор Н-типа

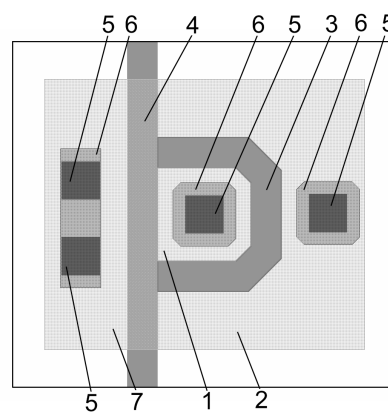


Рисунок 3 – Транзистор О-типа

- 1- Область истока
- 2- Область стока
- 3- Активная часть затвора
- 4- Пассивная часть затвора

- 5- Контакт к слою металлизации
- 6- Слои металлизации
- 7- Вставки
- 8- Область подложки

Преимущества и недостатки каждого типа транзистора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки транзисторов А-, О- и Н-типов.

Транзистор	А-типа	О-типа	Н-типа
Компактность	+	–	±
Контакт к подложке	±	+	+
Возможность разводки по силициду	+	–	+
Отсутствие пассивной части	+	–	±
Малые токи утечки	–	+	±

- + - полностью соответствует
- ± - частично соответствует
- - не соответствует

С точки зрения компактности расположения транзисторов на кристалле, их можно расположить по убывающей: сначала А-типа, потом Н-типа, затем О-типа. Это связано с различной формой затворов и наличием пассивной части затвора. Пассивная часть затвора – это та часть затвора, которая не используется в формировании канала транзистора и служит для разделения областей *p*- и *n*-типов [2]. У транзистора А-типа полностью отсутствует пассивная часть, а контакт к подложке осуществляется за счет «вставок», поэтому при

одинаковой ширине канала у транзистора А-типа площадь, занимаемая на кристалле, наименьшая. «Вставки» - это области, расположенные на границе затвора и истока, легированные таким же типом примеси, что и область кармана, и соединенным слоем силицида с областями истока. Далее располагается транзистор Н-типа, что связано с наличием пассивной части. Транзистор О-типа, с точки зрения занимаемой площади, находится на последнем месте, т.к. внутри кольца необходимо установить контакт, что неизбежно приводит к увеличению размеров и, следовательно, к увеличению занимаемой им площади кристалла.

У всех типов рассмотренных транзисторов существует контакт к подложке, но в случае транзистора А-типа он жестко связан с потенциалом стока, что делает проблематичной работу каскадно включенных транзисторов. У транзисторов Н- и О- типов такой контакт электрически не связан с областью истока.

С точки зрения топологической реализации некоторого функционального узла на полевых транзисторах важным является возможность разводки с помощью силицида, который покрывает активную зону транзистора. Это позволяет сократить количество слоев металла и использовать только один слой металлизации при построении библиотечного элемента. У транзисторов А- и Н-типов такая возможность есть, в отличие от транзистора О-типа.

Теперь рассмотрим полевые транзисторы указанных типов с точки зрения их электрических параметров. Основными из них являются входная емкость и токи утечки. Основной вклад во входную емкость транзистора дает емкость подзатворного диэлектрика [3], которая прямо пропорциональна длине и ширине канала, при этом учитывается и активная, и пассивная его части. Поэтому при одинаковой ширине канала у транзистора А типа наблюдается самая малая входная емкость, у транзистора О-типа наблюдается самая большая входная емкость. У транзистора Н-типа входная емкость имеет промежуточное значение.

Токи утечки у транзисторов при воздействии радиации наблюдаются в зонах вылета активной части затвора на слой защитного оксида [4]. Поэтому транзистор А-типа обладает высокими токами утечки, у транзистора Н-типа токи утечки намного меньше, а у транзистора О-типа токи утечки самые малые.

2 Сравнение по электрическим параметрам

Пороговые характеристики транзисторов А-, Н-, О-типов изображены на рисунке 4.

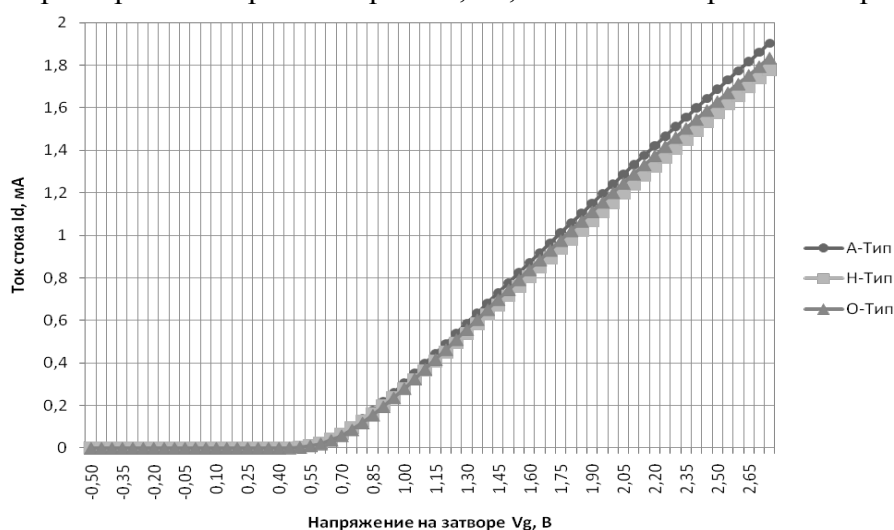


Рисунок 4 – Пороговые характеристики транзисторов А, Н, О типов.

Пороговые характеристики у всех транзисторов близки по значениям (различия между значениями менее 5%), что видно из графика. Это позволяет использовать транзисторы в одной интегральной схеме.

На рисунке 5 приведены выходные характеристики транзисторов А-, Н- и О-типа.

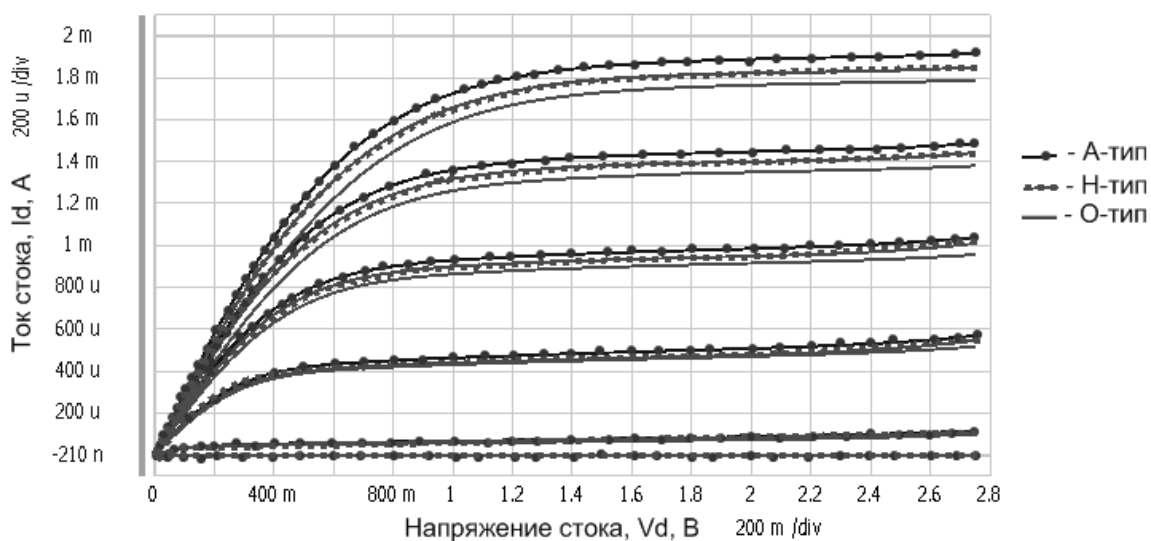


Рисунок 5 – Выходные характеристики транзисторов А-, Н-, О- типов.

Как видно из этих зависимостей, при высоких значениях напряжения на затворе транзистор А-типа обладает большим током стока, в отличие от транзисторов О- и Н-типов. Это связано с допуском на значения ширины канала (W) и длины канала (L), так как у транзистора А-типа рассматривается расстояние между вставками и является более точным. У транзистора Н-типа при протекании тока захватывается часть пассивной области затвора, а у транзисторов О-типа идет увеличение L в местах изгиба затвора.

Исходя из этого, предпочтительным является использование транзистора А-типа, но у него есть существенный недостаток - жестко связанный потенциал истока с потенциалом подложки. Поэтому для схем каскодно включенных транзисторов следует выбирать транзистор Н-типа.

3 Выбор топологической реализации полевого транзистора

На основании проведенных исследований в статье [4], было выявлено, что основным местом утечки является выход затвора на изолирующий слой. Для создания библиотеки функциональных узлов, способной выдержать радиационное воздействие, был предложен модифицированный конструктив транзистора О-типа, приведенный на рисунке 6. Данный конструктив обладает самыми малыми токами утечки, так как нет вылета затвора на изолирующий слой. Также он обладает высокой входной емкостью, благодаря наличию которой происходит сглаживание импульсных помех из-за попадания ТЗЧ, что способствует повышению надежности микросхемы.

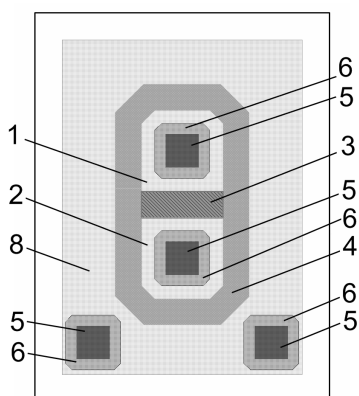


Рисунок 6 – Модифицированный транзистор О-типа

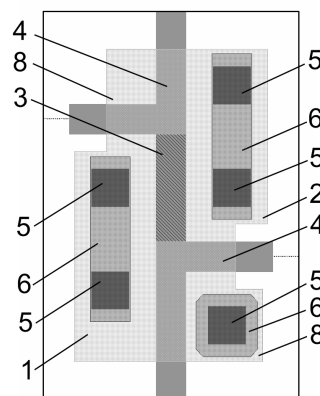


Рисунок 7 – Модифицированный транзистор Н-типа

- 1- Область истока
- 2- Область стока
- 3- Активная часть затвора
- 4- Пассивная часть затвора

- 5- Контакт к слою металлизации
- 6- Слои металлизации
- 7- Вставки
- 8- Область подложки

Помимо этого был предложен модифицированный транзистор Н-типа, приведенный на рисунке 7, который обладает меньшей входной емкостью по сравнению с модифицированным транзистором О-типа и стандартным транзистором Н-типа. В модифицированном транзисторе Н-типа используется отдельный контакт подключения к подложке, в отличие от транзистора А-типа.

4 Сравнение и выбор конструктива по потребляемой мощности.

Основной вклад в потребляемую полевым транзистором мощность дает мощность, расходуемая на перезаряд емкости подзатворного диэлектрика (оксида). Емкость подзатворного диэлектрика напрямую зависит от площади, занимаемой затвором транзистора. Исходя из этого, в таблице 2 приведены размеры затворов для полевых транзисторов А-, Н- и О-типов, длина L и ширина W активной части транзистора и длина $L_{\text{пасс}}$ и ширина $W_{\text{пасс}}$ пассивной части транзистора. Общая площадь, занимаемая затвором равна сумме площадей, занимаемых активной и пассивной частями затвора (1):

$$S_{\Sigma} = S_{\text{акт}} + S_{\text{пасс}} = W \cdot L + W_{\text{пасс}} \cdot L_{\text{пасс}}, \quad (1)$$

Таблица 2 – Размеры затворов транзисторов.

Тип	W , мкм	L , мкм	$S_{\text{акт}}$, мкм ²	$W_{\text{пасс}}$, мкм	$L_{\text{пасс}}$, мкм	$S_{\text{пасс}}$, мкм ²	S_{Σ} , мкм ²
А	0,86	0,24	0,2064	$2 \cdot 0,2$	0,24	0,096	0,3024
Н	0,86	0,24	0,2064	$2 \cdot 1,56$	0,24	0,7488	0,9552
О	2,48	0,24	0,5952	$2,14$	0,24	0,5136	1,1088
Модифицированный Н	0,86	0,24	0,2064	$1,08 + 1,36$	0,24	0,5856	0,7920
Модифицированный О	0,74	0,24	0,1776	$5,45$	0,24	1,308	1,4856

Входная емкость $C_{\text{вх}}$ определяется емкостью подзатворного оксида. Она равна (2):

$$C_{\text{вх}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S_{\Sigma}}{D}, \quad (2)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость подзатворного диэлектрика, $\varepsilon = 4$,

ε_0 – диэлектрическая постоянная, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$,

S_{Σ} – общая площадь затвора с учетом пассивной области,

D – толщина подзатворного диэлектрика $D = 42 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Известно [5], что динамическая потребляемая мощность $P_{\text{дин}}$ для СБИС с КМОП транзисторами определяется по формуле (3):

$$P_{\text{дин}} = fU^2C, \quad (3)$$

где f – рабочая частота транзистора,

U – рабочее напряжение транзистора, $U = 2,5 \text{ В}$,

C – входная емкость транзистора.

При допустимой для КНИ технологии с проектными нормами 0,25 мкм степени интеграции СБИС не более 20 млн. транзисторов, расчет потребляемой мощности ведется при условии, что в схеме одновременно переключается половина транзисторов, то есть 10 млн. В этом случае суммарная потребляемая мощность P_{Σ} определяется как (4):

$$P_{\Sigma} = nP_{\text{дин}} = nfU^2C, \quad (4)$$

где $P_{\text{дин}}$ – динамическая потребляемая мощность,

n – число переключающихся транзисторов, $n = 10^6$.

Для оценки потребляемой мощности зададим рабочую частоту равную 150 МГц. В таблице 3 приведены расчетные значения электрических параметров транзисторов при заданной рабочей частоте.

Таблица 3 – Расчетные значения электрических параметров.

Тип	$S_{\Sigma}, \text{мкм}^2$	$C_{\text{вх}}, \text{фФ}$	$P_{\Sigma}, \text{Вт}$
А	0,3024	2,5488	23,89
Н	0,9552	8,0509	75,48
О	1,1088	9,3456	87,61
Модифицированный Н	0,7920	6,6754	62,58
Модифицированный О	1,4856	12,5214	117,39

В таблице 3 показаны значения входной емкости $C_{\text{вх}}$, общей площади затвора S_{Σ} и суммарной потребляемой мощности P_{Σ} . Как видно из значений, самой меньшей потребляемой мощностью обладают микросхемы с использованием транзисторов А-типа. Далее – микросхемы с использованием модифицированных транзисторов Н-типа и микросхемы с использованием обычных транзисторов Н-типа.

Заключение

Как видно из проведенного выше исследования, для обеспечения заданной радиационной стойкости самым лучшим является модифицированный транзистор О-типа. Но данный конструктив обладает высокой входной емкостью 12,5214 фФ, что при одновременном переключении 10 млн. транзисторов в микросхеме обеспечивает большую потребляемую мощность 117,39 Вт. Также конструктив обладает большими габаритными размерами и малой плотностью компоновки. Микросхемы с использованием транзисторов А-типа имеют малую потребляемую мощность 23,89 Вт и высокую плотность компоновки. Но у транзисторов А-типа потенциал истока жестко связан с потенциалом подложки. Поэтому для создания библиотеки стандартных функциональных узлов такие транзисторы не подходят. Исходя из этого, для создания библиотеки был выбран модифицированный транзистор Н-типа, который обладает высокой плотностью компоновки, имеет независимый контакт к подложке. Микросхемы с использованием транзисторов данного типа обладают относительно малой потребляемой мощностью 62,58 Вт.

Литература

1. Радиационные эффекты при воздействии тяжелых заряженных частиц на КНИ СБИС и способы их моделирования /С.А. Морозов, С.А.Соколов // Математическое и компьютерное моделирование систем: теоретические и прикладные аспекты: Труды НИИСИ РАН. - М., 2011. – том 1 №2 – С.47-51.
2. Kerry Bernstein, Norman J. Rohrer SOI Circuit design concepts –London: Kluwer academic publishers, 2003. – 220с.
3. James B. Kuo, Ker-Wei Su CMOS VLSI Engineering Silicon-on-Insulator (SOI) - London: Kluwer academic publishers, 1998. – 422с.
4. С.И. Волков, к.т.н., А.А. Глушко, С.А. Морозов Исследование и моделирование факторов, ограничивающих радиационную стойкость КНИ СБИС // Математическое и компьютерное моделирование систем: теоретические и прикладные аспекты: Труды НИИСИ РАН. - М., 2011. – том 1 №1– С.51-56.
5. Мурога С. Системное проектирование сверхбольших интегральных схем том 1 – М.:Мир, 1985. – 288с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРАФОМОТОРНЫХ НАВЫКОВ

Демин А.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры ИУ4 Власов А.И.

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

INTELLECTUAL INTERACTIVE REABILITATION SYSTEM WRITING SKILLS

Demin A.A.

Supervisor: c.t.s., associate professor of IU4 department., Vlasov A.I.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются программно-аппаратная сенсорная система обработки каллиграфии рукописных символов, позволяющая проводить тренировку написания символов. Подробно исследованы алгоритмы анализа растровых изображений, распознавания рукописного текста и интерфейсы взаимодействия с пользователем. В заключении даны рекомендации по реализации оптимизированных методов получения и обработки графических образов в реальном времени.

Abstract

In article are considered hardware-software touch system of processing of a calligraphy of the hand-written symbols, allowing to carry out training a spelling of symbols. Analysis algorithms of raster images, recognition of the hand-written text and interfaces of interaction with the user are in detail investigated. In the conclusion recommendations on realization of the optimized methods of reception and processing of graphic images in real time are given.

Введение

Интеллектуальная интерактивная система – это программно-аппаратный комплекс для обучения правописанию, коррекции почерка и восстановления навыков письма. В основе ее лежит разработанное нами специальное компьютерное программное обеспечение, служащее для распознавания рукописного текста и оценки каллиграфии.

Применение интеллектуальной системы для целей обучения и образования, безусловно, является главным направлением ее использования. Проблема обучения школьников младших классов каллиграфически правильному письму весьма актуальна, так как возникают трудности при овладении техникой письма, которые имеют физиологические, психологические причины и педагогические причины. *Применение программно-аппаратного комплекса может оказаться одним из самых эффективных методов обучения*, поскольку успешно решает задачу преодоления негативных психологических реакций на обучение письму, а оценка качества обучения упрощается за счет автоматизации. При вычислении текущей оценки учитывается не только каллиграфия, но также скорость выполнения задания и затраченное на него время. За счет интерактивного взаимодействия с пользователем система позволяет индивидуализировать тренировку необходимых навыков. За счет организации процесса обучения в игровой форме система повышает мотивацию к обучению и увеличивает эффективность обучения.

Важным направлением использования комплекса является применение его для *реабилитации навыков письма*, утраченных вследствие болезни или травмы. Нарушение моторики рук у больных, потеря навыков письма может развиваться из-за различных неврологических и хирургических заболеваний, а также черепно-мозговых травм и травм руки. При инсульте это одно из наиболее типичных нарушений. Для восстановления речи и навыков письма после инсультов используют специальные курсы занятий. Проведенные исследования показывают, что интерактивная система может быть использована как один из вспомогательных методов в программе таких курсов, позволяя повысить эффективность реабилитации и сократить восстановительный период [1-6].

Методы и алгоритмы обработки графических образов

В общем виде систему распознавания рукописных данных можно представить в виде трех подсистем (рис. 1): подсистемы извлечения признаков, непосредственно подсистемы распознавания и подсистемы принятия решения, к какому классу относится данный объект.

Разработка системы ввода текста, её тестирование и отладка, невозможна без создания базы данных символов, в общем случае состоящей из:

- неконфликтных символов (отличающихся по форме написания) в хорошем исполнении;
- конфликтные символы в хорошем исполнении;
- символы с нарушенными требованиями к качеству написания.

Открытых баз не существует, поэтому при разработке системы ввода рукописного текста приходится создавать и наполнять собственную базу символов.

В связи с этим было реализованы следующие алгоритмы:

1. Приведение изображения к серой шкале. В связи с этим изображение можно привести в представление в виде серой шкалы. Это означает, что каждый пиксель изображения будет представлен как число лежащее в интервале $[0..255]$. Этого достаточно для того, чтобы сохранить все данные с наименьшей их потерей при переходе к серой шкале.

2. Приведение изображения к черно-белому виду;

3. Анализ и удаление шумов на изображении не относящихся к тексту;

Шумоподавление – это удаление возможного зашумления изображения, являющегося следствием погрешности устройства ввода изображение (например, сканера).

Реализован алгоритм сглаживания с использованием функции Гаусса. Дискретное гауссово ядро сглаживания (апертуру фильтра) можно получить (Рис. 3), построив массив размером $(2k + 1) \times (2k + 1)$, значение элемента (i, j) которого равно

$$H_{ij} = \frac{1}{2\theta\sigma^2} \exp\left(-\frac{((i-k-1)^2 + (j-k-1)^2)}{2\sigma^2}\right),$$

где σ – это среднеквадратическое отклонение гауссиана.

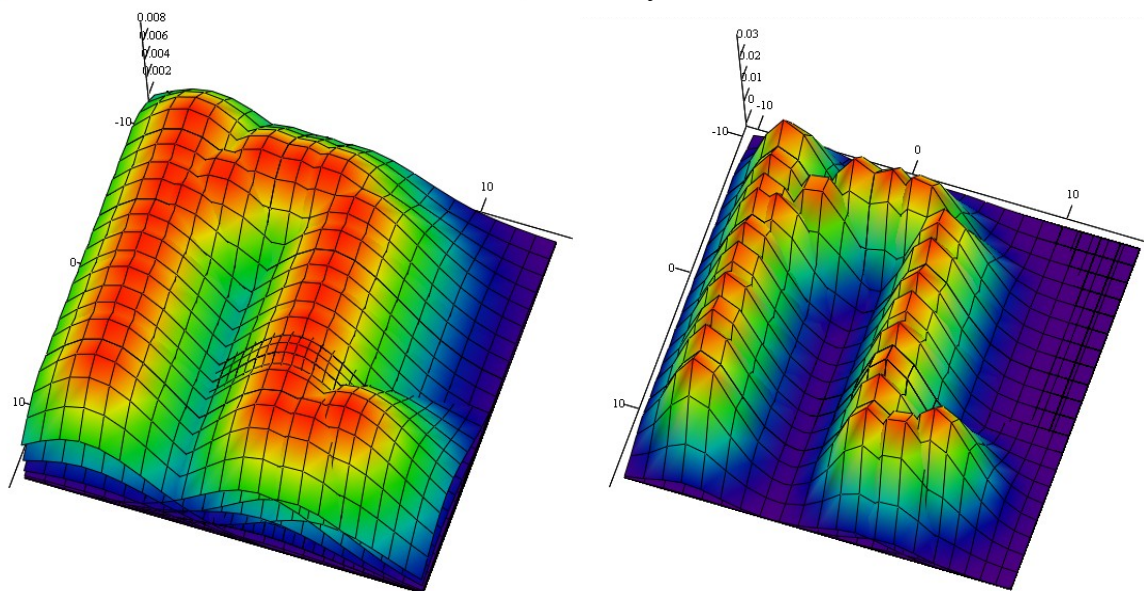


Рисунок 3 - Двумерное нормальное распределение с разными весовыми коэффициентами.

Название ядра объясняется тем, что именно такой вид имеет плотность вероятности для двумерной нормальной (или гауссовой) случайной переменной с заданной ковариантностью. Данное ядро сглаживания образует такое взвешенное среднее, для которого в центре ядра весовые коэффициенты пикселей намного больше, чем на его границах.

Этот подход можно обосновать качественно: сглаживание подавляет шум, поддерживая требование, чтобы пиксели были похожи на своих соседей. Уменьшая весовые

коэффициенты для отдалённых пикселей, можно быть уверенным, что для них это требование будет не таким жёстким.

4. Скелетизация черно-белого изображения (рис. 2). Скелет текста, получаемый из растрового, черно-белого изображения, представляет собой наборы линий толщиной в один пиксель. В общем случае, суть скелетизации – приведение данных к такому виду, чтобы затем можно было получить скелет изображения в его векторном представлении и привести тем самым объем данных к тому минимуму, который необходим для процесса распознавания.

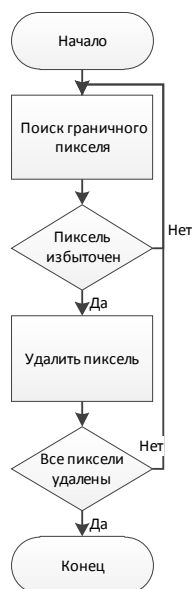


Рисунок 4 – Алгоритм составления скелета рукописных данных

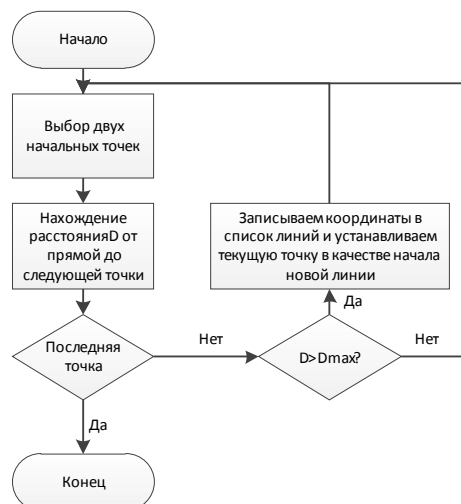


Рисунок 5 – Алгоритм векторизации изображения

5. Векторизация изображения (рис 3). Вторичная векторизация или, еще ее можно назвать аппроксимацией векторизованных данных, необходима для того, чтобы избавиться от избыточности ранее полученных данных. Избыточность эта состоит в том, что некоторые точки кривых не являются существенными. Это те точки, избавившись от которых легко, при необходимости, можно их вычислить и восстановить.

6. Выделение слов на изображении.
7. Выделение строк.
8. Определение угла наклона
9. Исправление погрешности скелетизации

Предложенный способ позволяет разложить тонкий контур только на набор связанных прямых, что является единственным существенным недостатком метода. Среди преимуществ метода можно выделить небольшие вычислительные затраты и простота реализации.

Заключение

Разработаны рекомендации по использованию этой системы с целью обучения письму, коррекции почерка и восстановлению навыков письма после болезни или воздействия экстремальных условий (микрогравитации).

Разработанная система внедрена в практику лечебно-профилактических и научно-исследовательских учреждений.

Разработанные математические модели, структурные схемы и алгоритмы обработки образов рукописного текста, позволяют анализировать векторные представления графических образов в режиме реального времени. Программные алгоритмы классификации рукописных символов удовлетворяют поставленным требованиям в работе даже на низкопроизводительных системах на базе процессоров Intel Atom с пониженной тактовой частотой до 1 ГГц.

Преимуществом программно-алгоритмического обеспечения системы распознавания образов является алгоритм оценки рукописного текста, позволяющий оценить скорость письма, качество каллиграфии, и прогресс улучшения основных показателей обучения.

Литература

1. Афонасенко А.В., Елизаров А.И. Обзор методов распознавания структурных символов // Доклады ТУСУРа, 2008. - №2 (18). - С. 14-19.
2. Горошкин А.Н. Обработка изображений в системах распознавания рукописного текста // 10-ая международная конференция и выставка «Цифровая обработка сигналов и ее применение»: сб. материалов. - М., 2008. - 120 с.
3. Кугаевских А.В., Ивашко А.Г. Возможность применения искусственных нейронных сетей "неокогнитрон" для распознавания древнеегипетских иероглифов // Вестник Тюменского Государственного Университет. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2009. - №6. - С. 209-214.
4. Местецкий Л.М. Непрерывный скелет бинарного изображения // Конференция Графикон : сб. материалов. М., 2006. – с. 24-25.
5. Козловская И.Б. Гипогравитационный двигательный синдром: природа и механизмы развития // «Нейронаука для медицины и психологии», VIII-й Международный Междисциплинарный Конгресс. – М.: ООО "МАКС Пресс", 2012. – с. 37.
6. Власов А.И. Применение методов визуального моделирования для формализации конструкторско-технологической информации// Информатизация образования - 2012: материалы Международной научно-практической конференции, г. Орёл. - Орёл:ФГБОУ "ОГУ", 2012. - С.70-78.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта 10-1-Н1.4-0156.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Денисенко Н.А.

Научный руководитель: Волкова Я.Б

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

THE RESEARCH OF ELASTIC PROPERTIES OF CARBON NANOTUBES FOR CREATION OF HYBRID SENSITIVE ELEMENTS FOR TRANSDUCERS OF PRESSURE SENSORS

Denisenko N.A.

Supervisor: Laboratory Assistant SEC «Nanosystems», Volkova Y.B.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются свойства углеродных нанотрубок с целью создания гибридных чувствительных элементов для преобразователей датчиков давления. Подробно исследованы упругие свойства углеродных нанотрубок. Кратко представлена структура углеродных нанотрубок.

Abstract

In this article properties of carbon nanotubes are considered for creation of hybrid sensitive elements for transducers of pressure sensors. Carefully examined elastic properties of carbon nanotubes. Briefly discussed composition of carbon nanotubes.

Введение

Существующие датчики давления [1], применяемые на современных морских судах в качестве звеньев автоматизированной системы управления, обладают рядом недостатков, связанных с использованием в агрессивных средах [2-6]. К ним предъявляются повышенные требования, прежде всего к эксплуатационным, климатическим и механическим характеристикам, требованиям по надежности, качеству и эффективности, энергопотреблению, массе и габаритам, удобству обслуживания и ремонтпригодности, стандартизации и унификации. Соответствие с предъявляемыми требованиями возможно с повышением надежности чувствительных элементов и точности датчиков давления, что на данный момент осуществляется за счет увеличения габаритов и усложнения модуля обработки сигналов, но эта вынужденная мера не приводит к реальным улучшениям датчиков. Достижение революционно значимых характеристик датчиков построенных на чувствительных элементах возможно с применением наноматериалов. Целью данного исследования является детальное изучение упругих свойств углеродных нанотрубок, так как именно они могут быть рассмотрены в качестве перспективного материала для создания гибридных чувствительных элементов для датчиков давления.

1 Анализ упругих свойств углеродных нанотрубок

Упругие механические свойства протяженной цилиндрической оболочки характеризуются набором параметров (модулей упругости), представляющих собой коэффициенты пропорциональности между напряжением и деформацией такой оболочки в определенном направлении [3, 4]. Модули упругости определяются при условиях малой нагрузки, когда деформация имеет упругий обратимый характер. Наиболее важные типы деформации однослойной нанотрубки показаны на рисунке 1. Наряду с перечисленными типами деформации следует упомянуть также кручение оболочки относительно своей оси.

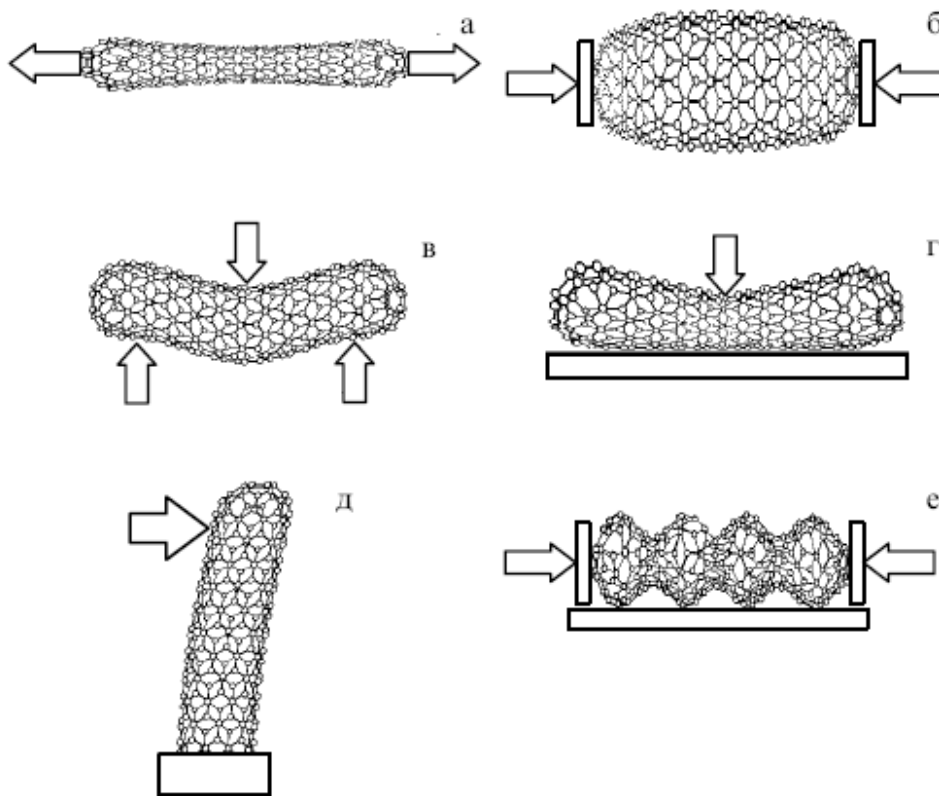


Рисунок 1 – Основные типы деформации нанотрубок: (а) осевое растяжение; (б) осевое сжатие; (в) симметричный изгиб; (г) радиальное сжатие; (д) упругое отклонение; (е) эйлеровская деформация [3]

Основным параметром нанотрубки, характеризующим ее прочность на растяжение (рисунок 1а), является продольный модуль Юнга E , который определяется выражением

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{N}{2\pi R h \varepsilon} \quad (1.1)$$

Где σ – продольное напряжение, представляющий собой отношение продольного растягивающего усилия N , приложенного к нанотрубке, к площади ее поперечного сечения, ε относительное растяжение (изменение длины) нанотрубки при таком напряжении, R радиус нанотрубки, h толщина ее стенок. Выражение (2.1) является одной из частных формулировок закона Гука.

Растяжение цилиндрической оболочки обычно сопровождается сокращением ее поперечного размера. Это свойство характеризуется коэффициентом Пуассона ν , величина которого определяется как отношение относительного поперечного сжатия ε' к относительному продольному растяжению :

$$\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \quad (1.2)$$

Анализ показывает, что величина параметра ν не может превышать 0,5.

Аналогичным образом определяется модуль упругости, соответствующий осевому сжатию нанотрубки (рисунок 1). Атомная природа упругого растяжения и сжатия углеродных нанотрубок одина, и обусловлена характером зависимости потенциала взаимодействия атомов углерода от межъядерного расстояния. Поэтому модули упругости, соответствующие сжатию и растяжению цилиндрической оболочки, выражаются через вторую производную от этой зависимости в точке минимума и с хорошей точностью равны друг другу. Однако растяжение и сжатие УНТ являются симметричными процессами только при бесконечно малых нагрузках, которые не нарушают ее структуру. При достаточно большом сжимающем усилии происходит резкое изменение структуры оболочки, которая сжимается в "гармошку" (рисунок 1е). Такое сжатие, сопровождающееся изменением

структуры, носит название "эйлеровской деформации" и имеет характер неустойчивости. Порог данной неустойчивости характеризуется величиной предельного сжимающего усилия.

Модули упругости, соответствующие поперечным (изгибным) деформациям протяженной цилиндрической оболочки (рисунок 2.1 г-е), выражаются через определенные выше модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν . Это объясняется тем обстоятельством, что изгибная деформация оболочки сопровождается растяжением ее внешней поверхности и сжатием внутренней поверхности, что вызывает соответствующие локальные напряжения, пропорциональные величине локального растяжения (сжатия). Так, в соответствии с классической теорией жесткость полого цилиндра по отношению к изгибу, определяемая как энергия, расходуемая для изгиба цилиндрической трубки на единичный угол (рисунок 2.1д), дается следующей формулой:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (1.3)$$

где h – толщина стенок цилиндра. Способность такого цилиндра противостоять боковому усилию выражается параметром

$$C = Eh \quad (1.4)$$

Иногда для характеристики механических свойств материалов используют объемный модуль упругости B , определяемый соотношением

$$p = -B \frac{\Delta V}{V} \quad (1.5)$$

Здесь P – однородное давление, которому подвергается объект, а $\Delta V/V$ – вызванное этим воздействием относительное изменение объема. Для изотропных материалов связь между объемным модулем упругости и модулем Юнга имеет следующий вид:

$$B = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (1.6)$$

Отклонение от указанной зависимости служит указанием на наличие пространственной анизотропии в структуре оболочки.

Таблица 1 – Таблица коэффициентов упругости нанотрубок [7]

(m,n)	R, нм	E, ТПа	B, ТПа	M, ТПа	ν
(5,5)	0,34	0,971	0,191	0,436	0,280
(6,4)	0,34	0,972	0,191	0,437	0,280
(7,3)	0,35	0,973	0,190	0,454	0,280
(8,2)	0,36	0,974	0,190	0,452	0,280
(9,1)	0,37	0,974	0,191	0,465	0,280
(10,0)	0,39	0,975	0,190	0,451	0,280
(10,10)	0,68	0,972	0,191	0,457	0,278
(50,50)	3,39	0,972	0,192	0,458	0,277
(100,100)	6,78	0,972	0,192	0,462	0,277
(200,200)	13,5	0,972	0,192	0,478	0,277

Из таблицы 1 видно, что расчетные значения модулей упругости углеродных нанотрубок весьма слабо чувствительны к ее геометрическим параметрам (диаметр и хиральность).

2 Экспериментальные исследования

Исследование электромеханических свойств тензорезистивного чувствительного элемента датчика давления, микрофотография которого представлена на рисунке 4, проводилось на зондовой станции Signatone S1160.

Питание моста Уинстона осуществлялось постоянным током 5 В. Температура 21°C. Электрическая схема тензомодуля представлена ниже на рисунке 3 [6].

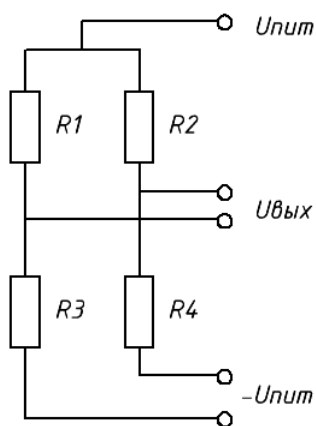


Рисунок 3 – Схема электрическая-принципиальная тензомодуля

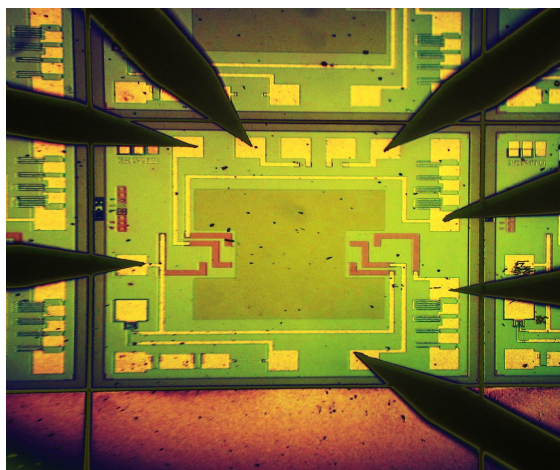


Рисунок 4 – Микрофотография тензорезистивного чувствительного элемента

Ниже на рисунке 5, представлен график зависимости $U_{\text{вых}}$ от давления.

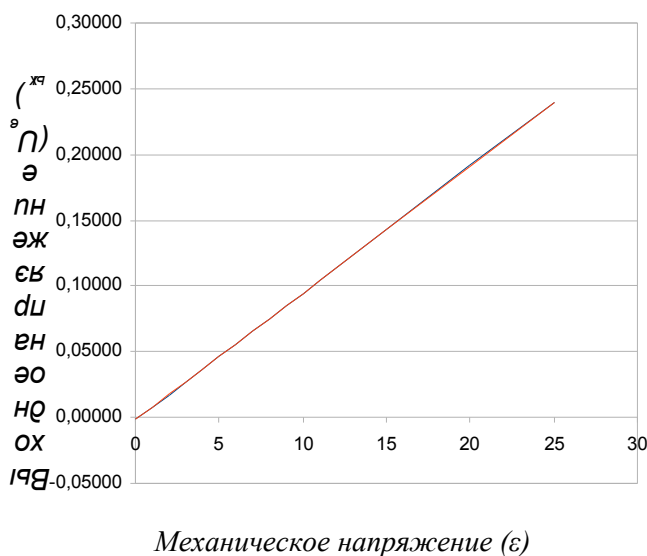


Рисунок 5 – График зависимости напряжения выхода от давления тензорезистивного чувствительного элемента

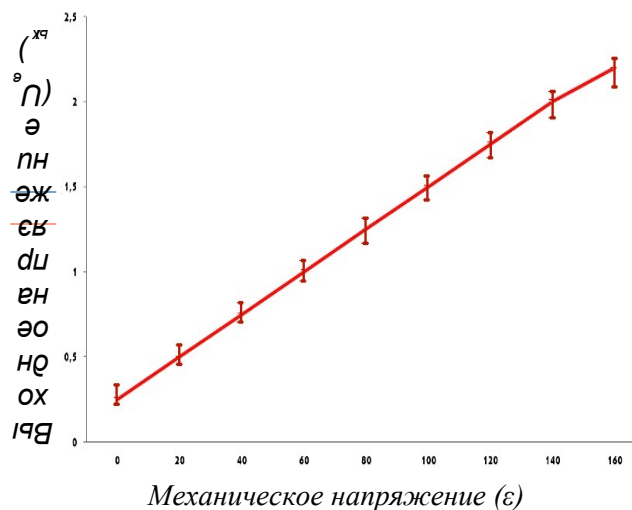


Рисунок 6 – Изменение сопротивления тензорезистора на УНТ от механического напряжения

Данный график, полученный экспериментально, иллюстрирует линейную зависимость выходного напряжения от давления.

На рисунке 6 изображена зависимость, для тензорезистора с гибридным чувствительным элементом на углеродных нанотрубках (УНТ). Сопротивление группы МСНТ изменяется при механическом воздействии на подложку. Экспериментально была

получена зависимость изменения сопротивления тензорезистора на УНТ от механического напряжения.

Полученный график, представляет собой линейную функцию, как и в случае с тензорезистором без углеродных нанотрубок, что свидетельствует о том, что УНТ можно использовать в качестве чувствительного элемента преобразователя датчика давления.

Заключение

Использование углеродных нанотрубок для создания гибридных чувствительных элементов позволит качественно повысить работоспособность датчиков давления вследствие специфических свойств УНТ, в частности, упругих свойств.

В ходе экспериментальных исследований доказана возможность применения УНТ для модификации преобразователей датчиков давления, что следует из графиков зависимости выходного напряжения от давления, которая в случае простого чувствительного элемента и в случае гибридного принимает форму линейной функции.

Литература

1. Белоусов С.В. Ольховиков Г.П., Самолетов Э.А. Датчик давления // Патент №584209; Заявл. 1977-15-12 – 2с.
2. Белозубов Е.М. Датчик давления // Патент №2028589; Заявл. 1985-08-10 – 3с.
3. Елецкий А.В. Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе. — М.: Российский научный центр «Курчатовский институт», 2007. – 274 с.
4. Планкина С.М. Углеродные нанотрубки. — М.: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2012-25-03 – 12 с.
5. Ченцов А.В. Разработка дискретно-континуальных моделей деформирования и разрушения наноматериалов. – М.: Институт проблем механики российской академии наук, 2008. – 120 с.
6. Андреев К.А., Власов А.И. Моделирование и синтез интеллектуальных мембранных датчиков давления на основе МЭМС// Интеллектуальные системы: Труды Десятого международного симпозиума / Под ред. К.А. Пупкова. - М.: РУСАКИ, 2012. - С.434-438.

Отдельные результаты работы получены в рамках исследований по госзаданию №7.6161.2011 Гибридные чувствительные элементы интеллектуальных сенсоров распределенных управляющих систем

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Феоктистов Д. В., Муравьев К.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Резчикова Е.В.

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

CARBON NANOTUBES AS A MEANS OF IMPROVING THE PROPERTIES OF STRAIN GAUGE PRESSURE SENSORS

Feoktistov D. V., Muraviev K.A.

Supervisor: Ph.D Rezchikova E.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается возможность использования углеродных нанотрубок для улучшения характеристик тензOMETРИЧЕСКИХ датчиков давления. Кратко описаны некоторые свойства углеродных нанотрубок. Рассмотрены некоторые существующие технические решения, использующие углеродные нанотрубки.

Abstract

In the article discusses the possibility of using carbon nanotubes to improve the performance strain gauge pressure sensors. Briefly describes some of the properties of carbon nanotubes. Discusses some existing technical solutions, using carbon nanotubes.

Введение

Спектр применения тензOMETРИЧЕСКИХ датчиков давления чрезвычайно широк: в быту, в энергетике, в военной технике, поэтому крайне актуальна задача улучшения их характеристик. Одним из перспективных методов модификации таких датчиков является использование уникальных свойств углеродных нанотрубок (УНТ) для улучшения таких характеристик, как чувствительность и механическая устойчивость. На данный момент уже известны устройства, использующие эти свойства [1 - 6]. Проведем анализ применимости углеродных нанотрубок как средства повышения характеристик тензOMETРИЧЕСКИХ датчиков давления.

1 Анализ свойств углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки (УНТ) — это протяжённые цилиндрические структуры, представляющие собой свёрнутые в трубку гексагональные графитовые плоскости. Их размеры могут составлять от одного до нескольких десятков нанометров в диаметре и до нескольких сантиметров в длину. Углеродные нанотрубки обычно заканчиваются полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена [1].

Для использования в тензOMETРИЧЕСКИХ датчиках наиболее интересны электрические и упругие свойства нанотрубок. Электрические свойства нанотрубок в значительной степени определяются хиральностью [2], т.е. углом ориентации графитовой плоскости относительно оси трубки. На рисунке 1 представлено формирование нанотрубки определённой хиральности. Для получения нанотрубки (n, m) , графитовую плоскость надо разрезать по направлениям пунктирных линий и свернуть вдоль направления вектора R .

В зависимости от хиральности одностенная нанотрубка может иметь свойства либо полуметалла без запрещенной зоны, либо полупроводника, ширина запрещенной зоны которого находится в диапазоне 0,01 - 0,7 эВ. Соединение двух нанотрубок с разной хиральностью представляет собой p - n -переход размером в несколько нанометров и может быть использовано в качестве основы электронных устройств.

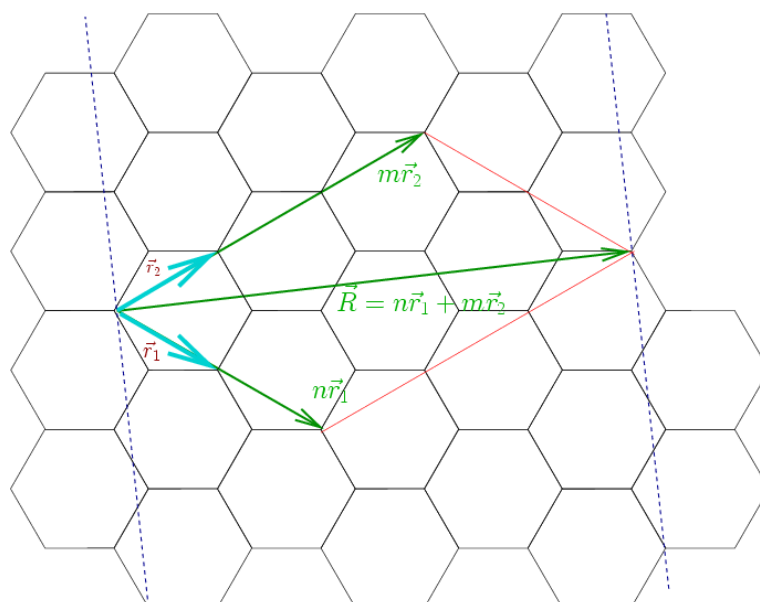


Рисунок 1 - Формирование нанотрубки с хиральностью (n, m) [3]

Углеродные нанотрубки также обладают высоким значением модуля упругости (модуль упругости вдоль продольной оси трубки составляет 7000 ГПа [4]), что позволяет создать композиционные материалы, обеспечивающие высокую прочность при упругих деформациях.

Таблица 1 – Свойства углеродных нанотрубок

Свойства углеродных нанотрубок	
Характерный размер	Диаметр от одного до нескольких десятков нанометров. Длина до нескольких сантиметров.
Плотность	Не превышает 2 г/см ³
Прочность на разрыв	Теоретически – более 100 ГПа, на практике – в среднем 30 – 50 ГПа
Ширина запрещённой зоны	В диапазоне 0,01 - 0,7 эВ
Устойчивость по температуре	До 2800°С в вакууме и 750°С на воздухе

При разработке тензометрических датчиков наиболее интересными из представленных свойств являются размеры нанотрубок, а также механические и электрические свойства, позволяющие в перспективе повысить чувствительность и надёжность датчиков, а так же уменьшить их размеры.

2 Применение углеродных нанотрубок в тензометрических датчиках

Изложенные в первом пункте свойства нанотрубок делают их привлекательным материалом в разработке сенсорных компонентов, созданных с использованием УНТ.

Например, устройства, описанные в патентах № RU2362221 «Туннельный наносенсор механических колебаний и способ его изготовления» [5] и № US7859385 «Резисторы на основе углеродных нанотрубок» [6] являются примерами анализируемых устройств.

В патенте №RU2362221 «Туннельный наносенсор механических колебаний и способ его изготовления» описывается сенсор, конструкция которого представлена на рисунке 2. На

рис.2а изображен вид сенсора сверху, на рис.2б изображен разрез сенсора, демонстрирующий внутреннюю структуру.

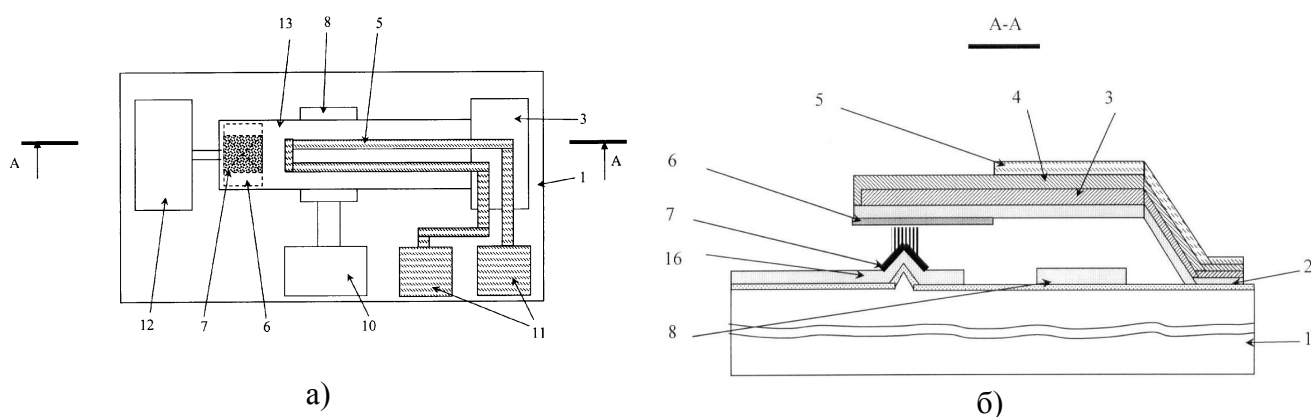


Рисунок 2 – а) Вид сенсора сверху б) Разрез А-А [5]

(1 - подложка с диэлектрическим слоем; 2 - металлизация кантилеверного электрода; 3 - слой биморфной балки кантилеверного электрода с большим коэффициентом термического расширения; 4 - слой биморфной балки кантилеверного электрода с меньшим коэффициентом термического расширения; 5 - тонкопленочный нагреватель; 6 - слой контакта кантилеверного электрода; 7 - туннельный электрод с областью катализатора; 8 - электрод системы электростатического управления; 9 - контактная площадка кантилеверного электрода*; 10 - контактная площадка системы электростатического управления; 11 - контактные площадки тонкопленочного нагревателя; 12 - контактная площадка туннельного электрода; 13 - кантилеверный электрод; 14 - массив нанотрубок; 15 - «Жертвенный» технологический слой; 16 - область металлизации туннельного электрода, * - КП кантилеверного электрода на прилагающихся к патенту чертежах (рис. 1.1.1 - 1.1.3) отсутствует, но, тем не менее, упоминается в тексте патента)

Выходным сигналом туннельного наносенсора механических колебаний является туннельный ток, возникающий при подаче разности потенциалов между металлизацией кантилеверного (2) и массивом углеродных нанотрубок туннельного электродов (7), расположенного на подложке с диэлектрическим слоем (1). Туннелирование носителей заряда - электронов - возможно при условии уменьшения зазора, образованного свободными концами нанотрубок (14) и кантилеверным электродом, до величин от единиц до десятков ангстрем. Для управления величиной зазора служит система электростатического управления (8, 10) и тонкопленочный нагреватель (5), расположенный на биморфной балке кантилеверного электрода (13). При подаче разности потенциалов между металлизацией кантилеверного электрода (2) и электродом системы электростатического управления (8) возникает сила, под действием которой кантилеверный электрод (13) деформируется в сторону туннельного электрода (7) и туннельный зазор уменьшается. Для прецизионной юстировки туннельного зазора в конструкцию введен тонкопленочный нагреватель (5), а кантилеверный электрод (13) выполнен в виде биморфной балки, причем коэффициент термического расширения нижнего слоя (3) биморфной балки кантилеверного электрода (13) превышает коэффициент термического расширения верхнего слоя (4) биморфной балки. При пропускании электрического тока через тонкопленочный нагреватель (5) за счет разности коэффициентов термического расширения биморфной балки кантилеверного электрода (13) происходит деформация кантилеверного электрода (13) в сторону, противоположную подложке. По достижении заданной величины туннельного тока осуществляют точную юстировку туннельного зазора за счет баланса сил, возникающих в результате электростатического и температурного воздействий. Пленочный нагреватель (5) служит также для обеспечения десорбции адсорбированных из окружающей среды низкомолекулярных веществ (прежде всего, воды) с поверхностей кантилеверного (13) и туннельного (7) электродов и для обеспечения вибро- и ударопрочности конструкции при транспортировке и/или хранении в неконтролируемых условиях.

При воздействии ускорения на конструкцию в направлении, перпендикулярном плоскости подложки, или силы, приложенной к кантилеверной балке перпендикулярно плоскости подложки, баланс сил изменяется, кантилеверная балка деформируется с изменением туннельного зазора и тока, проходящего через зазор.

Таким образом, предлагаемое устройство представляет собой микроэлектромеханический туннельный наносенсор, позволяющий измерять механические деформации, возникающие под действием механических колебаний, направленных перпендикулярно плоскости подложки.

Преимуществом предложенной конструкции являются повышенные по сравнению с аналогичными устройствами чувствительность и надёжность при транспортировке и хранении. Повышение чувствительности в данном устройстве обеспечивается именно за счёт применения УНТ в туннельном электроде. Применение биморфной балки кантилеверного электрода с различным коэффициентом термического расширения слоёв и тонкоплёночного нагревателя, отводящих при нагревании кантилевер от туннельного электрода, позволяет повысить надёжность устройства при хранении и перевозке, однако делает его малоприспособным для работы в условиях повышенных температур. Решением этой проблемы может служить, например теплоизолирующий корпус с возможностью доступа к датчику, или же использование иного физического принципа отвода кантилевера от туннельного электрода.

В патенте № US7859385 «Резисторы на основе углеродных нанотрубок» описывается тонкоплёночный резистор, созданный на основе УНТ. Резисторы с использованием углеродных нанотрубок, как правило, имеют высокую максимальную нагрузку, а также управляемые и настраиваемые сопротивления. Кроме того, они могут быть изготовлены с использованием методов, которые обеспечат совместимость с другими полупроводниковыми устройствами.

Плёнки из нанотрубок можно расположить таким образом, чтобы сопротивление можно было менять в диапазоне, например, от 1кОм до 1МОм. Резисторы имеют возможность проводить ток до 1 мА на микрон шириной.

Схема внутренней структуры резистора на углеродных нанотрубках представлена на рис.3.

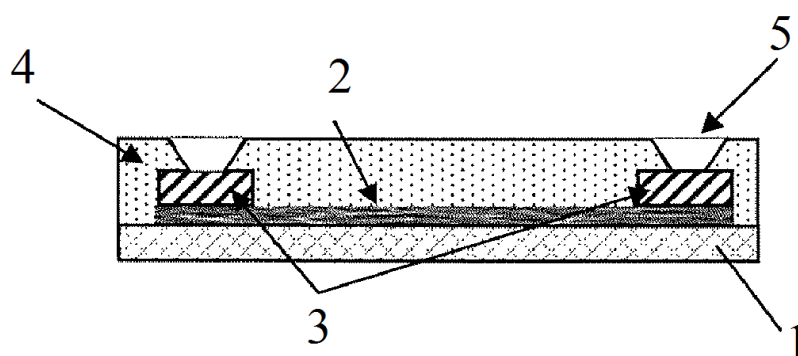


Рисунок 3 – Внутренняя структура резистора [6]

Резистор включает в себя подложку 1, материал на основе нанотрубок 2, электрические контакты 3, слой пассивации 4, и открытые области 5 в слое пассивации 4, чтобы подвергать контакты 3 электрическому взаимодействию с другими электронными компонентами на одной подложке или на другом уровне сборки.

Подложка 1 сделана из кремния для простоты изготовления, используя современные технологии CMOS, однако можно использовать подложки из различных материалов, как описано ниже.

Наноматериал 2 расположен на подложке 1. Величина поверхностного сопротивления элемента 2 зависит от пористости материала, плотности нанотрубок, а также от других

переменных. Наноматериал прикреплен к поверхности надежно таким образом, что его электрическими свойствами можно управлять. В нижней части контакты 3 соединены с наноматериалом 2, а в верхней области с другим электронным компонентом - электродом, за счет открытой области 5.

Сопротивление резистора находится под контролем факторов, включая плотность материала, соответствующее поверхностное сопротивление, длина и ширина области, покрытой наноматериалом, а также контактное сопротивление между контактом и углеродными нанотрубками и любых других соответствующих средств, таких как лазерные скрайбирования используется для настройки (отделка) окончательное значение сопротивления.

На рисунке 4 показан массив из резисторов на основе углеродных нанотрубок. Массив 4 из резисторов на основе углеродных нанотрубок 1 (формируется из нанослоя 5 на подложке 6 с контактами 2 и терминалами связи 3). Сопротивление слоя наноматериала 5, как правило, находится в диапазоне от 1кОм до 1 М Ом.

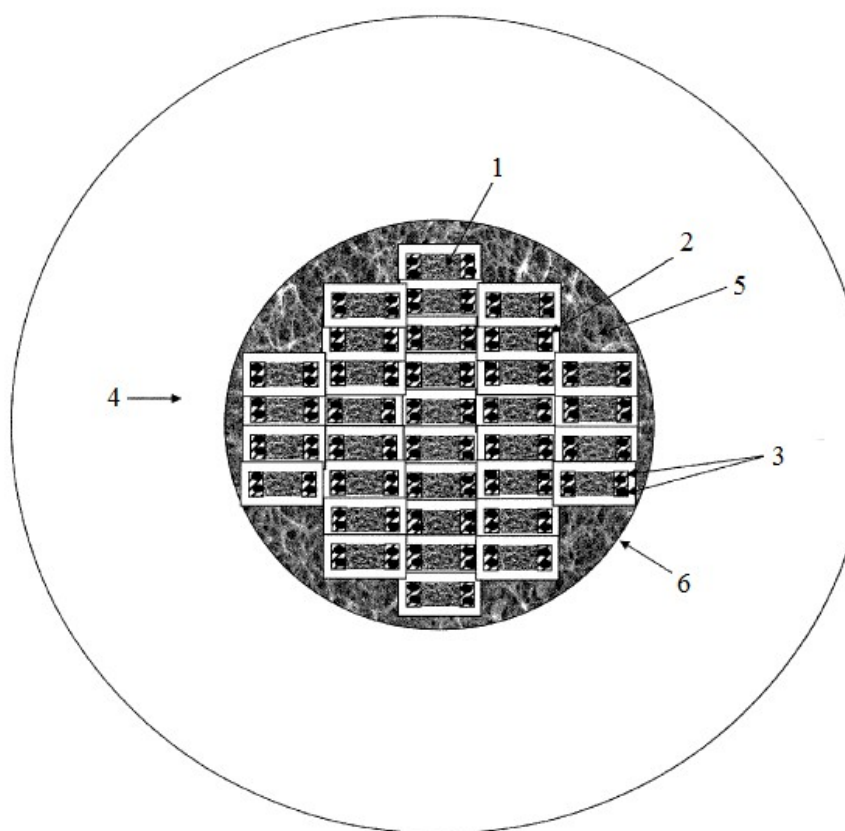


Рисунок 4 – Массив из резисторов на подложке [6]

Описанный резистор на углеродных нанотрубках обладает электрическими характеристиками, подходящими для использования в различных устройствах. По сравнению с аналогами он имеет меньшие размеры и коэффициент теплового сопротивления, однако за счёт усложнения технологического процесса, повышается вероятность брака, а так же стоимость устройства. Решением этой проблемы является переход на более точный техпроцесс и обеспечение массовости производства.

3 Анализ противоречий при конструировании тензометрических датчиков давления

Как показывает анализ известных решений, при разработке тензодатчиков возникает ряд противоречий:

1. Внесение в конструкцию изменений, повышающих чувствительность сенсора, обычно приводит к её усложнению и, как следствие, усложнению производства и увеличению стоимости сенсора. Решить эту проблему можно на стадии проектирования, тщательно подбирая способ производства необходимой конфигурации и стараясь максимально повысить воспроизводимость устройства, тем самым, обеспечивая возможность его массового производства.
2. Повышение чувствительности сенсора может, в зависимости от его конфигурации, происходить за счёт увеличения чувствительности всей системы к воздействиям, что может снижать прочность устройства. Возможным решением является применение в конструкции новых более прочных материалов (например, углеродных нанотрубок).
3. Упрощение конструкции для снижения стоимости, как правило, ухудшает функциональные качества устройства. Однако, как и в случае с первым противоречием, грамотно подобранный технологический процесс, а так же использование новых технологий и материалов, может помочь решить эту проблему.
4. Повышение прочности и механической устойчивости сенсора может вести к снижению его чувствительности. Как и в случае со вторым противоречием, помочь решить проблему может использование новых материалов.

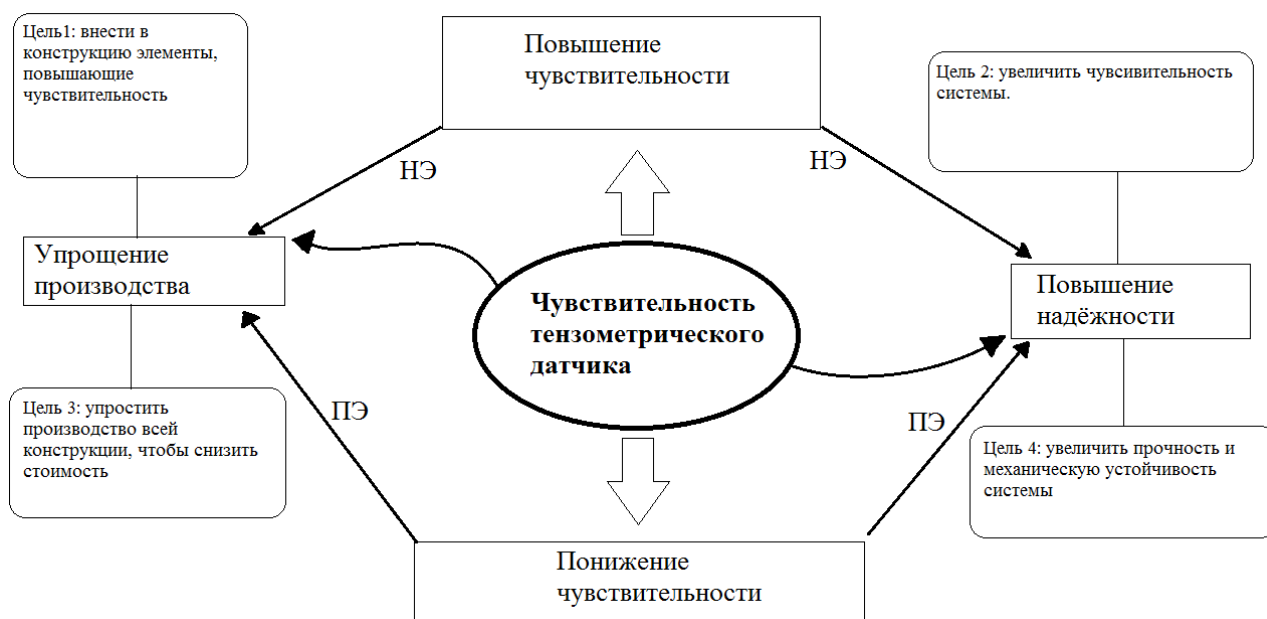


Рисунок 5 – Противоречие «чувствительность тензодатчика»
(ПЭ – положительный эффект, НЭ – нежелательный эффект.)

Как можно видеть, методами решения возникающих при производстве тензометрических датчиков противоречий обычно выступает совершенствование конструкции или технологического процесса, а так же применение новых материалов, одним из которых являются и УНТ.

4 Применение углеродных нанотрубок для повышения чувствительности и надёжности тензометрических датчиков давления

Исходя из конструкции, например, тензорезистивного датчика давления, чувствительность которого зависит от электрических и механических свойств проводника, а прочностные – от механических свойств проводника и подложки, целесообразным представляется использование нанотрубок подобно тому, как это реализовано в патенте № US7859385 «Резисторы на основе углеродных нанотрубок».

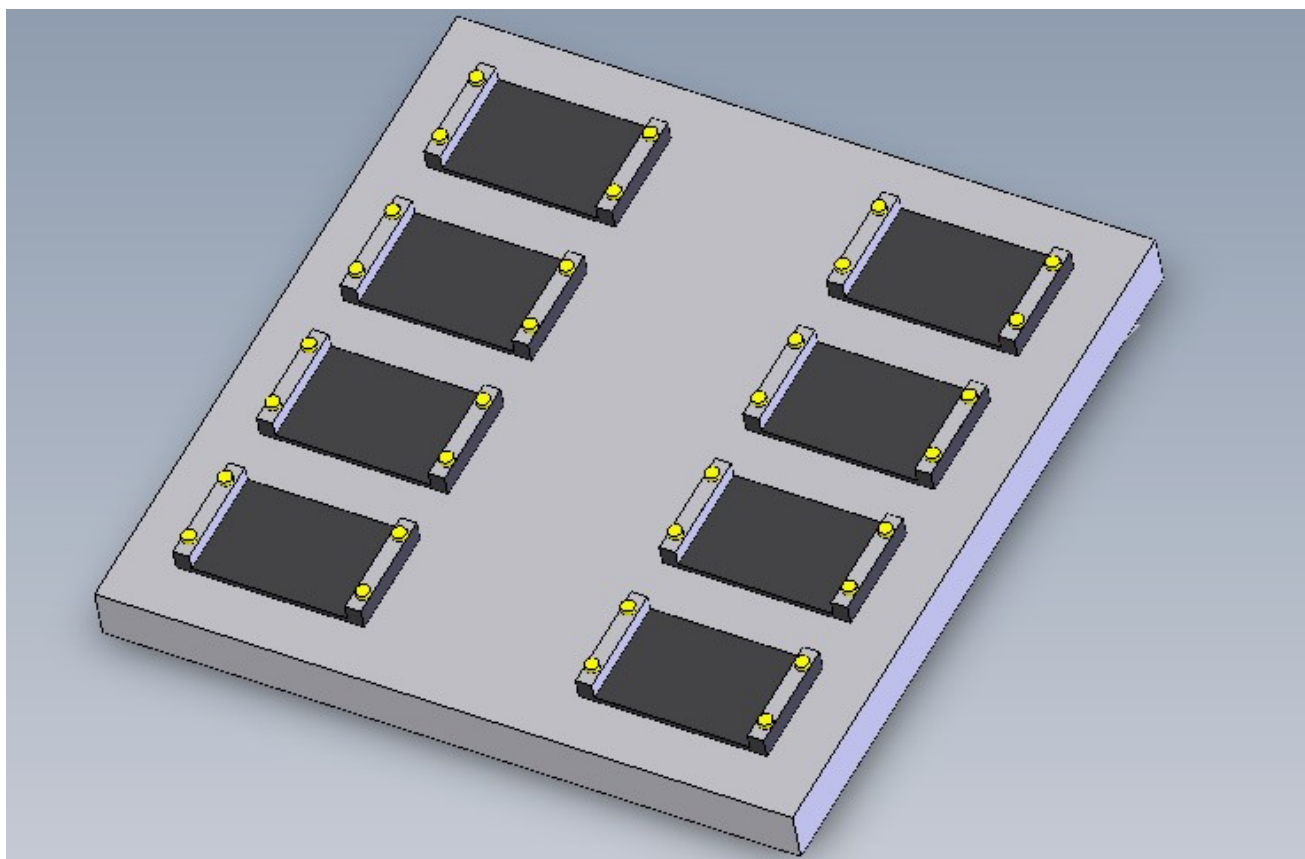


Рисунок 6 – Массив резисторов на подложке [6]

На рисунке 6 представлен вид массива резисторов на основе углеродных нанотрубок, расположенных на подложке. Подобные резисторы (описаны во втором пункте этой статьи) удобно применять и в качестве элементов тензорезистивных датчиков (например, как резисторы моста Уинстона). Основным условием является достаточно высокая упругость всех материалов резистора. Перспективным представляется использование материала на основе углеродных нанотрубок как проводника тензорезистора.

Принципиальные схемы таких датчиков, как и технологии их изготовления, могут быть различными, но благодаря высокой упругости и прочности на разрыв, а так же проводимости, присущей нанотрубкам, подобное решение позволит увеличить одновременно и чувствительность, и надёжность датчика.

Заключение

Углеродные нанотрубки являются перспективным и активно исследуемым материалом, представляющим благодаря своим свойствам значительный интерес в производстве тензометрических датчиков давления и устройств микроэлектроники вообще, о чём свидетельствует значительное число запатентованных устройств, созданных с их применением. Основными проблемами при создании устройств на основе УНТ являются усложнение технологического процесса, а также сложность получения в достаточном количестве нанотрубок с заданными свойствами.

Литература

1. А. В. Елецкий Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // УФН апрель 2002 г., N. 172, № 4. - С.401.
2. А. В. Елецкий Углеродные нанотрубки // УФН, сентябрь 1997 г, Т. 167, № 9. - С.954.
3. Википедия – Свободная энциклопедия. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Honeycombtransl1.png>. – Проверено 03.03.2013.
4. И. В. Золотухин, Ю. Е. Калинин, Замечательные свойства углеродных нанотрубок // Природа – 2004, №5. – С. 20-27.
5. Жукова С. А., Жуков А. А., Патент № RU2362221; Заявл. 31.10.2007, С. 2-5.
6. Claude L. Bertin, Thomas Rueckes, Brent M. Segal, Jonathan W. Ward, Патент № US7859385; Заявл. 23.04.2008, С. 2-16.
7. Проектирование наносенсоров : учеб. пособие /А.А.Денисов,В.А.Кальнов,В.А.Шахнов - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. (Библиотека Наноинженерия»: в 17 кн. Кн.6). - 128 с.:ил.

Отдельные результаты работы получены в рамках исследований по госзаданию №7.6161.2011 Гибридные чувствительные элементы интеллектуальных сенсоров распределенных управляющих систем

МАГНИТНЫЙ ЗАХВАТ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ КЛЕТОК В МИКРОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НЕЙРОНОВ НА SINW-FET

Татьяна Фомина

Научный руководитель: д.т.н., С. Делакур, д.т.н. Ф.Дума-Буше

Неел Институт, Гренобль, Франция

MAGNETIC TRAPPING OF FUNCTIONALIZED CELLS ASSISTED BY A MICROFLUIDIC SYSTEM: TOWARDS NEURON POSITIONING ON SINW-FETS

Fomina T.V.

Supervisor: Dr. Cécile Delacour, Dr. Frédéric Dumas-Bouchiat

Neel Institut, CNRS, Grenoble, France

Аннотация

Целью работы является позиционирование клеток на кремниевом чипе с помощью магнитофорезиса. Данная работа является частью проекта предназначенного для длительной записи сигнала организованной нейронной сети, разрабатываемого в Neel Institut, CNRS. Франция. В данной работе разработан метод точного позиционирования клеток на поверхности. Метод основан на фиксации клеток с суперпарамагнитными наночастицами полем микромагнита. Преимущество данной техники заключается в том, что она потенциально позволяет контролировать отдельные клетки, притягивать клетки в определенные зоны и точно контролировать положение клеток на поверхности. Разработана технология изготовления FePt микромагнитов (\varnothing 7мкм и 20мкм, толщиной 300нм) с помощью процесса лифт-офф. Продемонстрирована фиксация магнитных частиц (100 nm, 200 nm, 2.7 μ m, 7 μ m) этими магнитами. Разработана технология присоединения магнитных частиц различного диаметра к различным клеткам. Разработана микрожидкостная система для контроля потока клеток. Успешно продемонстрировано позиционирование отдельных частиц и позиционирование клеток.

Abstract

The aim of this project was to develop magnetophoretic positioning of cells at precise locations on Si-based electronic chips. This work is a contribution to a bigger project, dealing with long-term recording of electrical activity in organized neuron network (NeuroFET).

In this work I present the fabrication of the micro-magnets, and their application to trapping neurons and muscle cells. The micro-magnets were initially used to trap polystyrene or SiO₂ beads containing superparamagnetic nanoparticles. A technique for the tagging of neurons and muscle cells with such beads has been developed. Undesirable adhesion of cells on the surface of the substrate, away from the micro-magnets, was eliminated. A microfluidic system has been developed to control cell flow. Individual tagged cells have been successfully trapped by micro-magnets.

Introduction

Research in biology and improved healthcare requires the acquisition and analysis of much data. Within the field of neuroscience, the challenge of interfacing electronics and living matter has attracted much interest recently for analyzing and monitoring cells. Tools that will help to understand cell behavior are in great demand as scientists are continuously searching for means to understand better how information is processed, stored and retrieved in the nervous system. Non-invasive methods, in which cells are freely spread over electrodes, allow measurements over long periods and provide lots of information.

There are several examples of successful electrical recording from neuronal networks spread over microelectrode arrays [1]. However, most show poor signal-to-noise ratio, and only allow recordings of randomly organized neuron networks. It is of great scientific interest to be able to study, at the sub-cellular scale, the signal propagating through axons during their growth to produce organized neuron networks. Such a study could contribute to answering many fundamental questions in neuroscience, relating to the organization and development of neuron networks. The Thermodynamics and biophysics of small systems group at Institut NÉEL is presently developing a technology based on an efficient coupling between neuron networks and nanowire Field Effect Transistors (NeuroFET) that will allow such studies. A critical step in growing neuron networks is

preliminary cell positioning. The aim of this project was to study the use of magnetophoretic trapping for single-cell positioning. The basic idea is to functionalize the cells with superparamagnetic beads, and to exploit the inhomogeneous magnetic fields produced by micro-flux sources to precisely position the cells. In this project, we developed methods for magnetically assisted cell positioning, allowing single-cell resolution and precise control of the cell position. The general concept of the developed method is shown in figure 1.

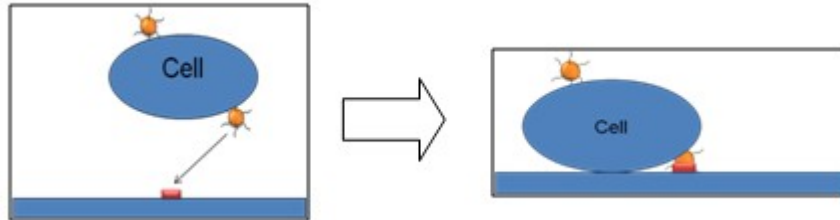


Figure 1 - Concept of magnetically assisted cell positioning. Cells tagged with SPM beads are attracted to magnets, which are located at specific positions on the Si-based chip.

A small permanent magnet, or “micro-magnet”, is fabricated at the desired adhesion site, and coated with adhesion-promoting molecules. Superparamagnetic beads are tagged to the cell surface, to minimize toxicity effects. When the cell comes close enough to the magnet, it gets attracted and trapped.

1 Micro-magnets

The force exerted by a magnet on a magnetic particle is given by

$$F = \mu_0 v M \text{ grad} H \quad (1)$$

where μ_0 is the permeability of free space, v - the volume and M the magnetization of the magnetic particle, and H is the field produced by the magnet. The field gradient increases as the size of the magnet decreases, and very strong forces can be achieved with micron scaled magnets [14]. For single-cell capture, the magnet should be smaller than the cell body of the neuron (<20 μm). At the same time, the distance over which the magnet can attract the particle is proportional to the magnet’s thickness. We chose to use FePt micro-magnets for FePt hard magnetic films can be processed at relatively low temperatures (deposition temperature of 400°C or annealing temperature of 600°C) and show excellent corrosion resistance [2]. For film patterning a lift-off process was developed in the frame of this project (figure 2).

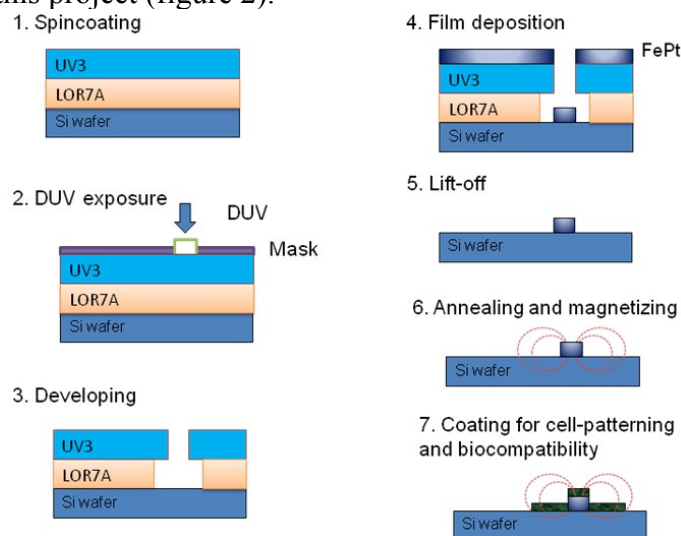


Figure 2 - Lift-off process: LOR – Lift-off Resist, UV3 – positive DUV photoresist

Since the magnet thickness may influence the magnetic properties, different resist combinations were used to enable the deposition of magnets of different thickness: 300 nm, 600nm, 1000nm. The magnet diameter was varied from 7 to 21 μm (figure 3).

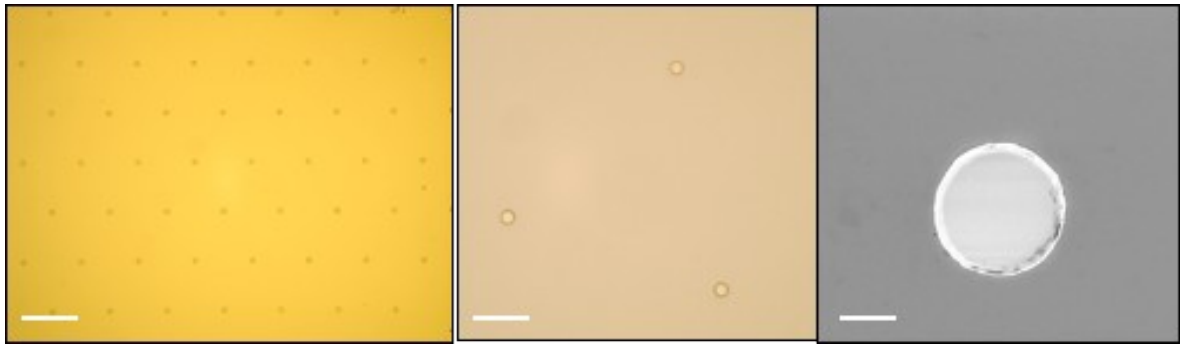


Figure 3 - Left, middle. Optical micrographs of micro-magnet networks. Right. SEM micrograph of a 20 μm diameter micro-magnet. From left to right scale bars are 100 μm , 50 μm and 10 μm

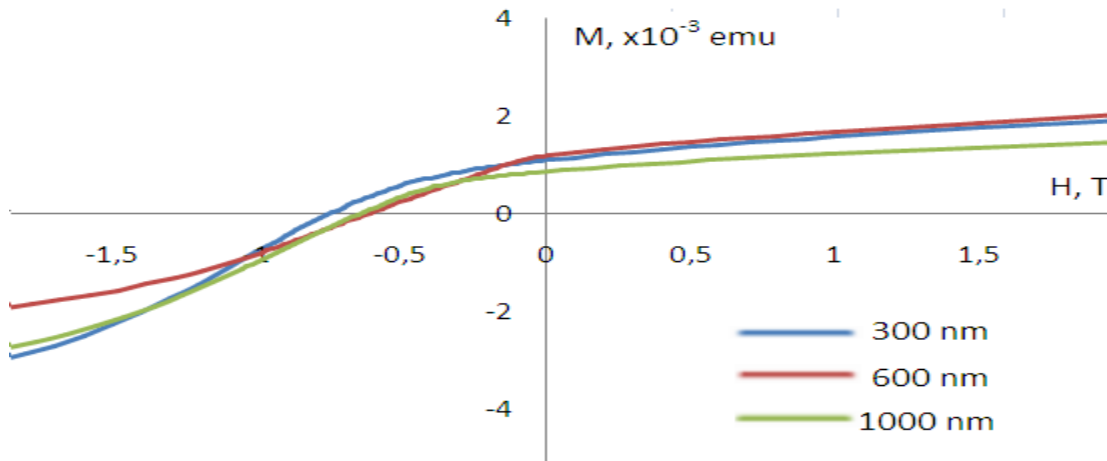


Figure 4 - VSM study of different thicknesses of FePt film

Magnetic hysteresis loops of continuous films were measured with a VSM (figure 4). It can be seen that the coercivity of the 300 nm thick film is slightly higher than that of 600 nm and 1000 nm. Thus, it was decided to use FePt magnets of 300 nm thickness, which are also easier to produce (less heating during deposition, lower weight). Additionally, small magnet thickness ensures low influence of the topographic pattern on the cell. Magnets were coated with parylene C to promote biocompatibility.

2 Cells functionalization and microfluidic system

Superparamagnetic nanoparticles, incorporated into polystyrene beads were attached to different kind of cells using polylysine, laminin or fibronectin (FN) linkers (figure 5) [3]. It is preferable to avoid endocytosis and to attach the beads to the cell surface.

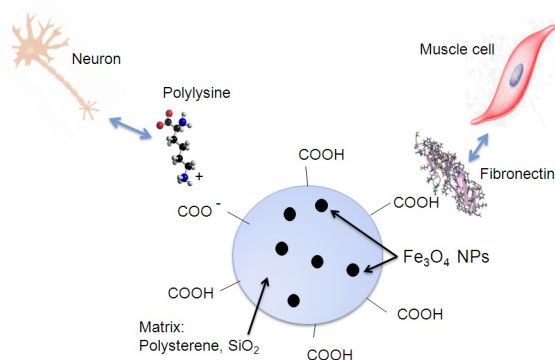


Figure 5 - Scheme of cell tagging

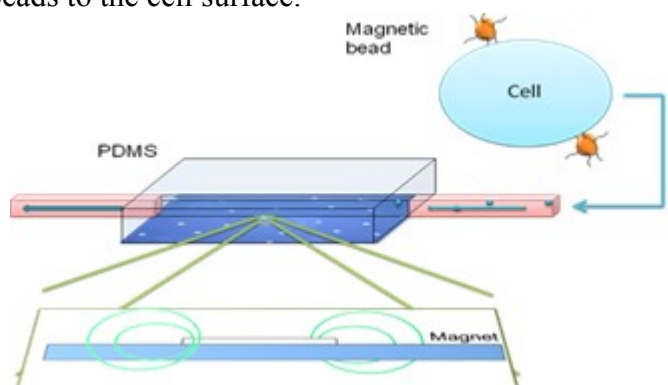


Figure 6 - Scheme of microfluidic system

Since the magnets used are small, the produced magnetic field is very localized. Thus, cells should be brought rather close to the magnets to get attracted. For that a microfluidic system is used

(figure 6). The use of a microfluidic system also helps to eliminate non-specific cell binding as weakly-bonded cells can be washed away by the flow.

3 Results

Successful trapping of muscle cells tagged with FN-coated beads by FePt micromagnets in the microfluidic system has been achieved, proving the concept. Notably, one bead provides enough force to trap the cell and to keep it on the magnet in the flow (figure 7).

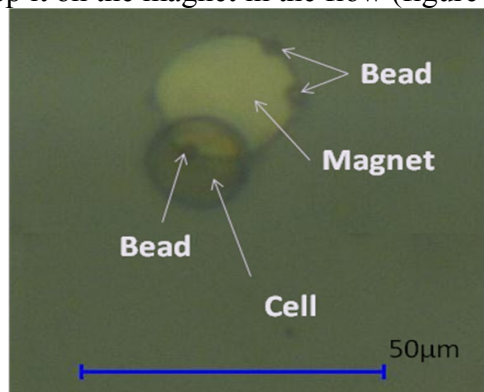


Figure 7 - Single-cell trapping in the microfluidic channel

Conclusion

In this work a technique for single-cell trapping was developed. A lift-off process for the fabrication of FePt micro-magnets was developed and adjusted. The obtained magnets were characterized. A microfluidic system was made and the design was improved in order to prevent cell-sedimentation. Magnetic bead trapping in the microfluidic system was achieved. A technique for cell tagging with magnetic beads was developed and unfavorable interactions with the surface were eliminated. Single-cell positioning was achieved. It was proved that cell positioning with hard micro-magnets is possible.

In future work, the efficiency of the method should be improved to achieve filling of all the adhesion sites. Bead and cell concentrations should be adjusted to increase the tagging efficiency. Alternative ways of tagging (covalent bonds, antibody-based interaction) can be used in future to promote stronger bead-cell interactions.

The technology should be adapted to trap neurons. Following this, the technique should be implemented in the fabrication of a NeuroFET.

The techniques developed here for micro-magnet fabrication and cell tagging could be used in other biological studies involving magnetophoresis. As a concrete example, we propose to use magnetophoresis to investigate the role of mechanical forces in cell development. In this case, in addition to hard micro-magnets, which will serve to anchor cells, soft magnets will be developed to apply variable forces.

References

1. Heer, F. et al. Single-chip microelectronic system to interface with living cells. *Biosensors and Bioelectronics* 22, 2546-2553 (2007).
2. Ndao, C.B. Matériaux magnétiques en couches. Etudes des systèmes FePt et FeRh Thesis Université Joseph Fourier (11/04/2011)
3. Absolom, D.R., Zingg, W. & Neumann, A.W. Protein adsorption on polymer particles. *Journal of Biomedical Materials Research* 21, 4373-4381 (2002).

This work was done as part of Erasmus Mundus Master Nanoscience and Nanotechnology Program at Institut NÉEL and CRETA, in collaboration between the Thermodynamics and Biophysics of Small systems (MCBT) and Micro and Nanomagnetism (NANO) teams.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ БАЛАНСИРУЮЩИМ РОБОТОМ

Говердовский А.Д.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

AUTOMATIC CONTROL OF A BALANCING ROBOT

Goverdovskiy A.D.

Supervisor: Yudin A.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается задача управления двухколесным балансирующим роботом. Исследованы преимущества и существующие применения для данного типа роботов. Сделан обзор реализованных систем, их назначений и особенностей. Разработана версия робота, позволяющей сохранять баланс на месте.

Abstract

In the article the problem of control of a two-wheeled balancing robot is examined. Advantages and uses, possible in future developments, as well as already existing are reviewed. Overview of existing solutions, their functions and peculiarities is carried out. Design of a new version of a traditional two-wheeled robot which would allow for onboard manipulators to be used while maintaining both vertical and horizontal stability.

Введение

Начало робототехнике было положено в 60-х годах прошлого столетия, когда в связи с бурным ростом промышленного производства и достижений в электронике, оказалось возможным создать автомат для нужд конвейерной сборки потребительских товаров. С тех пор применение роботов значительно расширилось и вышло за рамки производственных нужд. С началом нового тысячелетия робототехника активно внедряется во все сферы деятельности человека, в том числе и в обыденную жизнь.

Традиционный робот, взаимодействующий с человеком, имеет широкое основание и передвигается с малыми ускорениями во избежание потери устойчивости. Центр масс подобных мобильных колесных роботов стараются расположить как можно ближе к поверхности, по которой осуществляется движение, при этом для устойчивости у робота всегда имеется как минимум 3 точки опоры.

Двухколесные балансирующие роботы имеют меньшее основание за счет отсутствия требования статической устойчивости. Колесная пара позволяет совершать поворот на месте, что дает им большую мобильность. Также, роботы подобной конструкции имеют пониженное энергопотребление.

В данной работе рассматривается относительно новая область¹ для мобильных изначально неустойчивых роботов – удержание равновесия и передвижение за счет смещающегося центра тяжести. Эта особенность позволяет создать мобильного двухколесного робота, способного удерживать равновесие на месте с одновременным перемещением его отдельных частей (манипуляторов).

Подобные роботы могут использоваться как мобильные помощники рабочего, имеющие в арсенале различные инструменты и способные выполнять некритичную работу по указанию оператора с помощью систем дополненной реальности; в качестве управляемых вручную погрузчиков, картографировать помещения, опасные для человека, работать в качестве охранников (мобильных видеокамер), инвалидных колясок и индивидуальных средств передвижения для человека.

¹ Хотя первый двухколесный балансирующий робот был сделан Казуо Ямафуджи в 1986 году, большинство подобных роботов было создано в 2003-2012 годах

Методы и средства управления подобными двухколесными балансирующими роботами являются крайне важными для практической робототехники и позволяют строить на их основе системы автоматического управления любыми мехатронными системами.

Обзор существующих решений

Рассмотрим основные конструктивные, структурно-функциональные особенности, а также области применения существующих балансирующих двухколесных роботов.

nBot (рис. 1) использует акселерометр для получения значения угла наклона и гироскоп для получения скорости изменения угла наклона. Используется фильтр Вайнера (Weiner) для объединения сигналов этих двух сенсоров в один.

Формула балансировки: $V = A\theta + B\dot{\theta} + Cx + D\dot{x}$

На двигатель подается напряжение, пропорциональное углу наклона θ , угловой скорости $\dot{\theta}$, положению шасси x и его скорости \dot{x} .

Поворот осуществляется за счет добавления значения напряжения к одному двигателю, и вычитания его из другого. Таким образом, робот может поворачивать, сохраняя баланс. Движение по прямой осуществляется с помощью добавления значения к углу баланса [1].

JOE (рис. 2) разрабатывался как мини-прототип транспортного средства для перевозки людей. Для стабилизации используется регулятор пространства состояний, который получает информацию от гироскопа и энкодеров двигателей [2].

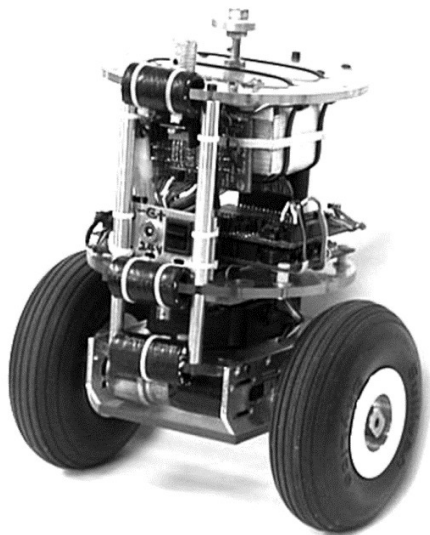


Рисунок 1 - nBot



Рисунок 2 - JOE

Робот, созданный Питером Миллером (Peter Miller) получает значение о положении шасси с помощью энкодеров двигателей, значение скорости с помощью дифференцирования значения положения. Гироскоп и акселерометр, объединенные фильтром Калмана позволяют получить точное значение скорости и угла наклона без потери точности со временем. Управление происходит за счет нелинейной системы на нечеткой логике, распределяющей сигналы управления на двигатель каждого из колес [3].

Ballbot (рис. 3) – робот, балансирующий на шаре. Разрабатывался для взаимодействия с людьми. Система управления (рис. 4) представляет собой два контура: внутренняя – PI регулятор, внешняя – линейно-квадратичный регулятор [4].

Segway (рис. 5) – коммерчески доступная платформа, используемая в качестве транспорта на относительно небольшие расстояния в различных областях, начиная от туризма и заканчивая полицейскими патрулями.

EN-V (рис. 6) – Концепт двухколесного автомобиля, разработанный компанией Segway совместно с General Motors. В отличие от других неустойчивых двухколесных роботов, управление осуществляется за счет перемещения груза, которое приводит к смещению центра тяжести относительно колесной оси [5].

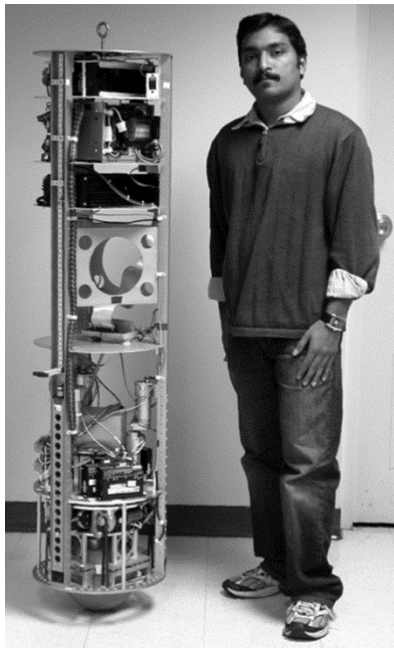


Рисунок 3 - Ballbot

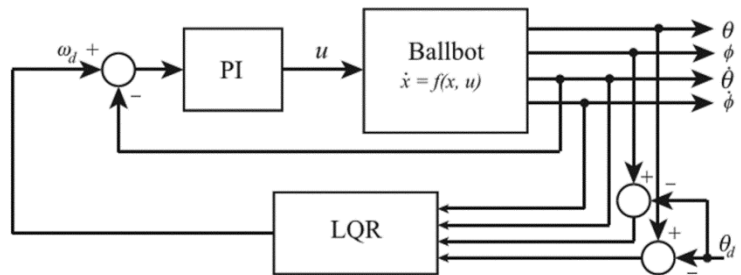


Рисунок 4 - Система управления Ballbot

В большинстве роботов угол наклона рассчитывается путем интегрирования величины угловой скорости, полученной с помощью гироскопа и корректируется последовательным приближением к углу, вычисленному из показаний акселерометров.



Рисунок 5 - Segway

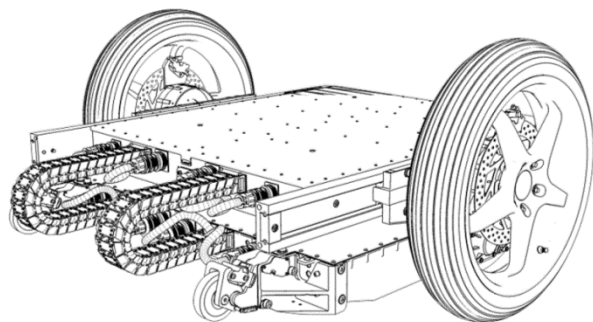


Рисунок 6 - EN-V

Одновременно все параметры обрабатываются фильтром Калмана.

Постановка задачи

На первом этапе целью разработки является автономный двухколесный балансирующий робот без движущихся частей с двумя степенями свободы (рис. 7). Колеса соосны, питание осуществляется с помощью аккумуляторного блока. Центр тяжести находится выше оси колес. Задача – балансировать около положения равновесия.

Получение информации о положении осуществляется с помощью гироскопа и двухосевого акселерометра. Энкодеры валов двигателей позволят измерить скорость и направление движения робота. Дополнительная информация может получаться от видеокamеры, установленной на роботе и следящей за угловым отклонением от заранее определенного визуального ориентира. Управляющие сигналы, получаемые от микропроцессора, поступают на драйверы двигателей, преобразующие в дальнейшем их в моменты двигателей.

Дополнительно на робота устанавливается система смещения центра тяжести, преобразующая вращательное движение двигателя 1 в линейное перемещение с помощью реечной передачи 2 грузу 3, в качестве которого может выступать блок питания (рис. 8). Подобная система может также использоваться для смещения центра тяжести в вертикальной плоскости.

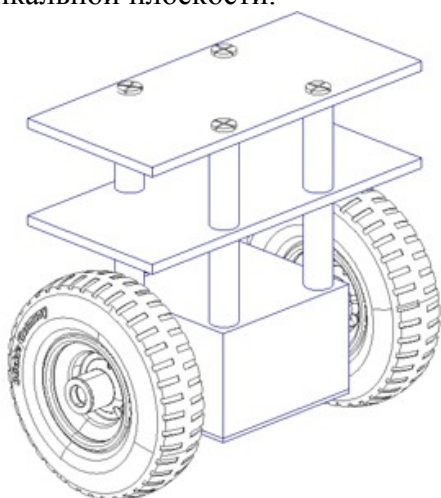


Рисунок 7 - Модель робота

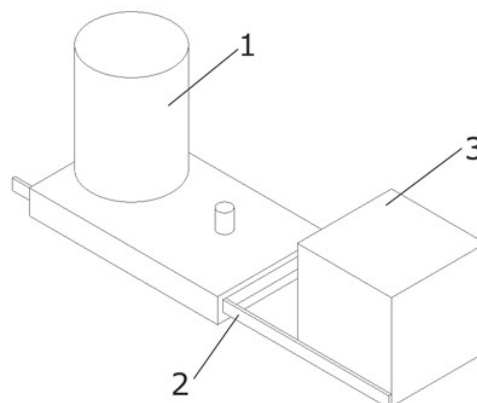


Рисунок 8 – Система смещения центра тяжести

Вместе эти средства могут понадобиться при изучении поведения системы управления при смещениях центра масс в разных направлениях и ее дальнейшем улучшении.

Математическая модель

В данной работе используется абстракция [6-9], позволяющая упростить реальную систему с 5-ю степенями свободы до системы с 2-мя степенями (рис. 9).

Эта модель представляет собой тележку с одной степенью свободы (движение вдоль оси x) с закрепленным на ней с помощью шарнира шеста, способного вращаться в вертикальной плоскости. Контроллер может действовать на тележку силой F , этим изменяя её горизонтальное положение. В системе отсутствует трение.

Масса тележки – m_c , масса шеста – m_p , длина – $2l$. Переменная x – положение тележки вдоль оси x , θ – отклонение шеста от вертикального положения.

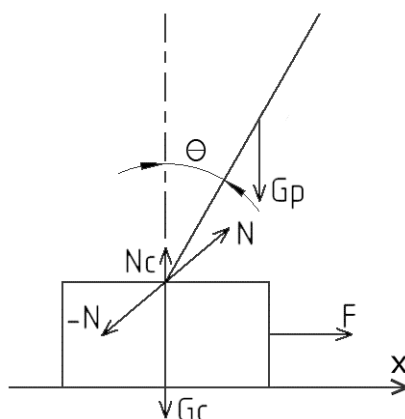


Рисунок 9 - Силовая диаграмма перевернутого маятника на тележке

Динамические уравнения данной системы:

Угловое ускорение:

$$\ddot{\theta} = \frac{g \sin \theta + \cos \theta \left(\frac{-F - m_p l \dot{\theta}^2 \sin \theta}{m_c + m_p} \right)}{l \left(\frac{4}{3} - \frac{m_p \cos^2 \theta}{m_c + m_p} \right)}$$

Горизонтальное ускорение:

$$\ddot{x} = \frac{F + m_p l (\dot{\theta}^2 \sin \theta - \ddot{\theta} \sin \theta)}{m_c + m_p}$$

Постановка эксперимента

На оси обоих колес устанавливаются втулки 1, позволяющие зафиксировать робота и тем самым избавиться от лишних степеней свободы и обеспечить измеряемость угла наклона робота. Одна из втулок с одной вращательной осью свободы закрепляется шарнирно в каретке датчика измерения угла поворота 2, а вал самого датчика крепится к шасси робота с помощью крепления 3 (рис. 10, б).

Альтернативный способ измерения угла наклона – установка видеокамеры 2, сравнивающей положение робота с горизонтальным ориентиром 1, где 3 – вертикальная ось робота, связанная с его отклонением от положения равновесия. (рис.10, в).

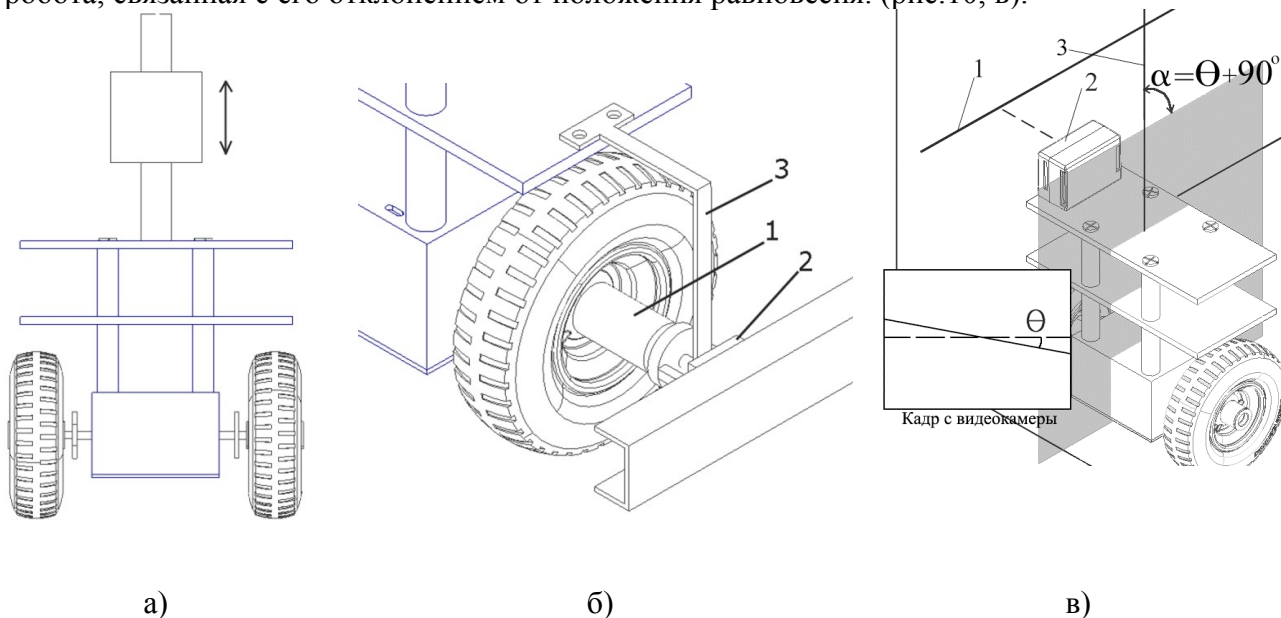


Рисунок 10 – Схема проведения эксперимента

Эксперимент заключается в выведении робота из состояния равновесия для определения качества системы управления. Переменным параметром в данной конфигурации также служит вертикальное положение центра масс робота (рис. 10, а).

Алгоритм работы

Подбор коэффициентов ПИД-регулятора происходит по методу Зиглера-Никольса. Происходит определение переменных L и α из переходной характеристики объекта. Постоянные устанавливаются в соответствии с формулами, приведенными в [7] и донастраиваются вручную при необходимости.

Режим стабилизации начинается с получения значения угла наклона θ от фильтра Калмана. Находится ошибка e , вычисляются интегральные и дифференциальные составляющие, где Δt – интервал дискретизации, определяемый быстродействием микроконтроллера, k – номер промежутка времени. Полученный сигнал управления преобразуется с помощью ШИМ и поступает через приводы на двигатели с образованием моментов $M_{\text{прав}}$ и $M_{\text{лев}}$. Значения ошибки записывается в память для использования в нахождении составляющих сигнала управления в последующих итерациях (рис. 11).

Заключение

В статье рассмотрена задача управления двухколесным балансирующим роботом. Исследованы преимущества применения данного типа роботов, а также возможность использования системы контролируемого смещения положения центра тяжести. Сделан обзор существующих систем.

Разработана версия робота с ограниченным количеством степеней свободы, способного балансировать вокруг вертикального положения равновесия.

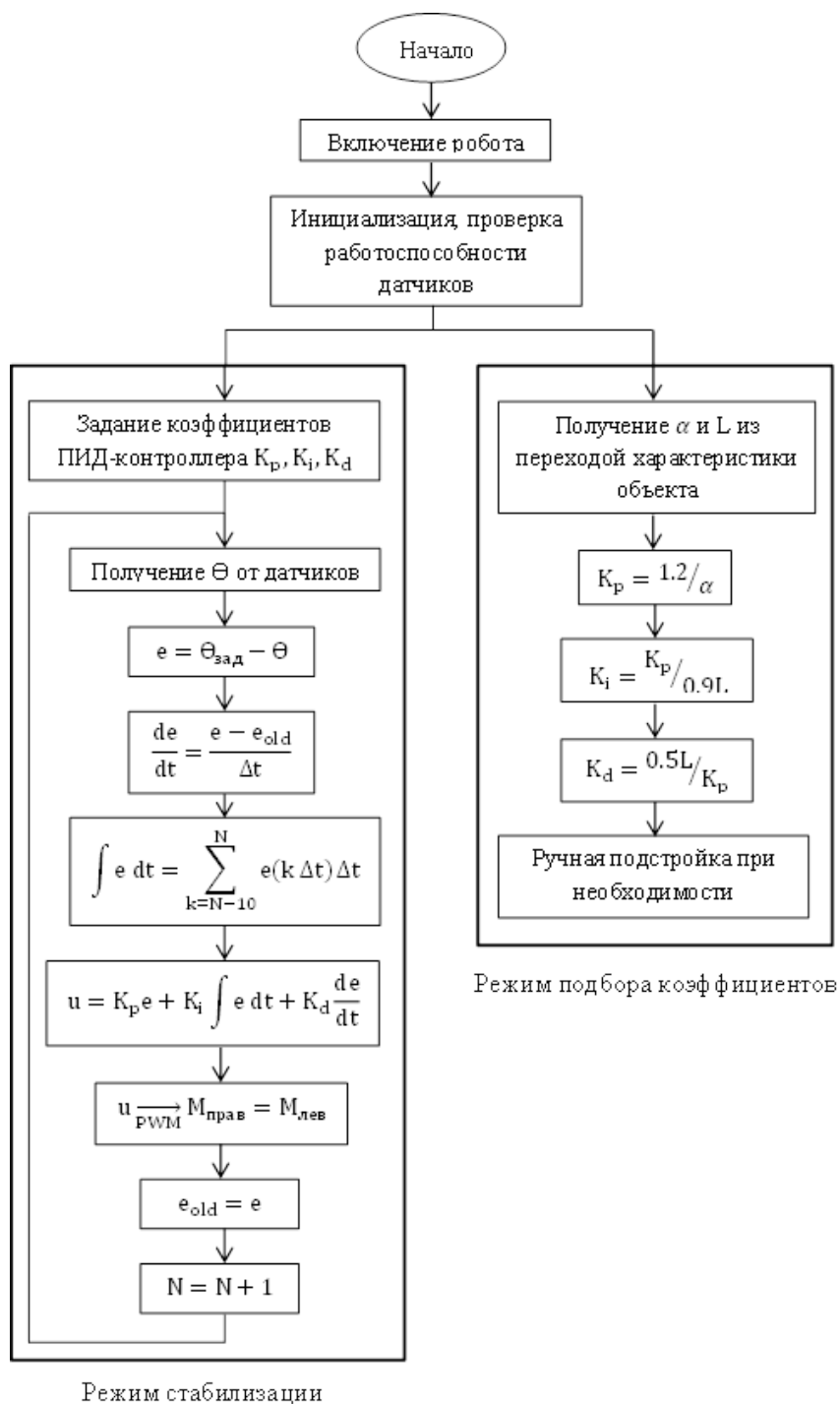


Рисунок 11 – Алгоритм работы

Дальнейшая работа над проектом предполагает увеличение степеней свободы объекта управления, усложнение системы автоматического управления. Одним из перспективных направлений развития проекта видится задача управляемого смещения положения центра масс объекта управления.

Для проверки разработанных подходов необходимо провести ряд экспериментов. Постановка экспериментов является приоритетной задачей ближайшего развития проекта. В частности, получение независимых объективных данных обеспечит внедрение в систему дополнительных датчиков (например, видеокамеры).

Литература

1. nBot Balancing Robot. – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robo/nbot./](http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robo/nbot/) - Проверено 31.01.2013.
2. JOE: A Mobile, Inverted Pendulum / F. Grasser, A. D'Arrigo, S. Colombi, A. Rufer // Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, EPFL
3. One is Enough! / T. Lauwers, G. Kantor, R. Hollis // Carnegie Mellon University, 2005
4. Building a Two Wheeled Balancing Robot / P. Miller // University of Southern Queensland, 2008
5. Segway Advanced Development. The EN-V project. – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.segway.com/en-v/index.php./](http://www.segway.com/en-v/index.php/) - Проверено 31.01.2013.
6. Correct Equations for the Dynamics of the Cart-pole System / R. Florian // Center for Cognitive and Neural Studies, 2007
7. Optimum Settings for Automatic Controllers / J.G. Ziegler, N. B. Nichols // Rochester, N. Y, 1942
8. Andrey Vlasov, Anton Yudin Distributed Control System in Mobile Robot Application: General Approach, Realization and Usage // Research and Education in Robotics - EUROBOT 2010. Communications in Computer and Information Science, 2011, Volume 156, 180-192, DOI: 10.1007/978-3-642-27272-1_16.
9. Антохин А. И., Власов А. И., Косолапов И. А. Концепция системы стабилизации на базе МЭМС гироскопа // Наука и образование: Электронное научно-техническое издание. 2011. №10. С.2-2.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GSM МОДУЛЯ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Хихин Р. Р.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Гриднев В. Н.
Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, ИУ4

USING GSM MODULE FOR WIRELESS DATA TRANSFER

Khikhin R.R.

Supervisor: Ph.D., Associate Professor Gridnev V. N.
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

В докладе представлена концепция беспроводной передачи данных при использовании GSM модуля. Описаны основные принципы работы с GSM модулем SIM900D. Рассмотрены различные типы передачи данных. Описаны принципы создания сервера при использовании WINSOCKETS API. Представлена экспериментальная печатная плата для работы с GSM модулем.

Abstract

The report introduces the concept of wireless transmission of data using GSM module. The basic principles of working with GSM module SIM900D are given. The different types of data transfer are discussed. The principles of creating a server a based on WINSOCKETS API are given. GSM module experimental circuit board is presented.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили средства беспроводной передачи данных для управления удалёнными объектами. Если необходимо управлять объектом на небольших расстояниях (порядка 100м) то можно использовать индивидуальные маломощные передатчики диапазона 433МГц или Wi-Fi модули. Для управления объектами, находящимися на большем расстоянии, такой способ не подходит, т.к. для этого необходимы мощные передатчики, для использования которых необходимо специальное разрешение ГКРЧ России. Выход из данного положения – использование GSM сетей, при помощи специализированных GSM модулей, например SIM900D фирмы Simcom. В данном проекте решаемой задачей является реализация на базе GSM модуля SIM900D клиент-серверной системы передачи данных, которая может быть в дальнейшем использована для разработки охранной сигнализации с обратной связью. В качестве клиента выступает GSM модуль, а в качестве сервера – домашний ПК, подключённый к интернету.

1 Работа GSM модуля

GSM модуль SIM900D фирмы Simcom представляет собой четырёх диапазонный (850/900/1800/1900) GSM/GPRS модуль со встроенным TCP/IP-стеком (TCP v.4). Данный модуль подключается к внешнему контроллеру по интерфейсу UART и управляется при помощи AT-команд стандартов V.25TER, GSM07.07, GSM07.05, а так же специфических команд производителя Simcom[1].

Модуль SIM900D поддерживает 2 режима передачи данных: прозрачный (transparent) и непрозрачный (non-transparent). В непрозрачном режиме отправка каждого блока данных осуществляется при помощи AT команд. В прозрачном режиме установления соединения модуль переходит в режим передачи данных, в котором все данные поданные на UART интерфейс модуля отправляются на удалённое устройство (по GPRS), а все принятые от удалённого устройства данные поступают сразу на UART.

GSM модуль SIM900D может выступать в качестве TCP сервера или TCP/UDP клиента. Существует 2 вида подключений single connection (1 соединение) и multi connection (поддерживает до 8 подключений одновременно). В режиме single connection SIM900D

может работать как в прозрачном (transparent mode), так и в непрозрачном (non-transparent mode) режиме, а при multi connection – только в непрозрачном режиме (см. рисунок 1)[2].

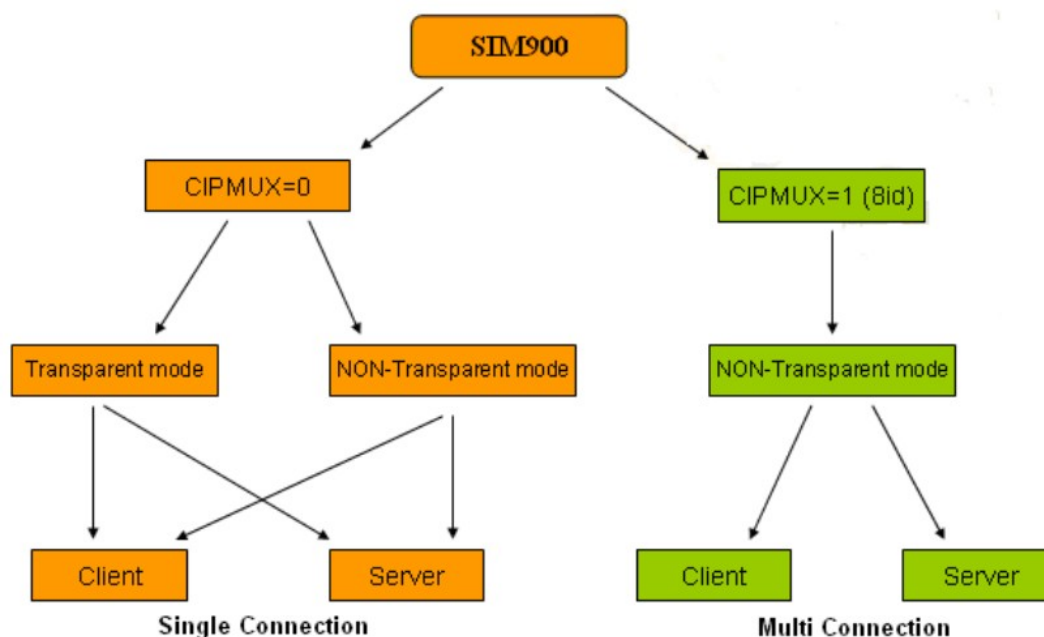


Рисунок 1 – Режимы передачи данных SIM900

В данном проекте GPRS модуль выступает в качестве клиента, подключающегося к удалённому серверу по протоколу TCP в прозрачном режиме.

Для передачи данных по GPRS необходимо вначале инициализировать модуль подав на него следующие команды:

- «AT+CPIN=pin-code» - разблокирует SIM-карту путём ввода пин-кода;
- «AT+CGATT=1» подключает модуль к GPRS, для проверки статуса GPRS соединения можно воспользоваться командой «AT+CGATT?»;
- «AT+CIPMUX=0» задаёт вида подключения single connection (или multi при 1);
- «AT+CIPMODE=1» задаёт прозрачный режим передачи данных (0 - непрозрачный);
- «AT+CSTT="APN","username","password"» настраивает точку доступа (APN - Access Point Name) для подключения GPRS, аргументы команды зависят от оператора сотовой связи, например для Beeline это internet.beeline.ru, beeline,beeline;
- «AT+CIICR» устанавливает беспроводное подключение GPRS(выполнение может занять некоторое время);
- «AT+CIFSR» возвращает полученный IP-адрес модуля;
- «AT+CDNSCFG="10.10.10.10","10.10.10.11"» устанавливает сервера DNS, которые будет использовать модуль;
- «AT+CIPSTATUS» возвращает информацию о состоянии подключений, а так же информацию о том, готов ли модуль к установке соединений.

Для настройки параметров прозрачного режима используется команда «AT+CIPCCFG=<NmRetry>,<WaitTm>,<SendSz>,<Esc>», где:

- < NmRetry> количество повторных попыток отправки;
- <WaitTm> время ожидания отправки, измеряемое в интервалах по 200мс;
- <SendSz> размер блока данных полученных по UART перед отправкой пакета;
- <Esc> включение escape последовательности «+++» для выхода из режима передачи данных (по умолчанию включена).

После того как» на команду «AT+CIPSTATUS» получен ответ «OK необходимо установить соединение с удалённым сервером, для чего используется команда «AT+CIPSTART="index","mode","address","port"».

Где:

- index указывает порядковый номер подключения (значения от 0 до 7);
- mode определяет протокол, который будет использоваться соединением (значения «TCP» или «UDP», в данном проекте используется TCP);
- address задаёт адрес сервера (если при настройке были указаны DNS-сервера, то можно использовать как IP-адрес, так и доменное имя);
- port задаёт порт сервера, с которым будет устанавливаться соединение.

В ответ на команду можно получить несколько вариантов ответов. Если все хорошо, то после стандартного "ОК" через небольшой промежуток времени можно получить один из трёх ответов:

"index,ALREADY CONNECT" это значит, что подключение с заданным индексом уже установлено и стоит его поискать.

"index,CONNECT OK" соединение установлено

"index,CONNECT FAIL" означает, что возникли проблемы с установкой соединения.

После получения ответа "index,CONNECT OK" GSM модуль переходит в режим передачи данных (установлен прозрачный режим), и далее все данные поступающие на вход UART отправляются удалённому серверу. Для подачи управляющих AT – команд модулю, необходимо выйти из режима передачи данных путём подачи на модуль исключающей последовательности «+++» по UART, для возврата назад в режим передачи данных используется команда АТО.

Завершение соединения осуществляется командой "AT+CIPCLOSE=index".

2 Организация сервера

Технология пакетной передачи GPRS использует в качестве механизма доставки пакетов данных протоколы стека TCP/IP, поэтому для передачи данных на сервер (ПК) ему необходим внешний статический IP адрес, или динамический, привязанный к доменному имени (DNS), по которому можно получить IP адрес сервера.

Для организации сетевого обмена на сервере используются сокеты (sockets). Сокеты представляют собой высокоуровневый унифицированный интерфейс взаимодействия с телекоммуникационными протоколами. В среде Windows сокет реализуется при помощи WINSOCKET API - набора функций для работы с сокетами.

Работа с сокетами сводится к 5 операциям:

- создание сокета;
- привязка сокета к локальным именам;
- установка связи;
- передача данных;
- закрытие сокета.

Перед работой с WINSOCKET API необходимо вызвать функцию инициализации WSASStartup(). Данная функция принимает два параметра: версию сокетов и указатель на структуру WSADATA, в которую при успешной инициализации будет занесена информация о производителе библиотек

Создание сокета осуществляется при помощи функции socket(int domain, int type, int protocol), которая в случае успешного создания возвращает дескриптор сокета. На её вход подаётся тип семейства протокола (domain), например AF_INET соответствует TCP/IP v4, а так же тип сокета (type), например SOCK_STREAM соответствует потоковый сокет, а SOCK_DGRAM – датаграмный сокет, аргумент protocol определяет используемый сокетом протокол. Как правило, для поддержки конкретного типа сокета в заданном семействе протоколов существует только один, в таком случае этот аргумент равен 0. Если создание сокета успешно, то функция функции socket() возвращает дескриптор сокета.

После создания сокета, ему необходимо задать номер порта. Задание номера порта осуществляется функцией bind(). Функция принимает три параметра: дескриптор сокета, структуру с адресом типа SOCKADDR_IN и размер этой структуры. Структура

SOCKADDR_IN имеет 3 поля: поле `sin_family` структуры содержит тип семейства протокола (`AF_INET` соответствует TCP/IP v4), поле `sin_port` должно содержать номер порта, записанное в формате с прямым порядком байт, поле `sin_addr` предназначено для хранения IP адреса.

С помощью вызова `listen(int sockfd, int backlog)` сокет переходит в режим для приёма входящих подключений. В аргументе `backlog` определяется максимальная длина очереди ожидающих соединений. Если очередь превысит указанное значение, то клиентской программе будет отказано в соединении.

Для приёма входящих подключений используется функция `accept(int sockfd, struct sockaddr *addr, socklen_t *addrlen)`, на вход которой подаётся дескриптор сокета, структура, используемая для получения адреса клиента и её размер. При приёме подключения функция `accept()` создаёт новый сокет, с которым будет производиться обмен данными, и возвращает его дескриптор. Созданный сокет имеет те же настройки, что и сокет, от которого он был создан.

Для передачи данных в WINSOCKETS предусмотрена функция `send()`. Параметрами для этой функции являются дескриптор сокета, указатель на буфер с данными и его размер, флаги. Для приёма данных - противоположная функция `recv()` с аналогичными параметрами. По окончании работы с WINSOCKETS вызывается функция `WSACleanup()`, которая освободит все ресурсы, занятые WINSOCKETS[4].

3 Практическая реализация

На первом этапе практической реализации была разработана печатная плата для GSM модуля SIM900D, затем модуль был собран и протестирован (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Печатная плата GSM модуля

Как видно, GSM модуль не требует множества дополнительных внешних компонентов и сложной печатной платы для работы.

На втором этапе практической реализации на основе WINSOCKETS API была написана консольная программа-сервер приёма данных от GSM модуля. Для тестирования программы GSM модуль был подключён к ПК через переходник USB-UART и управляющие AT команды подавались GSM модулю через терминал. В результате тестирования был отлажен исходный код программы-сервера.

Таким образом, был реализован простейший беспроводной канал передачи данных по GPRS, который в дальнейшем может быть использован для построения охранной сигнализации.

Литература

1. SIMCOM Sim900 AT command manual V1.06 [электронный ресурс http://microchip.ua/simcom/SIM900x/SIM900/SIM900_AT%20Command%20Manual_V1.06.pdf], проверено 20.12.2012 в 0.55
2. SIM900_TCPIP_Application Note_V1.02 [электронный ресурс http://microchip.ua/simcom/SIM900x/AppNotes/SIM900_TCPIP_Application%20Note_V1.02.pdf], проверено 20.12.2012 в 0.55.
3. Интерфейс прикладного программирования Socket API, Часть 1: Создание собственного сервера [электронный ресурс <http://www.itshop.ru/Interfeys-prikladnogo-programmirovaniya-Socket-API-Chast-1-Sozdanie-sobstvennogo-servera/19i29813>], проверено 20.12.2012 в 0.55

Отдельные результаты работы получены в рамках исследований по госзаданию №7.6161.2011 Гибридные чувствительные элементы интеллектуальных сенсоров распределенных управляющих систем

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АКВАТЕРРАРИУМ ДЛЯ КРАСНОУХОЙ ЧЕРЕПАХИ

Кайзер Г.О.

*Научный руководитель: учитель информатики МОАУ «СОШ № 38», Рогова Е.А.
МОАУ «СОШ № 38», г.Орск, Москва, Россия*

INTELLIGENT AQUATERRARIUM FOR RED-EARED TURTLE

Kaizer G.O.

*Supervisor: IT-teacher, Rogova E.A.
SCH. N38, Orsk, Russia*

Аннотация

В статье рассматривается разработка макета интеллектуального акватеррариума для красноухой черепахи, который обеспечивает поддержание параметров среды (температуры воды и воздуха, уровня воды, освещенности, УФ-облучения, подачи свежего воздуха) в акватеррариуме. Интеллектуальный блок управления реализован на базе микроконтроллера ATmega 128. Рассмотрены основные алгоритмы программирования устройства (задания необходимых режимов: температура, освещенность и т.п.), управления его исполнительными устройствами (обогреватель, лампы, дисплей) на основе анализа информации с датчиков. Проанализированы особенности работы датчиков устройства и обработки сообщений об изменении параметров среды в акватеррариуме. В заключение работы даны рекомендации по использованию интеллектуального акватеррариума для обеспечения комфортных условий обитания красноухой черепахи.

Annotation

The article deals with the development of intelligent layout aquaterrarium for red-eared turtle, which ensures that the parameters of the environment (water and air temperature, water level, light, UV light, fresh air) in aquaterrarium. Intelligent power management is implemented on the basis of microcontroller ATmega 128. The basic algorithms for programming devices (tasks required modes: temperature, light, etc.), the management of its execution units (heater, lights, display) based on analysis of information from the sensors. The features of the sensor device and process messages about changing the environment in aquaterrarium. In conclusion of the recommendations on predictive aquaterrarium to provide comfortable living conditions of red-eared turtle.

Введение

Актуальность исследований обусловлена широким распространением (примерно 2 семьи из 3) домашних животных. Однако, сравнительно небольшая часть из них решается завести экзотических питомцев. Приблизительно с 2000 по 2005 года в данной категории животных стали преобладать красноухие черепахи. Такая тенденция обусловлена наибольшей неприхотливостью (уход, пища, место обитания) этого вида черепах по сравнению с иными представителями экзотики (змеи, пауки, моллюски и пр.). Но, к сожалению, есть люди, разочаровавшиеся в своем выборе. Большая часть из них просто не смогла обеспечить поддержание постоянства среды обитания животного должным образом.

Следует пояснить: красноухая черепаха в естественной среде - обитатель теплых пресных (иногда заболоченных) водоемов с открытыми для солнца берегами, завезена в Россию из Америки. Главной причиной того, что это изначально дикое животное стало домашним, является необычный внешний вид черепахи, а именно, внимание привлекает небольшой уплощенный гладкий панцирь (что характерно для водных видов), светло-зеленого (у молодых особей) или почти коричневого, украшенного различными узорами с ярко-желтой (тоже с наличием узоров) брюшной частью.

Как было ранее упомянуто, красноухая черепаха не требовательна к условиям содержания, но они должны быть близки к естественным, т.е. необходимо наличие теплой воды (в идеале от 25 до 28°C), достаточного освещения и, желательно, источника ультрафиолетового излучения (как альтернатива солнечным лучам).

Для удовлетворения требований к содержанию применяют обычно аквариумное оборудование специальные ультрафиолетовые лампы, предназначенные для рептилий. В

силу того, что красноухая черепаха все же остается довольно редким жителем домашних зооуголков, специальных устройств именно для ухода за этим животным не предусматривается. Вопрос содержания красноухих черепах рассматривается в литературных источниках достаточно широко. Чегодаев А. Е., автор книги «Аквариумные и террариумные черепахи. Содержание. Кормление. Разведение. Профилактика заболеваний», Степура А. В. «Рептилии в аквариуме», Красичкова А. Г. «Красноухие черепахи» и многие другие.

Цель работы: проектирование и изготовление устройства «Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи», способного обеспечить поддержание параметров акватеррариума, близких к естественным (температура воды от 25 до 28°C, достаточная освещенность, подача свежего воздуха, наличие островка и источника УФ-излучения).

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведены предпроектные исследования [1-6]:
- биология: исследование условий содержания красноухой черепахи в домашних условиях;
- физика;
- системотехника: построение схем, расчеты параметров компонентов и т.д.;
- информатика: разработка программ для микроконтроллеров [1 – 3];
- исследована элементная база, необходимая для реализации «Интеллектуального акватеррариума для красноухой черепахи»;
- создано устройство «Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи».

При создании «Интеллектуального акватеррариума для красноухой черепахи» использованы следующие методы исследований:

- анализ данных из различных информационных источников о среде обитания красноухих черепах и необходимых условий для содержания их в неволе и об уже существующих решениях поставленных задач;
- моделирование, т.е. разработка математической модели «Интеллектуального акватеррариума для красноухой черепахи».
- метод прогнозирования в данном случае является представлениями (предполагаемый сценарий событий в зависимости от условий среды акватеррариума) о работе устройства, основанными на математической модели;
- эксперимент – проверка представлений о работе «Интеллектуального акватеррариума для красноухой черепахи» непосредственно на практике.

Постановка задачи. В связи с желанием содержать в домашних условиях такое сравнительно редкое для зооуголков животное необходимо, исходя из ранее описанных требований к искусственной среде обитания, устранить следующие проблемы [3, 6]:

- отсутствие (или недоступность по ряду причин) обогревателя со встроенным терморегулятором;
- неудобство и не эстетичность наличия большого количества проводов, обеспечивающих питание устройств, находящихся в акватеррариуме, а также отсутствие сетевых фильтров, рассчитанных на данное количество устройств;
- проблема выхода из строя обогревателя при понижении необходимого уровня воды;
- проблема перегрева, сильной влажности и недостаточной конвекции воздуха в акватеррариуме;
- проблема отсутствия и высокой стоимости УФ-лампы (ультрафиолетовой);
- нерациональное использование пространства акватеррариума

1 Основа акватеррариума – это учет междисциплинарных связей между подсистемами различной физической природы

Устройство «Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи» создано для обеспечения поддержки постоянства среды акватеррариума. Оно представляет собой совокупность устройств, находящихся под управлением микроконтроллера и способных влиять на характеристики среды акватеррариума.

Красноухая черепаха получает все большую популярность среди любителей домашних животных. По большей части это обусловлено необычной внешностью животного и относительно несложными в исполнении требованиями к содержанию.

В природе красноухая черепаха обитает в мелких озерах, прудах и других водоёмах с низкими, заболоченными берегами. Ведёт относительно малоподвижный образ жизни. Следовательно, необходимо искусственно создать такие условия, которые были бы максимально схожи с естественными.

Для содержания красноухой черепахи в неволе необходимы следующие условия:

- акватеррариум объемом от 100 до 150 л;
- чистая вода, температурой от +26 до +28°C;
- достаточное освещение;
- дозированное ультрафиолетовое облучение (длительность облучения зависит от параметров источника ультрафиолетового излучения);
- определенный неменяющийся уровень воды;
- наличие свежего воздуха.

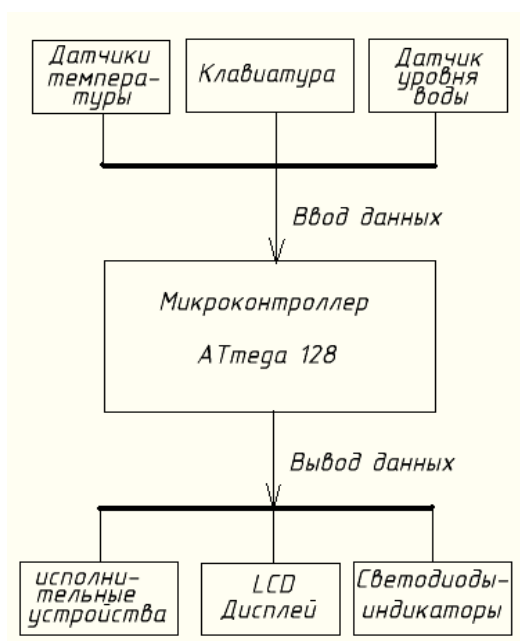


Рисунок 1 – Структурная схема «Интеллектуального акватеррариума для красноухой черепахи»

На рисунке 1 представлена структурная схема «Интеллектуального акватеррариума». На ней отображены основные части устройства [3, 5]:

- датчики температуры (их 2 – вода и воздух);
- клавиатура (ввод данных);
- исполнительные устройства (обогреватель, вентилятор, УФ- и светодиоды);
- LCD дисплей (на него выводятся текущие значения параметров);
- светодиоды-индикаторы.

При создании данного устройства необходимо учесть, что микроконтроллер и все устройства кроме обогревателя потребляют постоянный ток, сила которого до 40 мА. Обогреватель же рассчитан на переменное напряжение 220В.

Т.к. мощность обогревателей различна, необходимо произвести расчеты для нахождения оптимального значения мощности в конкретном случае можно выполнить по формуле:

$$P=V \times (t_6 - t_0) \times w, \quad (1)$$

где P – мощность обогревателя, Вт;

V – объем воды, л;

t_6 – необходимая температура воды, °С;

t_0 – начальная температура воды (приблизительное значение), °С;

w – коэффициент расхода мощности (см. таблицу), Вт/(л×°С).

Таблица 1 – Значения коэффициентов расхода мощности

№	Объем воды, л	Коэффициент расхода мощности, Вт/(л×°С)
1	10	0,3
2	25	0,2
3	50	0,13
4	100	0,1
5	200	0,07

Объем воды можно найти следующим образом:

$$V=l \times b \times h, \quad (2)$$

где: l – длина террариума, м;

b – ширина террариума, м;

h – высота уровня воды, м.

В результате обобщения формул 1 и 2 получим:

$$P=l \times b \times h \times (t_6 - t_0) \times w. \quad (3)$$

В ходе произведенных расчетов было получено значение мощности, приблизительно равное (при стандартных условиях и разнице температур в 3°С) 21,06 Вт, следовательно, правильнее всего будет использование обогревателя мощностью 25 Вт. Появляется проблема с объединением обогревателя и управляющей системы, заключающаяся в разнице параметров потребляемого электрического тока (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Сравнение характеристик электрического тока, потребляемого управляющей системой и обогревателем

№	Параметр	Управляющая система	Обогреватель
1	Вид напряжения	постоянное	переменное
2	Значения напряжения	5 В	220 В
3	Сила тока (максимальное значение)	40 мА	114 мА

Значение силы тока, на которую рассчитан обогреватель, найдено по данной формуле:

$$I = \frac{P}{U}, \quad (4)$$

где: P – мощность прибора (обогревателя), Вт;

I – сила тока, А;

U – напряжение, В.

В результате полученное значение силы тока равно 114 мА.

Для решения данной проблемы можно использовать электромагнитное реле со следующими параметрами:

1. максимальное коммутируемое переменное напряжение 240 В;
2. максимальный коммутируемый ток 7А;
3. минимальная переключаемая нагрузка 100мА, 5В.

Из этого следует, что при считывании с датчика температуры и ее совпадении со значением нижнего порога температуры воды, микроконтроллером на соответствующем выводе формируется логическая единица (5 В) до того момента, когда показания датчика температуры не совпадут со значением верхнего порога. В этот момент создается логический ноль до следующего падения значения температуры до нижнего порога.

Таким образом, проблема с управлением системой обогрева решена.

Также рассчитана максимальная освещенность в акватеррариуме:

$$E = \frac{I}{r^2} \times \cos i, \quad (5)$$

где E – освещенность, лк;

I – сила света, Кд;

i – угол падения лучей света относительно нормали к поверхности, °;

r – расстояние от источника света, м.

Максимальное значение освещенности составило 197,53 лк, что в 1,9753 раза больше, чем в светлой комнате вблизи окна, что вполне приемлемо в данном случае.

Не вдаваясь в подробности внутренних процессов микроконтроллера, можно сказать, что элементы устройства работают по следующему принципу:

- датчик уровня жидкости: если на вход микроконтроллера подан ноль, то на выводе к обогревателю сформирована единица, а на выводе к индикатору критического уровня воды ноль, иначе – выводе к обогревателю ноль, а к индикатору, соответственно, единица;
- датчик температуры воды: когда значение температуры, считанное с датчика, не выходит за заданное программно нижнее значение предела или равно верхнему значению, то на выводе к обогревателю создан ноль, если же данное условие не выполняется, то на выводе создается логическая единица; помимо этого, значение температуры выводится на дисплей;
- датчик температуры воздуха: когда на значение датчика температуры ниже заданного предела, на вывод к вентилятору подается логический ноль и он перестает работать, когда значение температуры повышается, то на выводе снова формируется единица;

- время работы УФ- и светодиода задается пользователем, по истечении заданного времени на выводах к диодам создается нуль и они отключаются.

2 Структура и состав управляющей подсистемы

Блок управления представляет собой совокупность датчиков, устройств ввода/вывода, исполняющих устройств и микроконтроллера, управляющего всеми процессами данной системы.

В качестве управляющего микроконтроллера решено выбрать АТmega 128.

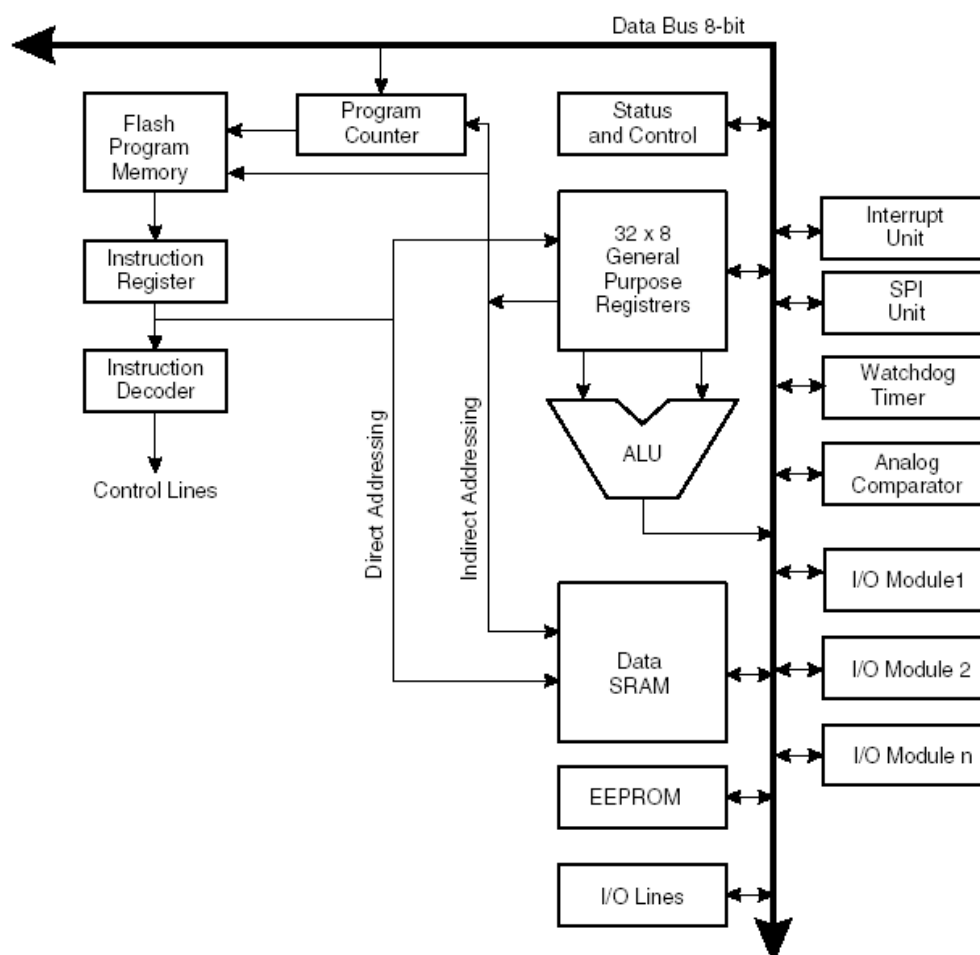


Рисунок 2 – Структурная схема микроконтроллера АТmega128 [1]

АТmega128 (рисунок 2) обладает очень большим количеством самых разнообразных функций.

Вот некоторые его характеристики [1]:

- максимальная тактовая частота – 16 МГц и производительность 16 MIPS (миллионов инструкций в секунду);
- прогрессивная RISC архитектура;
- тридцать два 8-битных рабочих регистра и регистры управления периферией;
- 53 программируемые линии ввода/вывода;
- два 8-битных таймера/счетчика и два 16-битных;
- 8-канальный 10-разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП);
- встроенный 2-цикловый перемножитель;
- аналоговый компаратор;
- 128 Кбайт внутрисистемно программируемой Flash памяти;
- интерфейсы SPI, I²C, USART, JTAG;

– модуль широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Для микроконтроллеров AVR существуют различные языки программирования, но, пожалуй, наиболее подходящими являются ассемблер и С, поскольку в этих языках в наилучшей степени реализованы все необходимые возможности по управлению аппаратными средствами микроконтроллеров.

Программу для данного устройства решено писать на ассемблере.

Ассемблер – это низкоуровневый язык программирования, использующий непосредственный набор инструкций микроконтроллера.

Достоинства ассемблера по сравнению с С:

- язык ассемблера позволяет писать самый быстрый и компактный код, какой вообще возможен для данного процессора;
- если код программы достаточно большой, — данные, которыми он оперирует, не помещаются целиком в регистрах процессора, то есть частично или полностью находятся в оперативной памяти, то искусный программист, как правило, способен значительно оптимизировать программу по сравнению с транслятором с языка высокого уровня по одному или нескольким параметрам:
 - скорость работы — за счёт оптимизации вычислительного алгоритма и/или более рационального обращения к оперативной памяти, перераспределения данных;
 - объём кода (в том числе за счёт эффективного использования промежуточных результатов). (Сокращение объема кода также нередко повышает скорость выполнения программы.)
 - обеспечение максимального использования специфических возможностей конкретной платформы, что также позволяет создавать более эффективные программы, – в том числе менее ресурсоемкие;
- при программировании на языке ассемблера возможен непосредственный доступ к аппаратуре, и, в частности:
 - портам ввода-вывода,
 - регистрам процессора и др;
 - с помощью языка ассемблера часто создаются машинозависимые подпрограммы компиляторов и интерпретаторы языков высокого уровня, а также реализуется совместимость платформ;
 - с помощью дизассемблера позволяет исследовать существующие программы при отсутствии исходного кода.

Заключение

Создано устройство «Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи», способное обеспечивать круглосуточную поддержку необходимых параметров:

- температура воды от 25 до 28°C;
- освещенность – 12 часов в сутки;
- уровень воды (зависит от размера акватеррариума и пожелания владельца);
- приток свежего воздуха;
- дозированного УФ-излучения.

Практическая ценность работы заключается в создании единого устройства, управляемого одним микроконтроллером и способного заменить целую группу отдельных приборов, что позволит существенно облегчить уход за черепахой и сделает систему контроля за акватеррариумом проще и компактнее.

«Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи» обладает оптимальным уровнем энергопотребления, достаточной точностью измерения величин (датчики температуры имеют точность до $\pm 0,5^\circ\text{C}$ при эксплуатации в температурном диапазоне от – 10 до $+85^\circ\text{C}$) и быстродействием (управляющий микроконтроллер способен выполнять до 16 миллионов операций в секунду).

Устройство «Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи» может использоваться как в домашнем зооуголке, так и зоомагазине или зоопарке. Также при коррекции схемы и настроек «Интеллектуальный акватеррариум для красноухой черепахи» можно применить в качестве системы контроля аквариумного или террариумного климата.

Литература

1. Ревич Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 384 с.
2. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR в радиолюбительской практике. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 352 с.
3. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и техника, 2005. – 256 с.
4. Красичкова А.Г. Красноухие черепахи. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.e-reading.org.ua/bookreader.php/88194/Krasichkova_-_Krasnouhie_cherepahi.html . – Проверено 13.01.2012.
5. Мысловский Э.В., Власов А.И., Акрестиний М.В. Микроконтроллеры// Электронные компоненты, №5. 2002. - С.47-50.
6. Власов А.И., Конькова А.Ф. Медико-диагностические экспертные системы для оценки адекватности адаптивной реакции организма на воздействие экстремальных факторов// Конверсия. № 9-10. 1995. - С.18-21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ СОРТИРОВКИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ АППАРАТНЫХ РЕСУРСОВ

Костюченко С.В. Лобанов С.В.

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

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

RESEARCH OF SORTING ALGORITHMS COMPEXITY

Kostyuchenko S.V. Lobanov V.S.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований временной сложности алгоритмов сортировки в условиях ограниченных аппаратных ресурсов. Обсуждаются результаты экспериментов на малопроизводительной платформе с ограниченными ресурсами – 8-битных микроконтроллерах.

The summary

Research results of sorting algorithms complexity are presented. Practical results of experiments on a specific platform (8-bit microcontroller) are discussed.

Введение

В настоящее время, при стремительном развитии информационных технологий и повсеместной автоматизации производства возникает потребность в эффективных алгоритмах для однокристальных систем – микроконтроллеров. В наши дни электронные системы на базе микроконтроллеров применяются во многих отраслях, начиная от бытовой техники, автомобильной промышленности и заканчивая системами контроля силовых установок на электростанциях. С ростом сферы использования микроконтроллеров увеличиваются требования к быстродействию и производительности программного обеспечения, которое в свою очередь должно обеспечивать высокую отказоустойчивость и стабильность устройства. Эти повышенные требования вызывают определённые сложности в использовании микроконтроллеров, как у разработчиков, так и у программистов. Особенности архитектуры однокристальных микро-ЭВМ вызывают дополнительные трудности в разработке высокопроизводительных и надежных алгоритмов. К числу сложных для реализации на микроконтроллерах алгоритмов можно отнести алгоритмы сортировки. Это связано с тем, что большая часть микроконтроллеров имеет 8-битную архитектуру, что в свою очередь накладывает целый ряд ограничений, с которыми сталкиваются программисты при реализации алгоритмов сортировки. Из-за некоторых ограничений, например в силу аппаратных ограничений в работе стека и малого объема оперативной памяти, в большинстве 8-битных контроллеров не поддерживается рекурсия, что делает невозможным применение некоторых алгоритмов.

В данной работе выполнены исследования временной сложности алгоритмов сортировки на 8-битных микроконтроллерах. Это позволило выявить наиболее эффективные алгоритмы сортировки для применения в устройствах с ограниченными ресурсами.

В ходе выполнения исследований были решены следующие задачи:

- выбраны высокопроизводительные нерекурсивные алгоритмы сортировки;
- изготовлен стенд, который позволил провести исследование алгоритмов;
- реализована программа для микроконтроллера для выбранных алгоритмов сортировки;
- проведены исследования алгоритмов сортировки;
- оценена производительность исследованных алгоритмов;
- произведена оптимизация алгоритмов для более эффективной работы на 8-битной архитектуре.

1 Стенд для проведения исследований характеристик алгоритмов сортировки

Для проведения исследований был выбран 8-битный микроконтроллер PIC16F876A, семейства PIC16 фирмы Microchip [4]. Характеристики выбранного микроконтроллера приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики микроконтроллера PIC16F876A

Память программ, байт	ОЗУ данных	Частота МГц	Порты I/O	Послед. интерфейсы	Кол-во ШИМ	Таймеры	Кол-во АЦП	Корпус
8192x14	368	20	22	USART/ MSSP	2	3+WDT	5	SO-28 DIP-28

Для ввода/вывода данных на микроконтроллер был использован конвертер интерфейсов USB-UART на базе цифровой микросхемы FT232 (рис. 1). Инициализация uart (RS232) на микроконтроллере не требует большого количества ресурсов и очень проста. Но т.к. в современных ноутбуках RS232 отсутствует, для работы необходим был конвертер интерфейсов. USB-UART конвертер позволяет получить в операционной системе виртуальный COM - порт с TTL уровнями сигнала. Это позволяет отправлять и получать данные на микроконтроллер через терминальные утилиты, например, PuTTY.



Рисунок 1 – Преобразователь USB-UART на базе FT232

Принципиальная схема стенда, состоящего из микроконтроллера, преобразователя интерфейсов и пассивной элементов представлена на рис. 2. Фото изготовленного стенда приведено на рис. 3.

2 Алгоритмическое и программное обеспечение для проведения исследований характеристик алгоритмов

Для исследования характеристик алгоритмов были выбраны следующие алгоритмы сортировки: подсчетом, вставками, выбором, пузырьком и быстрая сортировка [2, 3].

Достоинствами алгоритма быстрой сортировки являются:

- 1) быстрая сортировка является одним из самых быстродействующих (на практике) из алгоритмов внутренней сортировки общего назначения;
- 2) алгоритм достаточно прост в реализации;
- 3) для реализации алгоритма требуется лишь $O(\lg n)$ дополнительной памяти, где n - размер входных данных.

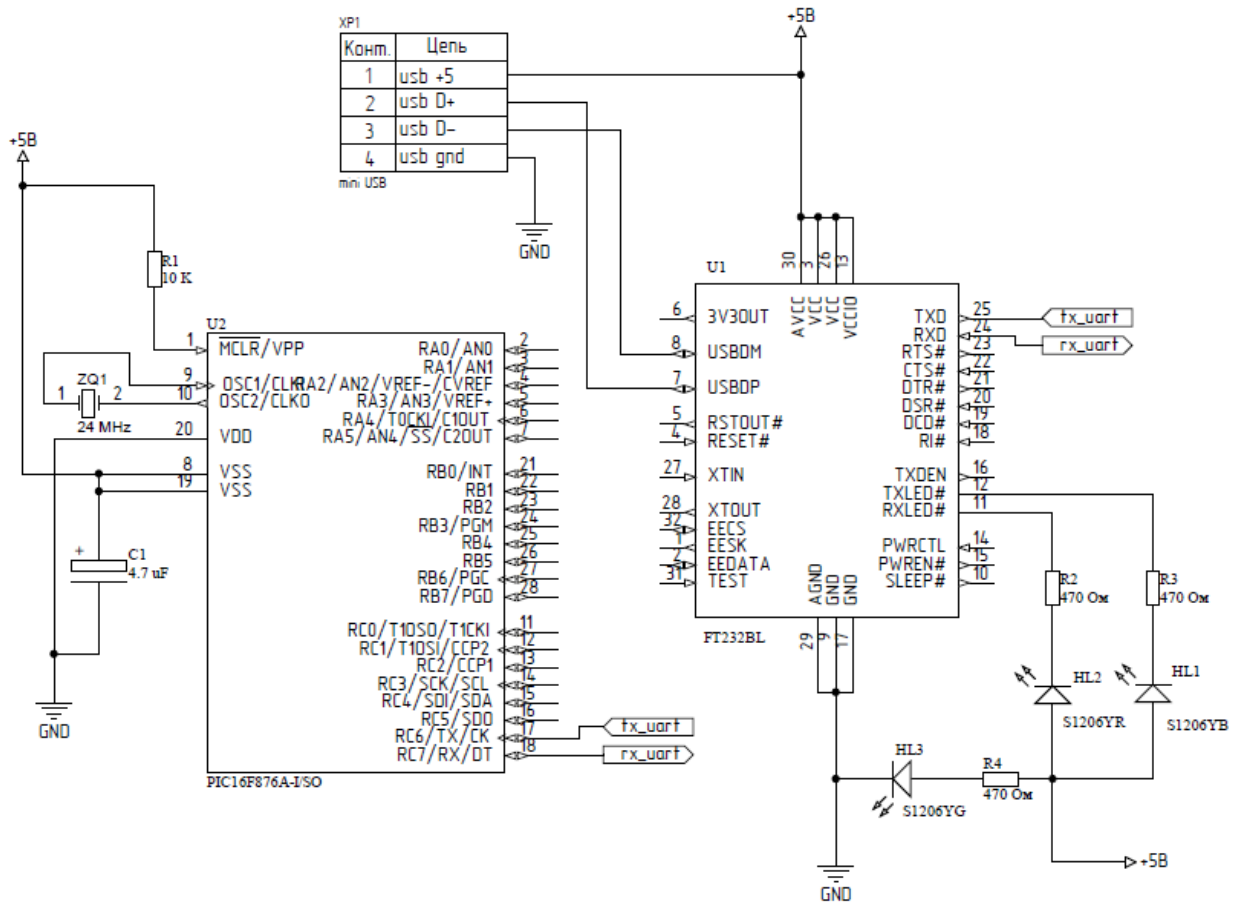


Рисунок 2 – Электрическая принципиальная схема стенда

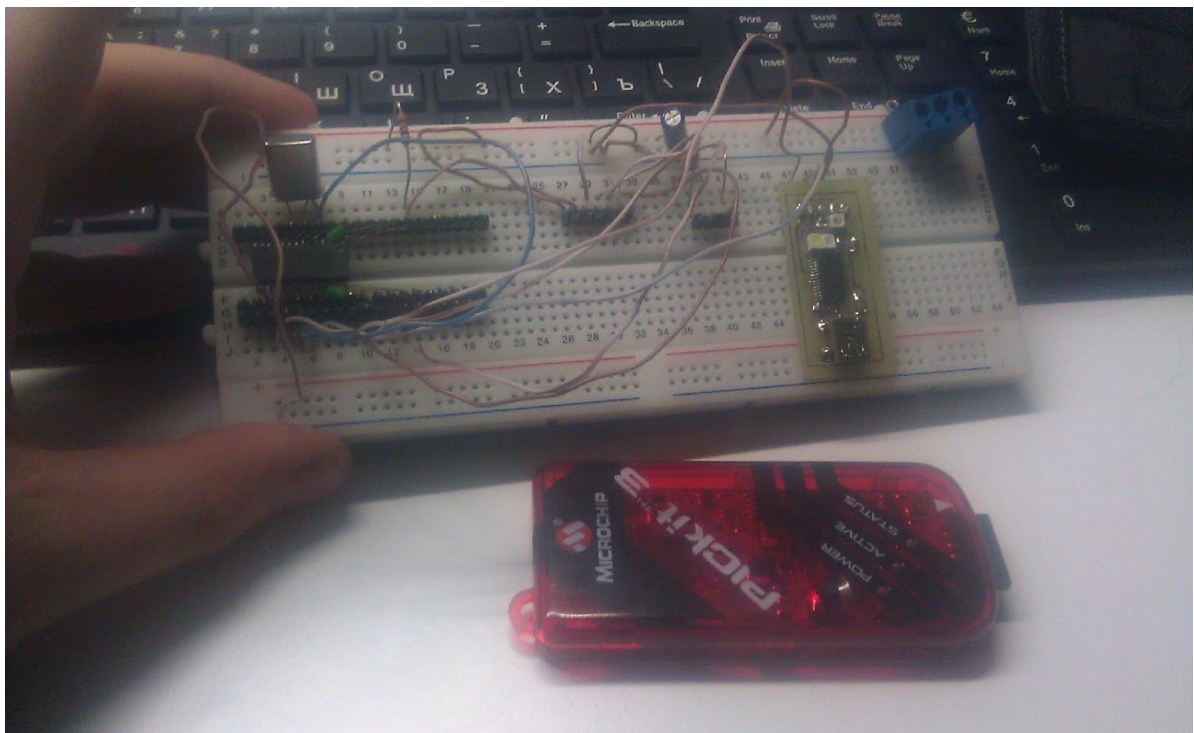


Рисунок 3 – Стенд для исследования алгоритмов

К недостаткам алгоритма быстрой сортировки относятся:

- 1) алгоритм сильно деградирует по скорости (до $\Theta(n^2)$) при неудачных выборах опорных элементов;

2) наивная реализация алгоритма может привести к ошибке переполнения стека, так как ей может потребоваться сделать $O(n)$ вложенных рекурсивных вызовов. В улучшенных реализациях, в которых рекурсивный вызов происходит только для сортировки меньшей из двух частей массива, глубина рекурсии гарантированно не превысит $O(\lg n)$;

3) может быть неустойчив;

4) может не работать на микроконтроллере.

Алгоритм сортировки подсчетом применяется только для частного случая, когда сортируемые числа имеют диапазон возможных значений. Алгоритм имеет линейную временную трудоёмкость $\Theta(n + k)$, где k – размер вспомогательного массива. Используемая память $\Theta(n + k)$.

Достоинствами алгоритма сортировки выбором являются:

1) устойчивый алгоритм сортировки;

2) требует только $O(n)$ памяти.

К недостаткам алгоритма следует отнести его квадратичную временную сложность.

Достоинствами алгоритма сортировки вставками являются:

1) эффективен на небольших наборах данных;

2) алгоритм является устойчивым;

3) может работать в режиме реального времени;

4) использует только $O(1)$ временной памяти.

К недостаткам алгоритма следует отнести его квадратичную временную сложность.

Алгоритм сортировки пузырьком является наиболее простым в реализации. К недостаткам этого алгоритма следует отнести его квадратичную сложность.

Перечисленные выше алгоритмы были программно реализованы на языке Си. Используемый компилятор PIC C является встроенным в среду разработки MPLABX. Разработка велась в операционной системе Windows 7.

В начале работы программы происходит инициализация UART [4]. Далее происходит конфигурация таймера для подсчета времени, затраченного алгоритмами на сортировку. Для этого были использованы прерывания от таймера микроконтроллера TMR0. Таймер настроен таким образом, что каждое прерывание (системный тик) соответствует 1 миллисекунде [1, 4]. Все алгоритмы были протестированы на одинаковых наборах данных.

3 Результаты экспериментальных исследований

Эксперименты были выполнены на 20 наборах целочисленных входных данных в диапазоне от 4 чисел до максимально допустимой размерности (47 целых чисел). В таблицах 2-6 представлены результаты экспериментальных исследований временной сложности выбранных алгоритмов сортировки.

Таблица 2 - Результаты сортировки входных данных для размерности 4

Алгоритм сортировки	% пройденных тестов	мин. t, мс	среднее t, мс	макс. t, мс
Быстрая сортировка	90%	34	35.10	36
<i>Сортировка подсчётом</i>	100%	34	34.55	35
Пузырьковая сортировка	100%	34	34.90	36
Сортировка выбором	100%	34	34.75	35
Сортировка вставками	100%	34	34.50	35

Таблица 3 - Результаты сортировки входных данных для размерности 8

Алгоритм сортировки	% пройденных тестов	мин. t, мс	среднее t, мс	макс. t, мс
Быстрая сортировка	50%	45	45.80	48
Сортировка подсчётом	100%	42	42.85	43
Пузырьковая сортировка	100%	45	45.6	47
Сортировка выбором	100%	44	44.5	45
<i>Сортировка вставками</i>	100%	43	43.35	44

Таблица 4 - Результаты сортировки входных данных для размерности 16

Алгоритм сортировки	% пройденных тестов	мин. t, мс	среднее t, мс	макс. t, мс
Быстрая сортировка	0%	-	-	-
Сортировка подсчётом	100%	59	59.40	60
Пузырьковая сортировка	100%	71	73.10	74
Сортировка выбором	100%	67	68.15	68
<i>Сортировка вставками</i>	100%	61	62.45	64

Таблица 5 - Результаты сортировки входных данных для размерности 32

Алгоритм сортировки	% пройденных тестов	мин. t, мс	среднее t, мс	макс. t, мс
Быстрая сортировка	0%	-	-	-
Сортировка подсчётом	100%	93	93.50	94
Пузырьковая сортировка	100%	147	150.25	154
Сортировка выбором	100%	125	125.85	126
<i>Сортировка вставками</i>	100%	104	106.4	110

Таблица 6 - Результаты сортировки входных данных для размерности 47

Алгоритм сортировки	% пройденных тестов	мин. t, мс	среднее t, мс	макс. t, мс
Быстрая сортировка	0%	-	-	-
Сортировка подсчётом	100%	127	127.80	128
Пузырьковая сортировка	100%	250	256.70	266
Сортировка выбором	100%	200	200.75	201
<i>Сортировка вставками</i>	100%	150	156.60	165

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что алгоритм быстрой сортировки, который известен как быстрейший алгоритм из всех известных [2, 3], оказывается неприменимым для разработки программного обеспечения микроконтроллеров. Только в частных случаях этот алгоритм оказался работоспособным (для 4 чисел были завершены 18 тестов из 20; для 8 чисел только 50% тестов были завершены удачно).

В среднем наилучшие результаты показал алгоритм сортировки подсчетом (лучшие результаты выделены жирным шрифтом).

Заключение

В ходе выполнения проекта был разработан стенд для исследования характеристик алгоритмов сортировки.

Результаты экспериментальных исследований показали, что алгоритм быстрой сортировки не может быть применен в микроконтроллерах, т.к. он является неустойчивым.

Из остальных исследованных алгоритмов алгоритм пузырьковой сортировки является наиболее медленным.

Наилучшие результаты в среднем показал алгоритм подсчетом. Однако при отсутствии ограничений на входные данные рекомендуется использование алгоритма сортировки вставками. Он показал в среднем хорошие результаты, при этом для работы этого алгоритма не требуется предварительной информации о диапазоне входных данных.

Обобщая вышеизложенное, для использования в системах реального времени рекомендуется алгоритм сортировки вставками. Необходимо отметить, что временная сложность этого алгоритма является квадратичной.

В дальнейшем планируется выполнить исследования характеристик алгоритмов сортировки при использовании аппаратного обеспечения с различными аппаратными характеристиками.

Литература

1. "PICC Manual" HI-TECH Software, Учебное пособие. 2002. - 334 с.
2. Ахо А.В., Хопкрофт Д.Э., Ульман Д.Д. Структуры данных и алгоритмы; М.: Наука, 2000. - 995 с
3. Кнут Д.Э. Искусство программирования (том 3); М.: Гостехиздат, 1978. - 266 с.
4. Предко М. Справочник по PIC-микроконтроллерам: Пер. с англ. - М.: ДМК Пресс, 2006. - 612 с.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 10-07-00073а

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПОЛНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЦЕЛИ ОСКОЛОЧНЫМ ПОЛЕМ

Котельницкий А.В., Антропов Ф.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Черваков В.О.

Россия, Москва МГТУ им. Н.Э.Баумана, УВЦ отдел №2

MATHEMATICAL MODEL OF TARGET HIT FULL PROBABILITY BY SHRAPNEL FIELD CALCULATION

Kotelnitsky A.V., Antropov F.S.

The senior lecturer, Cand. Tech. Sci. Chervakov V.O.

Russia, Moscow, MSTU named after N.E.Bauman, TMC department №2

Аннотация

В работе изложены существующие проблемы моделирования действия боеприпасов и расчета их эффективности. Предложена и подробно описана математическая модель расчета полной вероятности поражения цели осколочным полем. Указаны преимущества разработанной модели перед классическими методиками.

Abstract

The paper deals with the current problems of modeling the ammunition effect and calculating its efficiency. Mathematical model of target hit full probability by shrapnel field calculation was proposed and described in detailed. The advantages of the designed model over classical techniques were outlined.

При проектировании новых типов боеприпасов актуальным вопросом является расчет их эффективности. Зачастую, для этого используются устаревшие методики, для которых необходимо знать о цели такие параметры как приведенная площадь поражения и стальной эквивалент (толщина стали, которую необходимо пробить для поражения цели). В некоторых случаях получение этих характеристик затруднительно. Помимо этого, данные методики не позволяют оценить тип поражения цели. Для более качественной оценки необходимо задавать агрегатную модель, и учитывать тип поля (радиальное, либо аксиальное). Однако и эти методики не позволяют с необходимой точностью оценить эффективность боеприпаса, так как в некоторых случаях (для высокоскоростных целей) необходимо учитывать скорость цели при попадании осколка в определенную проекцию агрегата, что может быть затруднительно. Также, необходимо учитывать и перемещение цели за время полета осколка.

Для создания математического описания поражения цели, состоящей из агрегатов, рассмотрим подробно данный процесс. При подрыве боеприпаса, продукты детонации взрывчатого вещества разгоняют поражающие элементы (осколки), которые являются либо готовыми (с одинаковыми характеристиками), либо формируются при разрушении корпуса боеприпаса (с разбросом характеристик), формируя осколочное поле. Размеры поля при этом, в десятки раз больше боеприпаса. Осколки, двигаясь в среде, обычно воздушной, попадают в цель. Цель, представляет собой набор агрегатов, выведение из строя которых может привести к поражению цели. В зависимости от степени важности агрегата можно определить насколько сильный урон понесла цель. Например, поражение элемента шасси и топливной системы приведет к разным последствиям. Необходимо также учитывать значительное изменение координат высокоскоростных целей за время полета осколков, что может привести к уходу цели из зоны поражения.

Для выполнения расчетов разрабатываемого математического описания, данная модель реализуется на ЭВМ в виде программного модуля, созданного на языке C++. Этот язык был выбран как один из самых распространенных и в то же время один из самых быстрых языков с точки зрения выполнения кода.

Выделим в рассмотренном процессе 2 класса объектов: осколок и агрегат. Массив объектов класса "осколок" рассчитывается из исходных данных, полученных либо

экспериментально, либо аналитически. Для его задания используются углы разлета осколков в статике, скорость боеприпаса, начальная скорость разлета осколков, масса осколков, распределение осколков по углам разлета (меридианальному и экваториальному). При таком подходе есть возможность наиболее точно смоделировать осколочное поле боеприпаса, не обращая внимание на тип этого самого поля, и используется только одно допущение - размеры боеприпаса пренебрежимо малы, по сравнению с размером осколочного поля. Это допущение правомерно, так как, даже если учитывать размеры боеприпаса, то экспериментально полученные углы разлета поля осколков в статике имеют погрешность, соизмеримую, либо превосходящую погрешность, вносимую этим допущением. У класса осколков существуют следующие переменные (характеристики), которые могут, как зависеть, так и не зависеть от времени: масса осколка, абсолютная скорость осколка в 3-х проекциях на оси неподвижной прямоугольной декартовой системы координат, положение осколка в этой же системе координат. Этот подход позволяет точно описать и исследовать движение каждого осколка, учитывая тип боевой части - естественного, заданного дробления, или с готовыми поражающими элементами. Скорости в каждый новый момент времени рассчитываются с учетом сопротивления воздуха (которое, в свою очередь, может меняться, в зависимости от координаты и скорости в данный момент времени):

$$\frac{dV}{dt} = \frac{c_x \langle S \rangle V^2 \rho_{\text{в}}}{2m} \quad (1)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха,

$\langle S \rangle$ - мишень (средняя площадь сечений)

Далее задается цель массивом объектов класса “агрегат”. Для описания объектов этого класса используются следующие параметры: габариты объекта (агрегаты представляются в виде прямоугольных параллелепипедов), функции уязвимости агрегатов, начальное расположение в неподвижной прямоугольной декартовой системе координат и функции скоростей агрегатов. Функции уязвимости представляют собой либо некоторую константу, выражающую вероятность поражения тем, или иным воздействием, либо условную вероятность поражения, заданную вероятностной функцией и зависящую от значений относительной скорости.

$$F_u(V_{\text{встр}}) = P(V_{\text{встр}}) = \int_{-\infty}^{V_{\text{встр}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi} * 0,1V_{\text{пр}}^2} * e^{-\frac{(V_{\text{встр}} - V_{\text{пр}})^2}{0,1V_{\text{пр}}^2}} \quad (2)$$

где $V_{\text{встр}}$ - скорость встречи,

$V_{\text{пр}}$ - скорость пробития

Поскольку агрегаты цели, в большинстве случаев не меняют свое расположение относительно друг друга, будем определять положение цели нижней точкой первого агрегата. Назовем такую точку – базовой точкой, а первый агрегат – базовым агрегатом. Положение остальных агрегатов будет задаваться относительно базовой точки. Далее задается функция изменения линейной и угловой скорости базового агрегата, в зависимости от времени. В итоге, можем рассчитать значение координат, линейных и угловых скоростей каждой точки, каждого агрегата в любой момент времени. Также, для цели задаются условия поражения функциями, учитывающими поражение цели, при совместном или одиночном выведении из строя агрегата.

Для дальнейшего расчета необходимо дополнительно ввести еще один класс объектов - точка подрыва боеприпаса. Задается она 6 переменными, а именно тремя координатами в пространстве и тремя углами смещения (углами Эйлера), которые необходимо учитывать при расчете, если цель и боеприпас не находятся на параллельных курсах, или поле поражения боеприпаса не осесимметрично.

Для завершения математической модели необходимо также задать блок процедур. При заданном шаге по времени данный блок должен пересчитывать данные моделирования, проверяя в конце каждого пересчета координат объектов, принадлежность объекта “осколок”

области пространства, занимаемой объектом “агрегат”. Принадлежность рассчитывается по следующей формуле:

$$\vec{r}_{\text{оск}} = \vec{r}_{\text{оп}} + \alpha * \vec{r}_l + \beta * \vec{r}_b + \gamma * \vec{r}_ш \quad (3)$$

$$\begin{cases} \alpha \in (0, 1); \\ \beta \in (-0.5, 0.5); \\ \gamma \in (-0.5, 0.5); \end{cases}$$

где $\vec{r}_l, \vec{r}_b, \vec{r}_ш$ – радиус-векторы задающие агрегат

Если принадлежность установлена - рассчитывать вероятность поражения агрегата этим осколком, учитывая массу осколка, скорости взаимодействия, функцию уязвимости агрегата.

В этом же блоке можно регулировать сложность модели, например учет силы тяготения и сопротивления воздуха, таким образом, изменяя время, затрачиваемое ЭВМ на расчет.

В результате, будут рассчитаны несколько значений вероятности поражения агрегатов и всей цели. Представленная модель предполагает проведение эксперимента в идеальных условиях. Для получения более точных результатов необходимо учесть случайные величины, а именно-дисперсию скоростей цели, начальной скорости разлета осколков в статике, скорости боеприпаса в момент подрыва, массы осколков. Для этого достаточно ввести еще несколько процедур, которые учли бы наличие дисперсии этих величин и присвоили бы им, только в начальный момент времени($t=0$) значения, принадлежащие доверительным интервалам.

Данная математическая модель позволяет описать процесс разлета осколков и рассчитать вероятность поражения цели с наименьшими ограничениями:

- боеприпас, в начальный момент времени - материальная точка;
- агрегаты цели со временем не меняют своего расположения.

Иными словами, разработанная математическая модель позволяет с достаточной точностью симитировать реальную боевую ситуацию и рассчитать вероятность поражения цели одиночным выстрелом, или залпом, учитывая предполагаемое маневрирование цели.

Литература

1. Средства поражения и боеприпасы - Москва; МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008 г. - 982с.
2. Бертран Мейер Объектно-ориентированное конструирование программных систем – М.:Русская редакция,2005.-1204 с.

АДАПТАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАКАЗА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ К ПРОМЫШЛЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Козлова А.Ю.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Гриднев В.Н.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ADAPTATION OF ELECTRONIC ORDER PCB TO MANUFACTURING

Kozlova A.Y.

Supervisor: Ph.D Gridnev V.N.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается подготовка электронного заказа к промышленному производству. Подробно рассмотрены ошибки, допускаемые конструкторами при подготовке платы. Кратко представлен процесс подготовки печатной платы к производству.

Abstract

The article deals with the preparation of the electronic order to industrial production. Detail the mistakes made by designers in the preparation of the board. Briefly presented the preparation of printed circuit board to production

Введение

Заказы на предприятие поступают на изготовление печатных плат (ПП) модулей I уровня, работающих в составе ЭВА различного назначения, а также на опытные и макетные платы [1].

Заказ содержит чертеж или электронный файл платы, которые необходимо адаптировать для условий конкретного производства. Файлы могут поступать в программах AutoCAD, Pcad, cam85, ORCAD, LAYOT и других. Если разводка проводящего рисунка выполнена в paint или фотошопе, то плату приходится заново разводить инженерам предприятия.

Скорректированный электронный заказ отправляется на согласование заказчиком и далее адаптируется к производству.

1 Подготовка электронного заказа на изготовление ПП и его адаптация к производству

Представляет интерес анализ ошибок, встречающихся в электронных заказах на изготовление ПП:

- смещение центров переходных или монтажных отверстий относительно центров круглых контактных площадок (рисунок 1);
- несовпадение центров окружностей линий проводников (рисунок 2);
- неоптимальный угол наклона проводников (рисунок 3);
- малый зазор между проводниками (менее 0.2, в крайних случаях менее 0.13-0.15мм) (рисунок 4);
- малое расстояние между соседними КП для прокладки проводника заданной ширины (рисунок 5);
- диаметр круглой КП меньше диаметра металлизированного отверстия (рисунок 6);
- несоответствие геометрии окон паяльной маски и шелкографической маркировки мест установки навесных компонентов (рисунок 7).

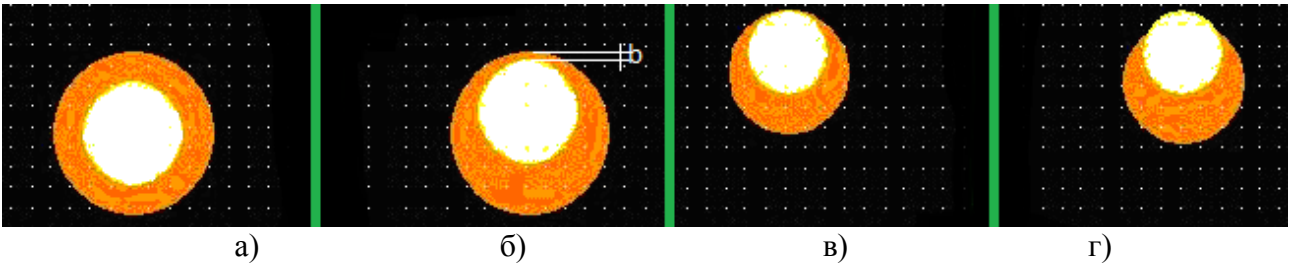


Рисунок 1 - Виды смещений а) смещения нет; б) смещение при наличии гарантированного пояска «b»; в) гарантированный поясок отсутствует г)целостность КП нарушена

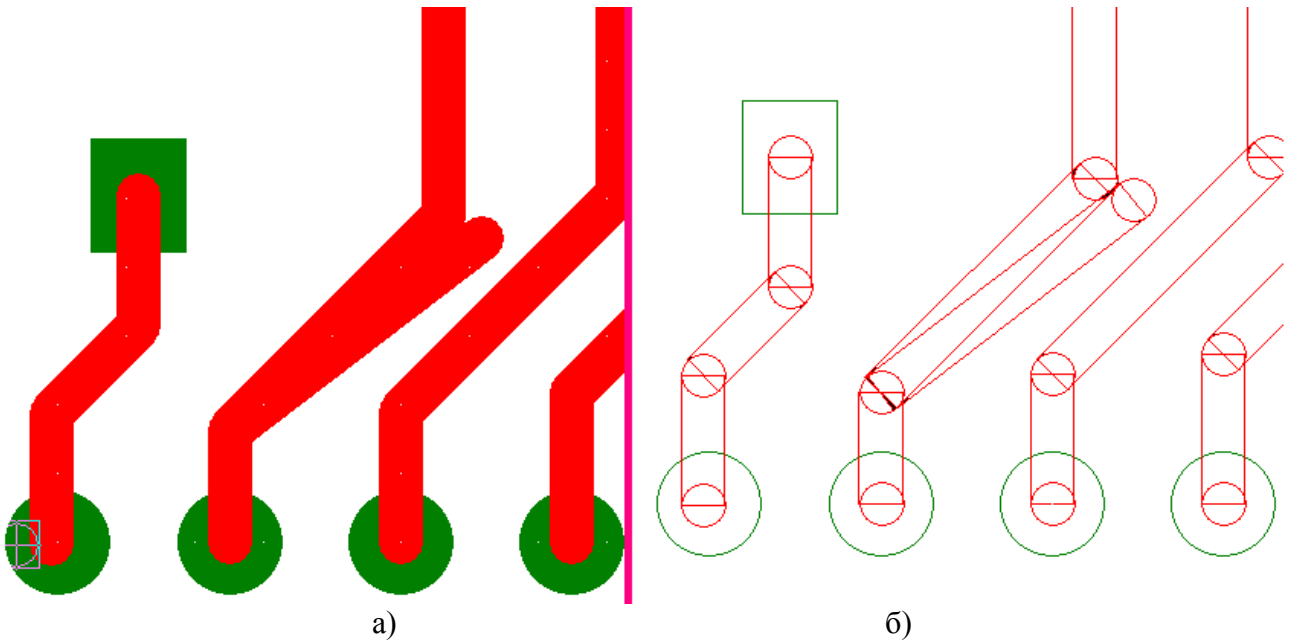


Рисунок 2 -Частичное совмещение проводников (а)- реальный вид, б)- вид контура элементов платы

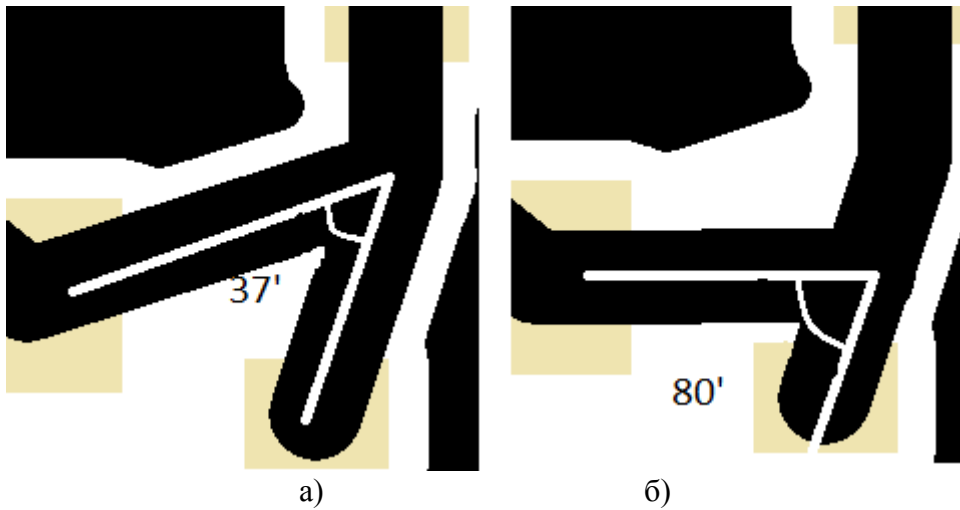


Рисунок 3 - Неоптимальный угол наклона (а) – вид в присланном файле, (б)- исправленный вариант

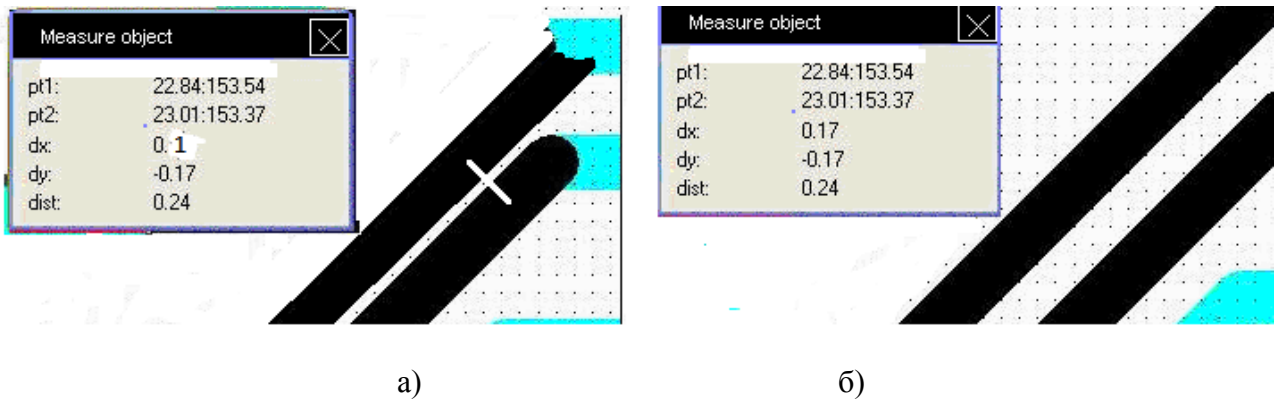


Рисунок 4 - Малый зазор между КП: (а) – вид в присланном варианте, (б) – исправленный вариант

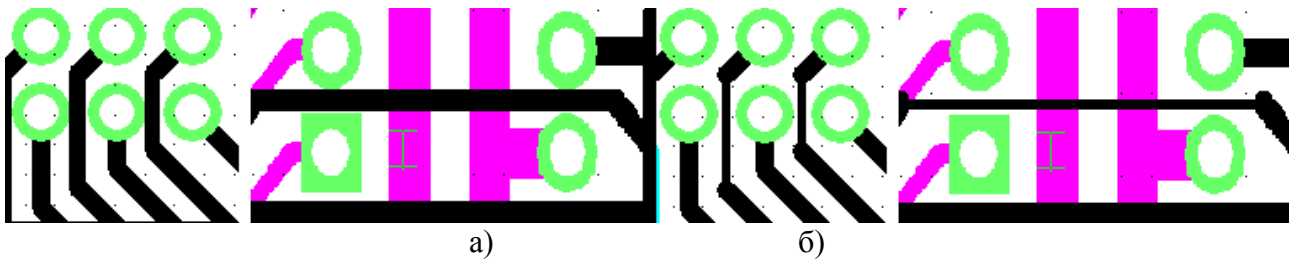


Рисунок 5 - Схемы прокладки проводников в узких местах до коррекции (а) и после коррекции (б) проводящего рисунка

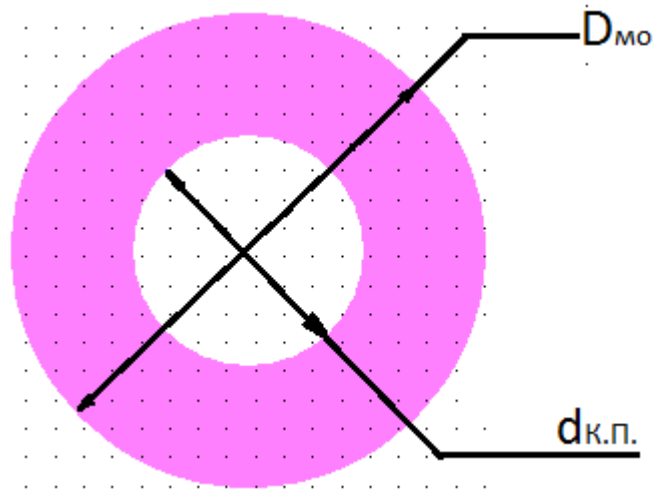


Рисунок 6 - Диаметр КП меньше диаметра отверстия (белым обозначена КП)

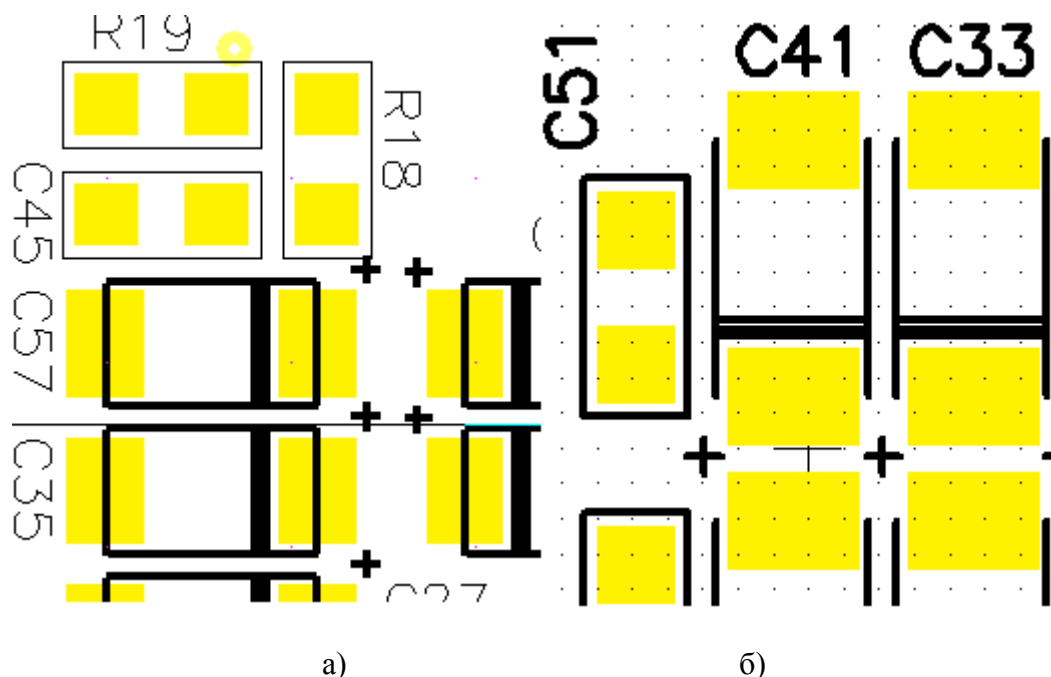


Рисунок 7 - Слой шелкографии и маски в присланном файле (светлого цвета сделаны окна маски, черным - шелкография) (а) и исправленный слой шелкографии и маски в файле (б)

При анализе ошибок конструктор должен быть особо внимателен, чтобы не допустить брака большой партии. Некоторые виды ошибок, например пропущенное лишнее окно паяльной маски можно исправить с помощью скальпеля, аккуратно очищая поверхность шаблона от эмульсии, но такие серьезные ошибки как те, что представлены на рисунке 1,5,6 могут привести к переделке всех заказанных печатных плат и выговору от начальства.

2 Подготовка ПП к производству

Подготовка состоит из нескольких этапов.

Первый этап заключается в анализе чертежа или файла заказа и получении информации: тип ПП (ОПП, ДПП, МПП), наличие паяльной маски, наличие маркировки мест и типов устанавливаемых компонентов, наличие иммерсионных покрытий участков проводящего рисунка. Делается вывод об уровне сложности ПП.

На втором этапе плата исследуется по слоям. Выгрузка слоев начинается со слоя сверления (DRL) отверстий. Проверяется количество отверстий, их диаметры и наличие металлизации отверстий. Затем выгружаются слои: TOP – верхний слой ПП, BOT – нижний слой ПП, слои паяльных масок (MaskTop, MaskBot), слои шелкографической маркировки (SilkTop, SilkBot) и слой контура платы по габаритным размерам Board. Далее настраивается выгрузка гербер-файлов (форма выгрузки из программ), созданных для адаптации ПП к производству.

На третьем этапе диаметры металлизированных отверстий увеличиваются на 0,1мм для компенсации неизбежно возникающих технологических погрешностей:

- колебания диаметров отверстий в пределах 50мкм из-за внутренних напряжений в стеклотекстолите и не соблюдение режимов сверления;
- колебание толщины слоя меди, химико - гальванически осаждаемого на стенки отверстий;
- колебания толщины слоя ПОС, осаждаемого на стенки при горячем лужении проводящего рисунка ПП.

На четвертом этапе корректируется геометрия контуров навесных компонентов, наносимых шелкографией, ширина линий которой должна быть в пределах 0.25-0.3мм.

Геометрия шелкографии согласуется с геометрией окон паяльной маски, определяющих зону лужения контактных площадок проводящего рисунка.

На пятом этапе осуществляется подготовка программ для операции фрезерование: внутреннего контура нестандартной платы, находящейся в составе групповой заготовки, при наличии пазов, внешнего при наличии уступов или отсутствия операция скрайбирование. В последнем случае заготовка ПП сохраняется в составе групповой и держится за счет 2-4 перемычек (рисунок 8). В таблицу заносятся значения диаметра фрезы 2.0мм и сверла 2.0мм для заходных отверстий. Фрезерование криволинейных пазов и участков контура ПП выполняются чаще всего вручную (рисунок 9).

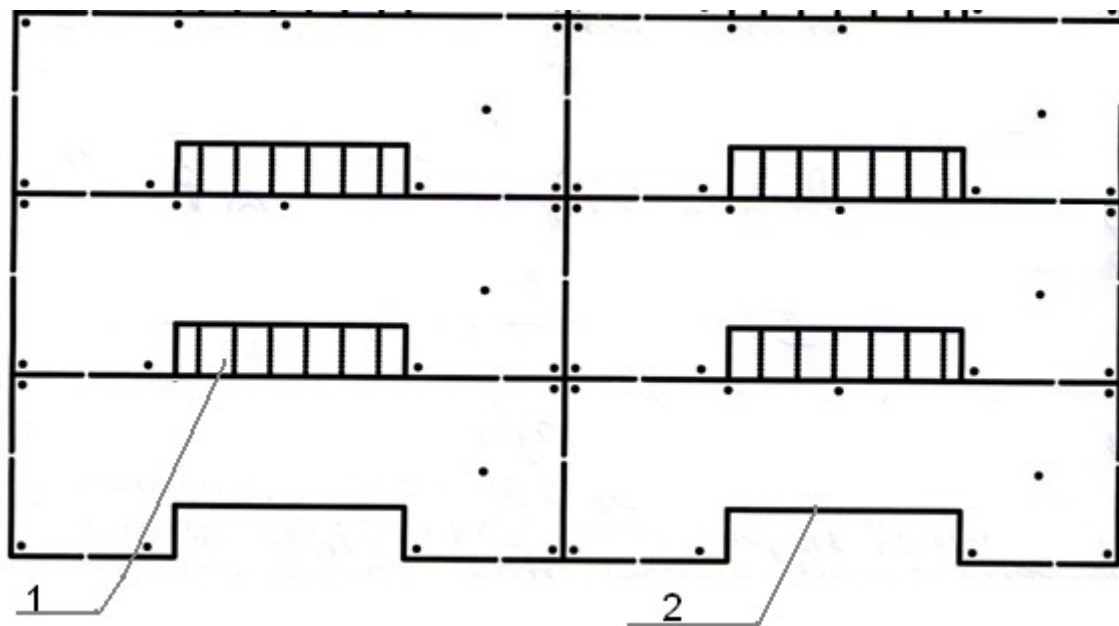


Рисунок 8 - Фрезерование плат с прямым вырезом (фрезерование внешнего контура и уступов)

- 1- Отверловка пазов внешнего контура ПП в групповой заготовке
- 2- Пазы внешнего контура, связанные с гальванической рамкой не просверливаются

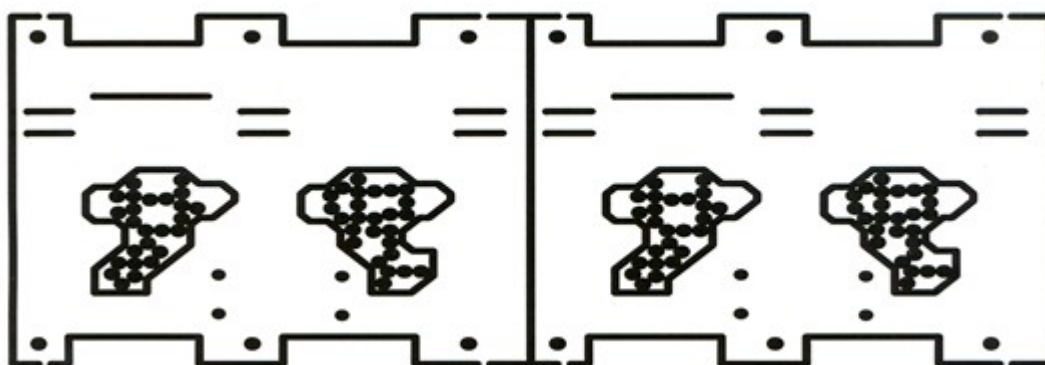


Рисунок 9 - Фрезерование криволинейных внутренних пазов и уступов мультиплицированной платы (Пазы с криволинейным контуром, разделенные отверстиями диаметром 2.0мм)

На шестом этапе к рабочему полю мультиплицированной заготовки добавляется рамка стандартная шириной 15мм или усеченная шириной 12мм (рисунок 10).

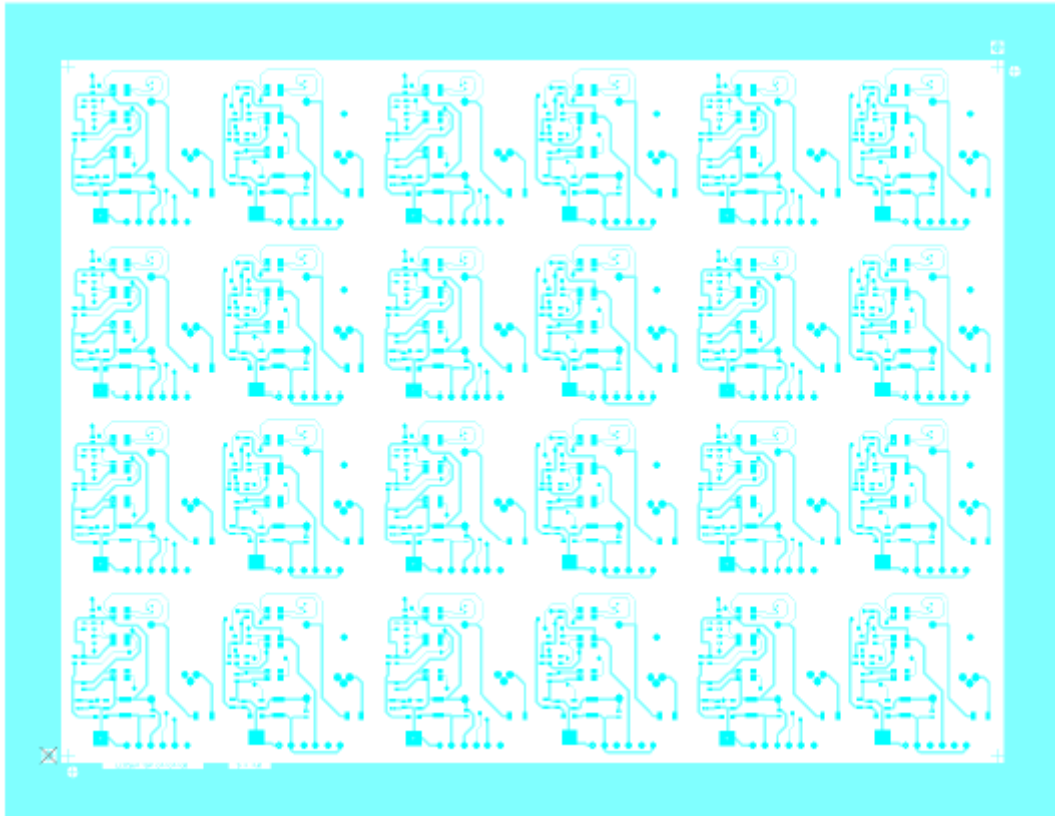


Рисунок 10 – Стандартная рамка шириной 15 мм

На седьмом этапе осуществляется подготовка операции скрайбирования - нанесение прямолинейных надрезов заданной глубины с обеих сторон групповой заготовки (рисунок 11,12). Надрезы наносятся алмазными фрезами на специальном станке (скрайбере) параллельно стороне групповой заготовки от края до края. Расстояние от скрайберного надреза до проводящего рисунка должно быть не менее 0.5 мм. Для скрайбирования толщина групповой заготовки должна быть 0.5-3мм. Однако точность линий скрайбирования ниже, чем при фрезеровке наружного контура.

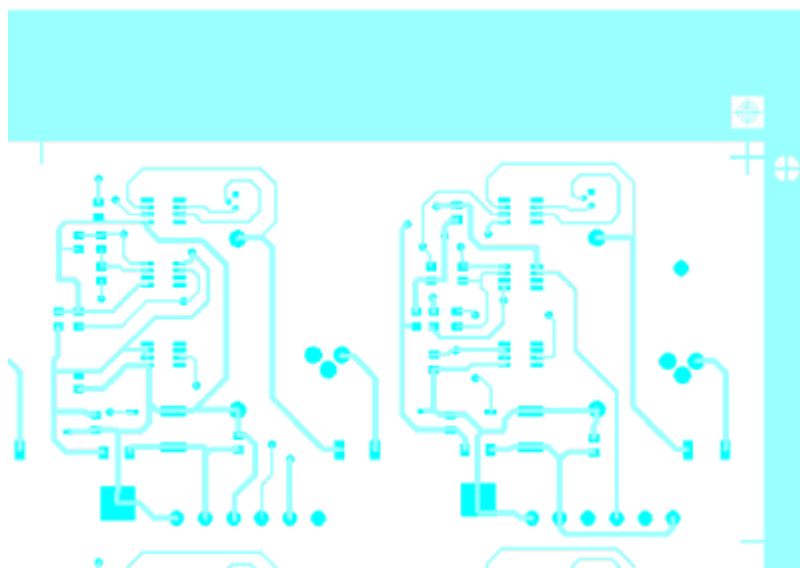


Рисунок 11 - Риски для ручного скрайбирования

				•
•				•

Рисунок 12 - Скрайбирование

Подготовка заканчивается распечаткой слоя сверления с сортировкой всех отверстий по диаметрам и выводом на печать направлений обхода отверстий на станке с ЧПУ. Далее печатается картина слоя фрезерования и сверления и выгружаются их гербер-файлы. В случае необходимости делают отдельные гербер - файлы для электроконтроля проводящего рисунка. Файл отдается на изготовление группового фотошаблона.

Заключение

В статье кратко изложена технология подготовки и адаптации электронного представления ПП к производству. Общее время подготовки для групповой ПП размером 250*250 мм составляет от 20 минут до нескольких дней, в зависимости от сложности платы.

Рассмотренные слои и гербер - файлы сохраняются для случаев повторного заказа на изготовление ПП. Фотошаблоны ПП хранятся в течение 2-3 лет в зависимости от предпочтений заказчика.

Рассмотренную адаптацию осуществляют инженер-конструктор и технолог предприятия.

Литература

1. К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств /под общ. редакцией В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. 500 с. (серия: Информатика в техническом университете).

КОНСТРУКТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Юлдашев М.Н., Зотьева Д.Е.

Научный руководитель: Юдин А.В.

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

DESIGN SOLUTION FOR RAPID PROTOTYPING ELECTRONIC DEVICES

Yuldashev M.N., Zoteva D.E.

Supervisor: Yudin A.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается проблема, которая возникает при прототипировании электронных средств, когда создаются конструкции, которые часто являются базовыми и их реализация занимает много времени. Поставлена задача создания наиболее функционального, удобного и простого сборно-разборного электронного конструктора для быстрого прототипирования электронных устройств с использованием датчиков различной физической природы, систем индикации и влияния на среду. Проведен поиск аналогов, определены их преимущества и недостатки. Кратко представлено описание разрабатываемого конструктора и рассмотрены его практические применения. В заключении указаны результаты проделанной работы.

Abstract

This article deals and gives non complicated solutions to the main problems when designing electronic devices. Our task is to create the most functional, convenient and easiest collapsible electronic module which would enable a swifter and less entangled production of robot sensors and indicators. Analogue solutions have been weighed and we briefly describe it's advantages and disadvantages in the model sketched below. In conclusion, the results are shown hereby.

Введение

При конструировании мехатронных устройств или сложных интегрированных систем, таких как мобильные роботы, часто создаются элементы системы, которые в общем случае являются базовыми и повторяющимися от проекта к проекту, но, несмотря на это, разработчикам каждый раз приходится их реализовать заново. Все это не только отнимет время, но и отвлекает внимание от функциональной части устройства. Именно по этой причине в статье осуществляется поиск решений для конструктора, позволяющего упростить задачу создания прототипов технических устройств с электронной и программной составляющей.

1 Анализ аналогов

Был произведен поиск систем, нацеленных на облегчение создания электронных устройств. На данный момент существуют несколько подобных систем-конструкторов, некоторые из них рассмотрены ниже.

Лабораторный стенд (рис.1.а), предназначенный для изучения основ электротехники и электроники в высших и средних специальных учебных заведениях. Простая и быстрая коммутация без паяльных работ является, несомненно, достоинством данного конструктора. Однако при помощи данного устройства невозможно создать сложную схему. Громоздкая монолитная конструкция так же ограничивает применение стенда.

Система-конструктор **Embed IT**, изображенная на рисунке 1.б, представляет собой набор различных плат и коммутационных проводов. С помощью такого конструктора удобно изучать функции датчиков и двигателей, создавать сложные электронные структуры. Достаточно большая длина проводов позволяет получить удобную для монтажа систему. Минусом является незащищённость плат (необходимость дополнительной разработки корпусов или иных мер защиты плат от внешнего воздействия). Кроме того, при монтаже предполагается, что крепеж всех элементов конструктора будет разрабатываться

пользователем. Количество коммутационных проводов растет при усложнении функций системы и входящих в нее модулей. Как следствие, система в принципе ограничена в количестве подключенных модулей, что обусловлено еще и тем, что авторы предполагают использовать систему исключительно в образовательных целях. С программной точки зрения пользователю доступен упрощенный интерфейс управления всеми предоставляемыми модулями посредством обычного компьютера. В случае если предоставленные функции недостаточны для проекта, их необходимо разработать самостоятельно.

Электронный конструктор **littleBits**. Главное назначение этой системы – обучение детей. Основным её преимуществом является простота коммутации (при помощи магнитов) и удобное разделение блоков конструктора по функционалу. Например, устройства питания – блоки синего цвета, а устройства вывода – зелёного. В результате, можно создавать различные конструкции, однако они будут достаточно примитивны, т.к. в этом конструкторе не предусмотрена функция программирования.

Конструктор **Cubelets**, представленный на рисунке 1.г, так же предназначен для обучения детей. Простая коммутация, осуществляемая при помощи магнитов, кубическая форма блоков конструктора и цветовое обозначение функциональной принадлежности элементов – всё это значительно упрощает работу с данной системой. Существенным недостатком является отсутствие программируемых частей, т.е. ограничение функционала собранной модели.

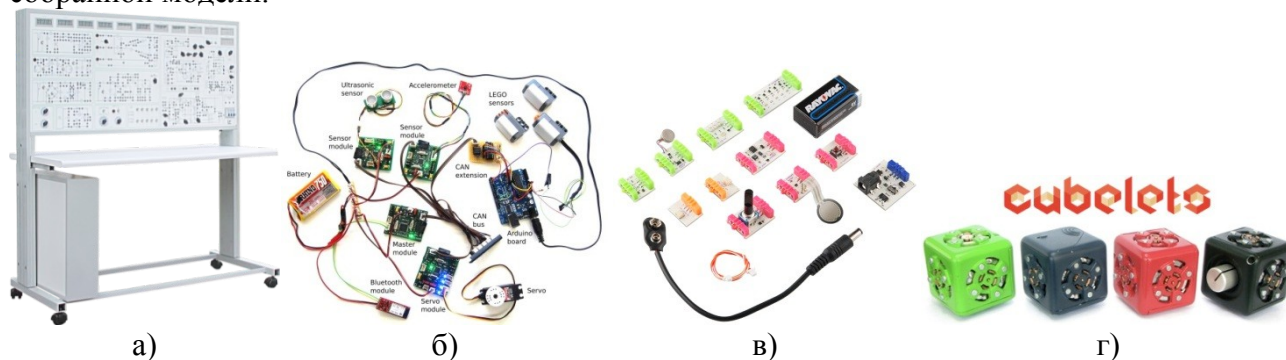


Рисунок 1. а) Лабораторный стенд, б) Система-конструктор Embed IT, в) Электронный конструктор littleBits, г) Конструктор Cubelets.

При анализе было отмечено, что задачи быстрого прототипирования электронных устройств управления уже частично реализованы в различных проектах, но полноценной удобной системы на данный момент еще не существует. Лабораторный стенд имеет идею быстрого и легкого создания сложных электрических схем из простых элементов, но он является лишь прикладной системой рассматриваемой области исследования. Конструкторы **littleBits** и **Cubelets** представляют собой игровые модели, довольно простые для сборки, однако это и ограничивает их применение. Наиболее приближенным аналогом к поставленным задачам является система **Embed IT**, с помощью которой можно создавать сложные электронные устройства, поскольку она имеет функцию программирования микроконтроллера. Однако указанная система не располагает четкой структурой, а представляет собой лишь набор отдельных плат, при этом её сложно рассматривать как самостоятельный конструктор, т.к. она требует дополнительных конструкций для крепления элементов.

Основываясь на полученных данных о существующем техническом уровне решений быстрого прототипирования электронных устройств, была поставлена задача о разработке более совершенного решения, которое бы развивало идеи рассмотренных аналогов как в области образования и доступности для начинающих, так и в области прикладных возможностей конструктора.

2 Постановка задачи

В более общей постановке задача ставится как создание наиболее функционального, удобного и простого сборно-разборного электронного конструктора для быстрого прототипирования электронных устройств с использованием датчиков различной физической природы, систем индикации и влияния на среду (например, управление двигателями). Предполагается использовать конструктор, как для обучения, так и в реальных практических задачах.

Необходимо добиться, чтобы область применения конструктора была как можно шире. Поэтому, на начальном этапе разработки были предложены следующие практические применения, которые должен реализовывать конструктор:

- секундомер, управляемый по сигналу датчика. Это устройство может пригодиться тем, кто любит собирать «Кубик Рубика» на время. Для этого можно использовать датчик определения расстояния, чтобы фиксировать моменты, когда человек поднимает со стола «Кубик Рубика» и когда ставит обратно;
- датчик своевременного определения недостатка бумаги в принтере. Он позволяет показывать примерное количество оставшейся бумаги в принтере и сигнализировать о её завершении. Здесь может быть использован датчик расстояния для определения высоты стопки бумаги, а нормирование измерений позволит производить примерный подсчет листов в стопке;
- шумомер – датчик определения уровня громкости звука. Применяется для определения уровня шума в рабочих помещениях, а так же для настройки профессиональных микрофонов, чтобы снизить влияние помех;
- счетчик по прерыванию сигнала. Может пригодиться в тех случаях, когда необходимо подсчитать количество людей, вошедших в помещение или количество мячей, попавших в баскетбольную корзину. В качестве датчика можно использовать дальномер или фотопрерыватель.

Авторы предполагают итеративную работу над улучшением конструктора, поэтому на начальном этапе рассматривается лишь ограниченное количество применений. Их реализация позволяет выделить общие элементы и на их основе разработать следующую версию конструктора. Подобным методом последовательных приближений, в конечном счете, возможно добиться оптимальной формы, структуры конструктора, а также структуры и функций составляющих его модулей. Первый этап этой работы, предпринятый авторами, изложен ниже.

3 Поиск решений

Первая итерация по созданию конструктора предполагает грубое приближение к удобной его форме, а также поиск структуры, которая бы обеспечила эту форму и необходимые прикладные функции.

На основании рассмотренных примеров, определились необходимые для конструктора компоненты, их расположение на платах и группировка в различные блоки (рис.2). К центральному модулю 1, включающему в себя платы с микроконтроллером, дисплеем и разъёмами, а так же содержащему элемент питания внутри корпуса, крепятся периферийные модули 2, которые выбираются в зависимости от заданных функций конструктора.

Такое решение позволит снизить количество проводов в системе, обеспечит удобство монтажа и отладки системы. Пользователю предлагается создавать собственные модули расширения, тогда как основной модуль 1 является ключевым элементом конструктора, который неизменен в различных применениях.

Используемые электронные компоненты:

- 1) Программируемый микроконтроллер ATmega328;
- 2) LCD WG16080A Graphic 160x80 dots;
- 3) Ультразвуковой дальномер URM37 V3.2 Ultrasonic Sensor;
- 4) Инфракрасный датчик Sharp GP2Y0A02YK0F;
- 5) Фотопрерыватель AEDS-9300;

- 6) Микромотор IE-BO2-48;
- 7) Гироскоп [E-flite 11.0-Gram G110 Micro Heading Lock Gyro](#).

Одна из возможных комбинаций датчиков на конструкторе представлена на рисунке 3.

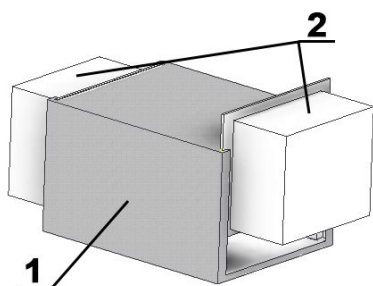


Рисунок 2 - Структурно-функциональная модель конструктора

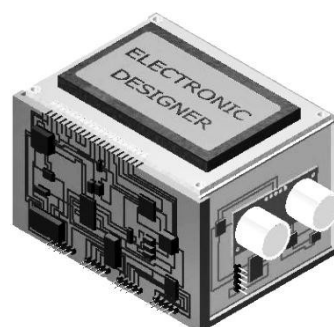


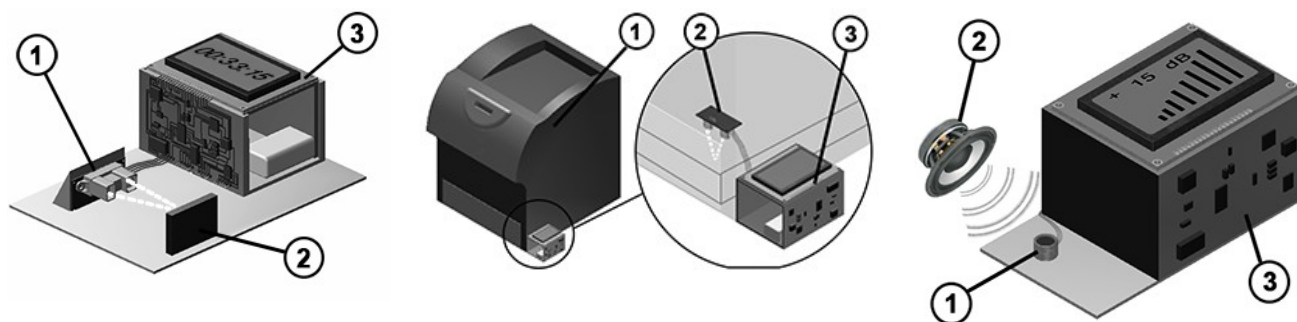
Рисунок 3 - Один из вариантов конструктора в сборе

Рассмотрим спроектированную модель конструктора в различных применениях.

При конструировании секундомера (рис. 4.а) используется ультразвуковой дальномер 1 и главный модуль 3. Дальномер настраивается на «статическое» расстояние при помощи стенки 2. Принцип работы заключается в том, что если дальномер фиксирует расстояние, не равное «статическому», то микроконтроллер, в зависимости от ситуации, либо запускает секундомер, либо останавливает его. Подробный алгоритм работы секундомера представлен на рисунке 5.а.

Конструктор, состоящий из тех же самых компонентов, но с другой программой для микроконтроллера, служит датчиком определения недостатка бумаги в принтере (рис.4.б). Дальномер 2 определяет расстояние до бумаги, и в том случае, если оно будет больше той величины, которая соответствует малому количеству бумаги в принтере, то конструктор оповестит об этом посредством вывода сообщения на LCD или звукового сигнала. Алгоритм работы датчика определения недостатка бумаги в принтере представлен на рисунке 5.б.

На рисунке 4.в изображен конструктор, который выполняет функцию датчика, определяющего уровень громкости шума. Звуковые колебания от источника 2 детерминируются электронным микрофоном 1, который в свою очередь передает сигнал главному модулю 3. В итоге мы видим на LCD громкость звука в децибелах. Подобная функция конструктора может быть использована для регулирования чувствительности микрофона (например, мобильного телефона), так, что при громких звуках речи чувствительность микрофона понижается, а при слабых – повышается. Тем самым можно обеспечить стабильную выходную громкость микрофона. Алгоритм работы конструктора изображен на рисунке 5.в.

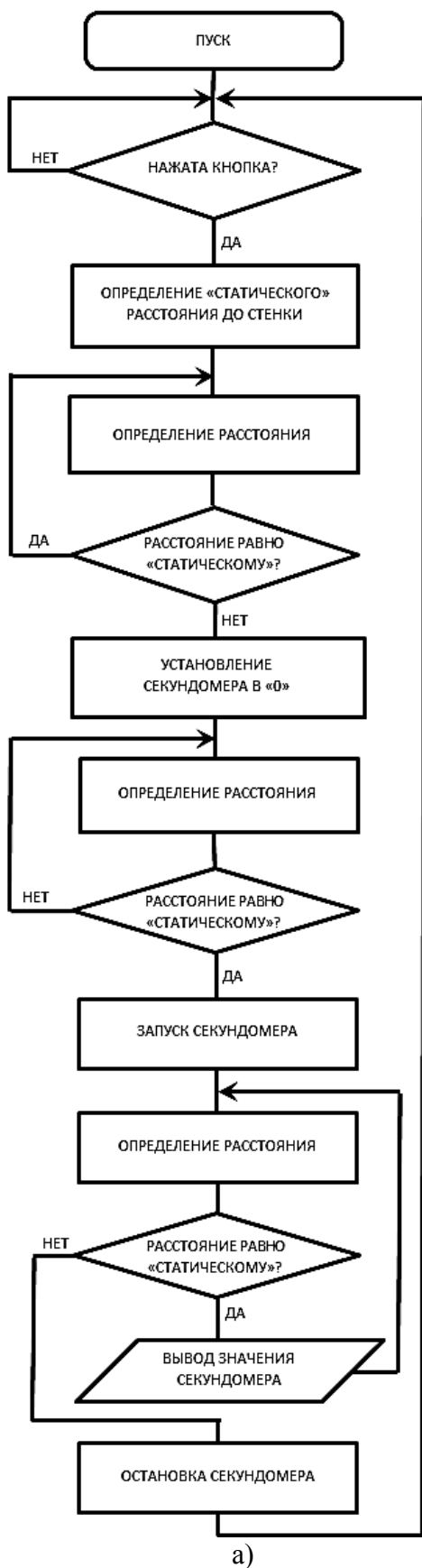


а) секундомер

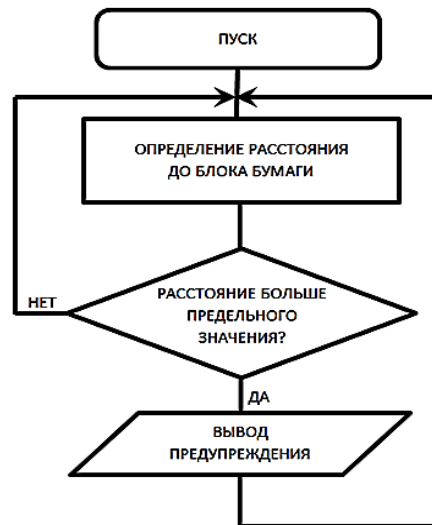
б) датчик определения недостатка бумаги в принтере

в) шумомер

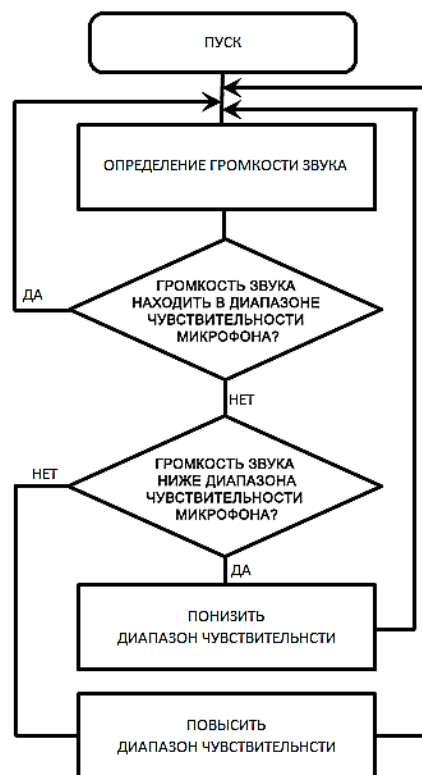
Рисунок 4 - Варианты применения конструктора



а)



б)



в)

Рисунок 5 - Алгоритмы работы

- а) секундомера, б) датчика определения недостатка бумаги в принтере,
в) датчика, контролирующего чувствительность микрофона

Из рассмотренных применений электронного конструктора видно, что конструктор легко подстраивается под любые возможные прикладные задачи.

Заключение

В результате проделанной работы спроектирован сборно-разборный электронный конструктор для быстрого прототипирования систем датчиков и индикации. Достаточно сложные электронные устройства создаются из простых элементов путем коммутации без применения паяльных работ. Микроконтроллер, установленный на центральном модуле, позволяет осуществлять процесс программирования электронного устройства. Разработанный электронный конструктор можно использовать в различных устройствах, что указывает на универсальность его применения.

Дальнейшее развитие проекта требует тщательного анализа требований, которые предъявляют к конструктору прикладные функции (для чего необходимо расширить перечень прикладных применений). На основании этого анализа предполагается разработка наиболее универсального подхода для организации интерфейса (как аппаратного, так и программного) основного модуля и его расширений.

Литература

1. Применение положений технического регламента для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 53 с.: ил.
2. Описание конструктора Cubelets. - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.modrobotics.com/about> - Проверено 15.02.2013г.
3. Описание конструктора littleBits. - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://littlebits.cc/about> - Проверено 15.02.2013г.
4. Описание системы-конструктора Embed IT. - Электронный ресурс. Режим доступа: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-21975-7_4 - Проверено 15.02.2013г.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 3-х томах. / Пер. с англ.: Б. Н. Бронина, И. И. Короткевич и др. — М.: Мир, 1993.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКСТРУДЕРА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФАБРИКАТОРА

Арабов Д.И., Малышев К.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX OF THERMAL CONTROL OF EXTRUDER OF MULTIFABRIKATOR

Arabov D.I., Malyshev K.A.
Supervisor: c.e.s., docent, Vlasov A.I.
MSTU named after N.E. Bauman, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются способы управления температурой экструдера многофункционального фабрикатора. Подробно исследовано устройство измерения температуры. Кратко описан метод интеграции данного комплекса с программой для ПК. В заключении представлены рекомендации по уменьшению погрешности результатов измерения температуры.

Abstract

Means of temperature controlling of extruder of multifabrikator are discussed in this article. Temperature measuring devices are discussed in detail. The method of integration of this complex with the program for the PC is briefly described. Finally recommendations for reducing the errors of temperature measurements are presented.

Введение

В настоящее время все большее развитие получают устройства для пространственного прототипирования. Системы пространственного прототипирования (СПП) — это специальные устройства для вывода трёхмерных данных в виде реального объекта, т.е. создания определенных физических объектов. В основе технологии 3D-печати лежит принцип послойного создания (выращивания) твердотельной модели.

Как правило, СПП применяются для быстрого изготовления прототипов и используются в самых разных областях. Работа с реальными физическими моделями дает множество преимуществ тем, кто применяет технологию 3D-печати. В первую очередь, это возможность оценить эргономику будущего изделия, его функциональность и собираемость, а также исключить возможность скрытых ошибок перед запуском изделия в серию. Таким образом, можно сэкономить значительное количество финансовых средств и времени благодаря сокращению цикла производства.

Основное внимание при проектировании систем пространственного прототипирования уделяется точности и качеству поверхности создаваемого объекта. Данный параметр зависит от многих факторов и в первую очередь на него сильно влияет способ пространственного прототипирования, которых в настоящее время существует достаточно много. Самая популярная и наиболее легко реализуемая технология прототипирования среди персональных СПП — это технология экструзии пластика. При применении этой технологии на качество поверхности изготавливаемой модели влияет множество параметров, среди которых как режимы печати, так и терморегуляция экструдера. Для задачи терморегуляции в разных проектах используется несколько методов. Так в проектах СПП под названием Mendel [1] и RepRap [2] для нагрева прутка используется многоваттный резистор, который управляется микроконтроллером с силовым ключом, а датчиком температуры служит термистор. В проектах Darwin [3] и аналогичных используется нихромовая проволока, намотанная на экструдер из латуни с датчиком в виде термопары. В проекте FTIStrap [4] в качестве экструдера и нагревателя используется пистолет для термоклея. Не смотря на успехи в данной области, задача терморегулирования

экструдера остается не до конца изученной со стороны, как самого нагревательного элемента, так и со стороны режимов нагрева.

Однако СПП обладают некоторыми недостатками, среди которых можно выделить их точность и качество поверхности. Это по большому счету глобальный недостаток аддитивных технологий ввиду их принципа работы, так называемая «ступенчатость поверхностей», так как объект состоит из дискретного числа слоёв с определённой высотой. Поэтому для использования объекта, например, в литейной технологии его требуется доработать.

Однако вышеописанными недостатками не обладают субтрактивные технологии, как например фрезерование. По сравнению с аддитивными, они ограничены сложностью формы изготавливаемого объекта. Объединение указанных технологий в одном устройстве позволит создавать объекты, которые невозможно или трудоемко выполнить, используя их по отдельности. Такое устройство можно назвать многофункциональным фабрикатом.

Таким образом, основными частями многофункционального фабриката являются фрезеровочная и печатающая головки. Для печатающей головки необходимым элементом является терморегуляция экструдера, для реализации которой требуется решить ряд задач, основные из которых это разработка нагревательного элемента и подбор режима работы этого элемента. Также имеется необходимо решить задачу, которая заключается в выборе термодатчика и разработке для него схемы, которая позволит с достаточной точностью измерить температуру.

1 Структурная схема терморегулятора

Для реализации терморегулятора необходимо разработать нагревательный элемент, схему управления нагревательным элементом, а также подключение датчика температуры, для автоматического управления нагревателем. Структурная схема описанного устройства представлена на рисунке 1.

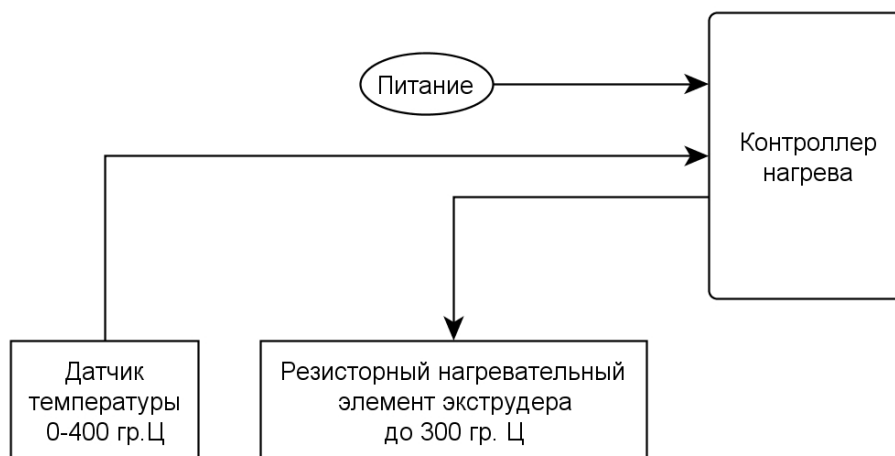


Рисунок 1 – Структурная схема терморегулятора

В качестве нагревательного элемента в работе использован многоваттный резистор. Структурная схема управления нагревательным элементом показана на рисунке 2.

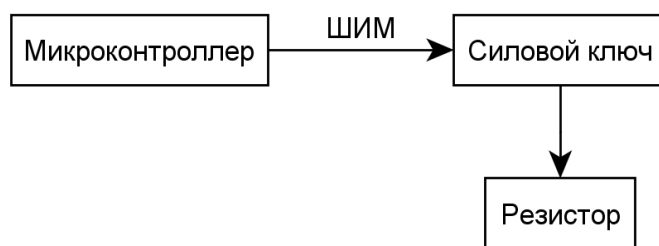


Рисунок 2 – Структурная схема нагревательного устройства

Для управления температурой нагрева используется широтно-импульсная модуляция. В зависимости от скважности импульсов можно регулировать мощность, выделяющуюся на резисторе и, как следствие, – температуру экструдера. В качестве ключа используется полевой транзистор, который позволяет управлять нагрузкой с большой мощностью с помощью сигналов ТТЛ-уровня. Полевой транзистор имеет большое входное сопротивление, благодаря которому ток потребления ключа минимален.

2 Обоснование выбора датчика температуры

Для отслеживания температуры экструдера необходимо применить датчик температуры. Существуют различные типы датчиков температуры, наибольшее распространение среди которых получили термопары, полупроводниковые термисторы и термометры сопротивления. Термопара имеет нелинейную зависимость ТЭДС от температуры, что требует индивидуальной градуировки термопары. Для термисторов стандартная температура измерения ограничивается от $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. В то время как для решения поставленной задачи необходимо снимать температуру до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перечисленными недостатками не обладает термометр сопротивления, в силу чего он был выбран в качестве датчика температуры.

Термометр сопротивления – прибор для измерения температуры, принцип действия которого основан на изменении электрического сопротивления чистых металлов, сплавов и полупроводников с температурой (на увеличении сопротивления R с повышением температуры T у металлов и обратная зависимость R от T у полупроводников). Металлический термометр сопротивления представляет собой резистор, выполненный из металлической проволоки или плёнки и имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры. Наиболее распространённый тип термометров сопротивления – платиновые термометры. Это объясняется тем, что платина имеет высокий температурный коэффициент сопротивления и высокую стойкость к окислению.

По конструкции чувствительного элемента различают пленочные и проволочные термометры сопротивления. При этом наиболее распространены пленочные термометры сопротивления (ТС).

Диапазон измеряемой температуры у пленочного ТС лежит в пределах от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, что удовлетворяет условию поставленной задачи. Также пленочный ТС обладает практически линейной характеристикой, что сильно облегчает задачу снятия показаний, и высокой точностью измерений.

3 Особенности разработки управляющего программного обеспечения

Для управления станками с ЧПУ достаточно распространено программное обеспечение LinuxCNC для операционных систем на основе Linux. Для нормальной работы этой программы её рекомендуется использовать на оптимизированной системе Linux, которая поддерживает RTI (процессы реального времени). Именно эта особенность дает высокую надежность генерации управляющей частоты для драйверов двигателей.

Одной из особенностей программы LinuxCNC является наличие уровня HAL (Hardware Abstraction Layer), представляющего собой связь между логическим и аппаратным уровнями.

Вся информация о движении фрезы или головки СПП поступает в программу в виде G-кода. Для корректного управления температурой экструдера исходный код программы был изменен таким образом, чтобы программа могла понимать дополнительные команды в G-коде, управлять терморегулятором, а также получать от него данные, которые отображаются в окне программы. Все изменения производились на уровне HAL. Структурная схема комплекса управления терморегулятором изображена на рисунке 3.

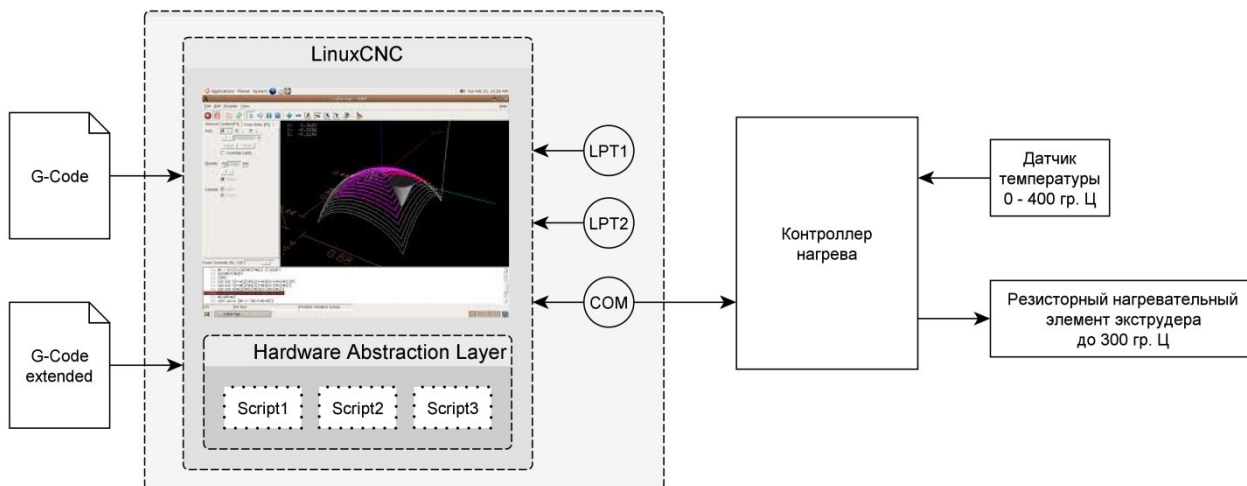


Рисунок 3 – Структурная схема комплекса управления терморегулятором

Работа комплекса заключается в следующем: на вход программы LinuxCNC поступает файл с расширенным G-кодом, дополнительные команды которого обрабатываются программой с помощью написанных скриптов. В файле имеются команды управления температурой экструдера, которые программа отправляет через COM-порт на контроллер нагрева. Контроллер в свою очередь управляет нагревом экструдера и посылает текущую температуру обратно в программу.

4 Анализ методов уменьшения погрешности измерения температуры

Номинальная статическая характеристика (НСХ) представляет собой зависимость сопротивления ТС от температуры. НСХ для ПТС представляет собой практически прямую линию, то есть можно считать, что зависимость между температурой и сопротивлением изменяется по линейному закону [5]. Однако эта зависимость не идеально линейная, хотя погрешность линейной аппроксимации характеристики ПТС в худшем случае не достигает и половины градуса [5].

Выше сказанное относится к теоретическим зависимостям, в действительности же характеристика ПТС отличается от теоретической и зависит от способа подключения датчика: резистивный делитель, мостовая схема включения или стабилизированный источник тока с АЦП.

Для обеспечения наименьшей погрешности измерения рекомендуется использовать схему со стабилизированным источником тока [5], так как она наиболее точно совпадает с теоретической зависимостью. Включение термометра сопротивления в схему резистивного делителя имеет большую погрешность, но при этом является самой простой и дешевой.

На зависимость нагрева экструдера от времени влияет алгоритм нагрева. В одном случае можно сравнивать текущую температуру с граничной и либо останавливать нагрев, либо запускать. В этом случае перерегулирование может достигать достаточно большой величины, которую можно уменьшить, используя алгоритм с применением ПИД-регулятора.

Заключение

Для корректной работы всей системы необходимо с достаточной точностью измерять температуру экструдера, для чего были исследованы разные датчики температуры и схемы их включения. Экспериментальные результаты доказали, что платиновые термометры сопротивления имеют почти линейный коэффициент зависимости сопротивления от температуры, но для получения данных с минимальной погрешностью их необходимо включать по схеме со стабилизированным источником тока.

С учетом результатов исследований была разработана принципиальная электрическая схема устройства, по которой затем разработана печатная плата и собран рабочий экземпляр электронной ячейки.

Проведены исследования программы LinuxCNC. По результатам исследования написаны скрипты, необходимые для использования разработанного устройства в составе многофункционального фабрикатора.

Литература

1. RepRapPro Mendel hot end assembly – Электронный ресурс. Режим доступа: http://reprap.org/wiki/RepRapPro_Mendel_hot_end_assembly – Проверено 30.01.2013.
2. Extruder Controller 2.2 – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.reprap.org/wiki/Extruder_Controller_2_2 – Проверено 30.01.2013.
3. Extruder Improvements And Alternatives – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://reprap.org/wiki/ExtruderImprovementsAndAlternatives> – Проверено 30.01.2013.
4. FTIStrap – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://reprap.org/wiki/FTIStrap> – Проверено 30.01.2013.
5. Анатолий Андрусевич, Александр Губа Термометры сопротивления: от теории к практике. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.symmetron.ru/articles/resistance-thermometers.pdf> – Проверено 30.01.2013.

АНАЛИЗ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ZIGBEE

Краснобрыжий Б.В., Лавров И.В., Муравьев К.А., Чебова А.И.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE REVIEW OF WIRELESS TOUCH NETWORKS ON THE BASIS OF THE ZIGBEE STANDARD

Chebova A.I., Krasnobryzhij B.V., Lavrov I.V., Muraviev K.A.
Supervisor: c.t.s., associate professor of IU4 department, Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются модули для построения беспроводной сенсорной сети (БСС) с протоколом передачи данных ZigBee. Кратко представлена информация о технологии передачи данных ZigBee. Представлены результаты сравнения модулей для построения БСС на основе протокола ZigBee по основным техническим параметрам, влияющим на надежность функционирования БСС и обработку данных внутри нее. В заключении представлены рекомендации по выбору модулей для построения БСС в зависимости от решаемых ею задач.

Abstract

In article modules for creation of the wireless touch network (WTN) with the protocol of data transmission of ZigBee are considered. Information on technology of data transmission of ZigBee is briefly submitted. Results of comparison of modules for creation of BSS on the basis of the ZigBee protocol on the key technical parameters influencing reliability of functioning of BSS and data processing in it are presented. Recommendations about a choice of modules are presented in the conclusion for creation of BSS depending on tasks solved by it.

Введение

Сегодня технология беспроводных сенсорных сетей на основе стандартов 802.15.4/ZigBee является единственной беспроводной технологией, которая позволяет решить задачи мониторинга и контроля автономной работы контрольно-измерительных и управляющих систем и их узлов [1-4].

Именно в этой области насчитывается множество объектов автоматизации различной степени сложности, основная специфика которых состоит в наличии большого количества разнесенных в пространстве измерительных узлов (датчиков), регулирующих и управляющих органов и исполнительных механизмов. При этом дальность их расположения друг относительно друга по любому из трех измерений является ограниченной. Введение проводной связи между компонентами таких систем зачастую связано с усложнением и удорожанием конструкции, а в некоторых случаях – например, при расположении на движущихся объектах – невозможно. В данных условиях для взаимодействия узлов целесообразно использовать беспроводные коммуникационные технологии. Исследования по внедрению этих технологий в промышленность сдерживаются, главным образом, опасениями разработчиков и заказчиков относительно степени надежности канала связи в жестких условиях эксплуатации при большом уровне промышленных помех (потери части информации) и высокими требованиями к надежности защиты беспроводной промышленной сети от несанкционированного доступа. Кроме того, элементная база и программное обеспечение сетевой поддержки находятся в стадии разработки, поэтому использование комплексных решений специалистами затруднено. Тем не менее, следует отметить, что за последнее десятилетие удалось разработать ряд системных решений по внедрению БСС, одним из которых является спецификация протоколов ZigBee.

1 Протокол передачи данных ZigBee

ZigBee – стандарт беспроводной связи, который изначально разрабатывался для передачи небольших объемов информации на малые расстояния с минимальным энергопотреблением или возможностью длительной работы от автономных источников питания [2]. Фактически этот стандарт описывает правила работы программно–аппаратного комплекса, реализующего беспроводное взаимодействие устройств друг с другом с использованием маломощных цифровых трансиверов, протоколы связи которых основаны на стандарте IEEE 802.15.4-2006.

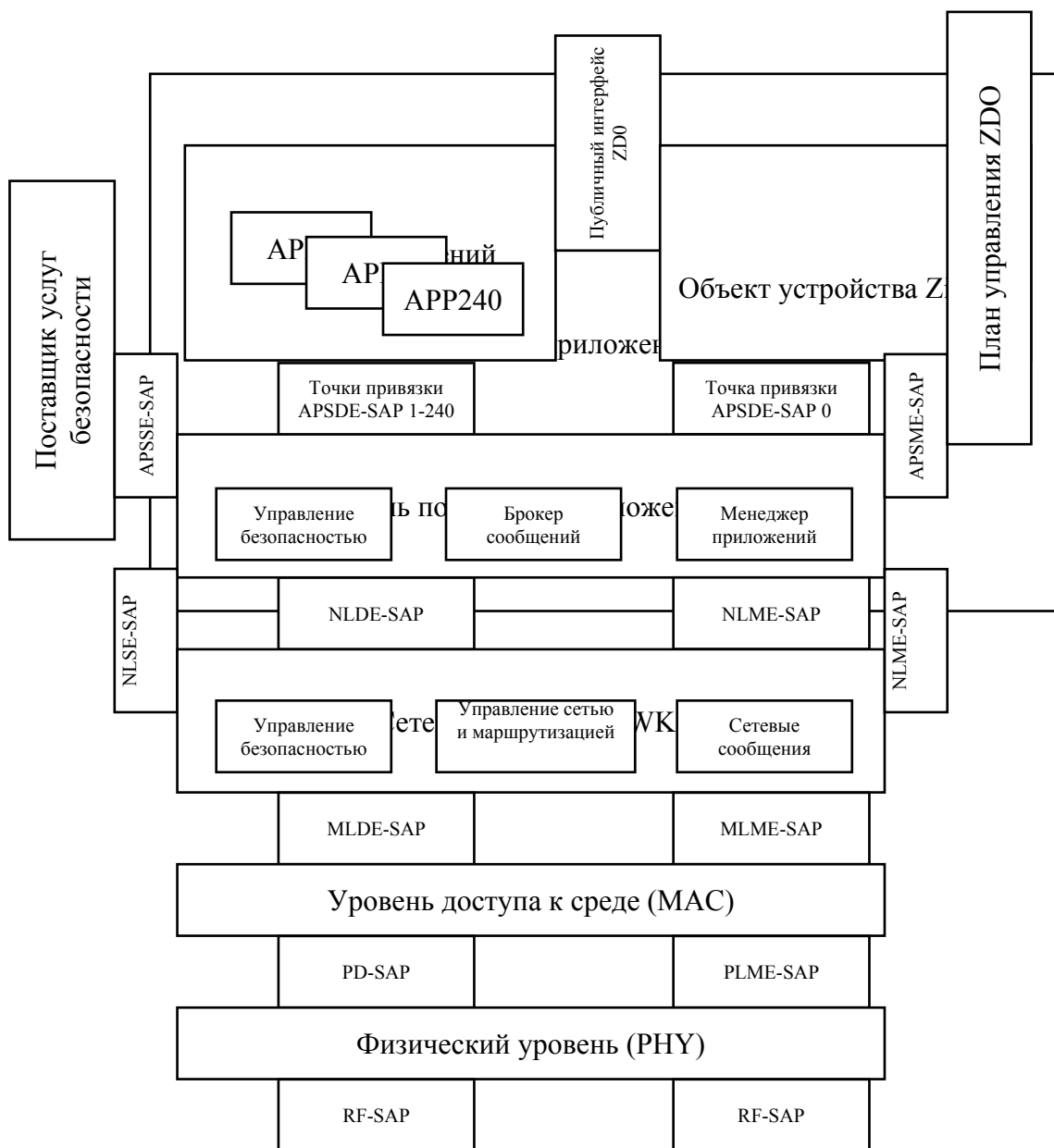


Рисунок 1 – Стек протоколов стандарта ZigBee [4]

Спецификация ZigBee регламентирует стек протоколов [4] (рисунок 1) взаимодействия узлов сети, в котором протоколы верхних уровней (уровня приложений APL и сетевого уровня NWK) используют сервисы, предоставляемые протоколами ниже лежащих уровней - уровня управления доступом к среде MAC и физического уровня PHY.

Уровень приложений (APL) состоит из каркаса приложений (Application Framework), объекта устройства ZigBee (ZDO) и подуровня поддержки приложений (APS). Каркас

приложений (Application Framework) содержит описание порядка создания профилей в стеке ZigBee, гарантирующего их совместимость. Объект устройства ZigBee (ZigBee Device Object – ZDO) определяет роль устройства ZigBee: координатор, маршрутизатор или конечное устройство, инициирует запросы поиска и присоединения и/или отвечает на такие запросы, устанавливает безопасную связь между устройствами ZigBee.

Подуровень поддержки приложений (Application Support Sublayer – APS). Отвечает за предоставление данных приложениям и профилям устройства ZigBee. Подуровень также управляет присоединениями в сети ZigBee и хранит данные о таких присоединениях в своей таблице.

Поставщик услуг безопасности (Security Service Provider – SSP) обеспечивает механизмы безопасности для уровней, использующих шифрование – NWK и APS. Иницируется и конфигурируется объектом устройства ZDO.

Сетевой уровень (Network Layer – NWK) обрабатывает сетевые адреса и маршрутизацию по вызовам MAC уровня

Связь между элементами стека протоколов ZigBee осуществляется через точки доступа к услугам (service access point – SAP):

- APSDE–SAP – к данным подуровня поддержки приложений;
- APSME–SAP – к управлению подуровнем поддержки приложений;
- APSSE–SAP – к управлению безопасностью подуровня поддержки приложений;
- NLDE–SAP – к данным сетевого уровня;
- NLME–SAP – к управлению сетевым уровнем;
- NLSE–SAP – к управлению безопасностью сетевого уровня;
- MLDE–SAP – к данным подуровня MAC;
- MLME–SAP – к управлению подуровнем MAC;
- PD–SAP – к данным физического уровня PHY;
- PLME–SAP – к управлению физическим уровнем PHY;
- RF–SAP – к трансмиттеру.

Стандарт IEEE 802.15 охватывает два нижних уровня модели взаимодействия открытых систем OSI (физический и канальный) и оговаривает следующие параметры радиосети: диапазон частот, тип модуляции, структуру пакетов, правила формирования контрольной суммы, способы предотвращения коллизий и т. д. Все эти характеристики, в большей или меньшей степени, реализуются в микросхеме приемопередатчика (трансивера). Трансиверы, отвечающие стандарту IEEE 802.15.4, могут использоваться как самостоятельные устройства, если разработчику нужно организовать связь типа точка–точка или звезда. Полноценная сеть ZigBee реализуется добавлением микроконтроллера, в который должен быть загружен набор управляющих программ – так называемый стек протоколов ZigBee. К управляющему контроллеру выдвигаются определенные требования – память программ должна быть не менее 64 кбайт, если устройство будет исполнять роль координатора, а для оконечного устройства достаточно 4 кбайт программной памяти.

Сети ZigBee строятся из базовых станций трех основных типов: координаторов, маршрутизаторов и конечных устройств.

Координатор запускает сеть и управляет ею. Он формирует сеть, выполняет функции центра управления сетью и доверительного центра (trust–центра) – устанавливает политику безопасности, задает настройки в процессе присоединения устройств к сети, ведет ключами безопасности.

Маршрутизатор транслирует пакеты, осуществляет динамическую маршрутизацию, восстанавливает маршруты при перегрузках в сети или отказе какого–либо устройства. При формировании сети маршрутизаторы присоединяются к координатору или другим маршрутизаторам, и могут присоединять дочерние устройства – маршрутизаторы и конечные устройства. Маршрутизаторы работают в непрерывном режиме, имеют стационарное питание и могут обслуживать «спящие» устройства. Маршрутизатор может обслуживать до 32 спящих устройств.

Конечное устройство может принимать и отправлять пакеты, но не занимается их трансляцией и маршрутизацией. Конечные устройства могут подключаться к координатору или маршрутизатору, но не могут иметь дочерних устройств.

Конечные устройства могут переводиться в спящий режим для экономии заряда автономных источников питания. Именно конечные устройства имеют дело с датчиками, локальными контроллерами и исполнительными механизмами.

2 Обзор модулей и микросхем для реализации беспроводной сенсорной сети с протоколом передачи данных ZigBee

В 2010-2012 годах выпускалось 5 основных типов микросхем, выполняющих функции приема/передачи данных по радиоканалу в стандарте IEEE 802.15.4:

- «классический» радио–трансивер в стандарте IEEE 802.15.4. Выполняет только функции приема и передачи информации по радиоканалу и не содержит никакого программного обеспечения, реализующего стек протокола ZigBee. Программная реализация стека ZigBee возлагается на внешний микроконтроллер, к которому микросхема трансивера подключается по одному из стандартных интерфейсов, например, – по синхронному периферийному интерфейсу (SPI) или параллельному интерфейсу. Дополнительно для работы трансивера требуется «обвязка», включающая в себя антенну, кварцевый резонатор, а также небольшое число пассивных компонентов;
- интегрально гибридные микросхемы (SiP), объединяющие в одном корпусе кристаллы «классического» радио–трансивера и микроконтроллера общего назначения. Данное решение позволяет разместить программный стек ZigBee непосредственно во встроенной памяти микроконтроллера и тем самым существенно снизить нагрузку на внешний микроконтроллер, обеспечивающий решение задач конкретного приложения. Эти микросхемы требуют минимальной «обвязки», включая антенну;
- системы на кристалле (SoC). Данный вид микросхем фактически повторяет возможности SiP, но в отличие от них и трансивер и встроенный микроконтроллер выполнены на одном кристалле. Некоторые фирмы, например, Texas Instruments называют такие кристаллы ZigBee–процессорами. Они взаимодействуют с внешним контроллером приложения по одному из стандартных интерфейсов (SPI, UART) и допускают загрузку в память сетевых протоколов разной сложности в зависимости от предполагаемой сложности и структуры реализуемой сети;
- ZigBee–акселераторы. Микросхемы аналогичные SoC, но с уже «защитым» во внутренний микроконтроллер стеком ZigBee протокола. Данный вид микросхем является идеальным выбором для тех разработчиков, которые предпочитают работать с привычным для него микроконтроллером и хотят добавить ZigBee–функционал без изучения сложного набора протоколов ZigBee–стека. Небольшая внешняя «обвязка» требуется и в этом случае;
- платформы в едином корпусе (PiP). Наиболее функциональное решение, подразумевающее объединение высокопроизводительного микроконтроллера с широким набором встроенных периферийных модулей (таймеров, АЦП и т.д.) и IEEE 802.15.4 трансивера на одном кристалле. В этом случае вычислительных возможностей встроенного микроконтроллера и набора встроенной периферии достаточно не только для реализации стека ZigBee, но и для поддержки конкретного приложения. Дополнительный процессор не требуется.

Рассмотрим некоторые решения от ведущих мировых и отечественных производителей.

CC2530 Mini ZNP Kit разработан компанией Texas Instruments, представлен печатной платой, размерами 37x20мм (рисунок 2). В качестве приемо–передатчика выступает

однокристалльная система CC2530, также на плате присутствует микроконтроллер MSP430F2274.



Рисунок 2 – Внешний вид модуля CC2530 Mini ZNP Kit [6]

Основные характеристики модуля представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры модуля CC2530 Mini ZNP Kit [6]

Параметр	Значение
Габариты	37x20 мм
Напряжение питания	2 В – 3.6 В
Максимальная скорость передачи данных	256 кб/с
Разрядность АЦП	12 бит
Протоколы передачи данных	ZigBee, UART USB

Питание осуществляется либо от двух AAA батарей, либо от usb разъёма. Для обоих вариантов имеются свои платы, вставляемые во внешний разъём модуля.

Модуль Microchip–MRF24J40MA, выполненный на прямоугольной плате с габаритами 18x28мм (рисунок 3) модуль представляет собой чип MRF24J40, тактирующийся от кварцевого резонатора на 20МГц и высокочастотного фильтра. Антенна выполнена в виде печатного проводника на плате.

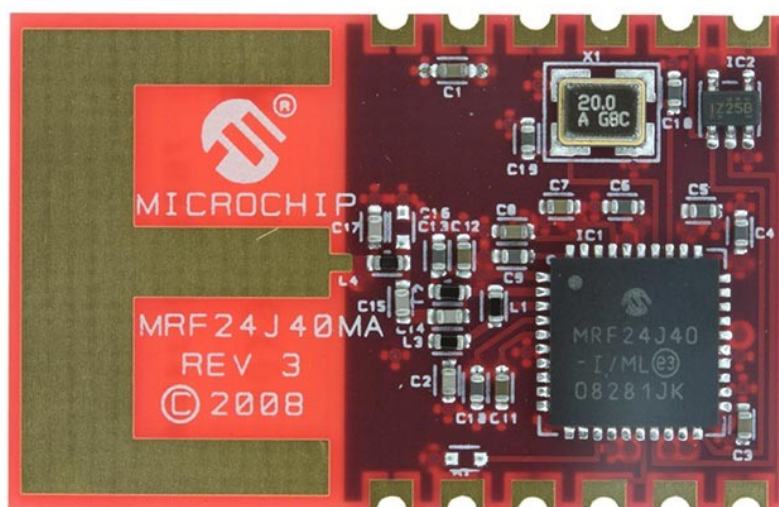


Рисунок 3 – Внешний вид модуля MRF24J40MA [7]

Основные характеристики модуля представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры модуля MRF24J40MA [8]

Параметр	Значение
Габариты	18x28 мм
Напряжение питания	2.4 В – 3.6 В
Максимальная скорость передачи данных	250 кб/с
Разрядность встроенного АЦП	–
Протоколы передачи данных	ZigBee, SPI

К особенностям данного модуля можно отнести отсутствие встроенного АЦП и относительную простоту сопряжение чипа модуля с микроконтроллерами семейства PIC (PIC16F, PIC18F, PIC24F/H, dsPIC33 и PIC32) посредством поддерживаемого последовательного интерфейса SPI (рисунок 4):

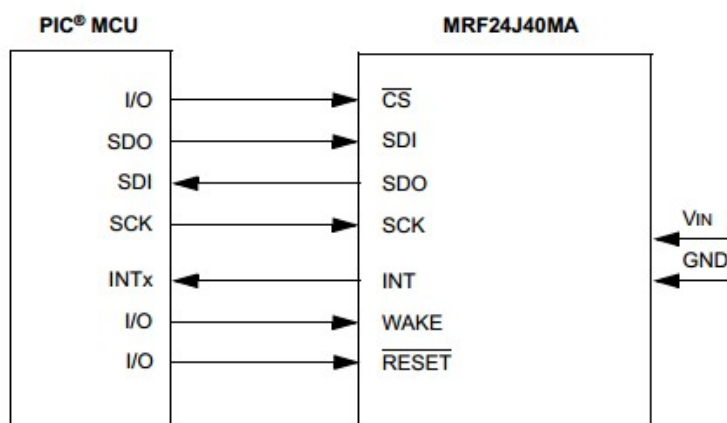


Рисунок 4 – Сопряжение модуля с внешним контроллером [8]

Таким образом, несмотря на отсутствие на плате MRF24J40MA АЦП, который требуется для снятия показаний датчиков, эту функцию можно легко переложить на сопрягаемый контроллер.

К минусам данного модуля следует отнести отсутствие части, отвечающей за питание платы.

Модули XBee Digi

Созданная компанией Digi International, XBee является линейкой ZigBee модулей, дающей широкие возможности по организации систем контроля. Внешний вид модуля XBee Analog Adapter из этой линейки представлен на рисунке 5.



Рисунок 5– Внешний вид модуля XBee Analog Adapter [9]

Основные характеристики модулей XBee Digi представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры модуля XBee Digi [9]

Параметр	Значение
Габариты	9.14 x 4.82 x 3.04 мм
Напряжение питания	3.6 В – 7 В, 9 В – 30 В
Максимальная скорость передачи данных	250 кб/с
Разрядность встроенного АЦП	10 бит
Протоколы передачи данных	ZigBee, RS-232, RS-485, USB

К ключевым особенностям данной линейки можно отнести:

- наличие готового корпуса из пластика с монтажными отверстиями;
- наличие модуля, способного напрямую контролировать показания датчика и передавать данные о них коммутатору;
- наличие модулей, способных передавать информацию по различным интерфейсам RS-232, RS-485, USB.
- различие модулей по требуемому напряжению питания на два типа:
 - 3.6В .. 7В;
 - 9В .. 30В.

Таким образом, для построения сети передачи данных по протоколу ZigBee необходимо, в первую очередь, разработать архитектуру сети, определить требования по скорости и усредненным объемам передачи информации. Реализация сети на основе стандарта ZigBee подразумевает простоту развертывания (по сравнению, например, с сетями на основе технологии Wi-Fi), а также возможность работы модулей в полудуплексном и дуплексном режимах. Радиоразработки, используемые в ZigBee, тщательно оптимизированы, для достижения низкой цены среди большого числа продукции этой линейки. Разработаны аналоговые каскады, в которых используются цифровые контуры.

В итоге можно сделать следующие выводы:

- для быстрого развертывания беспроводной сенсорной сети с использованием протокола ZigBee подходит комплект CC2530 Mini ZNP Kit фирмы Texas Instruments, однако при выборе этого варианта следует учитывать ограничение входных интерфейсов;
- для более глубокого изучения применения стека протокола ZigBee рекомендуется использовать модуль MRF24J40MA из-за его дешевизны и возможностью легкого сопряжения с микроконтроллерами PIC;
- линейка модулей фирмы Digi является универсальным вариантом – возможность развертывания сети любой топологии достигается благодаря наличию встроенного стека протокола ZigBee, а возможность селектирования модулей по входному-выходному интерфейсу не ограничивает разработчика в выборе периферии.

3 Концепция организации сенсорной сети на основе протокола ZigBee

В настоящее время беспроводные сенсорные сети с использованием технологии ZigBee применяются для удовлетворения самых разных потребностей как предприятий, так и рядовых потребителей, таких как:

- дистанционное управление различными устройствами;
- экономия электроэнергии;
- применение в области здравоохранения и фитнес-мониторинга;
- использование в концепции умного дома;
- разработка простых в использовании устройств ввода (тачпад, мыши, клавиатуры, стилусы);
- светодиодная индикация;
- использование в сфере оказания услуг (концепция умного магазина);
- оказание услуг связи и телекоммуникации.

Также был разработан и запатентован ряд устройств с применением технологии ZigBee, среди которых выделяются системы экстренного вмешательства (патент №2011/0093297). Изобретение относится к средствам вычислительной техники и может быть использовано в медицинских специализированных устройствах при мониторинге состояния пациентов и их основных жизненных показателей. Техническим результатом является расширение возможностей устройства за счет изменения структуры БСС для мониторинга состояния пациента. Повышение характеристик устройства на измененной структуре сети достигается благодаря реализации ячеек памяти и трансивера на одном кристалле, что увеличивает производительность, при приеме-передаче данных между медицинским устройством и хранилищем данных, а также, уменьшает габариты устройства, и повышает надежность, в виду повышения коэффициента технологичности устройства.

Системы экстренного вмешательства, в соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения, включают в себя процессор, интерфейс устройства, интерфейс пользователя, трансивер ретрансляции данных и память, связанную с процессором и его инструкциями. Процессор выполняет эти инструкции в памяти, чтобы получать данные от медицинского устройства с помощью прямого соединения с использованием интерфейса устройства, и передает данные на устройство с помощью промежуточного устройства и приемопередатчика данных. Эта система может быть реализована в маленьком портативном устройстве, которое достаточно легко имплантируемо для пациента. Система пользовательского интерфейса может включать в себя микрофон и динамик, чтобы осуществлять звуковую связь между системой и пользователем. Аспекты системы могут быть осуществлены в полностью автоматическом режиме, для того, чтобы медицинский прибор пациента, подлежащего мониторингу, не требовал от него ручного ввода информации.

Решение относится к средствам вычислительной техники и может быть использовано в медицинских целях, для передачи информации о состоянии больного по беспроводным каналам, как на промежуточные устройства (телефон врача, например), так и сразу на сервер, для занесения информации в БД учреждения. Данное изобретение предполагает множество различных вариаций, и ещё большую массу реализаций, одна из которых представлена на рисунке 6.

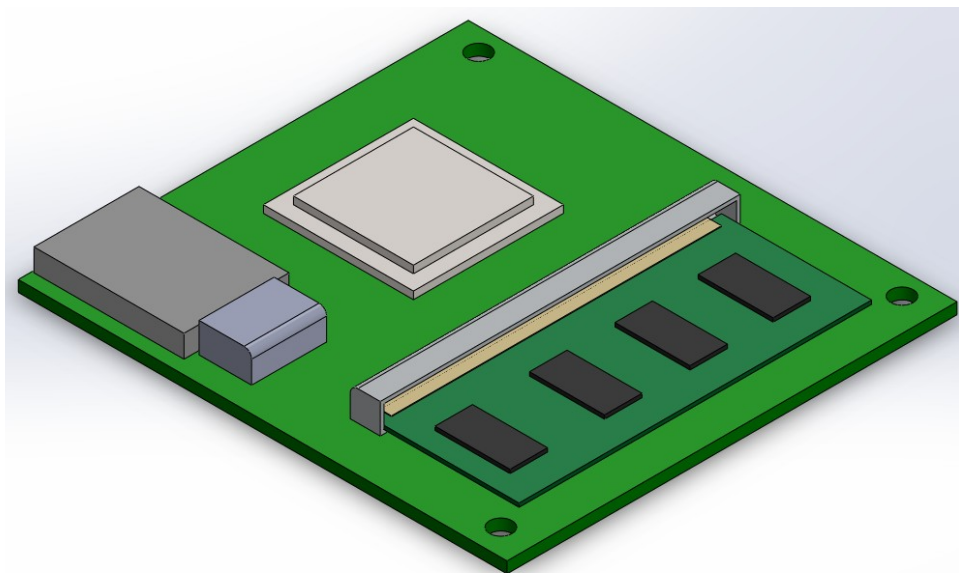


Рисунок 6 – 3D-модель реализации модернизированного устройства, без корпуса

Проведя исследование, было решено акцентировать внимание на такие характеристики устройства, как мобильность, компактность и надежность. Предлагается сделать трансивер в виде usb-донгла, встраиваемого в устройство без увеличения габаритов.

Заключение

Стандарт ZigBee рассчитан на передачу сравнительно малых объемов данных, в случаях, когда не требуется высокая скорость передачи (до нескольких сотен кбит/с). В то же время, данная спецификация гарантирует высокую степень безопасности передачи данных и возможность организации практически любых современных сетевых схем: простые сети, такие как «точка-точка», «дерево» и «звезда», и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистые (mesh) топологии с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Все рассмотренные в статье модули приема-передачи обладают низким энергопотреблением, что является важным преимуществом стандарта ZigBee. Возможность длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания (аккумуляторов) в совокупности с малыми габаритами модулей приема-передачи позволяет использовать технологию ZigBee для создания беспроводных сенсорных сетей, автоматизации жилья (система «Умный дом»), мобильного электронного оборудования, систем промышленного управления и мониторинга.

Литература

1. Белоусов С.В. Ольховиков Г.П., Самолетов Э.А. Датчик давления // Патент №584209; Заявл. 1977-15-12 – 2с.
2. Варгаузин В.А. Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. – С. 29-32.
3. Варгаузин В.А. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. – С. 23-27.
4. Пушкарев О.И. ZigBee-модули XBee: новые возможности // Беспроводные технологии. 2008. № 4. – С. 22-25.
5. IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). IEEE Std 802.15.4™-2006 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2003)
6. «Texas Instruments» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.ti.com> – Проверено 05.03.2013.
7. «Easy Electronics» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.easyelectronics.ru/zigbee-modul-microchip-mrf24j40ma.html> – Проверено 05.03.2013.
8. «Microchip» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.microchip.com> – Проверено 05.03.2013.
9. «Компэл» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.compel.ru> – Проверено 05.03.2013.

Отдельные результаты работы получены в рамках исследований по госзаданию №7.6161.2011 Гибридные чувствительные элементы интеллектуальных сенсоров распределенных управляющих систем

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА 4D ТРАЕКТОРИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ НАБОРЕ ВЫСОТЫ

Новиков П.В., Ривкин А.В., Арутюнян Д.В., Журавлева Е.А.
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ALGORITHM OF CALCULATION OF 4D FLIGHT PATH OF AIRCRAFT DURING THE CLIMB

Novikov P.V., Rivkin A.M., Arutyunyan D.V.
Supervisor: Ph. D., Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье описывается алгоритм расчета времени прохождения воздушным судном одной из важнейших фаз 4D траектории – набора высоты. В статье рассмотрены 4 различные модели расчета фазы набора высоты. В простейшей модели расчета фазы набора высоты рассматривается один воздушный слой и используется одно значение скороподъемности с постоянным ускорением в горизонтальной плоскости до занятия запрошенного эшелона. Рассмотрена модель расчета траектории набора высоты при использовании стандартных траекторий вылета (SID). Проанализирована модель набора высоты, которая используется в АС УВД Буран. На основе проведенного анализа было разработано уточнение модели, используемой в АС УВД Буран. Уточнение производится путем учета влияния температуры и давления аэродрома на скороподъемность.

Abstract

This article describes the algorithm of calculating the time of passage of the aircraft one of the most important phases of 4D trajectory – take-off. The article describes the four different models for calculating the phase of the take-off. In a simple model for calculating the phase of climb is considered one air layer and used a single value of climb at a constant acceleration in the horizontal plane and the requested flight level classes. A model of the reckoning climb with Standard Instrument Departure (SID). Analyzed the model to climb, which is used in ATC Buran. On the basis of this analysis was developed refinement of the model used in the ATC Buran. Clarification is made by excluding the effect of temperature and pressure at the airfield climb..

Введение

Актуальность создания автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) определяет необходимость дальнейшего развития и совершенствования методик расчета 4D - траекторий воздушных средств (ВС) по данным плана полета. Повышение достоверности такого расчета является актуальной задачей, поскольку результаты расчета используются в задачах распределения плановой информации по диспетчерским рабочим местам, а в системах планирования – для определения загрузок секторов АС УВД и других элементов воздушного пространства. Дополнительную ценность 4D-траектории ВС представляет наложение рассчитанной траектории с моделью воздушного пространства содержащей опасные метео проявления и прочие опасные зоны ограничений [1].

При проведении расчетов 4D траектории полета принято рассматривать в последовательном прохождении следующих фаз [1]:

1. руление;
2. разбег;
3. набор высоты до занятия запрошенного эшелона;
4. полет на эшелоне;
5. снижение до точки входа в глиссаду;
6. посадка;
7. пробег.

Входными данными для расчета траектории полета служат траектория полета воздушного судна заданная в виде массива координат точек, через которые воздушное судно

должно проложить свой маршрут, информация о типе судна, его взлетной массе, скорости полета, скорости набора и снижения высоты, посадочная скорость, параметры взлетно-посадочных полос, значение скорости ветра на всей траектории полета, координаты всех зон ограничений [2].

В данной работе основное внимание уделяется расчёту траектории именно при наборе высоты до занятия запрошенного эшелона.

Постановка задачи: Для решения проблемы высокой загруженности авиалиний используются системы планирования воздушного движения, моделирующие полеты воздушных судов. В работе предложены математические модели описания траектории полета на участке набора высоты до занятия запрошенного эшелона, с учетом его технических характеристик.

Цель работы – необходимо разработать математические модели описания траектории полета на участке набора высоты до занятия запрошенного эшелона, с учетом его технических характеристик.

Научная новизна предлагаемых решений заключается в предложенных математических моделях для описания 4D траектории воздушных судов на этапе набора высоты до занятия запрошенного эшелона.

Областью применения полученных результатов является ряд задач по разработке систем организации планирования воздушного движения нового поколения, для снижения перегрузок авиалиний, увеличения точности прогнозирования обстановки воздушного движения и как следствие снижения числа аварийных ситуаций.

1 Анализ фаз 4D траектории полета

Полет воздушного средства состоит из нескольких этапов. Это руление, разбег, набор высоты, полет на эшелоне, снижение, посадка, пробег [1].

Расчет 4D-траектории – это вычисление времени прохождения ВС последовательных точек маршрута и соответствующих высот от начала до окончания полета на основании данных плана полета [3].

Руление – это перемещение ВС под действием тяги собственных двигателей [1].

Разбег – это начальный период взлета, представляющий собой ускоренное движение ВС по ВПП, необходимое для приобретения такой скорости, при которой крыло создает подъемную силу, способную оторвать ВС от земли [1].

Набор высоты – это этап полёта, на котором происходит существенное увеличение высоты [1].

Полет на эшелоне – это движение в воздухе на условной высоте, рассчитанной при стандартном давлении и отстоящей от других высот на величину установленных интервалов [4].

Снижение – это этап полёта, на котором происходит существенное уменьшение высоты полёта. [1].

Посадка – это этап полёта, в котором летательный аппарат возвращается на землю [1].

Пробег – это замедляющееся движение самолёта по взлётно-посадочной полосе до полной остановки после приземления или принятия пилотом решения о прекращении разбега на взлёте. [1].

В данной работе будет подробно рассмотрена фаза 4D траектории – набор высоты до занятия запрошенного эшелона.

2 Набор высоты

2.1 Простейшая модель (Модель 1)

В простейшей модели расчета фазы набора высоты рассматривается один воздушный слой и используется одно значение скороподъемности с постоянным ускорением в горизонтальной плоскости до занятия запрошенного эшелона.

Основные величины, которые должны быть известны для расчета времени набора в данной модели:

- скорость отрыва $V_{отр}$;
- вертикальная скорость при отрыве $V_{верт. наб}$ (она же скороподъемность на уровне моря при стандартных атмосферных условиях - давлении 760 мм.рт.ст. и температуре +15°C);
- крейсерская скорость $V_{крейс}$;
- превышение аэродрома над уровнем моря $H_{прев. выл}$,
- запрошенный эшелон $H_{эи}$;

Теперь, при условии, что вертикальная скорость не изменяется, определяем время занятия эшелона как:

$$t_{зан.эи} = \frac{H_{эи} - H_{прев. выл}}{V_{верт. наб}}, \quad (1)$$

где $H_{прев. выл}$ - превышение аэродрома вылета;

$H_{эи}$ - запрошенный эшелон;

$t_{зан.эи}$ - время, необходимое для занятия эшелона (учитывая, что в горизонтальной плоскости движение равноускоренное).

Также рассчитаем пройденное при этом расстояние:

$$\begin{aligned} V_{крейс} &= V_{отр} + t_{зан.эи} a ; \\ a &= \frac{V_{крейс} - V_{отр}}{t_{зан.эи}} ; \\ S_{эи} &= V_{отр} t_{зан.эи} + \frac{at_{зан.эи}^2}{2} = \frac{V_{крейс}^2 - V_{отр}^2}{2a} \\ S_{эи} &= \frac{(V_{крейс} - V_{отр}) \cdot (V_{крейс} + V_{отр})}{2a} \\ S_{эи} &= \frac{t_{зан.эи} (V_{крейс} - V_{отр}) \cdot (V_{крейс} + V_{отр})}{2(V_{крейс} - V_{отр})} = \frac{t_{зан.эи} (V_{крейс} + V_{отр})}{2} . \end{aligned}$$

Итак, основная формула, по которой рассчитывается удаление ВС от аэродрома в момент достижения запрошенного эшелона, будет выглядеть следующим образом:

$$S_{эи} = \frac{t_{зан.эи} (V_{крейс} + V_{отр})}{2}, \quad (2)$$

где $t_{зан.эи} = \frac{H_{эи} - H_{прев. выл}}{V_{верт. наб}}$.

Таким образом, в представленной модели точка занятия эшелона $H_{эи}$ будет находиться на удалении $S_{эи}$ по траектории от аэродрома вылета.

2.2 Простейшая модель с учетом температуры и давления воздуха на аэродроме (Модель 2)

Давление, плотность и температура являются основными физическими параметрами, характеризующими воздух как среду, в которой происходит полет ВС. Рассмотрим эти параметры с точки зрения влияния на набор высоты отклонений значений основных параметров от данных стандартной атмосферы.

Как показывает практика, скороподъемность ВС существенно зависит от температуры и давления. Необходимость проведения исследований в этой области вызвана тем, что имеющиеся соотношения для скорости набора высоты не содержат в явном виде этой зависимости [2].

Следовательно, нужно определить зависимость начальной скороподъемности ВС от температуры и давления.

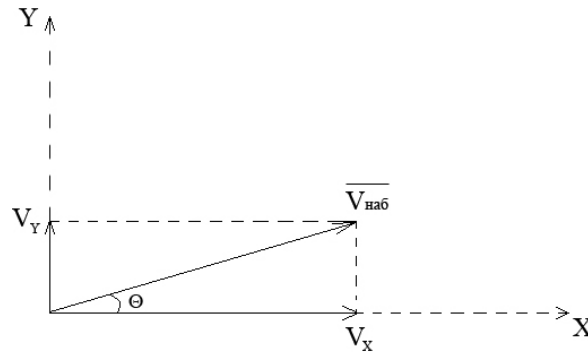


Рисунок 1 – Соотношение скоростей при наборе высоты

Основное соотношение для расчета скороподъемности ВС (Рисунок 1) имеет вид:

$$V_{\text{верт. наб}} = |\overline{V_{\text{наб}}}| \sin \Theta = \sqrt{\frac{2G}{\rho S C_Y}} \cdot \sin \Theta, \quad (3)$$

где $V_{\text{верт. наб}}$ - вертикальная скорость набора высоты ВС (м/с);
 $|\overline{V_{\text{наб}}}|$ - модуль вектора скорости ВС при наборе высоты (м/с);

G - вес ВС $\left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}^2}\right)$;

ρ - плотность воздуха $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$;

S - площадь крыла ВС (м^2);

C_Y - коэффициент подъемной силы;

Θ - угол наклона траектории ВС к горизонту при наборе высоты.

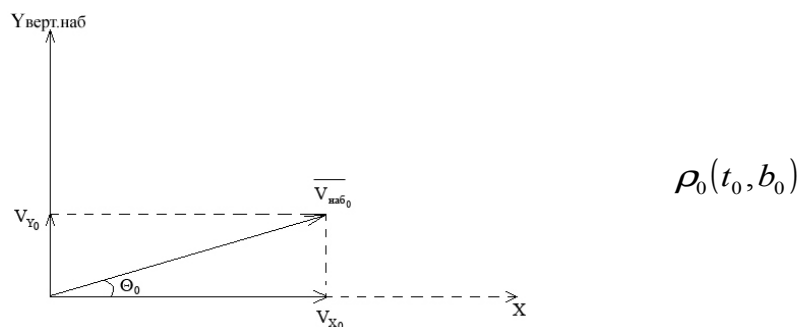
В соотношении (3) $V_{\text{верт. наб}}$ пропорциональна $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$, т.е. чем больше плотность

воздуха (зависящая от температуры и давления), тем меньше скороподъемность ВС.

Практика показывает, что зависимость обратная: чем больше плотность воздуха, тем больше скороподъемность ВС.

Кажущееся противоречие устраняется, если учитывать, что угол Θ при наборе высоты в различных условиях температуры и давления также зависит от плотности воздуха, при одинаковом законе управления ВС. В данном случае под одинаковым законом управления ВС понимается одинаковые значения избытка тяги при наборе высоты в средах с различной плотностью.

Определим зависимость скороподъемности от температуры и давления.



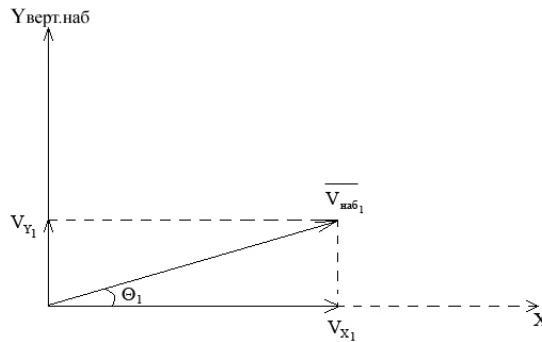


Рисунок 2 – Параметры набора высоты ВС в воздушной среде, характеризующейся различной плотностью, зависящей от температуры и давления

ВС осуществляет набор высоты в воздушной среде, имеющей различную плотность на уровне моря: ρ_0 и ρ_1 (Рисунок 2). Среда, имеющая плотность ρ_0 , описывается стандартной атмосферой.

Как следует из правил практического пилотирования, набор высоты для данного типа ВС при различных плотностях среды осуществляется при одинаковом значении модуля вектора скорости $|\overline{V_{н\delta}}|$, называемым выгоднейшей скоростью при наборе высоты.

Начальное значение $\overline{V_{н\delta_0}}$ при стандартной атмосфере на уровне моря считается заданным, т.е. известны $|\overline{V_{н\delta_0}}|$, Θ_0 и, следовательно, проекции $\overline{V_{н\delta_0}}$ на оси координат X и Y (V_{x_0} и Y_{x_0}).

Необходимо определить $\overline{V_{н\delta_1}}$, т.е. начальное значение вектора скорости при наборе высоты в среде с плотностью ρ_1 . При этом определяется и начальное значение скороподъемности ВС в среде с плотностью ρ_1 .

Учитывая вышеизложенные соображения, можно записать:

$$|\overline{V_{н\delta_0}}| = |\overline{V_{н\delta_1}}| = V_{н\delta},$$

где $V_{н\delta}$ - выгоднейшая скорость при наборе высоты.

Поэтому основной задачей является определение угла Θ_1 при наборе высоты в среде с плотностью ρ_1 .

Для начала выведем основные соотношения, описывающие набор высоты ВС в средах с различной плотностью.

Для этого рассмотрим установившийся горизонтальный полет ВС с одинаковой скоростью в средах с различной плотностью ρ_0 и ρ_1 . Потребная тяга в этом случае уравнивается силой лобового сопротивления:

$$Q_0 = P_{n0} = C_x S \frac{\rho_0 V^2}{2}; \quad (4)$$

$$Q_1 = P_{n1} = C_x S \frac{\rho_1 V^2}{2}, \quad (5)$$

где Q_0 и Q_1 - силы лобового сопротивления в средах с плотностью ρ_0 и ρ_1 ($\text{кг} \cdot \text{м} / \text{сек}^2$),

P_{n0} и P_{n1} - потребные тяги двигателей в средах с плотностью ρ_0 и ρ_1 ($\text{кг} \cdot \text{м} / \text{сек}^2$),

V - скорость горизонтального полета ВС (м/сек).

Тогда, вычитая (5) из (4) получим:

$$\Delta P_{n1,0} = P_{n1} - P_{n0} = C_x S \frac{V^2}{2} (\rho_1 - \rho_0) = C_x S \rho_0 \frac{V^2}{2} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right) = P_{n0} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right) \quad (6)$$

Установившийся набор высоты при скорости $V_{наб}$ осуществляется под углом Θ , определяемый из соотношения:

$$\sin \Theta = \frac{P-Q}{G} = \frac{P}{G} - \frac{1}{K}, \quad (7)$$

где P - сила тяги при наборе высоты $\left(\frac{кг \cdot м}{сек^2} \right)$;

Q - сила лобового сопротивления при наборе высоты $\left(\frac{кг \cdot м}{сек^2} \right)$;

K - аэродинамическое качество на режиме набора высоты, причем

$K = \frac{G}{Q} = \frac{C_Y}{C_X}$, где C_X - коэффициент лобового сопротивления.

Соотношение (7) можно переписать для сред с различной плотностью:

$$\sin \Theta_0 = \frac{P_{n0} + \Delta P}{G} - \frac{1}{K}; \quad (8)$$

$$\sin \Theta_1 = \frac{P_{n1} + \Delta P}{G} - \frac{1}{K}, \quad (9)$$

где ΔP - избыток тяги при наборе высоты, предполагаемый одинаковым для сред с различной плотностью.

Вычитая (9) из (8), определим:

$$\Delta \sin \Theta = \sin \Theta_1 - \sin \Theta_0 = \frac{P_{n1} - P_{n0}}{G} = \frac{\Delta P_{1,0}}{G}$$

Или, учитывая (6)

$$\Delta \sin \Theta = \frac{P_{n0} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right)}{G}.$$

Предполагая, что $\Delta P \ll P_{n0}$, что на практике выполняется, и учитывая (8), запишем:

$$\Delta \sin \Theta = \left(\sin \Theta_0 + \frac{1}{K} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right) \right).$$

Тогда выражение для определения угла Θ примет вид:

$$\sin \Theta_1 = \sin \Theta_0 + \Delta \sin \Theta = \sin \Theta_0 + \left(\sin \Theta_0 + \frac{1}{K} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right) \right) = \sin \Theta_0 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0} + \frac{1}{K} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right)$$

или, учитывая, что

$$\sin \Theta_0 = \frac{V_{Y0}}{V_{наб}} = \frac{V_{X0}}{\sqrt{V_{Y0}^2 + V_{X0}^2}},$$

$$\sin \Theta_1 = \frac{\rho_1}{\rho_0} \cdot \frac{V_{Y0}}{\sqrt{V_{Y0}^2 + V_{X0}^2}} + \frac{1}{K} \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} - 1 \right).$$

Для получения окончательного выражения для угла Θ необходимо определить отношение $\frac{\rho_1}{\rho_0}$ в зависимости от температуры и давления. Соотношение зависимости плотности воздуха от температуры и давления выглядит следующим образом:

$$\rho = 1,293 \frac{b}{b_0} (1 - \alpha),$$

где ρ - плотность воздуха $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$;
 b - давление (мм.рт.ст.);
 b_0 - 760 (мм.рт.ст.);
 α - 1/273 (1/град С°);
 t - температура (град С°).

Отсюда
$$\rho_0 = 1,222 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right);$$

$$\rho_1 = 1,293 \frac{b_1}{b_0} (1 - \alpha t_1) \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right),$$

где b_1 и t_1 - давление и температура, характеризующая воздух с плотностью ρ .

Тогда окончательное соотношение для расчета начальной скороподъемности ВС в среде с плотностью ρ принимает следующий вид:

$$V_{\text{верт. наб1}} = V_{\text{наб}} \cdot \sin \Theta_1 = V_{Y_0} \cdot 1,057 \frac{b_1}{b_0} (1 - \alpha t_1) = \frac{\sqrt{V_{Y_0}^2 + V_{X_0}^2}}{K} \left[1,057 \frac{b_1}{b_0} (1 - \alpha t_1) - 1 \right] \quad (10)$$

Если не учитывать зависимость плотности воздуха от давления, то можно положить

$$\frac{b_1}{b_0} = 1.$$

Для определения начальной горизонтальной составляющей вектора скорости при наборе высоты в среде с плотностью ρ необходимо пользоваться следующим соотношением:

$$V_{X1} = \sqrt{V_{\text{наб}}^2 - V_{\text{верт. наб1}}^2} \quad (11)$$

2.3 Модель набор высоты, используемая в АС УВД Буран (Модель 3)

В перспективной методике расчета фазы набора высоты для АС УВД «Буран-К» всё воздушное пространство в вертикальной плоскости разбито на 5 слоев [2-6].

В качестве примера рассмотрим применение этой методики при разбиении воздушного пространства в вертикальной плоскости на три слоя: нижнее, среднее и верхнее. В этом случае представляется необходимым иметь в системе следующие параметры:

- превышение аэродрома вылета над уровнем моря $H_{\text{прев. выл}}$;
- вертикальная скорость ВС (по слоям) $V_{\text{в1}}, V_{\text{в2}}, V_{\text{в3}}$;
- границы слоев (по типам ВС) H_1, H_2 ;
- крейсерский эшелон полета $H_{\text{эл}}$;
- крейсерская скорость $V_{\text{крес}}$;
- скорость отрыва $V_{\text{отр}}$.

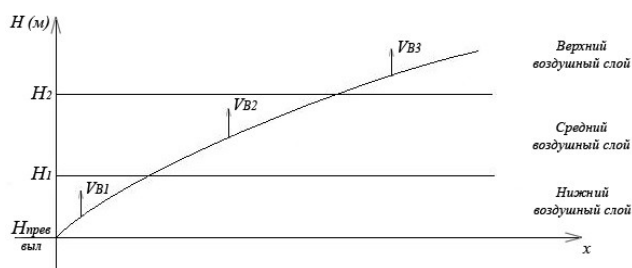


Рисунок 3. Модель набора высоты в АС УВД Буран-К

На первом этапе рассчитывается время до занятия эшелона $t_{зан.эш}$. Зная вертикальную скорость по слоям, рассчитывается:

$$t_{зан.эш} = \frac{H_1 - H_{прев.выл}}{V_{\theta 1}} + \frac{H_2 - H_1}{V_{\theta 2}} + \frac{H_{эш} - H_2}{V_{\theta 3}} \quad (12)$$

Предполагая, что в горизонтальной плоскости движение является равноускоренным, удаление от аэродрома точки занятия эшелона по траектории в горизонтальной плоскости рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} S_{эш} &= \frac{V_{крейс}^2 - V_{отр}^2}{2a}; \\ V_{крейс} &= V_{отр} + t_{зан.эш} a; \\ a &= \frac{V_{крейс} - V_{отр}}{t_{зан.эш}}; \\ S_{эш} &= \frac{t_{зан.эш} (V_{крейс} - V_{отр}) (V_{крейс} + V_{отр})}{2(V_{крейс} - V_{отр})} \\ S_{эш} &= \frac{t_{зан.эш} (V_{крейс} + V_{отр})}{2} \end{aligned} \quad (13)$$

Таким образом, точка занятия эшелона $H_{эш}$ будет находиться на удалении $S_{эш}$ от аэродрома вылета по траектории.

2.4 Уточнение модели, используемой в АС УВД Буран (Модель 4)

Уточнение производится путем учета влияния температуры и давления аэродрома на скороподъемность (расчетные формулы (10) и (11)).

Значение начальной скороподъемности ВС в среде с плотностью ρ будет выглядеть следующим образом (10):

$$V_{верт.наб1} = V_{наб} \cdot \sin \Theta_1 = V_{Yo} \cdot 1,057 \frac{b_1}{b_0} (1 - \alpha_1) = \frac{\sqrt{V_{Yo}^2 + V_{X0}^2}}{K} \left[1,057 \frac{b_1}{b_0} (1 - \alpha_1) - 1 \right].$$

Аналогичное уточнение выполняется и для других слоев, с учетом температуры и возможно атмосферного давления на аэродроме вылета.

3 Особенности расчета набора высоты по SID

Возможны ограничения по высоте в некоторых точках при использовании стандартных траекторий вылета (Standard Instrument Departure - SID) [2].

Особенность расчета траектории набора высоты по SID заключается в том, что для некоторых точек SID устанавливаются ограничения по высоте, а именно, необходимо пройти указанную точку на высоте, не выше определенной $H_{гн\ макс} = H_{АА}$ (Рисунок 4.).

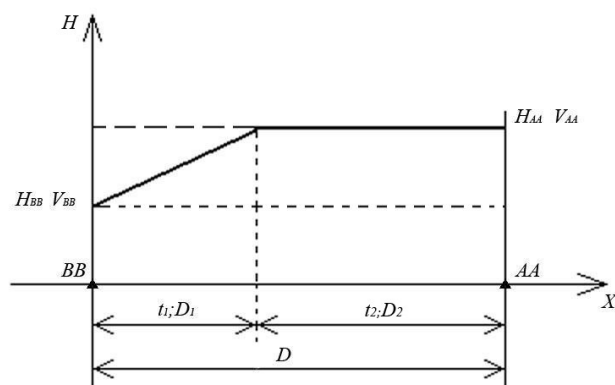


Рисунок 4. Расчет времени прохождения участка СИД с ограничением по высоте

В этом случае рассчитывается время достижения $H_{\text{прт макс}}(t_1)$, причем достигнутая истинная скорость в этой точке должна сохраняться неизменной до момента перехода в режим дальнейшего набора высоты.

Приведем уточнение модели для рассматриваемого случая.

Учитывая, что при занятии запрошенного эшелона истинная скорость ВС должна быть равна крейсерской, рассчитаем приборную на запрошенном эшелоне исходя из следующего соотношения:

$$V_{\text{крейс}} = V_{\text{пр.эш}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{возд } 0}}{\rho_{\text{возд эш}}}}, \text{ т.е. } V_{\text{крейс}} = V_{\text{пр.эш}} \left(\frac{\rho_{\text{возд } 0}}{\rho_{\text{возд эш}}} \right)^{-1}.$$

Тогда

$$V_{\text{ист}}(H) = V_{\text{крейс}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{возд}}(H_{\text{кр}})}{\rho_{\text{возд}}(H)}}$$

с учетом того, что

$$\rho_{\text{возд}}(H) = 0,0028 H^2 - 0,1087 H + 1,2226 \text{ (кг/м}^3\text{)},$$

истинная скорость в точке BB равна

$$V_{BB} = V_{\text{крейс}} \sqrt{\frac{0,0028 H_{\text{кр}}^2 - 0,1087 H_{\text{кр}} + 1,2226}{0,0028 H_{BB}^2 - 0,1087 H_{BB} + 1,2226}},$$

а в точке AA равна

$$V_{AA} = V_{\text{крейс}} \sqrt{\frac{0,0028 H_{\text{кр}}^2 - 0,1087 H_{\text{кр}} + 1,2226}{0,0028 H_{AA}^2 - 0,1087 H_{AA} + 1,2226}}$$

и если при наборе высоты

$$t_1 = \frac{H_{AA} - H_{BB}}{V_{\text{верт}}} \quad (14)$$

получается таким, что $D_1 = \frac{(V_{BB} + V_{AA}) \cdot t_1}{2} < D$, то, исходя из того, что движение на этом участке равномерно, необходимо рассчитать

$$t_2 = \frac{D_2}{V_{AA}} = \frac{(D - D_2)}{V_{AA}}. \quad (15)$$

Таким образом, в этом случае время прохождения участка $BB - AA$ равно сумме $t_1 + t_2$

Другим возможным случаем может быть такой, когда вертикальная скорость такова, что минимальная высота по точке СИД, исходя из определенного значения скороподъемности, не достигается (Рисунок 5)

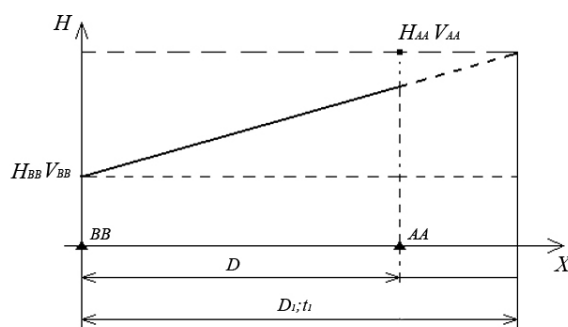


Рисунок 5 – Расчет времени прохождения участка СИД если значение скороподъемности не позволяет занять минимально необходимую высоту по СИД

В этом случае, ускорение в горизонтальной плоскости должно быть рассчитано следующим образом:

истинная скорость в точке BB :

$$V_{BB} = V_{крейс} \sqrt{\frac{0,0028 H_{кр}^2 - 0,1087 H_{кр} + 1,2226}{0,0028 H_{BB}^2 - 0,1087 H_{BB} + 1,2226}}$$

истинная скорость в точке AA :

$$V_{AA} = V_{крейс} \sqrt{\frac{0,0028 H_{кр}^2 - 0,1087 H_{кр} + 1,2226}{0,0028 H_{AA}^2 - 0,1087 H_{AA} + 1,2226}}$$

и если при наборе высоты

$$t_1 = \frac{H_{AA} - H_{BB}}{V_{верт}} \quad (16)$$

получается таким, что

$$D_1 = \frac{(V_{BB} + V_{AA}) \cdot t_1}{2} > D,$$

то ускорение на участке $BB - AA$ рассчитывается как ускорение

$$BB - AA = \frac{(V_{AA} - V_{BB})}{t_1}.$$

Для каждого типа ВС определена вертикальная скорость набора высоты, значение которой можно использовать при расчете. Не останавливаясь на анализе введенных в систему величин, алгоритм расчета точки окончания набора высоты и скороподъемности на основании этих данных можно представить следующим образом:

1. На основании типа ВС из плана полета выбирается значение скороподъемности.

2. Если в системе для данного аэропорта на этапе текущего планирования имеются данные о температуре и давлении, это значение скороподъемности пересчитывается по формулам (10) и (11).

С использованием текущих параметров базы данных возможен расчет по 1 и 2 моделям.

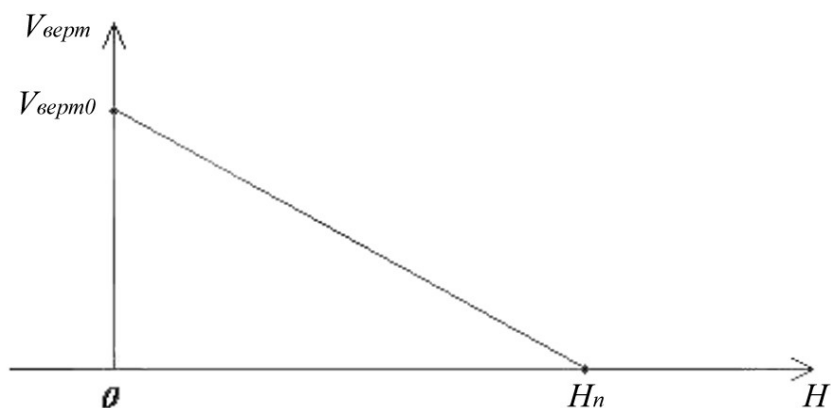


Рисунок 6 – Изменение скороподъемности в зависимости от высоты полета

Рисунок 6 показывает ограниченность «Модели 1», в которой не учитывается уменьшение вертикальной скорости или скорости набора с увеличением высоты полета. Если задан потолок (максимальная высота полета, разрешенная для какого-либо типа ВС) – то на рисунке это координата пересечения прямой с осью H . Например, если H_n – потолок, то можно, исходя из определения максимальной высоты полета, сказать, что при достижении своей максимальной высоты, ВС не может по своим летным характеристикам набирать высоту, то есть вертикальная скорость или скороподъемность на этой высоте равна нулю.

Далее, если предположить, что скороподъемность на нулевой высоте равна $V_{верт0}$, а скороподъемность линейно уменьшается при наборе высоты, то $-\frac{V_{верт0}}{H_n}$ – это градиент скороподъемности по высоте (коэффициент наклона прямой), тогда уравнение для скороподъемности в зависимости от высоты можно записать как

$$V_{верт}(H) = V_{верт0} - \frac{H \cdot V_{верт0}}{H_n} = V_{верт0} \left(1 - \frac{H}{H_n} \right) \text{ с областью значений } H \text{ от } 0 \text{ до } H_n.$$

3 Алгоритм определения параметров набора высоты в АС УВД «Буран-К»

В АС УВД «Буран-К» определены 27 условных категорий ВС имеющих специфические величины параметров набора высоты/снижения.

Привязка типа ВС к категории реализована путем организации таблицы-связки типов ВС.

На рисунке 7 представлен алгоритм определения необходимых данных для расчета полета ВС при снижении.

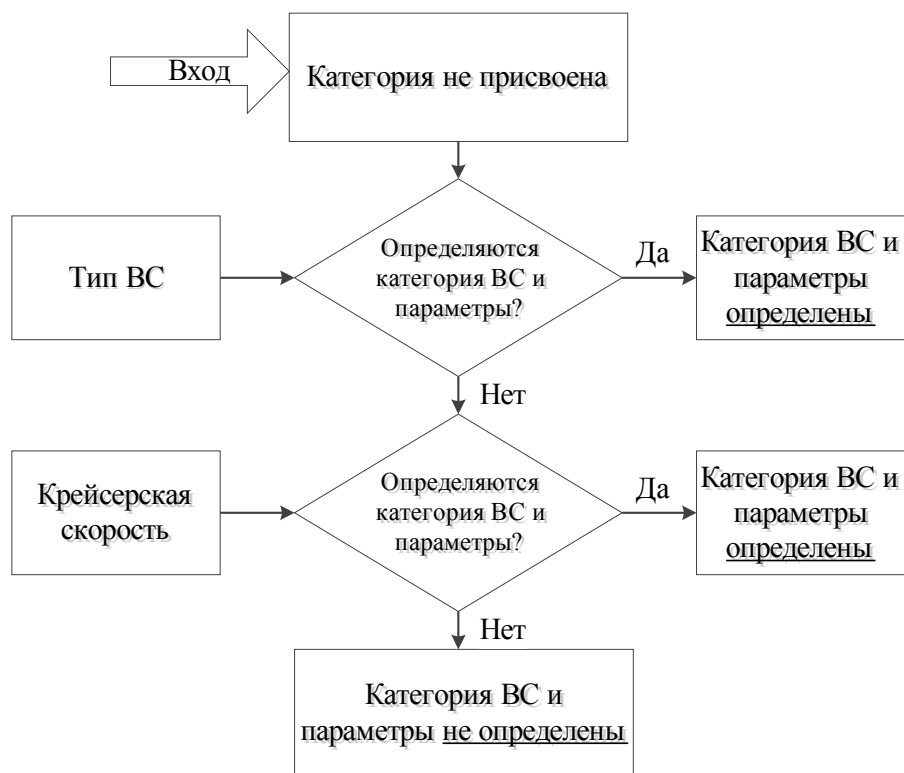


Рисунок 7 – Алгоритм определения параметров набора высоты в АС УВД «Буран-К»

Таким образом, если в плане полета указан один из известных типов ВС, параметры для набора высоты извлекаются из соответствующей категории. Для случая, если тип ВС неизвестен, выбор категории осуществляется в соответствии с крейсерской скоростью, также указанной в плане полета, с этой целью организована специальная таблица в базе данных.

Заключение

Результатами работы являются предложенные математические модели описания этапа движения воздушного судна при наборе высоты. Основное достоинство предложенных математических моделей заключается в описании процессов происходящих на этапе взлета и набора высоты воздушного судна. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем организации планирования воздушного движения нового поколения, для снижения перегрузок авиалиний, увеличения точности прогнозирования обстановки воздушного движения и как следствие снижения числа аварийных ситуаций. Благодаря предложенным моделям возможно уменьшение расхождения расчетного времени при планировании полета воздушного судна.

Литература

1. Производство полетов воздушных судов // Международная организация гражданской авиации – ИКАО, 2006, 386 с.
2. Новиков П.В. Алгоритм высокоточных вычислений метеодобавки скорости ветра для участка полета воздушного средства – Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2012. № 11, С.5-5 (Электронный ресурс. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17105440>- Проверено 12.02.2012).
3. Ривкин А.М. «Модель полета воздушных судов на эшелоне» // «Наука и образование: электронное научно-техническое издание». 2011 №11. - С. 15-15.
4. Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве российской федерации // Приказ Министра обороны Российской Федерации, Министерства транспорта Российской Федерации, Российского авиационно-космического агентства от 31 марта 2002 г. N 136/42/51. 102 с.
5. Бугров Я.С., Никольский С.М. Высшая математика. Том первый: элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. – М.: Дрофа, 2004. - 288 с.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 12-07-31151
в рамках программы «Мой первый грант».

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА 4D ТРАЕКТОРИИ СНИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Новиков П.В., Ривкин А.В., Арутюнян Д.В.
Научный руководитель: канд. техн. наук., доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ALGORITHM OF CALCULATION OF THE REDUCTION PART OF 4D FLIGHT PATH OF AIRCRAFT

Novikov P.V., Rivkin A.M., Arutyunyan D.V.
Supervisor: Ph., D., Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье описывается алгоритм расчета времени прохождения воздушным судном одной из важнейших фаз 4D траектории – снижения до точки входа в глиссаду. Расчет траектории на этапе посадки производится по аналогии с методикой расчета фазы набора высоты до занятия запрошенного эшелона с выходом в крейсерский режим полета. Рассмотрена модель расчета траектории снижения при использовании стандартной схеме прилета по приборам (STAR). Проанализирована модель снижения, которая используется в АС УВД Буран.

Abstract

This article describes the algorithm of calculation travel time an aircraft one of the most important phases of 4D trajectory - a decline to the point of entering the glide path. The calculation of the trajectory on the landing phase is similar to the method of calculating the phase of climb to the requested flight level classes with access to the cruise flight mode. A model of the calculation of the descent path by using the standard procedure of instrument arrival (STAR). Analyzed model reduction, which is used in ATC Buran.

Введение

В воздушном пространстве нашей страны постоянно находится множество воздушных судов. Для обеспечения безопасности их полетов необходимо осуществлять планирование и координацию их движения, а также непосредственное управление этим движением (передача информации, помощь в аварийных ситуациях, предотвращение таких ситуаций). Эти функции в соответствии с действующим воздушным кодексом возложены на органы единой системы управления воздушным движением (ЕС УВД). Кроме того, часть функций по управлению движением воздушных судов возложена на ведомственные органы управления. Они действуют в пределах установленных для них районов и зон.

Конечная цель всех этих органов управления – обеспечение безопасности, регулярности и эффективности полётов. В действующей системе управления ведущая роль принадлежит ЕС УВД. Она имеет главный, зональный и региональный центры. Все воздушное пространство РФ поделено на сектора. Часть секторов зарезервирована для военных целей, часть для гражданских целей. Военными секторами управляют Военно-Воздушные Силы (ВВС) [1].

Все органы управления воздушным движением осуществляют манипуляции с планами полетов воздушных судов. Для определения затрат времени и ресурсов по тому или иному полету необходимо создания модели полета. Она заключается в математическом описании нахождения воздушного судна в каждый момент времени его движения.

При проведении расчетов 4D траектории полета выделяют следующие фазы полета, как наиболее значимые, на которые расходуется основное время полета[1]:

1. руление;
2. разбег;
3. набор высоты до занятия запрошенного эшелона;
4. полет на эшелоне;
5. снижение до точки входа в глиссаду;
6. посадка;

7. пробег.

Входными данными для расчета траектории полета служат траектория полета воздушного судна заданная в виде массива координат точек, через которые воздушное судно должно проложить свой маршрут, информация о типе судна, его взлетной массе, скорости полета, скорости набора и снижения высоты, посадочная скорость, параметры взлетно-посадочных полос, значение скорости ветра на всей траектории полета, координаты всех зон ограничений [2].

Снижение – это этап полёта, на котором происходит существенное уменьшение высоты полёта. [1].

Посадка – это этап полёта, в котором летательный аппарат возвращается на землю [1].

Пробег – это замедляющееся движение самолёта по взлётно-посадочной полосе до полной остановки после приземления или принятия пилотом решения о прекращении разбега на взлёте. [1].

В данной работе описывается математическая модель построения траектории полета воздушного судна на этапе снижения до точки входа в глиссаду и посадки воздушного судна.

Областью применения предложенных математических моделей и алгоритмов являются ряд задачи которые возлагаются на системы организации планирования воздушного движения нового поколения, в которые входят: снижение перегрузок авиалиний, увеличение точности прогнозирования обстановки воздушного движения, снижения числа аварийных ситуаций.

1 Снижение до точки входа в глиссаду

1.1 Простейшая модель

Посадке предшествует снижение воздушного судна с эшелона полета и заход на посадку. Снижение воздушного судна с эшелона полета по маршруту начинается примерно за 200-250 км от аэродрома посадки. На высоте около 400 м ВС, продолжая снижаться, входит в глиссаду [6].

Расчет траектории на этапе посадки (упрощенная модель) производится по аналогии с методикой расчета фазы набора высоты до занятия запрошенного эшелона с выходом в крейсерский режим полета. Т.е. для начала рассчитывается время, которое требуется на преодоление расстояния от точки начала снижения до точки входа в глиссаду.

Основные величины, которые должны быть известны для расчета времени снижения в данной модели:

- скорость, с которой ВС входит в глиссаду $V_{вх.гл}$;
- вертикальная скорость при снижении $V_{верт.нос}$;
- крейсерская скорость $V_{крейс}$;

Теперь, при условии, что вертикальная скорость не изменяется, определяем время снижения как:

$$t_{сниж} = \frac{H_{эи} - H_{прев.нос} - H_{глис}}{V_{верт.нос}},$$

где $H_{глис}$ - высота глиссады;

$H_{эи}$ - крейсерский эшелон;

$H_{прев.нос}$ - превышение аэродрома посадки;

$t_{сниж}$ - время, необходимое для снижения до высоты глиссады (учитывая, что в горизонтальной плоскости движение равнозамедленное).

Также рассчитаем пройденное при этом расстояние:

$$V_{вх.гл} = V_{крейс} + t_{сниж} a ;$$

$$a = \frac{V_{вх.гл} - V_{крейс}}{t_{сниж}} ;$$

$$S_{нач.сн} = \frac{t_{сниж} (V_{крейс} + V_{вх.эл})}{2};$$

Таким образом, в представленной модели точка начала снижения будет находиться на удалении $S_{нач.сн}$ от ТВГ.

1.2 Модель снижения, используемая в АС УВД «Буран-К»

В наиболее перспективной методике расчета фазы снижения до точки входа в глиссаду для АС УВД «Буран-К» воздушное пространство в вертикальной плоскости разбито на 4 слоя: верхний воздушный слой, средний воздушный слой, слой начального этапа захода на посадку и слой промежуточного захода на посадку (до точки входа в глиссаду) [1-5].

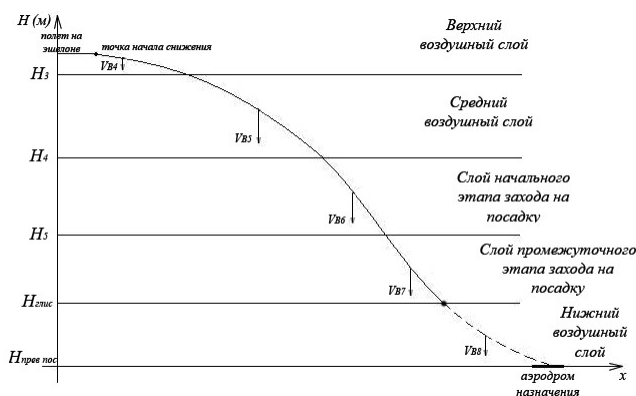


Рисунок 1 – Снижение по модели, используемой в АС УВД «Буран-К»

Для расчёта траектории снижения представляется необходимым иметь в системе следующие параметры

- аэродром посадки;
- вертикальная скорость ВС (по слоям) $V_{в4}$; $V_{в5}$; $V_{в6}$; $V_{в7}$;
- границы слоев (по типам ВС), H_3 , H_4 , H_5 ;
- высоту глиссады $H_{глис}$;
- крейсерский эшелон полета $H_{эи}$;
- крейсерская скорость $V_{крейс}$;
- скорость ВС при входе в глиссаду $V_{вх.эл}$;
- географическую координату ТВГ.

Расчет выполняется аналогично описанному в предыдущем разделе с учетом значений вертикальных скоростей по слоям, и учитывая, что высота перехода заключена в слое начального захода на посадку:

$$t_{сниж} = \frac{H_{эи} - H_3}{V_{в4}} + \frac{H_3 - H_4}{V_{в5}} + \frac{H_4 - H_5 - H_{прев.пос}}{V_{в6}} + \frac{H_5 - H_{глис}}{V_{в7}}. \quad (1)$$

Предполагая, что снижение в горизонтальной проекции имеет характер равнозамедленного движения, параметры точки начала снижения рассчитываются следующим образом:

Удаление от ТВГ:

$$S_{нач.сн} = \frac{t_{сниж} (V_{крейс} + V_{вх.эл})}{2},$$

где $t_{сниж}$ определяется по формуле (1)

Таким образом, точка начала снижения с крейсерского эшелона $H_{эи}$ будет находиться на удалении $S_{нач.сн}$ от ТВГ действующего курса аэродрома посадки.

1.3 Особенности расчета траектории снижения по STAR

Особенность расчета траектории набора высоты при стандартной схеме прилета по приборам (Standard Terminal Arrival Route – STAR) заключается в том, что для некоторых точек STAR устанавливаются ограничения по высоте, а именно, необходимо пройти указанную точку на высоте, не ниже определенной $H_{\text{прт min}} = H_{AA}$, (Рисунок 2).

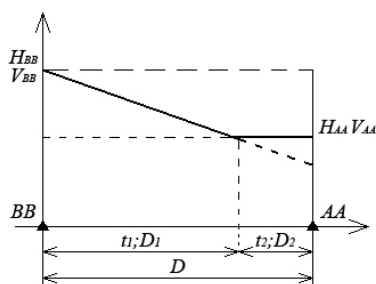


Рисунок 2 – Расчет времени прохождения точек при наличии высотных ограничений по STAR

В этом случае рассчитывается время достижения $H_{\text{прт min}} = (t_1)$, причем достигнутая истинная скорость в этой точке должна сохраняться неизменной до момента перехода в режим дальнейшего снижения.

Тогда, если истинная скорость в точке *BB* равна

$$V_{BB} = V_{кр} \sqrt{\frac{0,0028 H_{кр}^2 - 0,1087 H_{кр} + 1,2226}{0,0028 H_{BB}^2 - 0,1087 H_{BB} + 1,2226}}$$

а в точке *AA* равна

$$V_{AA} = V_{кр} \sqrt{\frac{0,0028 H_{кр}^2 - 0,1087 H_{кр} + 1,2226}{0,0028 H_{AA}^2 - 0,1087 H_{AA} + 1,2226}}$$

и если при снижении

$$t_1 = \frac{H_{BB} - H_{AA}}{V_{верт}}$$

получается таким, что $D_1 = \frac{(V_{BB} + V_{AA}) \cdot t_1}{2} < D$, и, исходя из того, что движение на

этом участке равномерно, необходимо рассчитать

$$t_2 = \frac{D_2}{V_{AA}} = \frac{(D - D_1)}{V_{AA}}$$

На высоте около 400 м ВС, продолжая снижаться, входит в глиссаду. Этот этап посадки называется снижением по глиссаде (глиссада – траектория снижения ВС в вертикальной плоскости на конечном этапе захода на посадку).

Обычно для ВС ГА угол наклона глиссады к горизонтальной плоскости составляет 2°40'– 3°00'. Такой диапазон углов установлен, исходя из условий оптимальных вертикальных скоростей снижения, режимов работы двигателей и условий ухода на второй круг.

Высота 15 м над уровнем ВПП на глиссаде при посадке считается завершением этапа снижения. С этого момента начинается собственно посадка. Следующий этап посадки – выравнивание. На этом этапе траектория полета переходит из наклонной в горизонтальную с постепенным уменьшением вертикальной скорости. Выравнивание заканчивается на высоте около 1 м. Его осуществляют путем увеличения угла атаки, что приводит к увеличению

подъемной силы и уменьшению скорости полета. После окончания этапа выравнивания ВС должен иметь некоторый запас скорости для обеспечения устойчивости в полете.

За этапом выравнивания следует этап выдерживания, который необходим для дальнейшего уменьшения скорости полета. Это достигается постепенным увеличением угла атаки, что приводит, как и на этапе выравнивания, к увеличению коэффициента подъемной силы и уменьшению скорости полета V при сохранении равенства $Y = X$, где X - лобовое сопротивление (горизонтальная составляющая полной аэродинамической силы), Y - подъемная сила (вертикальная составляющая). Далее, при движении ВС в процессе этапа выравнивания подъемная сила постепенно уменьшается и становится меньше массы ВС. Самолет начинает парашютировать и мягко касается ВПП.

При расчетах вопросы динамики полета рассматривались для условий стандартной атмосферы, т.е. влияние отклонения параметров атмосферы на параметры полета ВС не учитывалось.

На глиссаде скорость постоянна до касания полосы. Для расчета времени пролета глиссады в базе данных должна содержаться информация о скорости полета по глиссаде, т.е. посадочной скорости (скорость ВС при касании полосы) для каждого типа ВС, а также о высоте и угле наклона глиссады каждого отдельного аэродрома (для каждого курса).

На этапе полета по глиссаде для расчета используется горизонтальная скорость (вертикальная не учитывается), и, соответственно, проекция глиссады на поверхность земли.

Заключение

Результатами работы являются предложенные математические модели описания этапа движения воздушного судна при посадке. Основное достоинство предложенных математических моделей заключается в описании процессов происходящих на этапе снижения и посадки воздушного судна. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем организации планирования воздушного движения нового поколения, для снижения перегрузок авиалиний, увеличения точности прогнозирования обстановки воздушного движения и как следствие снижения числа аварийных ситуаций. Благодаря предложенным моделям возможно уменьшение расхождения расчетного времени при планировании полета воздушного судна.

Литература

1. Производство полетов воздушных судов // Международная организация гражданской авиации – ИКАО, 2006, 386 с.
2. Новиков П.В. Алгоритм высокоточных вычислений метеодобавки скорости ветра для участка полета воздушного средства – Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2012. № 11, С.5-5 (Электронный ресурс. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17105440>- Проверено 12.02.2012).
3. Ривкин А.М. Модель полета воздушных судов на эшелоне // «Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. №11. - С. 15-15.
4. Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве российской федерации // Приказ Министра обороны Российской Федерации, Министерства транспорта Российской Федерации, Российского авиационно-космического агентства от 31 марта 2002 г. N 136/42/51. 102 с.
5. Бугров Я.С., Никольский С.М. Высшая математика. Том первый: элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. – М.: Дрофа, 2004. - 288 с.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 12-07-31151
в рамках программы «Мой первый грант».

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Однокольцев А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX SIGNAL PROCESSING OF THE PRESSURE SENSOR

Odnokoltcev A.V.

Supervisor: Ph.D. Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются задачи, решаемые при разработке программно-аппаратного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления. Подробно исследована методика обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления. Кратко представлены подсистемы, входящие в программно-аппаратный комплекс обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления и результаты экспериментального исследования датчика давления с пьезорезистивным чувствительным элементом.

abstract

We consider the problem to be solved in the development of hardware and software signal processing of the sensor pressure. Investigated in detail the method of processing the signal of the sensor pressure. Summarizes the subsystems included in the hardware-software complex signal processing of the sensor pressure and experimental study of the pressure sensor with piezoresistive sensor.

Введение

Задача обработки сигнала с чувствительного элемента датчиков давления имеет широкое распространение [1] при проектировании промышленного оборудования, бортовой аппаратуры и других систем в которых имеются гидравлические или пневматические узлы, резервуары под давлением, трубопроводы и т.д.

В настоящее время в датчиках давления широко распространены чувствительные элементы на основе пьезорезисторов.

Датчик давления с пьезорезистивным чувствительным элементом рисунок 1 представляет из себя мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными резисторами, подключенными по схеме моста Уинстона, помещенную в герметичный металло-стеклянный корпус с разделительной диафрагмой из нержавеющей стали, передающий давление измеряемой среды посредством жидкости-наполнителя.

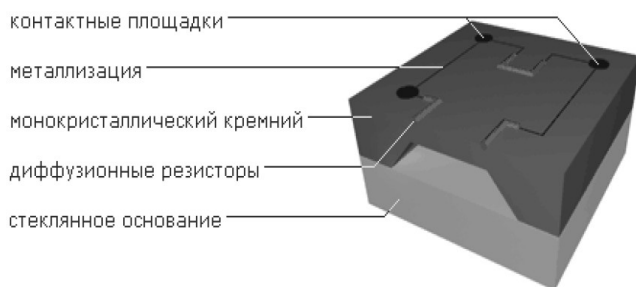


Рисунок 1 – Кремниевый интегральный датчик давления

Описанный выше датчик давления имеет следующие особенности:

- Возможность работы в агрессивных средах;
- Устойчивость к ударным нагрузкам и вибрациям;
- Длительный срок службы;
- Низкие гистерезисные эффекты;
- Низкая цена;
- Компактные размеры и малый вес датчика.

Также немаловажной чертой датчиков давления с пьезорезистивным чувствительным элементом является нелинейность зависимости напряжения на измерительном мосте от приложенного давления [2] и влияния на эту зависимость температуры окружающей среды.

Целью данной работы является решение задачи преобразования значения напряжения на измерительном мосте в величину приложенного к датчику давления, с помощью разработанного программно-аппаратного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления.

Актуальность работы заключается в том что к средствам измерения давления в настоящее время предъявляется все более строгие требования к обеспечению точности измерения и одновременно с этим современная промышленность требует миниатюризации измерительных средств, повышения их энергоэффективности, и наличия современных интерфейсов обмена данными.

Для достижения поставленной цели в рамках работы были решены следующие задачи:

- Разработка моделей подсистем программно-аппаратного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления.
- Разработка методики обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления.
- Разработка программного обеспечения на языке Си для микроконтроллера K1986BE92У фирмы Миландр для реализации методики обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления..

Моделирование подсистем программно-аппаратного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления производилось с использованием пакетов MATLAB/Simulink, а также среды Multisim.

1 Разработка моделей подсистем программно-аппаратного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления.

В состав разработанного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления входят следующие подсистемы:

- Подсистема датчиков;
- Подсистема усиления сигнала;
- Подсистема обработки сигнала;

Подсистема датчиков представляет из себя измерительный мост, с пьезорезисторами и схемой температурной компенсации. Для решения задачи преобразования значения напряжения на измерительном мосте в величину приложенного к датчику давления были экспериментально установлены зависимость напряжения на измерительном мосте от приложенного давления и влияния на эту зависимость температуры окружающей среды. В таблице 1 представлены значения напряжения на измерительном мосте от температуры при давлениях, соответствующих нижнему и верхнему пределу измерения исследуемого датчика.

Таблица 1 - значения напряжения на измерительном мосте от температуры.

Температура чувствительного элемента (°C)	Напряжение на измерительном мосте при давлении Pmax (мВ)	Напряжение на измерительном мосте при давлении Pmin (мВ)
-35	3,64	15,41
-15	3,01	14,62
5	2,28	13,77
25	1,6	12,99
45	0,85	12,18
65	0,23	11,47
85	-0,02	11,22
120	-0,21	10,92

По результатам измерений влияния температуры на зависимость напряжения на измерительном мосте от приложенного давления была найдена аппроксимирующая функция, используемая для расчета приложенного давления.

Как видно из таблицы 1 сигнал на выходе измерительного моста недостаточен для его дальнейшей обработки. Для усиления сигнала была предложена схема, представляющая из себя инструментальный усилитель. Предложенная схема была промоделирована в среде Multisim, по результатам моделирования были определены характеристики сигнала, поступающего на вход подсистемы обработки сигнала.

Подсистема обработки сигнала была реализована с помощью микроконтроллера K1986BE92У фирмы Миландр, имеющего встроенный 12-разрядный АЦП. Микроконтроллер под управлением разработанного программного обеспечения осуществляет преобразование сигнала с чувствительного элемента датчика давления и датчика температуры в цифровой код, усреднение значения полученного сигнала и расчет значения приложенного давления с учетом его зависимости от температуры. Моделирование работы подсистемы обработки сигнала производилось с использованием пакетов MATLAB/Simulink.

2 Разработка методики обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления

В рамках работы была разработана методика обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления. Данная методика была реализована в программном обеспечении для микроконтроллера K1986BE92У фирмы Миландр. Суть предложенной методики заключается в определении значения приложенного давления согласно экспериментально установленной зависимости напряжения на измерительном мосте от приложенного давления. Действующее на датчик давление может быть вычислено на основании данных о напряжении на измерительном мосте и данных о температуре измерительного моста. Для представления экспериментально установленной зависимости напряжения на измерительном мосте от приложенного давления непрерывной функцией была произведена интерполяция [3, 4] с применением многочлена Лагранжа:

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x) \quad (1)$$

где базисные полиномы определяются по формуле:

$$l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \quad (2)$$

Исследуемый датчик при давлении, соответствующем максимальному пределу измерения имеет следующую функцию напряжения на измерительном мосте от температуры:

$$P = t^3 10^{-6} + 5t^2 10^{-6} - 0.0422t + 13.983 \quad (3)$$

При давлении, соответствующем минимальному пределу измерения исследуемый датчик имеет следующую функцию напряжения на измерительном мосте от температуры:

$$P = t^3 10^{-6} + 4t^2 10^{-5} - 0.0364t + 2.4697 \quad (4)$$

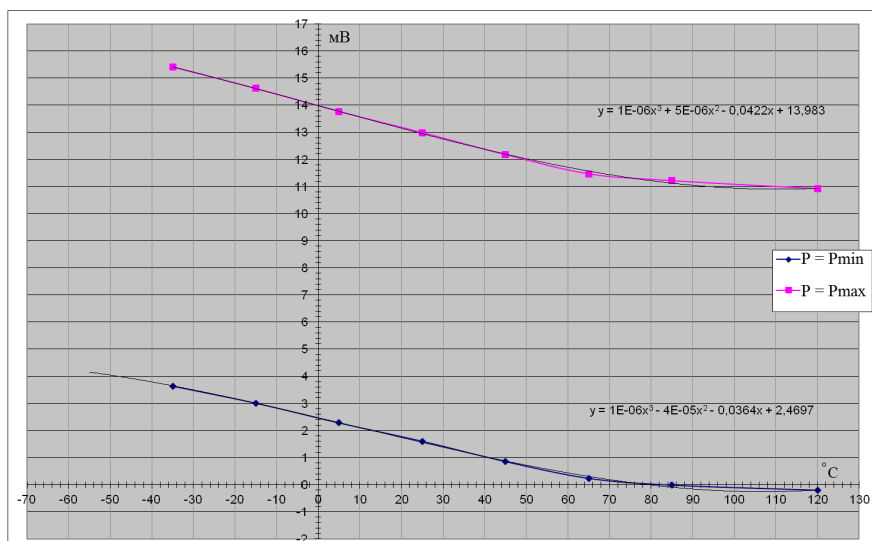


Рисунок 2 - графики зависимости напряжения на измерительном мосте от температуры

Разработанная методика, для устранения влияния ошибок, вносимых измерительным мостом, предусматривает схему смены полярности питания измерительного моста и его импульсное питание, позволяющее не допустить нагревания чувствительного элемента, а так же усреднение снятого с измерительного моста сигнала в периоды подключения в прямой и обратной полярности.

Заключение

В работе были рассмотрены подсистемы, входящие в состав программно-аппаратного комплекса обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления, на основании моделирования которых были получены результаты, примененные при разработке интеллектуального датчика давления. Также была представлена методика обработки сигнала чувствительного элемента датчика давления, реализованная в программном обеспечении на языке Си для микроконтроллера K1986BE92Y фирмы Миландр. Представленная методика позволяет в полной мере использовать вычислительные возможности и развитую периферию современных микроконтроллеров для обеспечения высокой точности измерений при малом энергопотреблении.

Отдельные результаты работы получены в рамках Гранта № 14.В37.21.0453 по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Литература

1. Хаисуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: — М: Издательство стандартов, 1990. 287 с.
2. Михеев В.П., Просандеев А.В. Датчики и детекторы: Учебное пособие. – М.:МИФИ, 2007. – 172 с.
3. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - М.:Лаборатория Базовых Знаний: Физматлит; СПб.: Невский диалект, 2000. - 622 с.
4. Борзов А. Б., Лихоеденко К. П., Цыганков В. Ю., Власов А. И., Тиняков Ю. Н., Андреев К. А., Цивинская Т. А. Термокомпенсация измерительного канала датчика давления на основе полупроводниковых интегральных преобразователей// Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2012. № 11, С.5-5 (10.7463/1112.0482504).

N-МЕРНОЕ ЛОГИКО-ГИСТОГРАММНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Папулин С.Ю.

Научный руководитель: к.т.н. Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

N-DIMENSIONAL LOGIC-HISTOGRAM DATA REPRESENTATION

Papulin S.Y.

Supervisor: c.t.s. Vlasov A.I.
The Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается логико-гистограммное представление данных и его многомерный случай; приводится основное математическое описание многомерного логико-гистограммного представления, которое включает многомерную гистограмму, алгебру гистограммной логики, гистограммное высказывание и вычисление значения гистограммного высказывания.

Abstract

Logic-histogram data representation and its multidimensional case are provided in the article; the main mathematical description of the multidimensional logic-histogram data representation that includes the multidimensional histogram, the algebra of histogram logic, the histogram statement and the calculation of values of histogram statements.

Введение

Гистограмма – одно из наиболее простых и часто используемых средств представления данных, которое позволяет анализировать данные в упрощенном виде. Она не обладает богатым математическим аппаратом, что с одной стороны делает её легко реализуемой в прикладных областях; с другой стороны, значительно ограничивает возможности применения. В то же время существуют средства представления и анализа данных, например, такие как логика высказываний [1], нечёткие множества [1, 2], которые позволяют анализировать данные посредством различного рода логических операций или их аналогов.

В работе [3] приведено логико-гистограммное представление данных, которое позволяет анализировать данные, в частности, определять количественные показатели присутствия элементов в данных с использованием сложных высказываний. Данное средство основано на использовании обычной гистограммы и алгебре гистограммной логики. Далее в работе рассматриваются общие теоретические аспекты логико-гистограммного представления данных и его n -мерный случай.

1 Логико-гистограммное представление данных

В упрощенном виде, логико-гистограммное представление данных – это набор средств анализа гистограммы данных, позволяющий определять количественные показатели присутствия элементов в данных посредством сложных высказываний. ЛГП включает [3]: гистограмму данных, алгебру гистограммной логики, множество элементов высказывания, функцию определения значения высказывания.

Гистограмма – это упорядоченный набор элементов и их значений. Значение элементов гистограммы есть количественный показатель присутствия элемента в данных. Гистограмма, нормализованная по общему количеству элементов в данных, имеет следующий вид:

$$H^N = \left((H(1), \dots, H(M)) \mid 0 \leq H(i) \leq 1, 1 \leq i \leq M, H(i) \in \mathbb{R}, \sum_{i=1}^M H(i) = 1 \right), \quad (1)$$

где M – количество элементов гистограммы.

Если определить U как множество возможных различных элементов, из которых состоят данные, то M может соответствовать количеству элементов в U , т.е. $M = |U|$. Кроме того, тогда множество элементов высказывания можно определить через U следующим образом:

$$E^G = \{E | E \subseteq U\}. \quad (2)$$

Алгебра гистограммной логики имеет следующий вид [3]:

$$\mathcal{H} = \langle H^G; \wedge, \vee, \dot{\vee}, \backslash, \bar{\quad}, \mathbf{0}, \mathbf{1} \rangle, \quad (3)$$

где H^G – множество гистограммных представлений данных, рассматриваемых относительно гистограммы данных H^N ; $\wedge, \vee, \dot{\vee}, \backslash$ – бинарные (двуместные) операции «И», «ИЛИ», «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», «КРОМЕ»; $\bar{\quad}$ – унарная (одноместная) операция отрицания; $\mathbf{0}, \mathbf{1}$ – константы ($\mathbf{0}$ – гистограмма, значения всех элементов которой равны нулю); $\mathbf{1} = H^N$; $\mathbf{0}, \mathbf{1} \in H^G$. При бинарном случае логико-гистограммного представления множество H^G имеет вид:

$$H^G = \{(H(1), \dots, H(M)) | H(i) = \{0, H^N(i)\}; 1 \leq i \leq M, \sum_{i=1}^M H(i) \leq 1\}. \quad (4)$$

Для формирования сложных высказываний используются элементы из (2) и операции из (3). Элементное высказывание S_E преобразуется в гистограммное за счет сопоставления каждого элемента элементного высказывания с соответствующей ему гистограммой из H^G . Гистограммное высказывание можно представить следующим образом:

$$S_H = \text{Высказывание}_H(H_1, \dots, H_D) = H \in H^G \quad (5)$$

где D – количество элементов гистограммного высказывания.

Гистограммное высказывание посредством операций (3) преобразуется в элемент множества H^G . Тогда количественный показатель присутствия некоторого набора элементов или значение гистограммного высказывания определяется по следующей формуле:

$$\Sigma_H = \sum_{i=1}^M H(i). \quad (6)$$

Таким образом, приведенный выше материал касается общего математического описания и строения используемых средств в логико-гистограммном представлении данных. На приведенных положениях основывается n -мерный случай логико-гистограммного представления, который рассматривается далее.

2 N-мерное логико-гистограммное представление данных

При анализе данных его элементы или группы элементов могут обладать сразу несколькими различными свойствами. В этом случае данные можно представить как набор гистограмм (1), каждая из которых отвечает за то или иное свойство. Тогда каждая такая гистограмма определяет одну размерность, а общую или n -мерную гистограмму данных можно записать следующим образом:

$$H^N = (H_1^N, \dots, H_L^N), \quad (7)$$

где H_i^N – гистограмма i -ого свойства; L – количество свойств, $1 \leq i \leq L$. Далее предполагаем, что H_i^N – нормализованная гистограмма, т.е. сумма элементов гистограммы равна единице.

Множество элементов для n -мерного случая будет иметь следующий вид:

$$E^G = \{E_1, \dots, E_L\}. \quad (8)$$

где E_i – множество элементов вида (2) i -ого свойства.

Тогда алгебру n -мерной гистограммной логики можно представить следующим образом:

$$\mathcal{H} = \langle H^G; \wedge, \vee, \dot{\vee}, \backslash, \bar{\quad}, \mathbf{0}, \mathbf{1} \rangle, \quad (9)$$

где

$$\mathbf{H}^G = \left\{ (H_1^G, \dots, H_L^G) \mid 0 \leq \sum_{j=1}^{M_i} H_i(j) \leq 1; \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_i} H_i(j) \leq L \right\}, \quad (10)$$

где H_i^G есть множество гистограммных представлений, рассматриваемых относительно гистограммы данных H_i^N , для бинарного случая H_i^G имеет вид (4); $H_i(j)$ – j -ый элемент гистограммы i -ого свойства; M_i – количество элементов гистограммы i -ого свойства.

Для n -мерного случая бинарные операции «И», «ИЛИ», «ИСКЛ. ИЛИ», «КРОМЕ» можно записать в следующем виде, соответственно:

$$\mathbf{H}_1 \wedge \mathbf{H}_2 = (H_{1,1} \wedge H_{2,1}, \dots, H_{1,L} \wedge H_{2,L}), \quad (11)$$

$$\mathbf{H}_1 \vee \mathbf{H}_2 = (H_{1,1} \vee H_{2,1}, \dots, H_{1,L} \vee H_{2,L}), \quad (12)$$

$$\mathbf{H}_1 \dot{\vee} \mathbf{H}_2 = (H_{1,1} \dot{\vee} H_{2,1}, \dots, H_{1,L} \dot{\vee} H_{2,L}), \quad (13)$$

$$\mathbf{H}_1 \setminus \mathbf{H}_2 = (H_{1,1} \setminus H_{2,1}, \dots, H_{1,L} \setminus H_{2,L}), \quad (14)$$

где $\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$ – элементы множества \mathbf{H}^G ; $H_{k,i}$ – элемент множества H_i^G ; k – индекс элементов $\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$.

Одноместная операция отрицания имеет следующий вид:

$$\overline{\mathbf{H}} = (\overline{H_1}, \dots, \overline{H_L}). \quad (15)$$

где \mathbf{H} – элементы множества \mathbf{H}^G .

Константы $\mathbf{0}, \mathbf{1}$ можно обозначить следующим образом, соответственно:

$$\mathbf{0} = (\mathbf{0}_1, \dots, \mathbf{0}_L), \quad (16)$$

$$\mathbf{1} = \mathbf{H}^N = (\mathbf{1}_1, \dots, \mathbf{1}_L). \quad (17)$$

Гистограммное высказывание (5) для n -мерного случая представляется следующим выражением:

$$S_{\mathbf{H}} = \text{Высказывание}_{\mathbf{H}}(\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_D) = \mathbf{H} \in \mathbf{H}^G \quad (18)$$

где \mathbf{H}_i – i -ая гистограмма в контексте \mathbf{H}^N , элемент множества \mathbf{H}^G .

Количественный показатель (6) для n -мерного случая вычисляется по следующей формуле:

$$\varepsilon_{\mathbf{H}} = \sum_{i=1}^L \varepsilon_{H_i} = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_i} H_i(j). \quad (19)$$

Таким образом, n -мерное логико-гистограммное представление предназначено для анализа данных одновременно по нескольким свойствам посредством высказываний, в том числе сложных. Кроме того, рассмотренный в первом разделе данной работы случай логико-гистограммного представления можно рассматривать как частный по отношению к многомерному.

Заключение

Логико-гистограммное представление в отличие от просто гистограммы предоставляет средства анализа данных с использованием сложных высказываний. При этом значение высказываний есть количественный показатель присутствия некоторого набора элементов в данных. Более того, рассмотренное в данной работе многомерное логико-гистограммное представление данных позволяет анализировать одни данные сразу по нескольким свойствам (признакам). Таким образом, многомерный случай расширяет возможности логико-гистограммного представления за счёт добавления дополнительных размерностей.

Литература

1. Матвеев М.Г., Свиридов А.С., Алейникова Н.А. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. 448с.;
2. Коньшева Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие. СПб.: Питер, 2011. 192с.;
3. Папулин С.Ю. Способ поиска изображений по содержанию на основе логико-гистограммного представления признака цвета с применением текстового запроса пользователя // Итоги диссертационного исследования. Том 3. Материалы IV Всероссийского конкурса молодых ученых. М.: РАН, 2012. С.95–106.

ОСОБЕННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ADVANCED TECHNOLOGY EXTENDED (ATX) БЛОКОВ ПИТАНИЯ В ЦЕПЯХ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Саяпин В.Е.

Научный руководитель: профессор Шахнов В.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

APPLYING PECULIARITIES OF ADVANCED TECHNOLOGY EXTENDED (ATX) IN CHAINS WITH SERIES CURCUIITS OF POWER SUPPLIES

Sayapin V.E.

Supervisor: Dr., Prof. Shakhnov V.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье описана особенность применения стандартного ATX блока питания, способная привести к неработоспособности схемы, когда он используется в качестве первичного источника электропитания для вычислительной системы, основанной на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Описаны условия стабильного запуска ПЛИС, и приведено несколько вариантов решения возможных ошибок, появление которых связано с особенностью блока питания.

Annotation

This article describes the peculiarity of the standard ATX power supply that can lead to an inoperability of the scheme as the primary source of power in a computer system based on programmable logic integrated circuits (FPGAs). The conditions for a stable launch FPGA are discussed, and the solutions of possible errors, which can be found within this peculiarity are mentioned.

Введение

Для того чтобы гарантировать работоспособность серийных изделий при проектировании сложных вычислительных систем часто возникает потребность в их первоначальном прототипировании. В электронике для этих целей чаще всего используют ПЛИС. Разнообразие микросхем очень велико, и каждая из них требует особых условий для своей стабильной работы. Чаще всего необходимо питание с большим числом номиналов и определенной очередностью их подачи. Потребление тока по номиналам, в зависимости от количества логики внутри ПЛИС, может достигать больших величин. Поэтому почти всегда для питания таких систем используют стандартный, широко применяемый ATX блок питания.

В работе приведено описание подсистемы питания прототипа модуля канала ввода-вывода, построенного на базе ПЛИС Stratix IV EP4SGX110 фирмы Altera и вторичных источников питания фирмы PowerOne.

1 Концепция подсистемы питания прототипа модуля канала ввода-вывода

Прототип модуля канала ввода-вывода служит для преобразования данных между интерфейсом, построенным на основе шины низковольтных дифференциальных пар (LVDS), и интерфейсом SSTL-15. На рисунке 1.1 приведена структурная схема модуля.

Модуль выполнен в виде карты расширения по стандарту PCI-E x16 на основе 8-ми слойной печатной платы. Питание на плату поступает через разъем, установленный на материнской плате, которая в свою очередь питалась от ATX блока питания. Система может тактироваться от внешнего тактового сигнала с уровнями LVPECL, который или проходит через разъем и буферный элемент, или создается установленным на плате тактовым генератором. Для хранения прошивки используется микросхема-конфигуратор EPCS64.

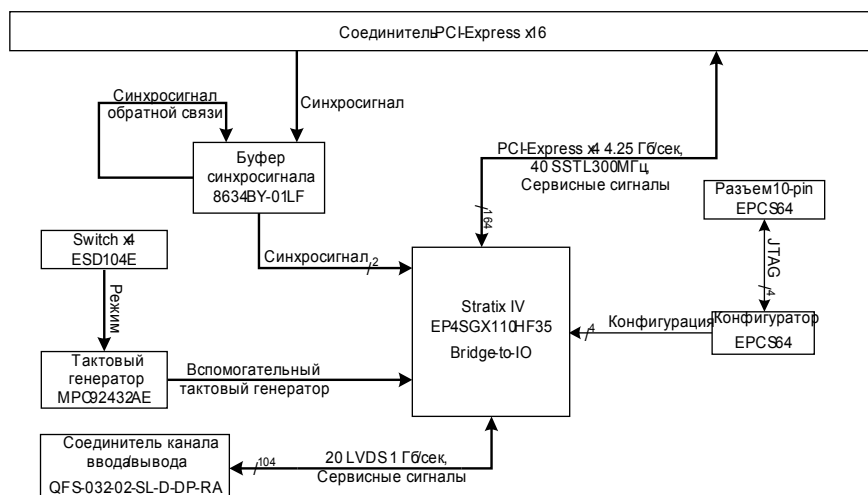


Рисунок 1.1 – Структурная схема модуля канала ввода-вывода

При проектировании подсистемы питания учитывались рекомендации, приведенные в официальном листе данных на ПЛИС [1]. Для ее работы требуются следующие номиналы питания: V_{cc} (0.9В), V_{ccpt} (1.5В), V_{ccpgm} (2.5В), V_{ccpd} (2.5В) и V_{ccaux} (2.5В) вспомогательного питания. В документе акцентировалось, что вспомогательное V_{ccaux} должно подаваться на ПЛИС после питания ядра V_{cc} . А документ Egrata [2] описывал, зачем это требуется. В ПЛИС семейства Stratix IV GX встроена схема контроля за начальной установкой питания - Power-On Reset Circuitry (POR). Она следит за уровнями входных напряжений питания, и лишь после достижения ими их номинальных значений, она разрешает работу ПЛИС. А до тех пор микросхема находится в состоянии сброса. Признаком начала работы ПЛИС является переход сигнала $nSTATUS$ из состояния логического “0” в состояние логической “1”. Однако если V_{ccaux} устанавливается раньше, чем питание ядра, то возможен сбой, в результате которого микросхема не выйдет из режима POR.

Учитывая вышеуказанное обстоятельство, было решено реализовывать последовательное включение источников питания. Был проведен оценочный расчет потребления питания по номиналам, результат которого приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Оценочный расчет потребления питания

Номинал, В	Потребляемый ток, А	Источник питания	Питание источника, В
0.9	6.5	YS05S10	3.3
1.5	1.0	YEV09T03	5
2.5	1.5	YEV09T03	5
2.5 (Вспомогательное)	2	YEV09T03	5

Импульсные стабилизаторы оказались предпочтительнее линейных в виду достаточно больших токов. Их эффективность, так же как и у линейных стабилизаторов, выше при меньшей разнице входного и выходного напряжений, хотя влияние этого фактора не столь критично. Основываясь на вышесказанном, источник на 0.9В был выбран таким, чтобы он мог работать от 3.3В. Остальные источники, из соображения равномерной нагрузки входных

линий питания, подбирались такими, чтобы работать от 5В или 12В. Этим требованиям отлично удовлетворяли источники YS05S10 [3] на 10А и YEVO9T03 [4] на 3А фирмы PowerOne соответственно.

Схема включения источников приведена на рисунке 1.2. Она была разработана так, чтобы первоначально вырабатывалось напряжение 0,9, 1,5 и 2,5В, и лишь затем начиналась генерация вспомогательного напряжения 2,5В.

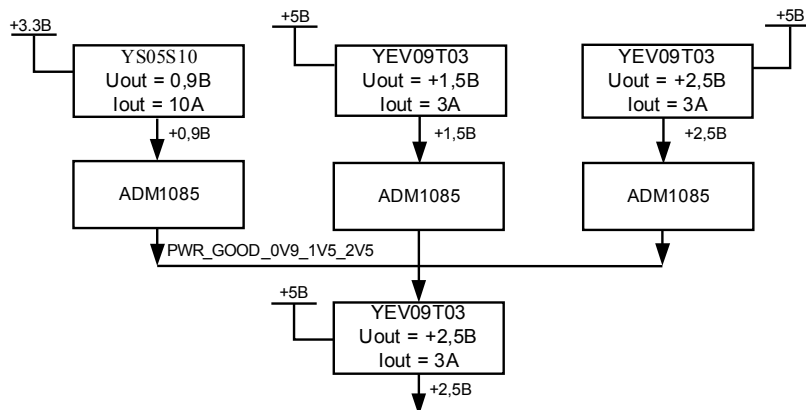


Рисунок 1.2 – Схема включения источников питания

У каждого источника есть входной сигнал *ON/OFF*, который выключает стабилизатор при подаче на него логического “0”. Если вход микросхемы оставить неподключенным, то напряжение будет генерироваться непрерывно. Управлять этим входом следует с помощью выхода с открытым стоком. Например, такой выход имеется у специальной микросхемы – монитора питания ADM1085 [5] фирмы AnalogDevices. Типовая схема его включения приведена на рисунке 1.3.

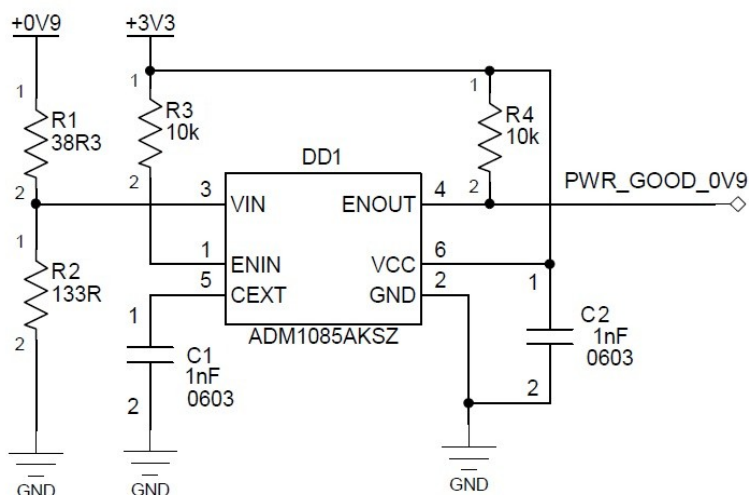


Рисунок 1.3 – Схема включения монитора питания

Микросхема работает следующим образом – входное напряжение сравнивается с внутренним опорным, равным 0,6В. Для этого на вход *Vin* подается потенциал с резистивного делителя, который должен быть приблизительно на 10% больше опорного:

$$V_{in} \approx 0.66 \text{ В} \quad (1)$$

Для приведенного на рисунке 1.2 случая:

$$V_{in} = V_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.9 \cdot \frac{133}{38.3 + 133} = 0.9 \cdot 0.77 \approx 0.69 \quad (2)$$

Если входное напряжение V_{in} меньше опорного, на выходе устанавливается логический “0”, если больше – выход находится в высокоимпедансном состоянии. Если питание на микросхему не подано, то выход так же находится в третьем состоянии. В этом случае утяжка R_4 обеспечивает состояние логической “1”.

Таким образом, из рисунка 1.2 следует, что пока уровни напряжений 0.9, 1.5 и 2.5В не достигали номинальных значений, сигнал $PWR_GOOD_0V9_1V5_2V5$ удерживался в состоянии логического “0”, тем самым запрещая работу источника V_{ccaux} (2.5В). Когда номиналы выставлялись, сигнал $PWR_GOOD_0V9_1V5_2V5$ принял состояние логической “1” и работа стабилизатора V_{ccaux} была разрешена.

2 Тестирование модуля

После того, как модуль был закончен, плата изготовлена и запаяна, началось тестирование. Общий вид разработанной платы модуля приведен на рисунке 2.1.

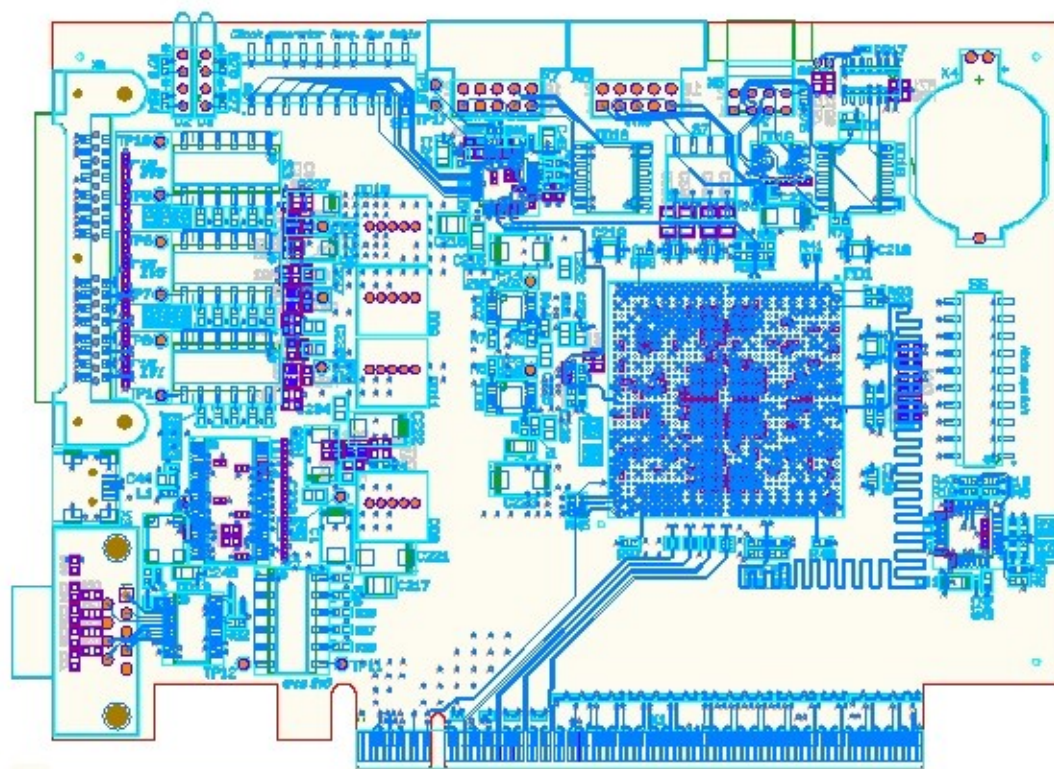


Рисунок 2.1 – Общий вид разработанной платы модуля

Сразу было выявлено, что ПЛИС не поддается прошивке. С помощью мультиметра удалось выяснить, что сигнал $nSTATUS$ имеет низкий логический уровень, следовательно, ПЛИС не вышла из POR!

Цифровой запоминающий осциллограф позволил увидеть, что происходило со вторичным питанием на модуле, при включении питания материнской платы [6, 7]. Полученная осциллограмма зависимости напряжения на выходе источников V_{cc} (0.9В) и V_{ccaux} (2.5В) от времени приведена на рисунке 2.2. На диаграмме отчетливо видно, что V_{ccaux} появлялось на 15мс раньше, чем появлялось напряжение ядра V_{cc} .

Но это напрямую противоречило разработанной ранее цепочки включения питания! Стало понятно, почему ПЛИС не начинала работать, ведь в ее документации было указано, что последовательность должна быть обратной.

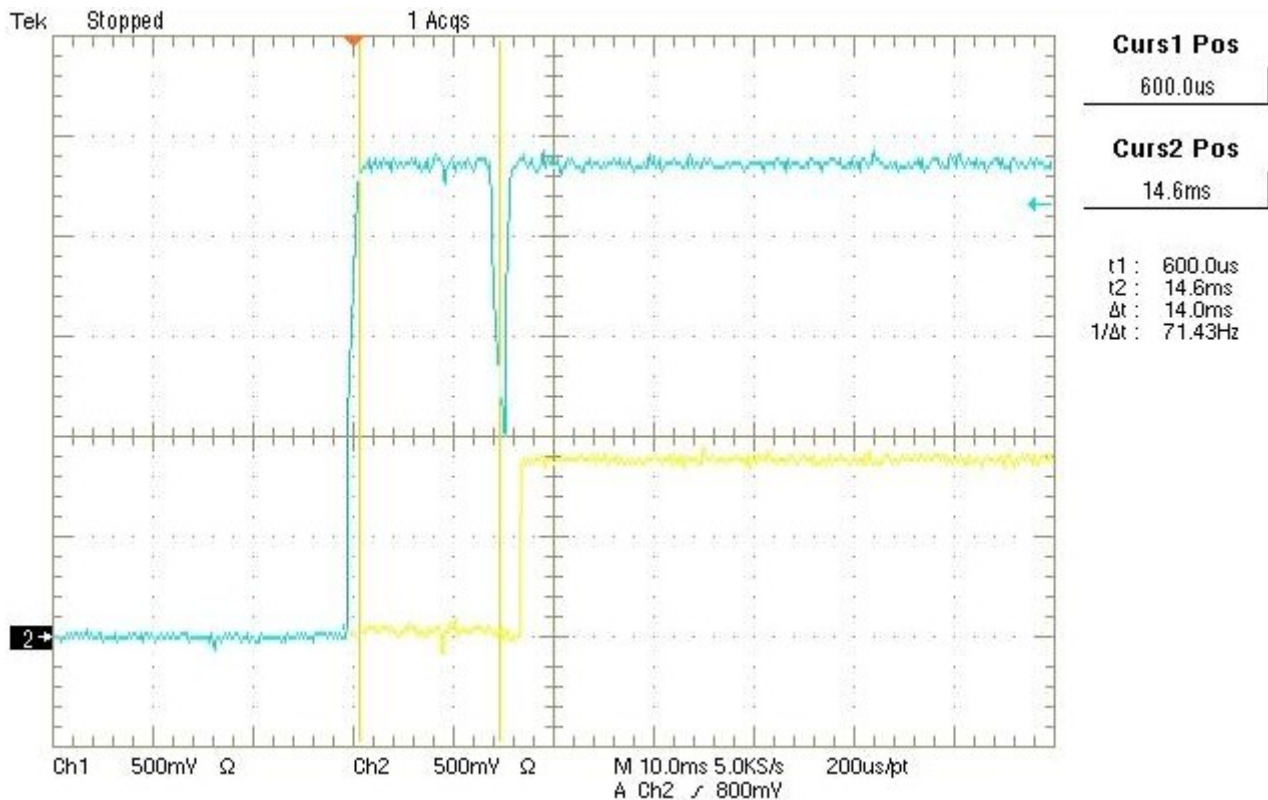


Рисунок 2.2 – Осциллограмма момента включения вторичных источников питания

Ошибка, как позже выяснилось, заключалась в недостаточном понимании работы АТХ блока питания. В ходе изучения стандарта АТХ на блоки питания[6], были выяснены следующие моменты:

- Номиналы 12В и 5В должны быть больше номинала 3.3В в течении всего времени запуска блока и в нормальных режимах работы;
- Время между полным достижением своих номинальных значений 12В и 5В и установлением 3.3В не должно превышать 20мс.

Зная эту особенность, стало понятно, почему V_{ccaux} появилось самым первым. В момент подачи питания на модуль, включались все источники, подключенные к 5В. Казалось бы V_{ccaux} не должно было активироваться, но его вход *ON/OFF* был подключен к выходам мониторов питания, напряжение на которые не было подано, а, следовательно, их выходы находились в третьем состоянии. Из-за этого утяжка внутри источника устанавливала на входе *ON/OFF* логическую “1”, тем самым разрешая его работу. До появления на плате 3.3В от номинала V_{ccaux} заряжались конденсаторы. Когда напряжение 3.3В появилось на плате, монитор питания установил на своем выходе состояние логического “0”. Он запретил генерацию V_{ccaux} , до тех пор, пока источник V_{cc} , рассчитанный на 0.9В, не достиг своего номинального значения.

Этот момент хорошо заметен на рисунке 2.2 в виде провала уровня V_{ccaux} . Уровень напряжения не успел опуститься до нуля, так как конденсаторы уже были заряжены и для их разрядки требовалось определенное количество времени. Продолжительность пониженного уровня V_{ccaux} оказалось недостаточной, чтобы схема POR в ПЛИС правильно восприняла последовательность включения входного питания.

После установления номинального значения источника на 0.9В, все мониторы питания разрешили генерацию $V_{ссaux}$, и дальше подача питания проходила без сбоев.

3 Варианты решения проблемы

Рассмотрим наиболее простые решения поставленной проблемы, чтобы не допускать возникновения этой проблемы в будущем.

1) Использование сигнала *PWR_OK* блока питания.

Сигнал *PWR_OK* устанавливается блоком питания в логическую “1” после того, как внутренняя проверка показывает, что все уровни напряжений достигли своих номинальных значений. Этот сигнал можно подать на вход *ON/OFF* первого источника питания. Тем самым цепочку питания запускается только после гарантированного появления номинала 3.3В на плате. Такой вариант возможен на рассматриваемой PCI-E карте, так как в стандарте сигнал *PWR_OK* присутствует.

2) Использование 5VSB для питания мониторов питания.

У каждого ATX блока есть слаботочная шина 5VSB, питание на которую подается даже в выключенном состоянии. К этой шине можно подключить мониторы питания. В таком случае, их выход будет находиться в третьем состоянии только тогда, когда уровень напряжения, за которым они следят, будет больше опорного 0.6В. Однако, такая шина предусмотрена не во всех стандартах.

3) Формирование напряжения 3.3В для питания мониторов питания.

Вариант, который возможен на любой плате расширения, аналогичен рассмотренному выше. Так как номиналы 5В и 12В всегда появляются первыми, то необходимо установить источник на 3.3В. Например, он подключается к 5В шине, для запитывания мониторов питания. Таким образом, в отличие от варианта №2, модуль не потребляет тока, пока он неактивен.

Заключение

В результате использования дополнительного источника питания на 3.3В, удалось избавиться от ошибки в работе POR в серийном изделии. Были выработаны различные варианты решения обнаруженной проблемы, каждый из которых имеет право на жизнь.

В настоящий момент в ходе разработки каждого нового прототипа на базе ПЛИС учитывается рассмотренная особенность ATX блоков питания, чтобы исключить вероятность возникновения сбоев в дальнейшем.

Литература

1. Stratix IV Device Handbook, version 1.5, 2011, Altera.
2. Errata Sheet for Stratix IV GX Devices, version 6.1, 2012, Altera.
3. YS05S10 DC-DC Converter DataSheet, MCD10204 Rev. 1.0, 24-Jun-10, 2010, PowerOne.
4. YE09T03 DC-DC Converter DataSheet, ZD-01968 Rev 1.2, 18-Jun-10, 2010, PowerOne.
5. Simple Sequencers in 6-Lead SC70 ADM1085, Rev A, 2006, 2010, AnalogDevices.
6. ATX12V Power Supply Design Guide, Version 2.01, 2004, Intel Corporation.
7. Ю.И.Нестеров, А.И.Власов, Б.Н.Першин Виртуальный измерительный комплекс// Датчики и системы. №4. 2000 - С.12-22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТЕНДА РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Шкулёва Е.Н.

Научный руководитель: доцент, Соловьев В.А.

МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC FIELDS BASED ON RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION STAND

Shkuleva E.N.

Supervisor: Soloviev V.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассматриваются понятия электромагнитных полей, радиочастотной идентификации на основе учебно-лабораторного комплекса. Основой стенда является бесконтактное устройство радиочастотного опознавания на базе РЧИ. Проводится расчёт работы влияния экранов на распространения электромагнитных волн, выявлен алгоритм для изучения поведения и проницаемости электромагнитных волн. Проведен ряд экспериментов, на основе которых разработана методика по исследованию радиочастотной идентификации, которая сведена в учебно-лабораторную работу.

Abstract

This paper examines the concepts of electromagnetic fields, radio frequency identification-based teaching laboratory complex. The basis of the stand is a non-contact radio frequency identification device based on RFID. I calculate the influence of the screen on the propagation of electromagnetic waves detected algorithm to study the behavior and the permeability of the electromagnetic waves. A number of experiments is exist, on which the technique for the study of radio-frequency identification, which is incorporated into a training-laboratory work.

Введение

В современном мире резко возрастают потребности в отслеживании перемещений и идентификации объектов, а также в постоянном обновлении информации о состоянии этих объектов. Главная задача автоматизированной информационной системы заключается в том, чтобы получаемая информация была максимально достоверной. Это необходимо, потому что на поиск и отсеивание неверной информации в больших массивах данных придется затратить немало времени и средств.

Технологии автоматической идентификации, включающие распознавание и регистрацию объектов в реальном времени без участия человека (беспроводной), наиболее полно соответствуют этой задаче. Эти технологии базируются на штриховом или радиочастотном кодировании.

Радиочастотная идентификация (RFID) - это самая современная технология идентификации, предоставляющая существенно больше возможностей по сравнению с другими, диапазон объектов, которые могут быть идентифицированы, практически безграничен. Технология RFID является одной из технологий автоматической идентификации, к которым также относятся штрих коды, биометрические методы, идентификация голоса и системы оптического распознавания символов, электронные паспорта, системы идентификации людей на расстоянии. Например, карточка для прохода в метро является частным случаем пассивной «метки» системы радиочастотной идентификации.

Сфера применения RFID-технологии практически не ограничена: большинство проектов находится в стадии внедрения и требуют доработки. Некоторые в настоящее время активно используются: у каждого автомобиля есть иммобилайзер, который является противоугонным средством.

Применение учебно-лабораторного комплекса изучения радиочастотной идентификации в рамках учебного курса может помочь студентам составить достаточно полное представление о данной области, разобраться в понятии RFID и даже самостоятельно промоделировать данный стенд, служить началом для привлечения студентов к изучению данной технологии, занятия научно-прикладными проектами в данном направлении.

1 Исследования распространения электромагнитных волн

Электромагнитное поле – это особая форма материи, с помощью которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами. Количественно эффективность электромагнитного экрана или эффективность экранирования от плоской проводящей поверхности можно характеризовать отношением напряженностей поля в защищаемой области пространства при отсутствии экрана (E_0 или H_0) и при наличии его (E или H) (1).

$$E = \frac{E_0}{E} \text{ или } \mathcal{E} = \frac{H_0}{H} \quad (1)$$

В общем случае экран не только ослабляет, но и искажает в большей или меньшей степени поле источника в защищаемой области пространства. Поэтому его эффективность оказывается различной для электрической и магнитной составляющих поля и зависит от координат точки измерения, что затрудняет ее количественную оценку. В простейших случаях эффективность экрана определяется однозначно: экранирование полупространства от плоской электромагнитной волны бесконечным плоским однородным экраном; экранирование однородным шаровым экраном точечного источника, расположенного в его центре; экранирование однородным бесконечно протяженным цилиндрическим экраном линейного источника, лежащего на его оси [1]. Точность оценки падает.

При отвесном падении плоской электромагнитной волны на плоскую поверхность раздела двух сред: свободного пространства и металла, - применяется уравнение плоской моногармонической электромагнитной волны с частотой ω . Частота распространяется вдоль оси x в положительном направлении в однородной среде с абсолютными магнитной и диэлектрической проницаемостями μ_a и ε_a и удельной проводимостью δ . Уравнение имеет вид (2):

$$\frac{dE}{dx} = -j\omega\mu_a \dot{H}; \quad \frac{dH}{dx} = -j\omega\varepsilon_a \dot{E} \quad (2)$$

Отражение электромагнитной волны от поверхности экрана и ослабление при проникновении сквозь него характеризуется величиной $\mathcal{E}_{пл}$ (3):

$$\mathcal{E}_{пл} = \mathcal{E}_{пл\text{отр}} \mathcal{E}_{пл\text{осл}}, \quad (3)$$

где первый из этих сомножителей характеризует эффективность отражения первичной падающей волны электрического поля от поверхности экрана, а второй сомножитель правой части (3) характеризует степень ослабления электрической составляющей при проникновении поля сквозь толщу стенки экрана. Стальной экран на всех частотах, а особенно на высоких отражает хуже медного и алюминиевого (из-за меньшей величины удельной проводимости и много меньшей глубины проникновения). На высоких частотах в нем значительно больше ослабление при проникновении (из-за много меньшей глубины проникновения).

В некоторых случаях по конструктивным соображениям удобно делать экран не из сплошного листового материала, а из металлической сетки.

2 Исследования ослабление электромагнитного поля

Ослабление электромагнитного поля происходит при процессе экранирования электромагнитного поля при падении плоской волны на бесконечно протяженную металлическую пластину толщиной d , находящуюся в воздухе. В этом случае на границе

раздела двух сред с различными электрофизическими характеристиками (воздух—металл и металл—воздух) волна претерпевает отражение и преломление, а в толще экрана, ввиду его проводящих свойств, происходит частичное поглощение энергии электромагнитного поля. Электромагнитная волна при взаимодействии с экраном отражается от его поверхности, частично проникает в стенку экрана, претерпевает поглощение в материале экрана, многократно отражается от стенок экрана и, в конечном счете, частично проникает в экранируемую область [1]. В результате общая эффективность экранирования (величина потерь энергии электромагнитной волны) металлической пластиной определяется суммой потерь за счет поглощения (затухания) энергии в толще материала $A_{\text{погл}}$, отражения энергии от границ раздела внешняя среда—металл и металл—экранируемая область $A_{\text{отр}}$ и многократных внутренних отражений в стенках экрана $A_{\text{мотр}}$ (4):

$$A_{[\text{дБ}]} = A_{\text{погл}} + A_{\text{отр}} + A_{\text{мотр}} \quad (4)$$

Потери на поглощение связаны с поверхностным эффектом в проводниках, приводящим к экспоненциальному уменьшению амплитуды проникающих в металлический экран электрических и магнитных полей.

3 Структура и состав лабораторного стенда исследования электромагнитных полей на основе стенда радиочастотной идентификации

Учебно-лабораторный комплекс, на котором исследуется поведение электромагнитных волн, состоит из лабораторного стенда (рисунок 1), набора экранов, набора меток, блок электропитания.



Рисунок 1 – Учебно-лабораторный стенд исследования электромагнитных полей на основе стенда радиочастотной идентификации

Проведя анализ теоретической информации данной технологии для реализации учебно-лабораторного комплекса для исследований электромагнитных волн на основе RFID - систем была выбрана частота 125КГц. Питание комплекса осуществляется от сети 220В, а потребляемый ток не более 3А. Стенд отражает работу системы радиочастотной идентификации, за счет представленной в нем теоретической информации, комплекта

радиочастотных меток, разобранных меток, помещенных на лицевую часть учебно-лабораторного комплекса, а также графических схем работы технологии.

Работа с лабораторным комплексом строится следующим образом: сначала программируется лабораторный стенд и метки к нему. Затем при поднесении метки к антенне-излучателю, данные считываются и подаются в логический анализатор. Логический анализатор обращается к памяти системы, в которой записаны все метки, разрешенные к опознанию. Если кодовый номер метки находится в памяти, то система обрабатывает и подает на внешнее подключаемое устройство разрешающий сигнал. Если идентификатора метки в памяти не присутствует, то система остается в исходном состоянии, ожидая поднесения следующей метки.

При каждом измерении антенна должна ориентироваться так, чтобы показания измерительного прибора были максимальны, поскольку измерительная аппаратура может исказить исследуемое поле. Необходимо выполнить несколько измерений при различных расположениях корпуса измерителя относительно антенны, чтобы оценить степень влияния этого искажения на результаты измерения. Эффективность экранирования определяется как отношение полученных средних значений напряженности поля без экрана и с экраном. Вначале проводятся измерения без экранирования, после проводятся измерения с экранами.

После проведения экспериментов по полученным результатам разработана методика по исследованию радиочастотной идентификации, которая сведена в учебно-лабораторную работу.

4 Исследования методов радиочастотной идентификации

Объектом исследования является поведения электромагнитных волн при работе с экранами методом радиочастотной идентификацией на примере учебно-лабораторного комплекса.

Классификация оборудования радиочастотной идентификации:

1. Метки (транспондер) – устройства, способные хранить и передавать данные. В памяти меток содержится их уникальный идентификационный код. Метки некоторых типов имеют перезаписываемую память.

2. Считыватели – приборы, которые с помощью антенн получают информацию из меток, а также записывают в них данные.

3. Антенны используются для наведения электромагнитного поля и получения информации от меток, попавших в это поле.

4. Система управления считывателями – программное обеспечение, которое формирует запросы на чтение или запись меток, управляет считывателями, объединяя их в группы, накапливает и анализирует полученную с меток информацию, а также передает эту информацию в учетные системы.

Если известна максимально допустимая напряженность магнитного поля, при которой метка еще способна ответить на запрос считывающего устройства, то с учетом особенностей конкретного считывающего устройства становится возможным определить «энергетическую» дальность действия такой системы: расстояние от антенны считывающего устройства, при котором транспондер еще получает достаточное количество энергии для своей работы.

Зададим значение текущего по антенне тока I (если значение протекающего через антенну тока неизвестно, то при известном радиусе R антенны и известном числе витков N можно измерить распределение напряженности $H(x)$ в точке x и вычислить значение тока I , который течет через антенну), радиус R и количество витков N катушки передающей антенны. В этом случае можно рассчитать зависимость напряженности магнитного поля в направлении оси x с помощью формулы (5):

$$H = \frac{I \cdot N \cdot R^2}{2 \sqrt{((R^2 + x^2))^3}} \quad (5)$$

При увеличении тока потребления метки (что соответствует уменьшению R) увеличивается минимальная напряженность, необходимая для проведения ответной передачи данных, и уменьшается энергетическая дальность. Максимальная энергетическая дальность определяется расстоянием между антенной считывающего устройства и транспондером, при котором резонансный контур не является нагруженным и обеспечивается минимально допустимое напряжение питания для микросхемы метки.

Заключение

У радиочастотной идентификации имеется возможность перезаписи, считывателю не требуется видимость прямой метки, чтобы считать с неё данные, большое расстояние чтения, большой объём хранения данных, поддержка чтения нескольких меток, устойчивость к воздействию окружающей среды. Выявлено в результате исследования, что радиочастотные системы подвержены помехам в виде электромагнитных полей, сложность самостоятельного изготовления.

Сфера применения RFID-технологии практически не ограничена, применение в самых разнообразных сферах человеческой деятельности: информация о положении объекта, промышленность, системы контроля и управления доступом, медицина, библиотеки, паспорта, дистанционное управление, человеческие имплантаты, информация о положении объекта, в системах безопасности. Потенциал применения RFID огромен.

В данной работе было проанализировано поведение электромагнитных волн при работе с экранами, проведено исследование радиочастотной идентификации. Как следствие получена методика анализа электромагнитных волн на основе технологии радиочастотной идентификации. Получены методики экспериментов, данные сведены в учебно-лабораторную работу.

Литература

1. Рогинский В.Ю. Экранирование в радиоустройствах. Л.: Энергия, 1970. 111 с. с ил.
2. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Советское радио, 1972. 280 с. с ил.
3. Manish B., Shahram M. RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems. Prentice Hall PTR, 2005 - 288с

ЧАСТНАЯ ЗАДАЧА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Щукин И.В.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

PRIVATE TASK OF FORMING BEHAVIOR OF MOBILE ROBOT

Shchukin I.V.

Supervisor: Yudin A.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются роботы для участия в соревнованиях. Подробно исследовано влияние различных компонентов робота на успех в соревновании. Кратко представлены данные о роботах, участвовавших в соревнованиях. Проведен анализ на основе этих данных. Представлен алгоритм работы робота и эксперименты для проверки робота. В заключении представлены рекомендации по выбору компонентов для робота.

Annotation

The article deals with robots for competitions. Detailed study of the effect of various components of the robot to succeed in the competition. Summarizes the information about robots take part in competitions. This analysis on the basis of these data. Present an algorithm of the robot and the experiments to test the robot. In conclusion, presented recommendations for choosing components for the robot.

Введение

Современное инженерное образование имеет возможность предоставлять будущим инженерам практику работы в учебных проектах, находящихся на стыке многих направлений техники. Тенденция к интеграции научных направлений, в том числе не ограниченных исключительно естественнонаучными дисциплинами – естественный процесс развития наших представлений о мире, его устройстве и возможностях влиять на процессы, которые в нем происходят. Одним из примеров реализации этой тенденции служит робототехника.

Появившись в 60-е годы прошлого столетия, робототехника совершала основные шаги своего развития в сфере производства, ускоряя его темпы, повышая качество изделий. И только сравнительно недавно (около 10-15 лет), в связи с развитием электроники в частности и техники в общем, стало возможно привлечь в разработку большое количество энтузиастов – робототехника стала доступной широкому кругу людей.

В частности, в последние 5-6 лет бурно развивается сеть лабораторий цифрового производства под общим названием fablab², целью которых является предоставление всего спектра инструментов, необходимых для воплощения проектов, смоделированных исключительно на компьютере. Используя современные технологии, стало возможным, не выходя из небольшого помещения, создавать роботов исключительно своими силами, не прибегая к заказам на традиционном производстве.

Одной из возможностей для реализации подобного потенциала в студенческой среде являются робототехнические соревнования.

В данной работе рассматривается система управления роботом, которая была бы оптимальным выбором для конкретных соревнований, т.е. позволяла бы ограниченными средствами и методами реализовывать задачи соревнований. В качестве базовых выбраны соревнования по мини-сумо [1]. При этом в разработке учитывается дальнейшая возможность развития и усложнения всех систем робота для участия в более сложных соревнованиях Eurobot [2].

² Fablab – проект центра битов и атомов (center for bits and atoms) американского университета MIT

Соревнования по мини-сумо предполагают формирование специфического поведения робота на ринге, которое реализовало бы различные варианты защитной и наступательной тактик.

Результаты работы можно будет в дальнейшем использовать в различных сферах человеческой деятельности. Как в промышленности, так и в обыденной жизни. Например, можно использовать полученную систему навигации робота для создания автономной системы наземного общественного транспорта. Автономная система общественного транспорта, не требующая привлечения водителей-людей, сможет обеспечить более точный график, меньшее количество затраченных ресурсов, а также снижение опасности дорожного движения, исключая человеческий фактор и неосторожное вождение в нарушение правил. Тенденция к разработке подобных систем крайне актуальна в настоящее время и поддерживается такими участниками рынка как корпорация Google, которая разрабатывает Google Car [3].

1 Анализ роботов соревнований

Соревнования роботов по мини-сумо - это сравнительно недавний вид состязаний. В нем могут участвовать роботы без опасных приспособлений, весом не более 500 г, размерами не больше 100x100мм по ширине и длине в сложенном состоянии (в разложенном 140x140мм). Задача роботов в отведенное время столкнуть другого робота, без вмешательства людей, с ринга черного цвета, который имеет диаметр 770 мм и по краю белую линию.

Автором был проведен анализ роботов, участвующих на одном из соревнований по мини-сумо 25 июня 2009 г. [3, 4]. Анализ проводился визуальным методом по видео с соревнований. Сравнивались они по нескольким параметрам: ходовая часть, количество датчиков, набор логики. Данные для сравнения аппаратной части роботов были сведены в таб. 1.

Таблица 1 – сравнительная таблица анализа роботов

Занятое место	Платформа	Контроллер	Датчики	Ходовая часть
1 (робот «Т-334»)	гусеничная, realrobot.ru	на базе ATmega128	определения цвета справа и слева спереди, ик-дальномеры Sharp	2 гусеницы
2 (робот «Snake»)	Lego Mindstorms	RCX	цвет поверхности снизу спереди	4 колеса
3 (робот «Хитрюга»)	Lego Mindstorms	RCX	цвет поверхности снизу спереди	4 колеса

Третье место занял робот «Хитрюга» (см. рис.1). Алгоритм поведения робота прост: робот едет прямо пока не наткнется на белую линию, потом отъезжает назад, поворачивает налево, и едет назад.

Второе место занял робот «Snake» (см. рис.2). Алгоритм поведения робота идентичен предыдущему победителю: робот едет прямо пока не наткнется на белую линию, потом поворачивает направо и едет прямо.

Первое место занял робот «Т-334» (см. рис 3). Алгоритм поведения робота сложнее вследствие наличия дополнительных датчиков: робот ищет припятствие с помощью датчика расстояния и едет в его сторону, параллельно он следит за цветом поверхности поля под собой, чтобы не выехать за пределы поля.



Рисунок 1 – Робот
«Хитрюга»



Рисунок 2 – Робот «Snake»



Рисунок 3 – Робот «Т-334»

Проанализируем причины, по которым роботы выиграли или проиграла.

Третье место занял робот с простой логикой управления, без обнаружения противника, то есть его характеризует случайная езда "вслепую". Кроме того, во время матчей выявилась еще одна проблема – из-за высокого центра тяжести и слишком большой скорости и большого ускорения робот переворачивался, застревая на своем ковше, и в итоге сам уезжал за границу поля. Такое поведение стало следствием того, что датчик цвета был расположен неправильно на роботе.

Второе место также занял робот с простой логикой управления, без обнаружения противника. Этот робот был выполнен без ошибок в установке датчиков, но медленно передвигался, поэтому его можно было просто сдвинуть с места роботом, который едет быстрее.

Первое место занял робот, оснащенный резиновыми гусеницами – это дает ему большую площадь соприкосновения с поверхностью, чем колеса, поэтому его трудней сдвинуть с места. Он также имеет низкий центр тяжести, поэтому его тяжелее поднять с помощью ковша. У данного робота, в отличие от его соперников, есть датчик обнаружения противника - дальномер, что придает ему большое преимущество в борьбе. Робот не просто едет по полю, пока не собьет соперника, а целенаправленно едет на него. Поведение данного робота отличается большей развитостью, по сравнению с остальными призерами.

Из анализа следует, что для победы необходима более сложная в поведении и по конструкции машина с развитым набором датчиков.

2 Постановка задачи

Из анализа видно, что задача разработки робота для соревнований должна включать такие постановки как:

- конструктивную – робота должно быть сложно сдвинуть с места, но в то же время, он должен иметь возможность быстро передвигаться (по сравнению с остальными участниками);
- сенсорную – робот должен обладать таким набором датчиков, который позволит ему точно знать, где на поле находится он сам, а где находится его соперник;
- поведенческую – программное управление без участия человека должно быть в состоянии оценить обстановку и реализовать оптимальное действие.

Решения всех трех постановок должны удовлетворять правилам соревнований, которые, как уже упоминалось ранее, накладывают дополнительные ограничения на размеры и массу робота, определяют особенности игрового поля.

3 Решение задачи

После анализа, проведенного автором, было выяснено, что для определения положения соперника, а также направления его движения будут датчики расстояния в кол-ве 2 штук (датчик расстояния, см. рис.6). Оба датчика должны быть расположены спереди у робота, т.е. по направлению его движения. Оптимальное расстояние между датчиками – 5-8

см. Желательно иметь возможность менять это расстояние в зависимости от размеров робота-соперника. Кроме того, необходимы 2 датчика определения границы поля (датчик цвета). Они также должны быть расположены спереди у робота вдоль одной линии и должны быть максимально разнесены друг от друга.

Такое решение сенсорной подсистемы позволяет уточнять положение соперника и ехать прямо на него, с помощью срабатывания 2-х датчиков дальности, а также определять в какую сторону движется робот соперника.

Для быстрого выполнения алгоритмов управления потребуется микроконтроллер, который будет опрашивать датчики и подавать сигнал движения на двигатели.

Конструктивное решение задачи показано на рис.4 и рис.5 в виде 3D-модели робота.

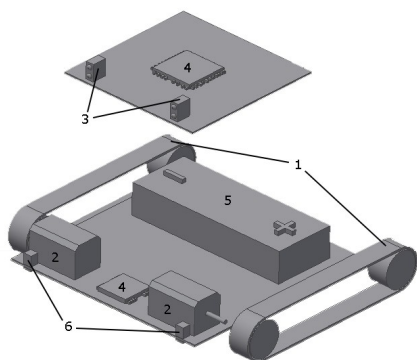


Рисунок 4 - конструкция робота (отдельные детали)

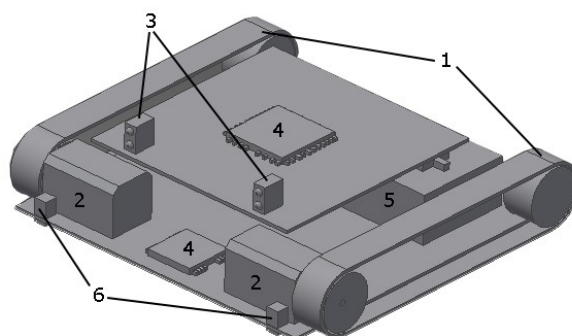


Рисунок 5 - конструкция робота (сборка)

На рисунках: 1 - гусеницы, 2 - двигатели, 3 - датчики препятствия, 4 - микроконтроллеры, 5 - элемент питания, 6 - датчик линии.

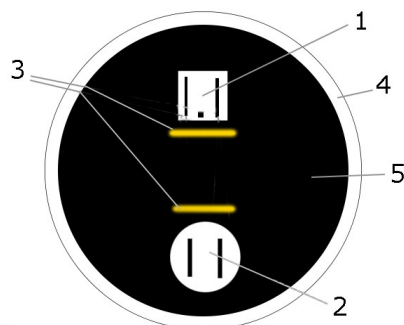
Средства разработки, которыми пользуется автор для решения поставленных задач включают: Autodesk Inventor для моделирования, Eagle для разводки плат, программное обеспечение поставщика микроконтроллеров для программирования.

Для проверки выбранных подходов и качества их реализации необходимо провести ряд экспериментов, которые будут описаны ниже.

4 Алгоритм работы робота

Чтобы лучше понять поведение робота рассмотрим среду, в которой ему приходится работать (рис. 6).

Из рисунка видно, что поле обладает определенными контрастными элементами –



- 1 - робот
- 2 - соперник
- 3 - стартовая линия
- 4 - ограничивающая линия
- 5 - рабочая область

Рисунок 6 – Схема устройства поля для матча

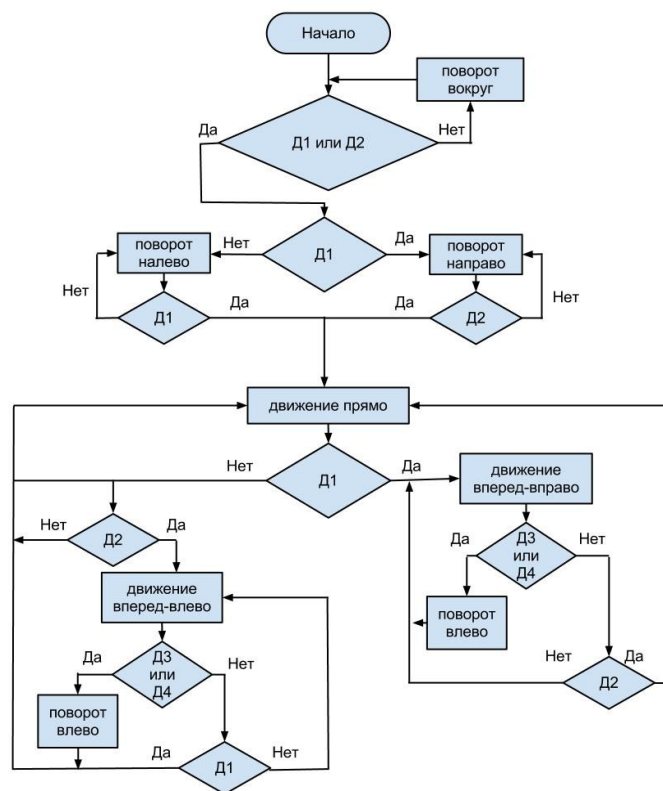


Рисунок 7 - Алгоритм работы робота

5 Эксперимент

Полученный результат работы можно проверить с помощью экспериментов.

Например, эксперимент "Карта". Задача робота проехать вдоль стены, которая имеет случайный рельеф (рис. 8). Данная задача актуальна для построения карты комнаты для дальнейших действий в ее пределах, либо с помощью этого алгоритма можно просчитать площадь комнаты.

Эксперимент "Перекресток". Задача робота – с помощью датчика линии и дальномера определить какие направления движения по линии свободны и продолжить движение по свободной линии (рис. 9). Эта задача актуальна для автомобилей и другого наземного транспорта, перед которыми стоит задача в выборе правильного направления движения.

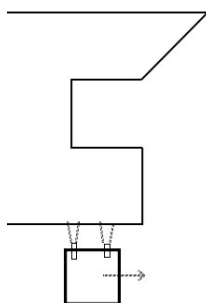


Рисунок 8 – Движение робота вдоль стены

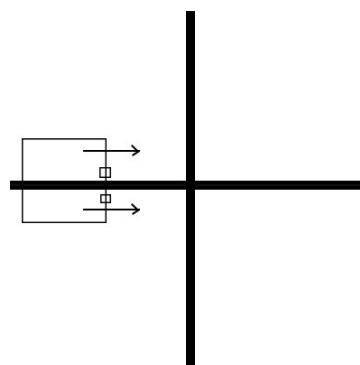


Рисунок 9 – Движение робота по линии

Эксперимент «Масса» предполагает изучение максимальной массы, которую может сдвинуть робот. В данном эксперименте перед роботом помещается препятствие определенной массы, а затем изучаются характеристики перемещения роботом этого препятствия.

6 Дальнейшее развитие проекта

Результаты проделанной работы предполагается расширять в дальнейшем в сторону более серьезных и сложных задач, которые ставят перед участниками соревнования Евробот. Стоит отметить, что базовые элементы навигации, реализованные в данном проекте, будут полезны при разработке на их основе более развитых алгоритмов поведения робота. Среда, в которой действуют роботы Евробот, отличается количеством реперов, а соответственно предполагает у них более развитую систему управления.

С практической точки зрения результаты работы можно развивать в направлении создания автономного транспорта.

Заключение

В результате проделанной работы были получены и разработаны: вариант оптимального алгоритма поведения робота для соревнований по мини-сумо, аппаратная часть, которая необходима для выполнения этого алгоритма.

Полученные результаты можно улучшить для дальнейшего выступления на соревнованиях Eurobot. Проведение экспериментов позволяет оценить качество системы, ее параметры, а также ставит ряд прикладных задач, которые можно решать с помощью разработанной системы мобильного колесного робота: безопасное автономное движение вдоль контрастной линии, построение карты помещения, а также определение различных параметров на ее основе.

Литература

1. Регламент соревнований по мини-сумо - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.myrobot.ru/sport/index.php?n=Reglaments.Sumo>. Проверено 13.02.2013.
2. Eurobot 2012-2013 - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.eurobot-russia.ru/index/2013/start/>. Проверено 13.02.2013.
3. Описание автономного автомобиля от Google - Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Google_driverless_car. Проверено 20.02.2013.
4. Соревнования по мини-сумо на 1-м Всероссийском робототехническом фестивале - Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.myrobot.ru/news/2009/07/20090702_2.php. Проверено 13.02.2013.
5. А.В. Белов Создаём устройства на микроконтроллерах, издательство НиТ, г. Санкт-Петербург, 2007.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ЯЧЕЕК ПО ПАРАМЕТРАМ ИХ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

Сергеева М.Д.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Шахнов В.А.

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

APPLICATION OF AUTOMATED MALFUNCTION RECOGNITION SYSTEM FOR ELECTRONIC DEVICES UNDER LOAD USING THERMAL FIELD IMAGES

Sergeeva M.D.

Supervisor: Dr., Prof., Shakhnov V.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается применение оборудования для автоматического тестирования для диагностики неисправностей печатных плат и электронных ячеек методом контроля их тепловых полей. Приведены основные принципы работы программной части системы распознавания неисправностей. Представлены результаты тестирования системы с примерами автоматической генерации дефектограмм на основе полученных тепловых изображений (термограмм) нагруженной электронной ячейки. В заключении представлены основные достоинства и недостатки разработанной системы в сравнении с операторной оценкой.

Annotation

The article is about automatic test equipment (ATE) application for malfunction diagnostics of printed circuit boards and electronic devices using their thermal field images. Main principles of defect recognition system program part are described. Results of system testing and examples of automatic generated defectograms based on working electronic device thermograms are presented. In conclusion described system's strengths and weaknesses in comparison to operator assessment are given.

Введение

В настоящее время в электронной промышленности на этапе контроля для диагностики изделий часто применяют автоматическое оборудование — АТЕ (automatic test equipment, оборудование для автоматического тестирования) [1, 2]. Типичное АТЕ устройство является автоматическим диагностическим устройством, которое позволяет проводить быстрое и качественное тестирование печатных плат, интегральных схем и других электронных компонентов и модулей. Обычно оно представляет собой аппаратно-программный комплекс: аппаратная составляющая ответственна за сбор данных с устройства, подлежащего тестированию (устройство, подлежащее тестированию, обычно называют сокращенно UUT — unit under test), а программный модуль ответственен за обработку полученных данных и составление заключения о состоянии UUT. Аппаратный модуль может получать с UUT данные различного физического происхождения: электрического, теплового и др. полей (например, данные о напряжении или токе, картина распределения тепловых полей, картина видимого излучения и др.). Программный модуль обычно осуществляет обработку полученных данных и их визуализацию для оператора. Далее в случае использования традиционной системы автоматизированного контроля именно оператор определяет работоспособность тестируемого устройства. Однако данный способ имеет ряд существенных недостатков, главным из которых является субъективность оценки оператора. Также с увеличением сложности тестируемого устройства, например с увеличением плотности компоновки электронных компонентов на печатной плате (ПП), правильная диагностика неисправностей становится невозможна без обработки полученных данных с помощью технологий искусственного интеллекта, использования статистики или того и другого. В итоге программное обеспечение на основании обработки выдает заключение о работоспособности тестируемого устройства с указанием критических мест.

В настоящее время существует ряд методов неразрушающего контроля, в основе которых лежит использование оборудования автоматизированного контроля, например рентгеноскопия, магнитоскопия, термоскопия. По сравнению с другими методами диагностическая система термоскопии не требует контакта с тестируемым устройством, а также обеспечивает быстрое получение изображения. В данной статье рассматривается применение АТЕ оборудования для диагностики неисправностей печатных плат и электронных ячеек методом контроля их контролем тепловых полей.

1 Распознавание неисправностей на основе термограмм

В нашем случае в аппаратную часть будет входить устройство регистрации теплового излучения — тепловизор, а также компьютер или управляющий микроконтроллер. Программный модуль будет получать в качестве входных данных термограммы с тепловизора (картины распределения тепловых полей), проводить их обработку и выдавать заключение о годности электронной ячейки и в случае наличия неисправностей — дефектограмму (картину распределения участков с неисправностями). Структурная схема программно-аппаратного комплекса теплового контроля для конвейерного производства приведена на рис.1. Кроме того, даже если производство не конвейерного типа, тепловой контроль может быть также внедрен на участке контроля по схожей схеме.

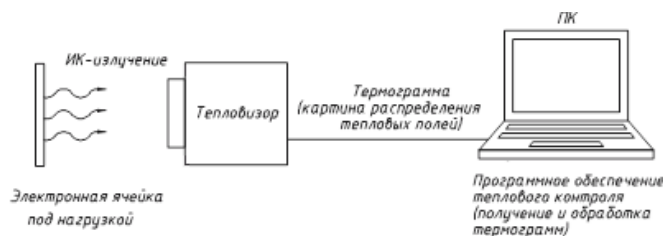


Рисунок 1 - Структурная схема теплового контроля при производстве электронно-вычислительных средств

Для создания дефектограмм широко распространен подход на основе искусственной нейронной сети, который позволяет исключить участие оператора на этапе контроля. Подробным образом данный подход описан в работе [3-8]. Коротко изложим основные этапы метода. Сначала вырабатываются диагностические правила/связи для обучения нейронной сети по известным температурным параметрам, таким как, например, максимальная температура, средняя температура, максимальный температурный градиент. Затем необходима сегментация термограммы для нахождения отклоняющихся от нормы горячих/холодных зон и распознавания наиболее вероятных мест отказов с наивысшей вероятностью возникновения на основе заданного законами распределения. На последнем этапе обработанные данные термограммы передаются на вход нейронной сети для диагностики и распознавания неисправностей. В предлагаемом подходе используется эталонная термограмма (термограмма, пиксели которой получены путем нахождения максимально возможных значений яркости из всех термограмм ячеек, которые заранее известны как исправные). В традиционном алгоритме одна эталонная термограмма содержит только один параметр. Чем больше используется параметров, тем больший объем памяти будет требоваться. Термограмма для тестируемой печатной платы сравнивается последовательно с этими эталонными термограммами. Поэтому при анализе ПП возникает задача как уменьшить размер памяти для хранения эталонных термограмм и как одновременно обрабатывать эталонные термограммы для уменьшения времени обработки.

На этапе диагностики термограмма тестируемой платы подается на вход нейронной сети для идентификации неисправностей, при этом нейронная сеть определяет сегменты, которые имеют неисправности, в результате чего на выходе системы получается

дефектограмма — карта распределения дефектов, где одним цветом выделяются корректно функционирующие сегменты, другим цветом — сегменты с неисправностями.

В работе [4] предложен метод на основе векторного квантования (ВК), который не только уменьшает объем памяти, но также сравнивает каждое кодовое слово. Эталонная термограмма кодируется кодовой книгой и сравнивается с тестируемой платой для распознавания блоков изображения с дефектами, вместо использования всей термограммы целиком. Достоинство метода заключается в способности сохранять главный параметр изображения во время генерации кодовой книги с минимальным искажением. Таким образом, объем памяти для эталонной термограммы может быть значительно уменьшен. Искажения эталонной термограммы могут быть минимизированы за счет того, что ВК алгоритм обеспечивает высокое значение отношения сигнала к шуму.

В разработанной нами системе за основу была взята идея создания кодовой книги, предложенной в [4], однако после проведения сравнительного анализа алгоритмов генерации кодовой книги был выбран алгоритм Линде-Бузо-Грея (LBG) [5]. С учетом специфики области применения мы имеем дело с изображениями для кодирования небольших размеров (обычно размер матрицы тепловизора составляет 160×120 , 320×240 , бывает также 256×256). Кроме того, с учетом особенностей восприятия карты дефектов человеком наиболее подходящим размером блока изображения (размером вектора), из которых будет составляться карта дефектов, будет $4 \times 4 = 16$. Указанные обстоятельства также указывают на то, что наиболее подходящим к задаче алгоритмом векторного квантования является классический алгоритм LBG.

2 Применение системы распознавания неисправностей

В эксперименте участвовала ячейка устройства ремонта и тестирования компьютеров POS Card PCI [6]. Фотография ячейки представлена на рис. 2. Для моделирования неисправного устройства были предприняты дополнительные меры, которые заключались в выборе неправильного режима работы данного устройства. Напряжение питания POST Card PCI составляет 5 В, поэтому для получения некорректного режима функционирования было выбрано напряжение питания 12 В.

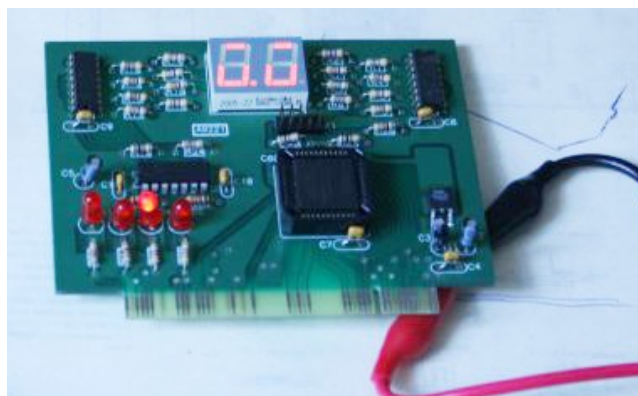


Рисунок 2 - Фотография устройства ремонта и тестирования компьютеров POST Card PCI

В качестве эталонной термограммы была выбрана термограмма устройства в корректном режиме функционирования, и на ее основе была обучена система распознавания (рис. 3а). Термограмма неисправного устройства приведена на рис. 3б.

Из термограммы видно, как изменилось тепловое поле в неисправном устройстве по сравнению с исправным: увеличилась мощность рассеивания нескольких компонентов, что является следствием изменения режима работы устройства. В результате визуального сравнения исправного и неисправного экземпляров было обнаружено, что неисправный экземпляр имеет печатную плату с некачественным травлением. Этот факт привел к

короткому замыканию в схеме и изменению режима работы, что выразилось в видоизменении теплового поля.

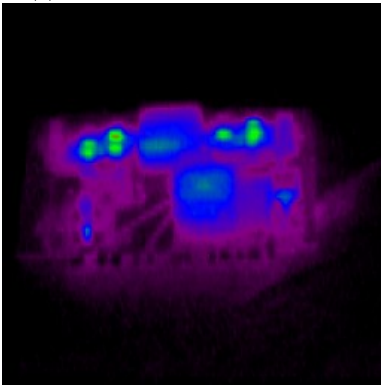


Рисунок 3 (а) - Термограмма POST Card PCI в корректном режиме функционирования

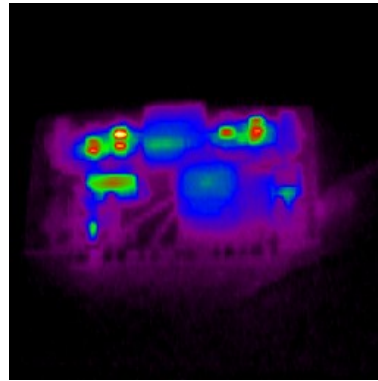


Рисунок 3 (б) - Термограмма POST Card PCI в некорректном режиме функционирования



Рисунок 4 - Дефектограмма, полученная в результате распознавания неисправностей по термограмме POST CARD PCI в некорректном режиме функционирования

Далее термограмма неисправного экземпляра устройства была подана на вход системы распознавания неисправностей. В результате этого была получена дефектограмма, приведенная на рис.4. Как было указано выше, термограмма разбита на блоки размером 4x4 пикселя. Исправные блоки окрашены черным, неисправные - белым цветом.

По полученной дефектограмме сложно выявить какие именно компоненты ячейки работают в неисправном режиме. Поэтому в разработанной автоматизированной системе распознавания неисправностей был добавлен программный модуль, обеспечивающий наложение дефектограммы на чертеж ячейки. Результатом данной обработки дефектограммы является сопоставление неисправных блоков и электронных компонентов, установленных на печатную плату устройства. Это особенно актуально при использовании тепловизоров, которые не обеспечивают съемку визуального изображения ячейки, в результате чего сравнение термограммы или дефектограммы с реальным изображением и расположением компонентов становится трудоемким процессом для оператора.

Для реализации модуля был использован следующий принцип. После получения эталонной термограммы на изображении вручную указываются границы изображения, несущего информационную нагрузку, т.е. отсекается фон испытательного стенда. Далее программа вычисляет масштаб реального изображения относительно внесенных заранее данных о размерах устройства (данные чертежа печатной платы ячейки в нашем случае). Масштаб сохраняется и далее применяется ко всем последующим рабочим дефектограммам. После масштабирования изображение дефектограммы инвертируется и накладывается на чертеж ячейки. Пример реализации показан на рис.5, где красным выделены неисправные блоки дефектограммы, наложенные на чертеж ячейки.

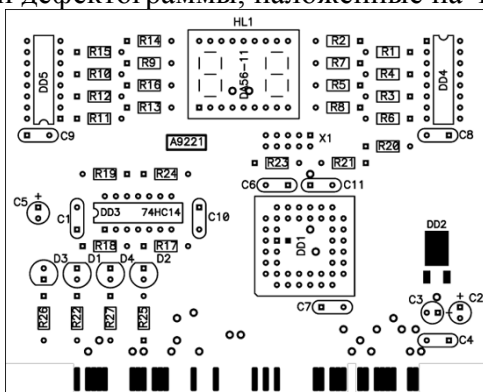
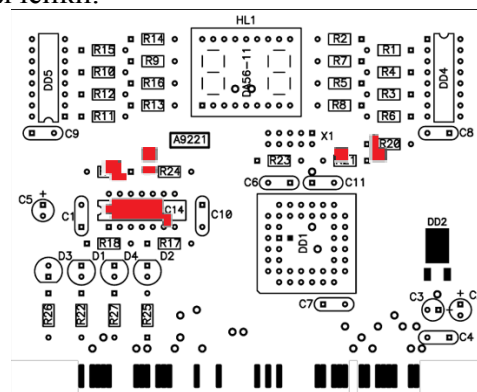


Рисунок 5 (а) Чертеж ячейки



(б) Чертеж ячейки с наложенной дефектограммой

В результате при сравнении полученных чертежей (рис. 5а и рис. 5б) достаточно просто выявляются компоненты, находящиеся в состоянии перегрева. В нашем случае таковыми являются микросхема DD3, резисторы R19 и R21, а также элементы печатного монтажа рядом с резисторами R24 и R20.

Заключение

Предложенная система выявления неисправных компонентов имеет ряд существенных недостатков – на данном этапе реализации процесс выполняется не полностью автоматизировано (задание границ для масштабирования и итоговое сопоставление чертежей выполняется оператором). Однако полученные результаты показывают, что данный подход позволяет существенно уменьшить времени диагностики ячейки – вывод о работоспособности ячейки система генерирует без участия оператора на основе деффектограммы, а в случае наличия неисправностей время анализа результатов оператором существенно уменьшается.

Литература

1. Оборудование для автоматического тестирования, термины и определения. – Электронный ресурс. Режим доступа http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_test_equipment. – Проверено 08.02.2013.
2. Оборудование для автоматического тестирования, основные концепции. – Электронный ресурс. Режим доступа http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/automatic-test-equipment-basics.php. – Проверено 08.02.2013.
3. H. F. Spence, D. P. Burriss An artificial neural network printed circuit board diagnostic system based on infrared energy emissions. – Proc. IEEE Systems Readiness Technology Conf. – Anaheim, CA. Sep. 24–26, 1991. – pp. 41–45.
4. Shih-Yuan Huang, Chi-Wu Mao, Kuo-Sheng Cheng A VQ-Based Approach to Thermal Image Analysis for Printed Circuit Boards Diagnosis. – IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – December 2005. – Vol. 54, No. 6. – pp. 2381-2388.
5. Алгоритмы векторного квантования Электронный ресурс. Режим доступа <http://www.data-compression.com/vq.html>. – Проверено 08.02.2013.
6. Мастер-кит POST PCI Card, данные об устройстве. Электронный ресурс. Режим доступа http://www.masterkit.ru/main/set.php?code_id=144979. – Проверено 08.02.2013.
7. Панфилова С. П., Власов А. И., Гриднев В. Н., Червинский А. С. Бесконтактный тепловой контроль электронно-вычислительных средств // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. №6. 2007. С.1-9.
8. Панфилова С. П., Власов А. И., Гриднев В. Н., Червинский А. С. Бесконтактный тепловой контроль изделий электронной техники // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. №3. 2007. С.25-32.

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТОПОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Смурыгин И.М.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Резчикова Е.В.

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

VARIANTS OF HIGH ACCURACY TOPOLOGY FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

Smurygin I.M.

Supervisor: Ph.D. Rezchikova E.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются способы, которые используются для решения проблемы согласования скорости работы беспроводных сенсорных сетей при передаче большого количества информации. Подробно исследованы возможные способы построения беспроводных сенсорных сетей для получения данных об измеряемой объекте с высокой точностью. Кратко представлены другие перспективные решения, которые можно использовать для улучшения работы беспроводных сенсорных сетей. В заключении представлены рекомендации по модификации сенсорных беспроводных сетей для улучшения их работы.

Annotation

The article is about the new variants of realizations, which is used for solving the problem of matching race of work wireless sensor networks (WSN) with transmitting large amount of information. Information about variants of constructing WSN for receiving the data on measured object with high accuracy is given in detail. Briefly presented others perspectives solutions for modification WSN for improving they performance.

Введение

В настоящее время беспроводные сенсорные сети (БСС) получили широкое распространение и продолжают развиваться. При их работе существует ряд ограничений, например, скорость работы (протокол ZigBee имеет скорость около 100 Кб/с), энергопотребление (сенсорные узлы питаются от батарейки), период обновления получаемой информации (при больших объемах информации существуют паузы при ее обновлении). Эти ограничения необходимо сопоставить определенным образом для решения конкретной задачи.

Главной целью данной работы является разработка вариантов построения БСС для быстрого получения актуальных данных об измеряемой объекте с высокой точностью. Также стоит задача разработки перспективных решений для построения БСС.

В работе представлена схема функционального противоречия, которая позволяет, используя Теорию Решения Исследовательских Задач (ТРИЗ) для решения проблемы. Дано подробное описание решения вариантов решения данного противоречия и выбраны наиболее перспективные варианты. Кратко представлены идеи по улучшению работы сенсорных беспроводных сетей и их применению.

1 Составления функционального противоречия работы беспроводной сенсорной сети для получения информации с высокой точностью

Для решения задачи построения новой конфигурации БСС был проведен детальный анализ их работы. Из исследованных данных[1] был сделан вывод, что у БСС есть много слабых мест, которое можно усовершенствовать или устранить.

Т.к. методы случайного поиска и систематического поиска[2] занимают большое количество времени, было решено использовать методы, предложенные Альтшуллером, а

именно, составление технического противоречия и составление решения данного противоречия в соответствии с предложенными методами.

Для работы БСС можно составить много противоречий. Одним из них является противопоставление скорости работы БСС (скорость ограничена – около 100 Кб/с у протокола ZigBee) детальности получаемой информации.

Карта технического противоречия представлена на рис.1



Рисунок 1 – Карта технического противоречия, возникающего при построении БСС

Возможность получения точной и детальной информации ассоциируется с увеличением количества узлов БСС. Увеличение же количества узлов ведет к увеличению объема информации, которую необходимо передать и к сложности организации маршрута передачи. Это сказывается в итоге на скорости работы БСС и приводит к запаздыванию информации.

2 Описание вариантов реализации беспроводной сенсорной сети

2.1 Принцип дробления

Данное противоречие можно решить, используя принцип дробления. Представим, что у нас есть сетка узлов с заданным шагом h , где h – расстояние между сенсорными узлами в сетке. Пример топологии беспроводной сенсорной сети с единичной сеткой представлен на рис.2.

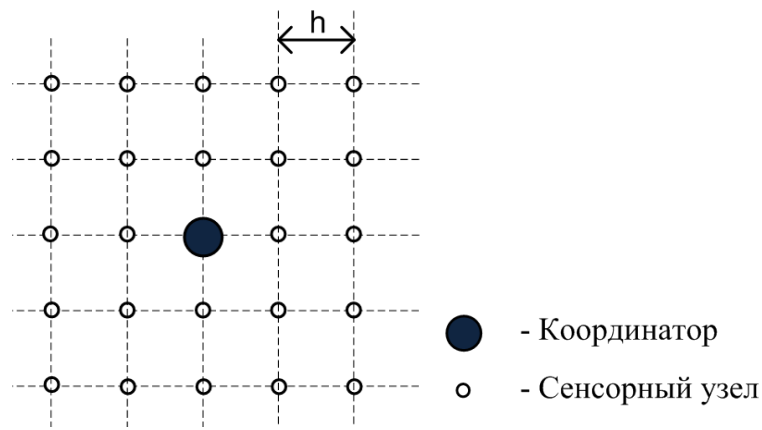


Рисунок 2 – Пример топологии беспроводной сенсорной сети с единичной сеткой

В данной топологии заранее рассчитываются единичные шаги h , которые необходимы для обеспечения заданной точности измеряемого параметра. Если измеряемый параметр находится в пределах нормы или не меняется, то узлы находятся в спящем состоянии и потребляют небольшое количество энергии, а также не увеличивают объем передаваемой информации. Предположим, в локальной зоне произошло изменение контролируемого параметра. Результат работы сети при изменении контролируемого параметра представлен на рис.3.

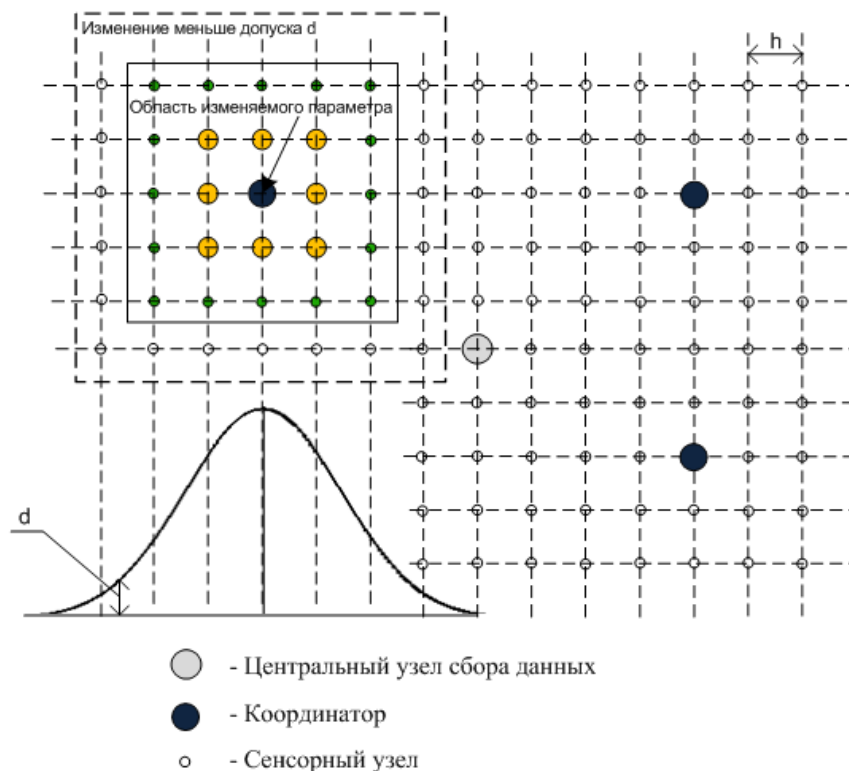


Рисунок 3 –Результат работы сети при изменении контролируемого параметра

В результате активированы для передачи информации будут только определенное число узлов, у которых измеряемое значение превысило параметр погрешности d , изначально заданное пользователем.

В данной топологии также планируется заложить следующие принципы:

- *принцип изменения точности.* Заданием определенного значения x можно контролировать разрешающую способность сети;
- *принцип интеллектуальной настройки.* В состав координаторов входят интеллектуальные модули по настройке беспроводной сенсорной подсети. Данный интеллектуальный модуль работает на основе нейронной сети, которая анализирует предыдущие результаты работы по времени определенных сенсорных структур, сопоставляет их с зашумленностью каналов и с накоплением статистических данных может делать вывод о наиболее выгодном варианте построения беспроводной сенсорной сети;
- *принцип приоритета.* В БСС заложены особо ответственные контролируемые участки, которые имеют приоритет по получению данных. В таком случае информация об изменении измеряемого параметра в особо ответственной зоне будет выше, чем в других зонах с меньшим приоритетом.

2.2 Принцип «наоборот» и принцип динамичности

В обычном состоянии узлы БСС расположены на одном и том же месте, т.е. они могут измерять только параметр в одной области. Проблему с точностью получаемых данных можно решить путем помещения данных сенсорных узлов на передвижные конструкции. Таким образом, количество узлов не будет увеличено, а точность будет получена высокая. Подвижной конструкцией может служить квадрокоптер или другое механическое устройство. Работа сенсорной сети будет также включать управление механическим средством и его обратную связь с БСС.

Сенсорами также можно снабжать предметы нашей повседневной жизни, например, телефоны. Но в данном случае понадобится более детальная проработка со стороны прав пользователей и защитой личной жизни (необходимо определять местоположение данного сотового устройства). Данная проблема может быть решена введением экстренной кнопки, которая передает сигнал на главный узел, анализирующий информацию.

2.3 Принцип использования гибких оболочек и тонких пленок

Вместо отдельных сенсорных узлов может быть использована сенсорная тонкая пленка, покрывающая поверхность, состояние параметров которой необходимо измерять. В данном случае не будет сложных процессов реорганизации сети и будут выполнены требования по точности измеряемого параметра. В итоге получается гибрид беспроводной сенсорной сети с обычной сенсорной сетью.

3 Способы применения предложенных вариантов беспроводных сенсорных сетей

Сенсорные сети получили огромное распространение в современное время. Данная разработанная топология БСС может быть особенно полезна при наблюдении за протяженной территорией, где критическое значение имеет небольшое отклонение параметров измеряемого объекта. Таким объектом может служить, например, газопровод или нефтепровод. Также применение данной топологии может быть эффективно на территории, где возможны периодические локальные изменения. Например, при мониторинге заповедной территории или за наблюдением за сейсмоактивностью.

Заключение

Применение топологии БСС с активируемой сенсорной сеткой с заданным шагом может принести большую выгоду в плане энергопотребления и получении актуальной информации с высокой точностью и скоростью только за счет изменения алгоритма работы БСС. Данное решение может быть применено при мониторинге особо важных участков, где необходима высокая точность и скорость получения информации.

Также остальные предложенные методы могут быть использованы для построения БСС с высокой скоростью отображения контролируемых данных.

Литература

1. Смурыгин И. М. Концепция организации беспроводных сенсорных сетей и их применение // XIV молодежная международная научно-техническая конференция наукоемкие технологии и интеллектуальные системы: Сборник докладов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 92-100.
2. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач. Учебное пособие. - М.: ФОРУМ, 2008. - 384 с., ил.

Отдельные результаты работы получены в рамках исследований по госзаданию №7.6161.2011 Гибридные чувствительные элементы интеллектуальных сенсоров распределенных управляющих систем

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРА

Саяпин В.Е., Смурыгин И.М.

Научный руководитель: асс. Арабов Д.И.

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

PROTOTYPING OF THE STABILIZATION SYSTEM FOR QUADROCOPTER

Sayapin V.E., Smurygin I.M.

Supervisor: ass. Arabov D.I.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе представлено описание прототипа системы стабилизации для квадрокоптера, реализованного на базе микроконтроллера и микросхем акселерометра, магнетометра, гироскопа, барометрического сенсора и датчиков препятствий. Подробно исследованы принципы прототипирования вычислительного модуля для автономных летательных аппаратов. Представлена физическая реализация разработанного модуля и приведены результаты тестирования его работоспособности.

Annotation

In this article description of prototype stabilization system for kvadrokoopter, which is constructed on base of microcontroller and microschemes of accelerometer, magnetometer, gyroscope, barometr and sensors of obstacle is presented. Information about principles of prototyping computational module for flying apparatus with auto control is given in details. The physical realization of worked out module is presented.

Введение

В настоящее время возникает потребность в наличии автономных систем для выполнения различных функций, например, детектирование пожаров, исследование местности, обследование труднодоступных мест. Для этой цели могут быть использованы автономные воздушные модели, например квадрокоптеры. Благодаря способности зависать на одном месте, они могут производить точное распознавание объектов и передачу информации в главный компьютерный центр.

Главной функциональной частью, обеспечивающей стабильный полет, а, следовательно, и распознавание является система стабилизации.

В работе представлено разработанное схемотехническое решение для системы стабилизации квадрокоптера, с использованием ранее разработанных драйверов бесколлекторных электродвигателей постоянного тока (БТДПТ) [1].

Первоначальные **требования, предъявляемые к системе**, были следующими:

- Работа от 8 или 32 разрядного микроконтроллера с возможностью отладки по JTAG интерфейсу;
- Наличие установленных микросхем 3-х осевых гироскопа, акселерометра и бародатчика;
- Возможность установки до 6 ультразвуковых датчиков препятствий (дальномеров);
- Наличие GPS приемника с активной антенной;
- Установленный разъем для micro-SD карты;
- Наличие АЦП для подключения внешнего аналогового датчика;
- Поддержка 8 канального 2.4ГГц приемника, с возможностью передачи телеметрии;
- Возможность подключения 3 сервоприводов, для установки поворотной камеры;
- Работа от Li-Po 3S-4S аккумулятора;
- Обязательное наличие разъема для подключения силовой нагрузки;
- Полная совместимость с ранее разработанными драйверами БТДПТ [1], и возможность внутрисхемного обновления их прошивки;

- Возможность дальнейшего расширения, за счет использования add-in плат;

Изначально задача разработки собственного прототипа не ставилась. Рассматривалось использование одной из некоторых наиболее популярных систем стабилизации для квадрокоптера:

- FlightCtrl 2.0 (<http://www.mikrokopter.de/ucwiki/FlightCtrl>)
- HobbyKing 2.1 (<http://www.hobbyking.com/>)
- X-AVR (<http://megakopter.ru/>)
- AfroFlight32 4 (<http://code.google.com/p/afrodevices/wiki/AfroFlight32>)
- OpenPilot's CopterControl (<http://wiki.openpilot.org/>)

Был проведен их **сравнительный анализ имеющихся аналогов**, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ имеющихся систем стабилизации

Модель контроллера	Flight Ctrl	Hobby King	X-AVR	Afro Flight32	Copter Control
Выполняемые функции					
Тип микроконтроллера	Atmega644P	Atmega168PA	32	STM32F103C8T	STM32F405
Максимальное количество поддерживаемых датчиков препятствий	0	0	1	6 шт	6 шт
Наличие GPS приемника	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Возможность работы с SD картой	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Наличие акселерометра	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)
Наличие бародатчика	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)
Наличие гироскопа	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Наличие магнетометра	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)
Возможность подключения сервоприводов	3 (+) 5шт	(-)	(-)	(+) 6шт	(+)6шт
Наличие плат расширения	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Является ли проект открытым	(-)500\$	(-) 15\$	(-)200\$	(-) 80\$	(+)100\$
Страна производитель	Германия	Китай	Россия	Китай	

В ходе изучения имеющихся на рынке модулей стабилизации полета квадрокоптера, ни одна из имеющихся моделей полностью не соответствовала предъявляемым к ней требованиям. Поэтому было принято решение разрабатывать систему самостоятельно.

1 Электрическая структурная схема платы стабилизации квадрокоптером

Разработанная электрическая структурная схема платы стабилизации квадрокоптером представлена на рисунке 1.1.

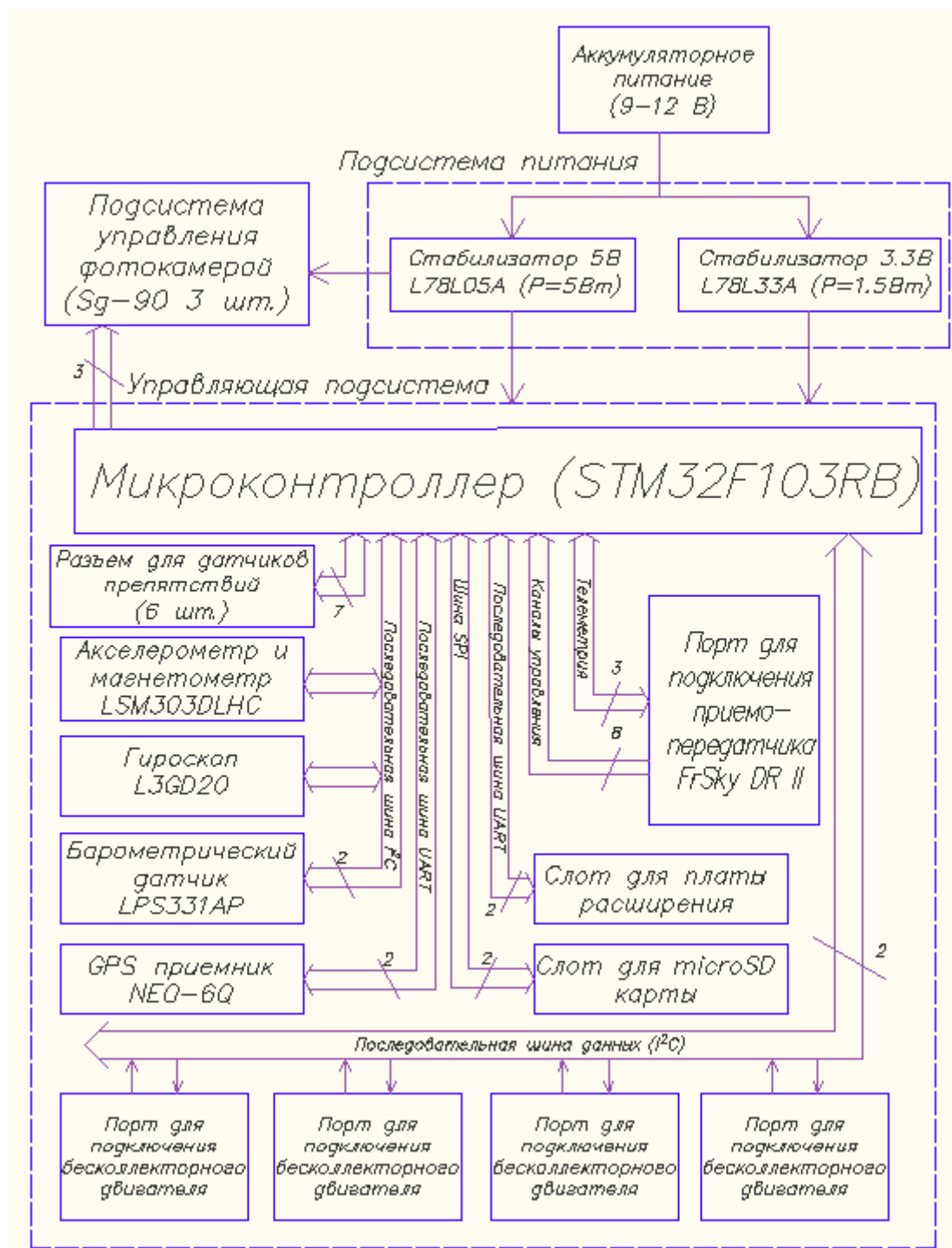


Рисунок 1.1 – Схема электрическая структурная платы управления квадрокоптером

Рассмотрим более подробно основные структурные элементы:

- **Аккумуляторное питание** предназначено для питания всей системы – квадрокоптера;
- **Подсистема питания** обеспечивает преобразование 12 В от аккумулятора в 5 В и 3.3 В для питания контроллера и его периферии;
- **Система управление подвесом камеры** включает в себя *три сервопривода* для вращения камерой. Сигналы управления сервоприводами могут быть выведены на пульт радиуправления;
- **Управляющая подсистема** включает в себя основные элементы необходимые для управления квадрокоптером, а именно, *3ех осевой гироскоп (L3GD20)*, *акселерометр и магнетометр (LSM303DLHC)*, *барометрический датчик (LPS331AP)*. Также в управляющую подсистему входят *датчики препятствия*.

Для них предусмотрено семь управляющих сигналов (один сигнал для активации датчиков препятствий и шесть – для получения ответа от каждого датчика препятствия);

- **Слот для расширения**, на который приходит интерфейс UART. Таким образом, на квадрокоптер может быть установлен дополнительный модуль, общающийся с контролером по интерфейсу UART. Это может быть, например, сенсорный модуль для измерения данных и общения с другими квадрокоптерами.

- **GPS приемник и слот для расширения microSD карты** могут быть использованы для системы автопилотирования и полета квадрокоптера по координатам, которые будут читаться из памяти. Или квадрокоптер может записывать маршрут полета в память;

- **Четыре разъема** для подключения разработанных драйверов трехфазных бесколлекторных двигателей постоянного тока[1] по интерфейсу I2C.

Таким образом, разработанная структурная принципиальная схема полностью обладает всеми необходимыми характеристиками, а также имеет возможности для установки дополнительных модулей.

2 Опытный образец платы стабилизации квадрокоптером

По данной структурной схеме были составлены электрическая принципиальная схема, основой которого послужил 32-х разрядный контроллер на ядре Cortex-M3 – STM32F103RB [1, 2].

Данная электрическая принципиальная платы была трассирована и произведена. В итоге получилась плата размером 76*42 мм. 3D-модель полученной платы стабилизации квадрокоптером представлена на рисунке 2.1.

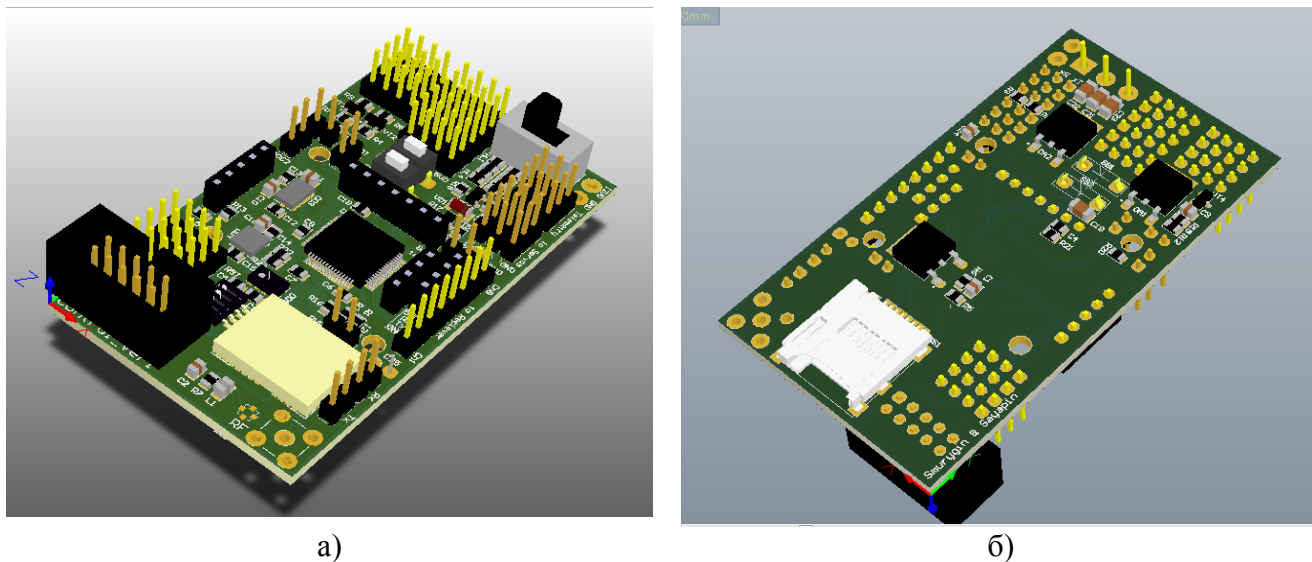


Рисунок 2.1 – 3D модель платы стабилизации квадрокоптера (а – вид сверху, б – вид снизу)

Себестоимость данной платы стабилизации и управления квадрокоптером с производством печатной платы в Китае можно оценить около 150\$, что, учитывая наличие GPS приемника и большого количества дополнительных разъемов для устройств (плата расширения, бародатчик, сервоприводы и датчики препятствия), является значительно дешевле представленных аналогов.

Заключение

В итоге была получена система управления квадрокоптером с выполнением всех необходимых требований, которые были заданы вначале разработки. Данная система может быть применена в системах стабилизации коптеров с различным количеством винтов (трикоптеры, квадрокоптеры, гексокоптеры и т.п.) при использовании платы расширения для драйверов двигателей. Кроме того, на базе данной платы управления квадрокоптером возможно построение системы автопилота, т.к. присутствует GPS-модуль и датчики препятствия. Также возможна интеграция камеры с подвесом, подвес будет вращаться ее от сигналов управления пультом. Слот для расширения позволяет интегрировать дополнительный модуль на борт квадрокоптера, общающийся с главным контроллером по интерфейсу USART.

В ходе настройки и составления программы для главного микроконтроллера плату управления квадрокоптером были выявлены некоторые недостатки по соединению некоторых выводов микроконтроллера с соответствующими сигналами. В следующей версии платы планируется заменить данный микроконтроллер на более производительный.

Литература

1. Саяпин В.Е., Смурыгин И.М. Система управления трехфазного бесколлекторного двигателя постоянного тока// XIV молодежная международная научно-техническая конференция наукоемкие технологии и интеллектуальные системы: Сборник докладов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 306-311.
2. Мысловский Э.В., Власов А.И., Акристиный М.В. Микроконтроллеры // Электронные компоненты, №5. 2002. С.47-50.

ПРОГРАММНО- АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Сухов П. Е., Иванов В.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MULTIPHYSICS TRANSFORMATION IN MULTISCALE MODELLING OF MOEMS

Sukhov P.E., Ivanov V.V.

Supervisor: Ph.D. Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются анализ загруженности логических каналов распределенных телекоммуникационных сетей, проблемы мониторинга и перераспределения трафика. Подробно исследован процесс мониторинга загруженности и способы изменения пропускной способности каналов с целью равномерного распределения трафика телекоммуникационных сетей. Кратко представлены методы получения информации о текущем состоянии телекоммуникационных сетей, логических каналах и устройствах. В заключении представлены рекомендации по оптимизации пропускной способности телекоммуникационных сетей в целом.

Die Inhaltsangabe

The article deals with the analysis of congestion logical channels distributed telecommunications network monitoring problem and redistribution of traffic. Studied in detail the monitoring workload and how to change the channel capacity for uniform traffic telecommunication networks. Summarizes the methods of obtaining information about the current state of telecommunications networks, logical channels and devices. In conclusion, submitting recommendations to optimize the capacity of telecommunications networks in general.

Введение

Задача мониторинга сетевого трафика возникает в масштабных телекоммуникационных сетях распределенного характера, которые могут включать в себя одну или несколько реализуемых сетевых технологий, например таких как PDH(Plesiochronous digital hierarchy- Плезиохронная цифровая иерархия) , SDH(Synchronous optical networking- Синхронные оптические сети) или DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing- Плотные мультиплексирование с разделением по длине волны). Решение задачи распределения трафика, чтобы равномерно распределить нагрузку передаваемой информации, максимально использовать ресурсы сети и уменьшить время ожидания передаваемой информации по каналам сети. Решение данной задачи актуально как для огромных распределенных сетей, например в масштабе страны, так и для более мелких сетей масштаба города или района. Крупнейшим оператор телекоммуникационных ресурсов таких как телефонная связь, сотовая связь и интернет услуги, на территории Российской Федерации является компания Ростелеком[1]. Тесная интеграция производственных и бизнес процессов с информационными технологиями, к сожалению, вместе с огромными преимуществами приносит и существенные проблемы. Цена любой ошибки или сбоя в корпоративной сети очень высока, но при этом общие законы надежности сложных систем гласят следующее: чем больше элементов системы, тем больше вероятность ее отказа или сбоя. Примеров финансовых потерь и даже краха некоторых корпораций и банков из-за отказов их информационных систем достаточно много. По данным исследований фирмы Infonetics частота сбоев в локальных вычислительных сетях (ЛВС) предприятий США равна 23,6 в год, среднее время их устранения – около 5 часов. Для регулирования трафика зачастую используют режим грубой корректировки, а именно задание пропускной способности канала напрямую через коммутативные устройства, путем изменения пропускной способности портов. На участках с быстроменяющимся трафикальным режимом используются системы слежения трафика, не участвующие в его изменении. Программно-

аппаратный комплекс мониторинга распределенных телекоммуникационных ресурсов комбинирует в себе и получение текущей ситуации о загруженности каналов и прямое воздействие на трафик канала путем задания пропускной способности логического канала, конечно же с учетом максимальной пропускной способности логического и физического соединения. Поддержка работы любой компьютерной сети требует ежедневного решения различных задач, от эффективности решения которых напрямую зависит качество и надежность функционирования сети как единого комплекса.

Международные организации по стандартизации в сфере телекоммуникаций и связи выработали ряд стандартов (ITU-T X.700 и близкий к ним стандарт ISO 7498-4), описывающих группы задач, решаемых независимо от объекта управления и уровня интеграции при эксплуатации сети [2]:

- Управление оборудованием сети - настройка параметров работы сетевых устройств, определение физической и логической топологий, определение приоритетов на передачу тех или иных пакетов данных.
- Обработка ошибок работы сети - выявление, определение, сигнализация и, если это возможно, устранение последствий сбоев, отказов или, просто, неправильной работы оборудования. В эту группу задач также входит фильтрация, маршрутизация и корреляционный анализ сообщений об ошибках.
- Анализ производительности и надежности - накопление некоторых статистических данных работы сети, например, время реакции системы, пропускная способность каналов, интенсивность трафика и др. Данные показатели необходимы для оперативного управления сетью и оптимального планирования загрузки и развития сети.
- Управление безопасностью и полномочиями пользователей - контроль использования ресурсов сети, сохранение целостности данных, поддержка процедур аутентификации пользователей и проверка их полномочий при доступе к ресурсам. Часто эти задачи решаются средствами отдельных программных и программно-аппаратных комплексов.
- Учет работы сети - учет использования информационных ресурсов. Эта группа задач тесно связана с таким понятием как биллинг, т. е. с оплатой за использование тех или иных ресурсов сети.

1 Система мониторинга телекоммуникационной сети

Программно- аппаратный комплекс мониторинга в рамках решаемых задач должен проводить периодический анализ заданного участка сети или всей сети в целом. Предоставление информации можно получить двумя способами графическим и аналитическим. Для примера был выбран тестовый участок сети, включающий в себя три устройства, два физических канала и три логических. На рисунке представлено отображение текущего состояния цепи в момент снятия данных с участка. Скриншот иллюстрирует типы физических каналов, названия каналов, типы устройств, входящих в участок и их типы.



Рисунок 1 – Визуальное представление физических каналов участка цепи

На рисунке 1 рядом с пиктограммами устройств находятся пиктограммы портом, отмеченные различным цветом. Зеленый цвет означает, что порт находится в состоянии «Свободен», а синий цвет означает, что порт находится в состоянии «Работает», в случае, если канал оканчивается на порты с различными состояниями, то он переходит в режим соответствующий более приоритетному порту, а именно «Свободен». Также на рисунке 2 мы можем наблюдать представление участка сети, включающую в себя три устройства, два физических канала и три логических. На рисунке представлено отображение текущего состояния цепи в момент снятия данных с участка. Скриншот иллюстрирует типы логических каналов, названия каналов, типы устройств, входящих в участок и их типы.

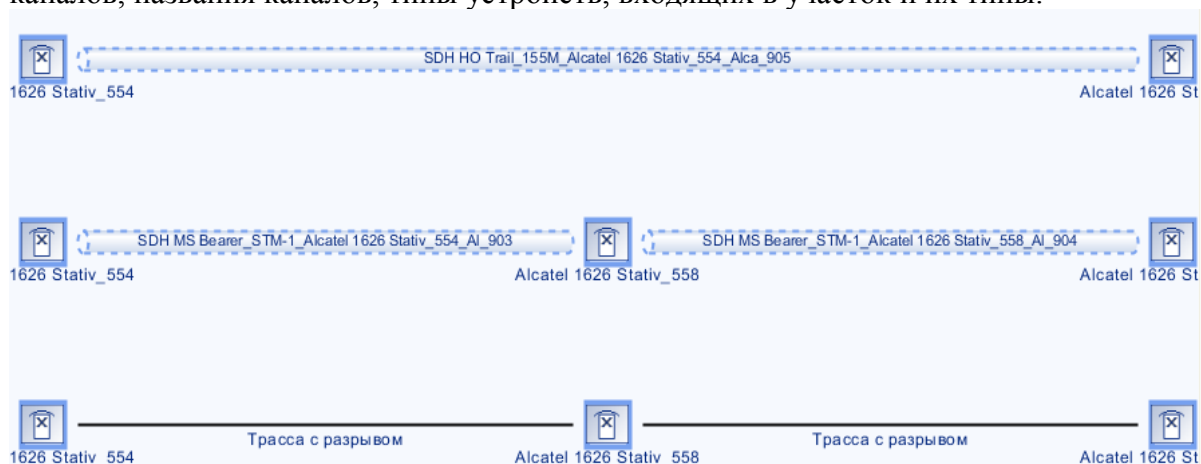


Рисунок 2 – Визуальное представление участка цепи

На рисунке 2 логические каналы изображены пунктиром, это означает, что канал связи по какой то причине не может функционировать и необходима настройка всех связанных с каналом элементов.

Мониторинг сетевого трафика осуществляется посредством вызова отчета о состоянии трафика сети.

N/A	N/A	N/A	N/A	PDH Circuit 4K Alcatel 1626 LM 552 Alcatel 162 785
N/A	N/A	N/A	N/A	PDH Circuit 4K Alcatel 1626 LM 556 Alcatel 162 787
1/3	TRBD1131	1	E1.1.3.1	У порта есть терминирующиеся линки и каналы, но канал этого типа не выбран
		2	Client.1.3.1	У порта есть терминирующиеся линки и каналы, но канал этого типа не выбран
		3	WDM.1.3.In.1	У порта есть терминирующиеся линки
		4	WDM.1.3.Out.1	У порта есть терминирующиеся линки
		1	WDM.1.5.BAND.In.1	
		2	WDM.1.5.BAND.Out.1	

Рисунок 3 – Отчет о состоянии устройства

На рисунке 3 показан отчет об устройстве, на который оканчивается физический и логический каналы. В отчете представлена плата с портами, которые участвуют в передаче трафика.

2 Система изменения трафика телекоммуникационной сети

Для осуществления изменения пропускной способности канала необходимо прибегнуть к изменению пропускной способности портов плат устройств, на через которые осуществляется передача информации на участке телекоммуникационной сети.

Свойства

Поле	Значение
Тип порта	Client
Название полосы пропускания	WDM
Номер порта	2
Позиция DF (DNA)	
Интерфейс	
Протокол	
Направление	Undefined, Bus
Название	Client.1.3.1
Полное название	
Относительное название	
Псевдоним 1	99
Псевдоним 2	
Идентификатор (ID) объекта	
Подтип	Не определено
Под-статус	
Описание	

Состояние

Поле	Значение
Состояние	Запланирован
Функциональное состояние	--Не определено
Выделено для удаления	--Не определено

Дополнительные свойства

Поле	Значение
Инвентарный номер	
Серийный номер	
Продукт код	
Сконфигурированная пропускная способность	STM-4
Версия модуля	SFP-P1L1-1D1 (SM, multirate, 40 km)

Применить изменения позже

Рисунок 3 – Изменение пропускной способности канала

Метод изменения пропускной способности канал путем изменения пропускной способности порта платы устройства, на которое оканчивается логическое соединение канала, приведен на рисунке 5.

Заключение

В статье был проведен анализ существующих принципов и стандартов построения систем управления сетями. Построение системы управления сетью строится на основе принципа взаимодействия «агент-менеджер». Эта схема использует абстрактную модель управляемого ресурса, называемую базой управляющей информации. Агент взаимодействует с управляемым ресурсом по нестандартному интерфейсу, а с менеджером - по стандартному протоколу через сеть.

Для управления сетью используются различные методы и инструменты анализа состояния сети и управления. Применение данных инструментов необходимо для обеспечения ее надежного и устойчивого функционирования. Но для решения всего комплекса задач не существует универсального инструмента. Применение кабельных тестеров и анализаторов протоколов незаменимо при поиске и устранении сложных, трудно обнаруживаемых проблем. Но применение в масштабах всей сети такого подхода сильно затруднено в силу ее сильной структурированности и мало эффективно, так как дает очень подробные данные. К тому же данные методы не позволяют вообще изменять параметры работы оборудования.

Применение протоколов telnet и http для сбора информации и управления привлекательно только в случае небольших сетей, так как управление на их основе осуществляется индивидуально для каждого устройства. К преимуществам можно отнести низкую себестоимость клиентского программного обеспечения, но управление при помощи telnet-клиента трудоемко и не стандартизовано (также как и по http). Построения единой системы управления на основе данных методов для поддержки работы сетей большего размера будет неэффективно и полученный продукт окажется громоздким и неудобным в использовании.

В ходе решения задач и при дальнейшем развитии аппаратно-программного комплекса планируется уменьшить время вступления в силу изменений пропускной способности портов, для скорейшего высвобождения/передачи трафика от незагруженных логическим каналам более нагруженным.

Литература

1. ТОП-10 крупнейших в России магистральных сетей на декабрь 2011 года // Стандарт: журнал. — 2011. — № 12 (107). — С. 54.
2. Управление неоднородными сетями [Электронный ресурс]. URL: http://www.citforum.ru/nets/tpns/glava_16.shtml (дата обращения: 24.12.2012).
3. А.И.Власов, В.В.Иванов, И.А.Косолапов Методы упреждающего прогнозирования состояния широкополосной сети связи // Программные продукты и системы. 2011. №1. С.3-6.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА РЕЖИМА ВВОДА В УСТРОЙСТВАХ СЕНСОРНОГО ВВОДА ИНФОРМАЦИИ

Терентьев Д.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

INTELLIGENT SYSTEM FOR INPUT MODE SELECTION IN DEVICES OF TOUCH INPUT INFORMATION

Terentyev D.S.

Supervisor: Ph.D., Associate Prof. Vlasov A.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается разработка автоматической системы, имеющей ряд признаков искусственного интеллекта, выбора режимов ввода в проекционно-ёмкостных сенсорных экранах. Подробно исследованы внешние воздействующие факторы, влияющие на работу сенсорных экранов, а также представлен алгоритм выбора режима ввода, объединённый с алгоритмом определения координат прикосновения в проекционно-ёмкостной сенсорной панели. Для решения поставленных задач автоматического выбора режимов ввода и идентификации пользователя использованы методы фреймового представления знаний в виде семантического дерева. Кратко представлены примеры использования разработанной системы в сенсорных панелях остальных, кроме проекционно-ёмкостной, технологий. В заключении представлены рекомендации по редактированию базы знаний и данных интеллектуальной системы выбора режима ввода для её дальнейшего совершенствования, адаптированной к узкоспециализированному кругу решения задач в соответствии с требованиями заказчика.

Abstract

The article deals with the development of an automatic system, which has a number of features of artificial intelligence, input mode is selected in the in projective-capacitive touch screens. Investigated in detail the external influencing factors that affect the touch screen, as well as an algorithm for selecting the input mode, combined with the algorithm to determine the coordinates of the projection-touch capacitive touch panel. To solve the problems of automatic input mode is selected and the user identification methods used framing knowledge representation in the form of a semantic tree. Summarizes examples of the use of the developed system in sensory panels other than the projective-capacitive technology. Finally, recommendations have presented for editing the knowledge base and database of intelligent system input mode is selected for further improvement, and adapted to a highly specialized range of tasks in accordance with the requirements of the customer.

Введение

Системы искусственного интеллекта на настоящий момент широко внедряются во все области человеческой деятельности, и обеспечивается такое направление иной концепцией разработки электронно-вычислительной техники. Традиционная ключевая логика в скором будущем, как ожидается, перестанет использоваться в проектировании электронно-вычислительных устройств – её сменят принципиально иные основы и принципы функционирования вычислительных машин. Широкие возможности открывают такие направления, как нейронные сети (пороговая логика), биокомпьютеры (ДНК-логика), квантовые компьютеры (спин-логика).

Полностью разработанной элементной базы на данный момент во всех этих отраслях пока нет, но активно внедряются некоторые принципы в последних разработках устройств, работающих на ключевой логике. Так, системы «умный дом», в последнее время широко внедряющихся на рынок сбыта, использующие некоторые примеры реализаций распознавания образов, определения и разграничения прав доступа и т.д. Также охранные системы различных объектов, автоматические устройства обнаружения и идентификации объектов в оборонной промышленности ведущих мировых держав – также используют некоторые достижения в области так называемой «не традиционной» логики.

Поэтому актуальность работы заключается в необходимости внедрения в системы ввода-вывода информации электронных устройств признаков искусственного интеллекта для возможностей автоматической идентификации пользователя и разграничения прав доступа, а также повышения удобства в эксплуатации.

Цель работы заключается в создании автоматической интеллектуальной системы перехода в различные режимы ввода сенсорного проекционно-ёмкостного экрана в зависимости от внешних факторов и без проведения диалога с пользователем. Решить эту задачу наиболее оптимальным и менее затратным способом способны системы, работающие не по принципу традиционной ключевой логики, а на принципах пороговой логики и с моделирующих работу биологических нейронных сетей в живых организмах, то есть искусственный интеллект. Рассматриваемые режимы, по большей части, уже использовались в той или иной форме по отдельности в электронных устройствах обработки информации. Но определение нужного режима осуществлялось в основном самим пользователем, а не электронно-вычислительной машиной. В работе поставлена задача усовершенствования режима сенсорного ввода путём использования методов пороговой логики, теории экспертных систем и фреймовых способов представления знаний, систем искусственного интеллекта, посредством чего должен быть обеспечен автоматический выбор режимов ввода в сенсорном экране и идентификации пользователя.

Подобные решения за последние пять лет уже использовались ведущими мировыми производителями мобильной электроники. Так, в мае 2009 компания Google Inc. подала заявку на патент об усовершенствовании смартфонов с мобильной ОС Android, заключающейся в интеллектуальной системе выборов профилей при эксплуатации коммуникаторов и мобильных телефонов. Запатентована разработка под названием "Активация приложений на основе данных акселерометра". Информация при помощи системы датчиков будет считываться автоматически при различных передвижениях пользователя в пространстве: ходьбе, вождении транспортного средства, езде на велосипеде, спокойном положении за столом в офисе и т.д. Все это будет генерировать соответствующие профили и устройство самостоятельно, без каких-либо воздействий пользователя, будет запускать актуальные на данный момент приложения [1].

Таким образом, устройство будет, например, автоматически включать воспроизведение музыки во время прогулки или пробежки, настраивать режим громкой связи во время вождения автомобиля, загружать браузер с web-страницами новостей, если пользователь едет в общественном транспорте, синхронизировать документацию и сообщения с рабочим компьютером по прибытии в офис. Конечно, для того, чтобы точно определить, что в данный момент делает пользователь, одного акселерометра мало. Предполагается также использовать показания GPS-приемника и время, это особенно актуально для работающих владельцев мобильных устройств, график которых более или менее стандартен (в рабочие дни) [1].

Для понимания принципов функционирования разработанной системы выбора режима сенсорного ввода используются следующие понятия в области систем искусственного интеллекта и электронике:

- ёмкостной сенсорный экран – устройство ввода информации без использования механических кнопок, в котором для определения координат прикосновения контроллером используется изменение электрической ёмкости вследствие физического контакта тела пользователя к поверхности устройства отображения информация (дисплея).

- проекционно-ёмкостной сенсорный экран – разновидность ёмкостного сенсорного экрана, в основе конструкции которого традиционно является сетка из горизонтальных и вертикальных проводников, разделённых между собой диэлектриком. В местах пересечений проводников образуются взаимные электрические ёмкости, и сенсорная панель представляет собой набор конденсаторов, каждый из которых представляет собой те или иные координаты прикосновения. Контроллер опрашивает поочередно вертикальные и горизонтальные электроды для измерения напряжений на них, посредством чего по изменению напряжения определяет координаты касания. В работе предлагается иная конструкция проекционно-

ёмкостной панели в виде двух слоёв электродов (одинакового количества в каждом слое), представляющих собой толстоплёночные конденсаторы. И в первую очередь для этой конструкции будет разрабатываться интеллектуальная система автоматического выбора режимов ввода.

- экспертная система (ЭС) – программа, использующая знания специалистов (экспертов) о некоторой конкретной узко специализированной предметной области и в пределах этой области способна принимать решения на уровне эксперта-профессионала. Существуют проблемно-ориентированные (для решения задач диагностики, прогнозирования, проектирования) и предметно-ориентированные для специфических задач (наиболее подходит для разрабатываемой ЭС выбора режимов ввода). Также существует разделение ЭС по степени зависимости от внешней среды: статические и динамические. В работе использована динамическая ЭС, так как она учитывает динамику внешней среды и предназначена для решения задач в реальном времени. Время реакции в таких системах может задаваться в миллисекундах, и реализовываются в основном на таких языках программирования высокого уровня, как C++.

- экспертные системы-оболочки – особый класс программ, который создан с целью позволить специалистам, не являющимся программистами, использовать результаты деятельности последних, и решающих такие же проблемы. Оболочки ориентированы на достаточно узкий класс задач, хотя и более широкий, чем та программа, на основе которой создана сама оболочка.

- PL/SQL – язык структурированных запросов к базам данных с использованием хранимых процедур, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных.

- база знаний – структурированная система хранения сведений из какой либо области знаний, отличающаяся от базы данных тем, что в ней содержится информация не о конкретных значениях какого либо объекта, а набор определений, свойств, атрибутов каких либо явлений или предметов, а также логические правила и заключения. Синтез всех этих объектов, хранящихся в базе знаний, позволяет при определённой стратегии вывода получать решения проблем, которые нельзя привести к формализованному виду (или слишком сложно) в традиционных программах и алгоритмах, работающих с числовыми и символьными данными.

- фреймовая структура представления и описания знаний – систематизированная модель, моделирующая память человека и его сознания. Состоит из фреймов – абстрактных образов, и его атрибутов, то есть свойств каждого фрейма, представляющего собой определённый предмет, явление или ситуацию. Атрибуты имеют конкретные значения. Описывая ту или иную ситуацию и внешние условия, эти значения могут меняться.

- AMOLED – Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode: активная матрица на органических светоизлучающих светодиодах, альтернатива ЖК-дисплею, дальнейшее развитие OLED (Organic Light-Emitting Diode).

Назовём также операционную систему ОС, карманные персональные компьютеры КПК, а систему глобального позиционирования – GPS (Global Positioning System).

Перечислим основные достижения в области проекционно-ёмкостных сенсорных экранов в мобильных устройствах ввода-вывода информации (мобильные телефоны, КПК, смартфоны и т.п.) и какие проблемы уже удалось разрешить, какие пока остаётся не решёнными:

1. Проекционно-ёмкостной экран распознаёт любые прикосновения руки человека, но не в перчатке или остальными предметами (в кармане и т.д.);

2. Различные требования к режимам ввода информации в сенсорный экран в зависимости от внешних условий. Например, телефон, только что убранный в карман, и не успевший ещё заблокироваться, может ошибочно среагировать на прикосновения других предметов, и возможно самопроизвольное реагирование контроллера проекционно-ёмкостного экрана случайные прикосновения предметов (ткани и т.д.) в кармане одежды пользователя;

3. В устройствах сенсорного ввода, представленных на настоящий момент на мировом рынке электроники, пока отсутствует возможность распознавания определённого рисунка отпечатков пальцев руки конкретного человека, что особенно актуально при эксплуатации сенсорного оборудования государственными структурами и ведомствами, вооружёнными силами и службами обеспечения безопасности (как федеральными, так и частными);

4. На данный момент отсутствуют интеллектуальные системы автоматической блокировки сенсорного экрана и перехода в режим ожидания. Существуют только системы, осуществляющие такие функции лишь при истечении заданного на этапе разработки ПО контроллера промежутка времени;

5. При использовании сенсорных экранов в мобильных телефонах и коммуникаторах могут возникнуть некоторые неудобства при поднесении устройства к уху при разговоре – контроллер сенсорной панели может ошибочно зарегистрировать прикосновение на случайном участке дисплея и тем самым произвести нежелательные на данный момент для пользователя действия.

6. Наряду с интенсивным развитием сети Интернет и веб-технологий наблюдается быстро возрастающий объём инструментов навигации при просмотре веб-страниц: концентрация ссылок на Интернет страницы возрастает и, тем самым, не всегда удобно выбрать нужную ссылку вследствие её малых размеров на дисплее мобильного портативного устройства, использующего сенсорный ввод информации. Причём чем меньше размеры сенсорного экрана, тем более точно пользователю приходится предпринимать попытки произвести прикосновение к требуемой области на дисплее, в которой расположена ссылка.

Наличие перечисленных выше проблем и, как следствие, возможность в дальнейшем совершенствовании использования сенсорных устройств ввода информации создают необходимость в создании интеллектуальной системы идентификации пользователя или их групп, а также задания режимов ввода в зависимости от определения взаимодействующего с экраном объекта и прочих внешних воздействующих факторов.

Рассмотрим поставленные выше задачи по порядку, отмечая уже некоторые недавние частичные решения этих проблем, и что нового предлагается в данной работе:

1, 6. Проблема ввода в перчатке и в иных поверхностных тканях одежды в проекционно-ёмкостных экранах была разрешена сравнительно недавно: «floating-touch», или «парящее прикосновение». Эта новая функция экрана позволяет вводить информацию без непосредственного контакта с поверхностью дисплея при помощи подведения пальца на расстояние (на данный момент) не более 22 мм. 15 марта 2012 года компания Sony первой представила новый тип проекционно-ёмкостного экрана в своём мобильном телефоне Xperia Sola [2].

Недостаток уже существующих таких решений состоит в том, что эта технология в современных мобильных телефонах, КПК и прочих электронно-вычислительных устройствах в основном либо находится постоянно в рабочем состоянии при сенсорном вводе, либо предлагается как дополнительная опция, активизируемая в настройках операционной среды устройства (последнее пока намного реже). Также её круг применения ещё очень узкий: только в веб-браузерах мобильной операционной системы Android начиная с версии 2.3. Применение заключается в выделении ссылок (изменяя их цвет или размеры) при наведении, не касаясь пальцем к экрану, на ссылку.

Поскольку, скорее всего, за этой технологией будущее развитие электронных устройств ввода-вывода информации, то её сфера должна в дальнейшем существенно расширяться, поэтому в экспертной системе выбора режимов ввода должен быть предусмотрен соответствующие режимы ввода для «floating touch»: «режим ввода в перчатке» и «режим работы в Интернете».

2, 4. В последние годы во многих мобильных устройствах с сенсорным проекционно-ёмкостным экраном начала использоваться технология «slide to unlock». Впервые её продемонстрировала в своих продуктах компания Apple Inc. в 2007 году, а запатентовала в 2010 году. Устройство с сенсорным экраном может быть разблокировано с помощью жестов, осуществляемых на экране при определённом контакте с дисплеем, в соответствии с заранее

определенным жестом для разблокировки. Сенсорный проекционно-ёмкостной экран отображает одно или несколько изображений с просьбой о разблокировке, в отношении которых должны быть выполнены предопределенные жесты разблокировки. Выполнение жеста может включать перемещение изображения «разблокировать» в заранее определенное место и/или по заранее определенному пути. Устройство так же может отображать визуальные сигналы из предопределенных жестов на сенсорном экране, чтобы напомнить пользователю соответствующий жест [3].

В работе предлагается следующее решение. При нахождении устройства с сенсорным экраном в кармане, сумке, чехле – предполагается использовать «режим ожидания», в котором сенсорный ввод заблокирован, и от случайных внешних механических воздействиях контроллер определения координат касания не будет фиксировать никаких изменений напряжения после конденсатора. В традиционной блокировке сенсорного экрана по истечению какого либо промежутка времени (например, 10 секунд), а затем последующему разблокированию устройства ввода информации (даже не обязательного сенсорного) путём нажатия какой либо комбинации клавиш, или (на сенсорных панелях) механической клавиши за пределами сенсорного экрана, специально предусмотренной для таких случаев. Здесь же предлагается автоматический переход в режим ожидания и последующий выход из него без использования механических кнопок и каких-либо действий со стороны пользователя – достаточно вынуть устройство из кармана/сумки и происходит автоматическая разблокировка сенсорного экрана.

3. Проблему блокировки устройств ввода-вывода информации в мобильных электронно-вычислительных устройствах в последние годы предпринимали попытки разрешить такие компании, как HTC Corporation, Samsung Group Inc. Так, в декабре 2011 года компания HTC получила патент на технологию «Face Unlock» (технология биометрической авторизации). Если точнее, то это патент на «разблокировку устройства с помощью биометрических данных пользователя». Биометрическая информация может быть как внешним видом человека, так и отпечатком пальца. Разблокировка по распознаванию отпечатка пальца пока не распространена в мобильных электронных устройствах. HTC Corp., таким образом, будет являться первой компанией, сделав такой тип разблокировки основным в своих устройствах технологическим лидером. Кроме того, патент HTC описывает ситуацию, когда устройство не распознаёт пользователя. После этого пользователь вводит защитный код, и при следующей разблокировке устройство с такой системой авторизации уже сможет его проидентифицировать корректно. Функцию «Face Unlock» компания HTC планирует использовать в мобильной ОС Android 4.0 Ice Cream Sandwich для своего нового смартфона Galaxy Nexus [4].

В разработанной экспертной системе для сенсорных экранов для того, чтобы ограничить ввод-вывод информации до одного или нескольких (группы) пользователей, используется «персональный режим». Для гражданского применения при нахождении пользователя в общественных местах при утере или краже устройства – никто, кроме самого пользователя, не сможет пользоваться полученным оборудованием (и, как следствие, и получить доступ к информации, так как экран заблокирован). Для юридических лиц, внутри организации с помощью установления доступа к информации в устройстве определённой группе пользователей реализуется конфиденциальность и защита корпоративной тайны от конкурентов и недоброжелателей. В оборонной промышленности, силовых ведомств – преимущество использования «персонального режима» очевидно. Идентификация пользователя/группы пользователей происходит путём преобразования получаемой информации со светочувствительной матрицы из фотодиодов.

Введём ещё один режим ввода, который будет являться основным – «режим ввода пальцем», то есть при отключённых функциях блокировки, «floating-touch», идентификации пользователя/группы пользователей, датчика приближения.

5. Определение нахождения устройства с проекционно-ёмкостным экраном в кармане определяется посредством датчика приближения, использующимся уже несколько лет во многих сенсорных экранах мобильной электроники («режим ожидания»). При

использовании сенсорного экрана в мобильных телефонах, КПК и коммуникаторах предусмотрен «режим разговора»: нахождение телефона в режиме разговора, или при прослушивании записи в диктофоне также определяется при помощи датчика приближения. Работа датчика основана на следующем принципе – при поднесении телефона к уху ближе чем на 20 мм происходит блокировка сенсорного экрана.

С помощью датчика приближения телефон тратит примерно в два раза меньше энергии аккумулятора во время разговора (дисплей и его подсветка - два самых затратных, в плане энергии, компонента телефона.). Так же сенсорный датчик приближения выполняет незаменимую функцию – блокирует сенсорную панель телефона, в результате чего исключается случайное нажатие на экран и формирование процессором каких-либо не нужных пользователю на данный момент действий. при этом функциональные кнопки уменьшения или увеличения громкости работают.

Таким образом, использование режима ожидания и режима разговора (последний для использования сенсорного экрана в мобильных телефонах) существенно облегчает и оптимизирует использование устройства с сенсорной панелью с точки зрения энергосбережения телефона и комфортного общения.

Для выбора того или иного режима ввода измеряются напряжения с восьми датчиков, девятый и десятый сигналы поступают от ОС мобильного электронного устройства с проекционно-ёмкостным сенсорным экраном. Всего, таким образом, семь возможных режимов ввода, определяемых автоматически алгоритмом ЭС, которая может быть интегрирована как в алгоритм определения координат прикосновения, так и в виде программного приложения в ОС устройства. По полученным напряжениям с каждого датчика алгоритм ЭС сравнивает фактическое значение с хранимым в памяти программы (значения атрибутов слотов объектов) и принимает решение о выборе того или иного режима ввода. Решение, несмотря на аппаратную реализацию на традиционной КМОП-логике с полевыми транзисторами, выбирается по схеме нечёткой логики с использованием фреймового представления знаний о режимах ввода, их атрибутов (внешних возможных факторах) и значений.

В первом разделе описывается конструкция сенсорной проекционно-ёмкостной панели, для которой будет разрабатываться ЭС выбора режимов ввода и идентификации пользователя. Некоторые функции режимов ввода, использующихся в ЭС, могут использоваться корректно только в разработанной конструкции, с учётом первоначальных баз данных и знаний, а также варианта алгоритма автоматической активации тех или иных режимов. То есть в дальнейшем, по требованию заказчика, разработанная ЭС может быть адаптирована и под другие сенсорные ёмкостные экраны.

Во втором разделе проведено исследование и решение проблем устройства ввода информации при помощи сенсорной технологии. В этом разделе определена структура предложенной для использования в сенсорных экранах ЭС выбора режимов ввода и идентификации пользователя на теоретическом уровне, сформулированы её принципы работы и составлена функциональная схема. Последняя способна осуществлять такие функции, как отделение режимов ввода в перчатке от режима ввода пальцем, блокировки экрана в кармане, сумке или полного отсутствия возможности на заданное время ввести информацию через сенсорный экран в устройство. Разработан алгоритм автоматического выбора режима сенсорного ввода и выбрана аппаратная реализация: на программном уровне (ПЛИС контроллера сенсорного проекционно-ёмкостного экрана), или в оболочке операционной системы устройства, где будет применяться сенсорный экран.

В следующем разделе описываются модель базы знаний и данных разрабатываемой ЭС сенсорного экрана, происходит их наполнение. Способ представления знаний выбран в виде семантического фреймового дерева, что обеспечило возможность быстрого поиска нужного режима ввода путём опрашивания фреймов и слотов на соответствие желаемым значениям слотов. Последние определяются при помощи интерактивного диалога с пользователем или обменом информацией с внешней средой посредством датчиков.

Базы знаний и данных состоят из 8 фреймов (количество режимов ввода), 3 слотов и 3 возможных значений у двух слотов. Такое первоначальное наполнение задаёт основы основных, требуемых с точки зрения потенциально возможных заказчиков сенсорного оборудования, режимов ввода и принципов построения интеллектуальной системы сенсорной проекционно-ёмкостной панели. Эксперт-программист, владеющий администраторскими правами, может в дальнейшем редактировать базу данных, добавлять новые слоты внешних факторов воздействия на сенсорный экран, вносить изменения в уже заданные слоты, или созданные другими экспертами.

Четвёртый раздел включает в себя разработку программного обеспечения ЭС и её базы знаний (фреймы и слоты) и данных (возможные значения). Разработанное программное обеспечение на языке C++ полностью удовлетворяет всем требованиям к ЭС сенсорного экрана и задаёт основы дальнейшего усовершенствования и разработки новых ЭС по заложенным принципам, сформулированных в ходе выполнения работы. Распознавание отпечатков пальцев возможно организовать в разработанной ЭС в виде отдельного блока программной реализации нейронной сети распознавания образов (сеть Хопфилда для распознавания бинарных векторных изображений).

1 Анализ проекционно-ёмкостной сенсорной панели

Проекционно-ёмкостной сенсорный экран, на применение в котором изначально будет ориентирована разработанная ЭС выбора режимов ввода представляет собой матрицу конденсаторов, выполненных не в виде пересечения проводников (как в классическом проекционно-ёмкостном сенсорном экране), а дискретных площадок в виде пар двух толстых проводящих плёнок, разделённых диэлектрическими плёнками, а между собой полистиролом (Рисунок 2). Эти конденсаторы имеют равные геометрические размеры пластин и расстояния между ними, следовательно, равные значения электрической ёмкости. К каждому из них подведены контакты для измерения напряжения в виде печатных проводников на плате.

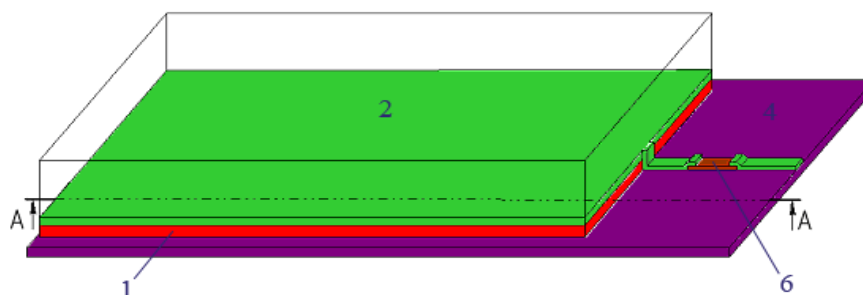


Рисунок 1 – Структура разработанного проекционно-ёмкостного экрана

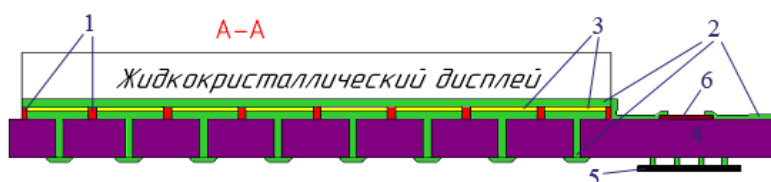


Рисунок 2 – Вид сенсорного экрана в разрезе

К рисункам 1 и 2: Красным цветом (1) - обозначена разделяющая и обрамляющая матрицу из конденсаторов сетка из полистирола. Зелёным цветом (2) обозначен проводниковый материал, а жёлтым (3) диэлектрик между обкладками. В плате (фиолетовый цвет, 4) сформированы отверстия для подсоединения проводников к нижним обкладкам. Интегральная микросхема специализированного контроллера определения координат касания выделена чёрным цветом (5) и располагается с обратной стороны. Коричневым цветом (6) справа обозначен толстоплёночный резистор.

Для пояснения принципа работы представим работу такого экрана в виде следующей модели (Рисунок 3):

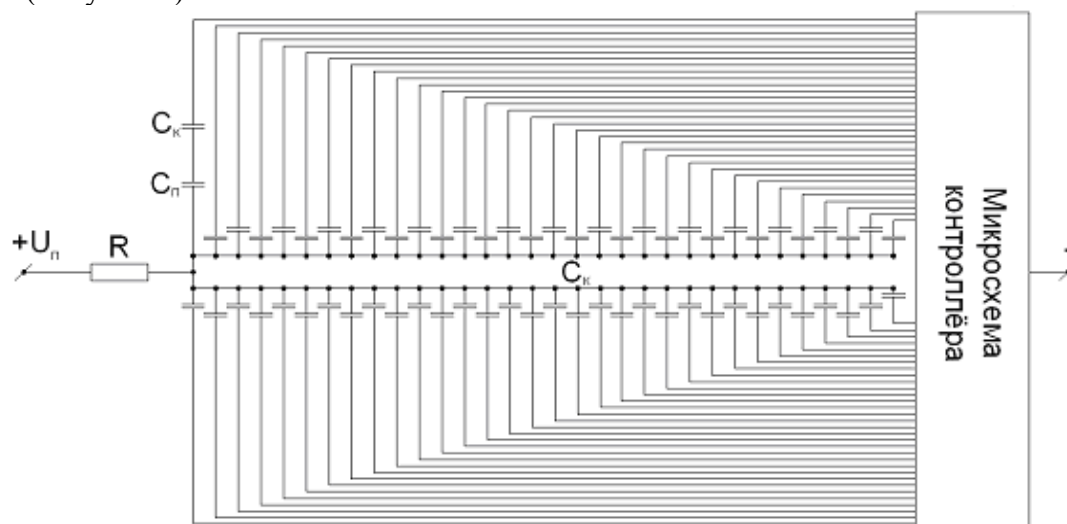


Рисунок 3 – Топологическая модель работы проекционно-ёмкостного экрана

Конденсаторы экрана расположены на рисунке для удобства в виде двух рядов, по 32 в каждом. После падения напряжения питания U_n на резисторе R электрический ток приходит в равной степени на 64 конденсатора, соединённых параллельно.

Пользователь, совершая касание к участку дисплея над произвольным конденсатором (на рисунке 3 выбран первый конденсатор слева в верхнем ряду) ёмкости C_k , образует последовательно подключённую к ёмкости конденсатора дополнительную ёмкость прикосновения C_n (C_k – ёмкость конденсатора при отсутствии прикосновения).

Затем электрический ток, проходящий через конденсаторы, независимо уже на их выходных достигает микросхему специализированного контроллера, определяющего координаты касания. Последний, в свою очередь, определяет координаты прикосновения при помощи фиксирования изменения (увеличения) напряжения после соответствующего конденсатора путём сравнения с эталонным значением напряжения. Одновременно контроллер, тем самым, способен распознавать два и более прикосновения.

Технология «floating-touch» может быть реализована в таком экране и без внесения в конструкцию дополнительных мощных датчиков регистрации отдалённых электрических ёмкостей. Так, в обычном проекционно-ёмкостном экране используются для образований ёмкостей пересечения тонких, порядка нескольких сотен мкм, проводников, поэтому площадь их пересечения очень мала (0,01-0,05 мм²). Следовательно, значение образуемой электрической ёмкости слишком низкое для регистрации ёмкости тела человека на расстоянии. В разработанном же проекционно-ёмкостном экране, где используются электроды из толстых плёнок (толщиной в несколько десятком мкм) для образования ёмкостей площадью примерно на 4 порядка больше. Электрическая ёмкость, соответственно, также получается намного больше при таком же расстоянии между обкладками. Этого достаточно для регистрации ёмкостей на расстоянии до 10-20 мм без использования датчиков «собственной ёмкости».

2 Структура и функционирование управляющей системы ЭС

ЭС функционирует следующим образом. Данные, получаемые от датчиков, поступают в контроллер сенсорного экрана. Далее производится опрос получаемых от системы датчиков данных в виде запрашиваемых значений измеренных напряжений. На каждом этапе эта информация сравнивается с записанной в базе данных значений слотов, а следующий вопрос от ЭС определяется базой знаний. Первый вариант опроса определяется

заданным на этапе разработке ПО или специалистом-экспертом по редактированию базы знаний целевым фреймом.

Этап идентификации пользователя сенсорной панели протекает при поочерёдном извлечении из базы данных записанных экспертом образов посредством задания матрицы векторов с бинарными состояниями. Программа в виде нейронной сети, входящая также в состав ЭС, сопоставляет с определённой степенью помехозащищённости записанный образ отпечатков пальцев пользователя/группы пользователя с хранимым в базе данных посредством матрицы из фотодиодов, чувствительных к инфракрасному излучению.

По результатам опроса датчиков интеллектуальная система в контроллёре экрана определяет тот или иной режим ввода, обращаясь к фреймам-прототипам, конкретным фреймам. Фреймы-прототипы представляют собой два возможных варианта модификации сенсорного экрана:

- доступ для всех пользователей – устройство с сенсорным экраном используется всеми, кто захочет. Включает в себя как режим ввода только пальцем, так и рукой в перчатке;
- ограниченный доступ, выполняет функцию блокировки, может быть как полным, то есть для всех пользователей, или частичным, где ввод информации возможен только для одного или группы пользователей.

Конкретным фреймам соответствуют режимы сенсорного ввода с заданными значениями, являющиеся критериями выбора того или иного режима. Восемь базовых режима, перечисленные выше в предыдущей главе, заданы по умолчанию, и им присвоены следующие значения слотов (внешних факторов):

А. Режим ввода пальцем – при использовании устройства с сенсорным экраном дома и любым человеком;

Б. Режим ввода в перчатке – использование устройства также любым человеком, но в местах общественного пользования или на улице, и в холодное время года. Активизируется функция «floating touch»: определение прикосновения на расстоянии до 22 мм, в том числе сквозь ткани одежды;

В. Режим ожидания – при нахождении устройства в кармане или сумке, а использовать его пока не будет/не должен никто. Блокировка экрана;

Г. Персональный режим – нахождение в местах общественного пользования и на улице, и доступ к вводу должен быть только у одного пользователя. Ввод данных разрешён только после распознавания отпечатков пальцев пользователя/группы пользователей посредством матрицы из фотодиодов;

Д. Интернет-навигация – при открытом веб-браузере и установленным соединением с сетью Интернет. Активизируется функция «floating touch»: определение прикосновения на расстоянии до 22 мм при наведении на гипер-ссылки веб-страниц в браузере (наведённая ссылка подсвечивается), физический контакт с поверхностью. Дисплея означает выбор нужной ссылки;

Е. Режим разговора – при работающем голосовом динамике у мобильного телефона и непосредственной близости поверхности экрана и ушной раковины человека. Активизируется датчик приближения при поднесении динамика и микрофона устройства к телу человека ближе, чем на расстояние 30 мм;

Ж. Транспортный режим – при постоянно меняющемся положении устройства в пространстве. Переход устройства в профиль громкой связи;

З. Прослушивание аудиозаписей – при работающем заднем динамике, отвечающего за воспроизведение информации в виде звуковых сигналов, записанных в памяти устройства или принимаемых им в текущий момент (например, через встроенный в устройство радиоприёмник или через беспроводную сеть Интернет). При активации этого режима происходит системная блокировка с возможностью управления аудио-плеером.

Дальнейшие вариации набора значений слотов из уже заданных или новых (добавленных), производимые экспертом-специалистом по ПО контроллёра сенсорного экрана или ОС устройства, где этот экран применяется, приведут к появлению новых

режимов и формированию более интеллектуальной ЭС при повышении требований к режимам ввода информации посредством сенсорного экрана.

Информация о принятом решении передаётся в микропроцессор устройства со встроенной сенсорной панелью. Последний, в свою очередь, формирует управляющие команды на аттенюаторы, или исполнительные устройства. В рассматриваемом случае роль исполнителя осуществляет сенсорный экран.

Эксперт редактирует информацию в базах знаний и данных интеллектуальной системы выбора режимов ввода (вводит, изменяет, удаляет условия выбора режимов и задаёт организацию представления знаний, пополняет новыми данными ЭС). Посредством языков программирования высокого уровня происходит реализация логических правил выбора режимов ввода и базы знаний о внешних факторах (влияющих на принятие экспертной системой решения) в контроллёре сенсорного экрана.

В процессе эксплуатации эксперт может добавить и другие функции: включение/отключение функций мультитач, задание расстояния распознавания касания на расстоянии в зависимости от внешних условий, частичная блокировка сенсорной матрицы (некоторого количества электродов).

Рассмотрим структуру разрабатываемой ЭС на рисунке 5.

Стрелки от датчиков ведут к тем хранящимся в базе знаний ЭС режимам ввода, для которых информация от соответствующих датчиков является определяющей при активации того или иного режим. Так, режим ввода в перчатке определяется тремя атрибутами: местонахождение (датчик освещённости, значение атрибута «на улице и в местах общественного пользования» соответствует значению поглощаемого света интенсивностью более 50 Лм, и датчик уровня шума в виде микрофона – более 45 Дб), количество пользователей.

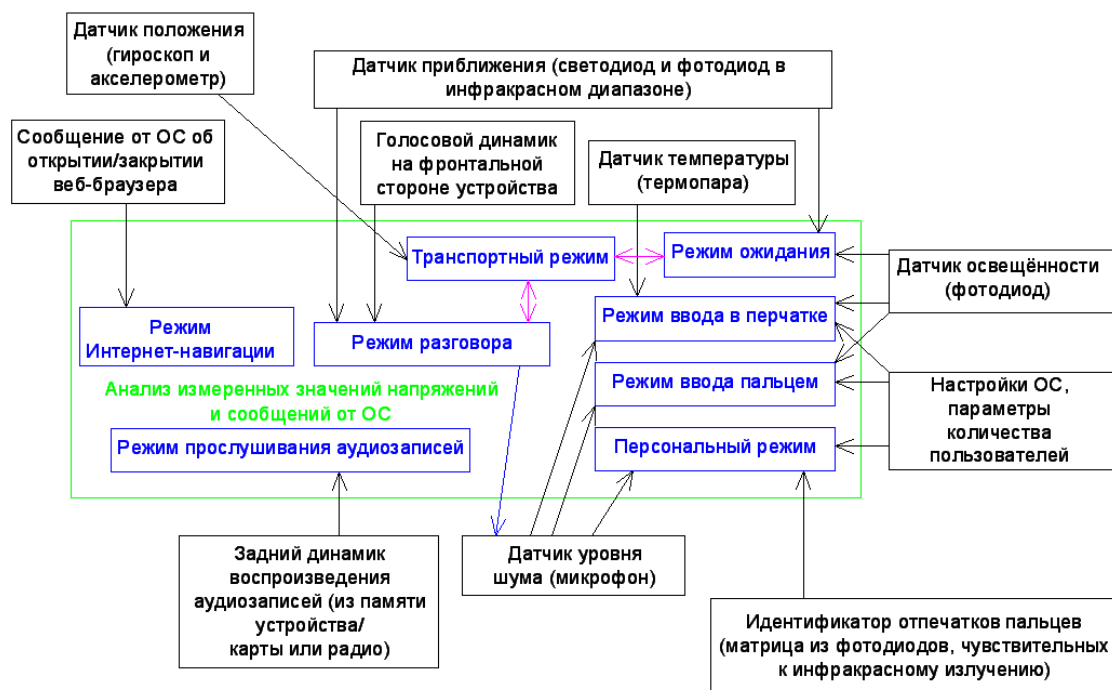


Рисунок 5 – Структурная схема комплекса сбора информации ЭС из внешней среды

Разработанная схема получения информации от внешних источников в блоке обработки измеренных значений напряжений с датчиков (на рисунке 5 зелёным цветом) схожа с принципом обработки информации в биологической нейронной сети головного мозга человека, а стрелки от датчиков напоминают нервную систему, по которым по дендритам (аналогия с проводниками в электронном устройстве) поступают импульсы напряжения в головной мозг, где уже принимаются те или иные решения.

В качестве датчика положения используется гироскоп – для определения угловой скорости, и трёхосевой акселерометр – для определения линейной скорости по трём координатам в пространстве.

Все датчики предполагается расположить на самом устройстве. Блок анализа информации разделён на специализированные зоны, отвечающие, например, за приём звуковых сигналов (режим прослушивания аудиозаписей, режим разговора, режим ввода в перчатке), электромагнитных волн инфракрасного (персональный режим) и видимого диапазона (режим ввода пальцем, персональный режим, режим ввода в перчатке), и т.п. Описанные выше системы схожи с работой слуховой и зрительной систем живых организмов. Распознавание ЭС температуры внешней среды происходит посредством термопары, изменяющееся после неё напряжение определяет активацию режима ввода в перчатке. Внутренняя передача сигналов между ОС устройства и ЭС определения режимов ввода позволяет осуществлять переход к режиму навигации в сети Интернет, персональному режиму.

3 Алгоритм автоматического определения режима ввода в сенсорном экране

Алгоритм принятия того или иного решения о выборе режима ввода в зависимости от ситуации посредством последовательного опрашивания системы датчиков (Рисунок 6). Вопрос выбирается исходя из заданного целевого фрейма, которым может являться тот или иной режим. Вопросы должны состоять из значений атрибутов объекта, принадлежащих конкретному фрейму режима, который выбран в качестве целевого. Например, при задании режима ввода в перчатке первоначальной целью диалога с пользователем структура вывода вопросов будет соответствовать значениям слотов соответствующего конкретного фрейма:

- использовать может любой человек;
- место использование на улице и в общественных местах;
- холодное время года.

В случае утвердительного ответа на первый вопрос о значении слота происходит проверка, соответствует ли это значению одному конкретному фрейму, или режиму ввода.

При положительном результате такой проверки (единственное решение) найденный режим ввода отображается на дисплее устройства с сенсорным экраном. В это время управляющий блок (микропроцессор, контроллер) сформировывает в соответствии с программой команды на исполнительные элементы: приостановка работы драйвера дисплея и прекращение отображения изображения на нём, или остановка работы контроллера определения координат прикосновения для блокировки ввода информации, отключение функции распознавания объектов на расстоянии и т.д.

При отрицательном результате проверки единственности найденного решения процедура опроса продолжается и переходит ко второму, третьему и т.д. возможному значению текущего опрашиваемого фрейма, или режима ввода.

При переборе всех слотов и отсутствии решения блок проверки существования в системе ещё, записанных в базу знаний, режимов ввода, определяет, повторять ли опрос с уже новым целевым фреймом, или нет. При наличии ещё не опрашиваемых комбинаций значений атрибутов объектов, соответствующий конкретный фрейм становится целевым и вся процедура повторяется.

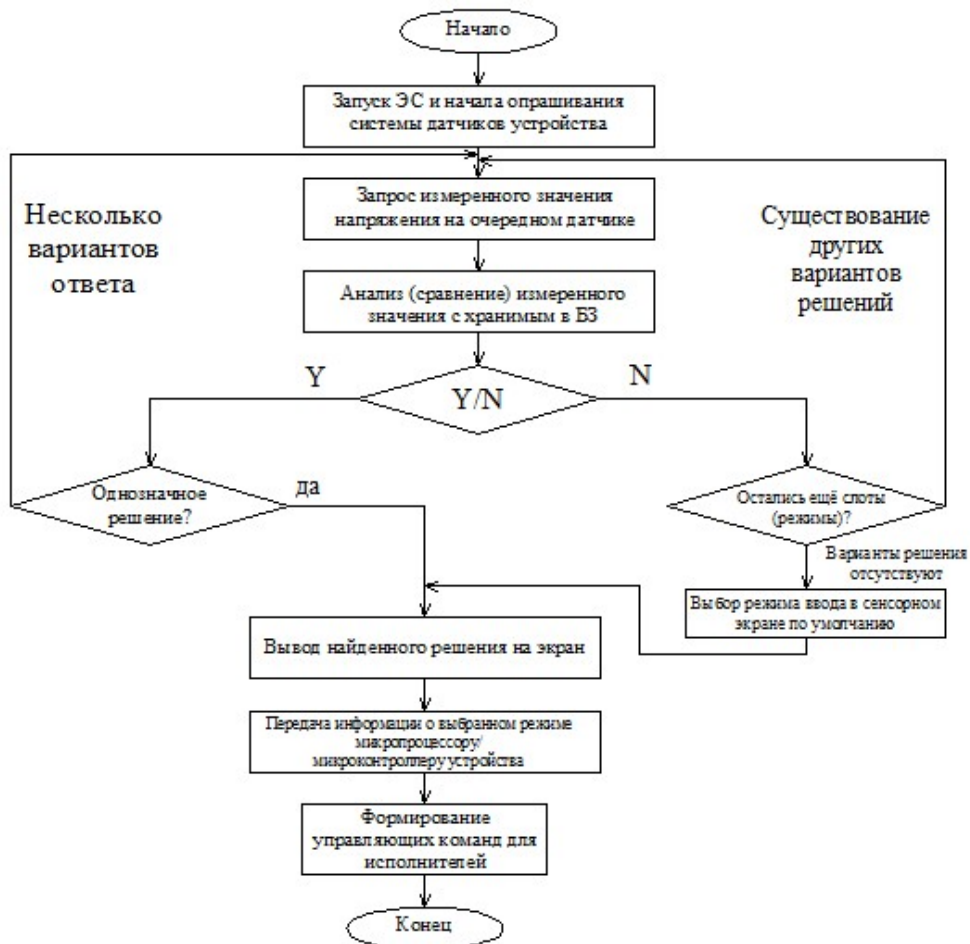


Рисунок 6 – Алгоритм автоматического выбора режима ввода в сенсорном экране

Таким образом, цикл опрашивания повторяется до тех пор, пока не будет найдено либо одно решение, либо полное отсутствие всех решений при попадании на такую комбинацию слотов, которая не предусмотрена экспертом при присваивании им значений слотам конкретных фреймов (режимов).

Разработанный алгоритм экспертной системы режимов ввода информации в сенсорный экран отличается от традиционных программ, ориентированных на ключевую логику, тем, что выбор режима ввода, или целевое решение, не определяется путём полного перебора всех входных данных (значений слотов), а посредством идентификации определённой комбинации свойств, соответствующих уже существующему режиму, записанному в базу знаний. При идентификации неизвестной комбинации свойств система также выдаёт решение – выбор режима ввода в сенсорном экране по умолчанию.

4 Реализация ЭС выбора режимов ввода в сенсорном экране

Информация об атрибутах каждого режима ввода передаётся экспертом в базу знаний посредством языков программирования высокого уровня. Сама база знаний на программном уровне представляет собой набор объектов (режимов ввода), отличающихся друг от друга своим набором свойств. Изобразим базу знаний в виде таблицы, где по строке изображены атрибуты одного объекта, а по столбцу – возможные значения определённого свойства, представляющего собой определённую категорию внешних условий, возникающих при эксплуатации сенсорного экрана:

Таблица 1 – Объекты и атрибуты разрабатываемой ЭС

	Местонахождение устройства	Количество пользователей	Время года	
Режим ввода пальцем	Дома	Неограниченное	–	
Режим ввода в перчатке	На улице и в местах общественного пользования	Неограниченное	Холодное	
Режим ожидания	В кармане/сумке	Ноль	–	
Персональный режим	На улице и в местах общественного пользования	Один	–	
	Местонахождение устройства	Работа с интернетом	Голосовой динамик	Задний динамик
Интернет-навигация	Дома, на улице и в местах общественного пользования	Открыт браузер и установлено интернет-соединение	–	–
Режим разговора	–	–	Рабочее состояние	Нерабочее состояние
Транспортный режим	В транспорте	–	–	–
Прослушивание аудиозаписей	–	–	Нерабочее состояние	Рабочее состояние

Теперь необходимо формализовать эти данные для возможности их представления на машинном языке при аппаратной реализации базы знаний. Для этого каждой константе (режимы ввода и их атрибуты) и переменной (значения атрибутов) присвоим символьные обозначения. Необходимость такой операции обусловлена тем, что на настоящий момент аппаратные средства обработки информации построены на ключевой логике и способны работать только с числовыми и символьными данными. Поскольку интеллектуальные системы, имеющие некоторые отличительные свойства от традиционной логики, представляют пока лишь эмуляцию на программном уровне, следует формализовать по стандартным правилам и информацию о знаниях.

Итак, режимы ввода обозначим за y_n , где n – количество возможных режимов, а за x_m – атрибуты режимов, где m – количество предусмотренных внешних условий, или атрибутов. Значения атрибутов можно представить в виде множителей различного порядка, максимальное значение которого равно k . Тогда объект (режим ввода) будет представлять собой функцию, значение которого зависит от атрибута, умноженного на некоторую константу. Последняя зависит от значения атрибута. Представим предложенную выше модель представления знаний в виде следующей матрицы:

Таблица 2 – Модель базы знаний ЭС сенсорного экрана

	x_1	x_2	...	x_m
y_1	x_1	x_2	...	x_m
y_2	$2 * x_1$	$2 * x_2$...	$2 * x_m$
...
y_n	$k_1 * x_1$	$k_2 * x_2$...	$k_n * x_m$

Следует заметить, что значение k не обязательно равно количеству объектов (режимов ввода) n и у различных атрибутов оно также может отличаться. Например, у режима y_2 и у режима y_3 может быть одно и то же значения атрибута x_1 , равное $2 * x_1$, и в то же время у того же режима y_3 значение атрибута x_5 будет уже равно $3 * x_5$ при значении того же атрибута у объекта y_2 $2 * x_5$. Также это означает, что k_1 может быть не равно другому $k_2, k_3 \dots k_n$.

Значение x_m можно принять за хранимое в базе данных напряжение на датчике для активации того или иного режима, тогда остальные значения этого же атрибута в других фреймах определяются умножением коэффициентов k_n на x_m .

По умолчанию количество режимов и их атрибутов, а также значений, соответствует таблице 1. Но в соответствии с таблицей 2 можно также пополнять и редактировать базу знаний путём добавления новых режимов и атрибутов, а также заданием значений последних.

Следующий этап состоит в разработке фреймовой семантической модели ЭС сенсорного проекционно-ёмкостного экрана. Сначала представим сформулированные выше основные элементы разрабатываемой ЭС сенсорного экрана в виде понятий семантической модели описания знаний. Использования выше при структурном и функциональном построении ЭС понятий фреймового представления знаний создали достаточно предпосылок для составления полноценной модели в виде семантического дерева.

Имеется два типа ввода: доступ для всех пользователей и ограниченный доступ – два прототипа. От них можно уже выделить четыре фрейма: у первого прототипа режим ввода пальцем и режим ввода в перчатке, а у второго – режим ожидания и персональный режим ввода. Отдельно от фреймов неограниченного и ограниченного доступа выделим остальные четыре режима ввода.

У каждого фрейма есть набор слотов, количество которых равно количеству внешних условий. Всего заданы пять типов внешних условий: местонахождение, пользователи и время года. Голосовой динамик, задний динамик, интернет относятся к условиям со стороны ОС устройства. У каждого слота были заданы максимально четыре возможных значения атрибута (кроме времени года). Так, атрибут «местонахождение» имеет возможные значения: дома, на улице и в местах общественного пользования, в кармане/сумке, в транспорте.

Представим в виде семантического дерева описанную выше структуру на следующем рисунке 7:

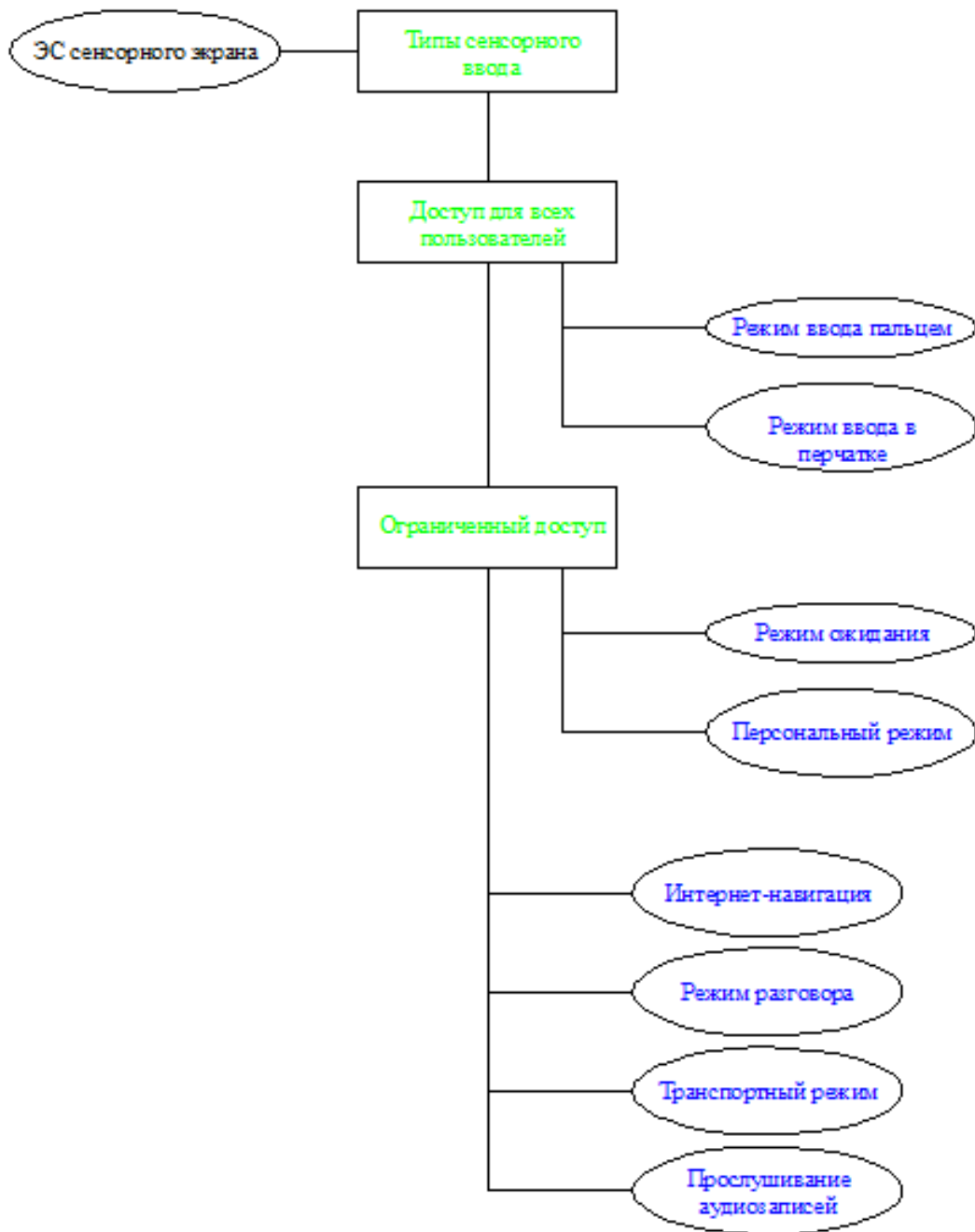


Рисунок 7 – Структура фреймового семантического дерева

Синим цветом обозначены конкретные фреймы с заданными значениями слотов.

После выделения объектов предметной области (режимов ввода) выделим их основные свойства, или атрибуты, и произведём дальнейшую иерархическую декомпозицию объектов на рисунках 8 и 9:

Режим ввода пальцем

Слот	Значение атрибута	Датчики	Измеренное значение
Местонахождение	Дома	уровень шума	менее 45 Дб
		освещённость	различная*
		приближения	более 20 мм
		положения	состояние покоя**
Количество пользователей	Любой человек	настройки ОС	без ограничений
		матрица фотодиодов	отключена

* - зависимость мощности излучения дисплея от интенсивности падающего света

** - отсутствие линейных и угловых ускорений длительное время

Режим ввода в перчатке

Слот	Значение атрибута	Датчики	Измеренное значение
Местонахождение	На улице и в местах общественного пользования	уровень шума	менее 45 Дб
		освещённость	различная*
		приближения	более 20 мм
		положения	состояние покоя**
Количество пользователей	Любой человек	настройки ОС	без ограничений
		матрица фотодиодов	отключена
Время года	Холодное	термопара	ниже +5°

Рисунок 8 – Конкретные фреймы первого прототипа

Красным цветом на рисунке 8 обозначены значения слотов в фреймовой модели представления знаний в ЭС выбора режимов ввода, а оранжевым – измеряемые датчиком физические величины, диапазон которых соответствует значению атрибута.

Режим ожидания

Слот	Значение атрибута	Датчики	Измеренное значение
Местонахождение	В кармане/сумке	уровень шума	менее 45 Дб
		освещённость	менее 50 Лм
		приближения	менее 20 мм
		положения	состояние покоя**
Количество пользователей	Пока никто	настройки ОС	без ограничений
		матрица фотодиодов	отключена

Персональный режим

Слот	Значение атрибута	Датчики	Измеренное значение
Местонахождение	На улице и в местах общественного пользования	уровень шума	менее 45 Дб
		освещённость	различная*
		приближения	более 20 мм
		положения	состояние покоя**
Количество пользователей	Только один пользователь	настройки ОС	без ограничений
		матрица фотодиодов	подача питания

Рисунок 9 – Конкретные фреймы второго прототипа

Интернет-навигация

Слот	Значение атрибута	Датчики	Измеренное значение
Местонахождение	На улице и в местах общественного пользования	уровень шума	менее 45 Дб
		освещённость	различная*
		приближения	более 20 мм
		положения	состояние покоя**
Интернет	Открыт браузер и установлено интернет-соединение		

Режим разговора

Слот	Значение атрибута
Голосовой динамик	Рабочее состояние
Задний динамик	Нерабочее состояние

Прослушивание аудиозаписей

Слот	Значение атрибута
Голосовой динамик	Нерабочее состояние
Задний динамик	Рабочее состояние

Транспортный режим

Слот	Значение атрибута	Датчики	Измеренное значение
Местонахождение	В транспорте	уровень шума	более 45 Дб
		освещённость	различная*
		приближения	любое расстояние
		положения	меняющееся

Рисунок 10 – Остальные конкретные фреймы

Фиолетовым цветом обозначены сообщения от ОС, являющиеся значениями слотов (атрибутов) соответствующего режима ввода (фрейма).

Таким образом, путём построения фреймового семантического дерева определён принцип работы машины ввода для эксперта, а для пользователя ЭС сенсорного экрана машина вывода знаний будет работать по обратному пути прохождения по разработанному фреймовому семантическому дереву.

Программное обеспечение алгоритма ЭС и запросов к базам знаний и данных используется на языке C++ для реализации алгоритма ЭС в мобильной ОС устройства. Получая непрерывно информацию от датчиков, измеренные значения напряжений преобразовываются на уровне ОС в абстрактные переменные и сравниваются с константами, которые эквивалентны хранимыми значениями атрибутов режимов ввода (также величины напряжений). В блоке сравнения (Рисунок 5) «Да» означает удовлетворение условию (равенству или неравенству) процедуры сопоставления измеренного значения с хранимым в базе данных ЭС, и, соответственно, «Нет» означает неудовлетворительное завершение операции сравнения. Таким образом, возможны две модификации разработанной ЭС мобильного устройства и перехода между ними: в режиме диалога с пользователем (ответы на вопросы от ЭС в виде «Да» и «Нет», автоматизированная система), и в режиме опрашивания датчиков (автоматическая интеллектуальная система определения режимов ввода и идентификации пользователя).

Заключение

Использование разработанной ЭС позволит устранить множество неудобств использования проекционно-ёмкостной технологии и постепенное вытеснение менее эффективных традиционных резистивных и поверхностно-ёмкостных сенсорных технологий в интерфейсе встраиваемых мобильных систем. В свою очередь, разграничение прав доступа и автоматический выбор режимов работы сенсорного экрана позволит создать интеллектуальную систему ввода и отображения информации наряду со всеми достоинствами проекционно-ёмкостных экранов.

Отличие концепции разработанной ЭС для сенсорных экранов от решений ведущих производителей мобильных телекоммуникационных средств, описанных выше (HTC, Samsung, Google, Apple, Sony) заключается в том, что эти компании частично разрешили некоторые проблемы лишь для какой либо определённой функции (например, технология биометрической авторизации для автоматической разблокировки сенсорного ёмкостного экрана у компании HTC Corp., где режим распознавания пользователя по отпечаткам пальцев находится постоянно в рабочем состоянии, в отличие от ЭС, где «персональный режим» активизируется только при определённых внешних условиях (Рисунок 5) и настроек ОС). Интеллектуальная система выборов профилей мобильного электронно-вычислительного устройства, разработанная компанией Google Inc., учитывает лишь данные, полученные на основе акселерометра и текущего времени (последняя информация поступает из ОС или GPS). Но не учитывается, как в разработанной ЭС определения режимов ввода, такие важные источники информации, как электромагнитное излучение видимого (свет) и инфракрасного диапазонов, звуковые волны, то есть информация в виде видео-/аудио-сигналов (датчик освещённости, датчик уровня шума и т.д.).

Несмотря на то, что технология «slide unlock» от компании Apple Inc. на данный момент используется в большинстве электронных устройствах с сенсорным ёмкостным экраном, в ней есть некоторые недостатки по сравнению с предлагаемой в работе функцией ЭС выбора режимов ввода. Во-первых, в кармане, сумке пользователя некоторое время сенсорный экран находится в разблокированном состоянии (от нескольких до десятков секунд), и существует некоторая вероятность реагирования контроллера определения координат прикосновения на механический контакт через ткани человеческого тела. Во-вторых, каждый раз пользователю приходится совершать манипуляции над поверхностью экрана, сопровождаемыми физическим контактом. В разработанной ЭС блокировка при помещении устройства в карман, сумку и иные места для хранения происходит менее, чем

через одну секунду, и контроллер не успевает среагировать на ложные касания. Разблокировка происходит автоматически, и от пользователя не требуется производить каких либо движений рукой.

Режим прослушивания аудиозаписей может оказаться востребованным в самых разных случаях: тем, кто часто использует своё устройство с сенсорным экраном (КПК и т.д.) в качестве мультимедийного центра, опция блокировки пригодится для того, чтобы остальные пользователи не использовали другие программы, пока воспроизводится аудиозапись. Родителям, в свою очередь, этот режим пригодится во время просмотра их детьми аудиозаписей и видеозаписей (мультфильмов и т.д.), гарантированно зная, что в их отсутствие они не сделают каких либо нежелательных действий в ОС устройства (например, изменение настроек, соединение с Интернетом).

Подобное решение уже использовалось в проигрывателе Windows Media от компании Microsoft Corp. в её ОС Windows Vista, но там приводилась активация такого режима вручную, при помощи ввода pin-кода в соответствующей панели. В разработанной ЭС переход к этому режиму может осуществляться как автоматически, так и с помощью диалога ЭС с пользователем (и вводом pin-кода активации режима).

Датчики положения (гироскоп и акселерометр) широко используются в последних моделях мобильных телефонов и прочих коммуникационных устройств большинства ведущих компаний-изготовителей бытовой электроники. Но в большинстве случаев этот модуль используется для автоматического поворота экрана. В разработанной ЭС датчик положения используется в качестве определения перемещений устройства в пространстве, измеряя уровень его вибрации, линейные ускорения по трём координатам, угловые ускорения.

Таким образом, в предлагаемой в работе интеллектуальной системе выбора режимов ввода все эти функции объединены в единый комплекс, добавлены некоторые отдельные режимы ввода (к примеру ввод в перчатке, или режим прослушивания аудиозаписей). Каждый из этих режимов не присутствуют постоянно в устройстве (как функция блокировки сенсорного экрана во время разговора при приближении на некоторое расстояние к динамику в устройствах компании).

Границы применимости разработанной системы – от гражданского применения для повышения удобства использования электронных мобильных устройств с сенсорным проекционно-ёмкостным (а также и других сенсорных технологий, с некоторой корректировкой базы знаний и данных в программе ЭС) экраном до применения для оборонной промышленности, силовых ведомств для оперативной смены режимов ввода и сохранения конфиденциальности, обеспечения защиты информации.

Применение описанной выше системы в частных компаниях последует за собой возможность организовать конкурентноспособную корпоративную систему обмена информации в компании с разграничением прав доступа для каждой должности в соответствии с желаниями руководства организации, которые учитываются экспертом-специалистом при вводе наладке и настройке ЭС сенсорного экрана.

Тем не менее, с распространением сенсорного ввода информации за последние годы возникли следующие проблемы, которые пока остаются не решёнными в данной работе. Например, механические кнопки позволяли пользователю вводить информацию «вслепую» при соответствующих навыках после некоторого времени использования, что существенно облегчало ввод информации и предоставляло некоторые удобства при эксплуатации такого электронного устройства. При сенсорном же вводе тактильно определить ту или иную область экрана, на которую следует на данный момент произвести физическое воздействие, предоставляется невозможным вследствие однородности и зеркально гладкой поверхности устройств отображения информации (ЖК-дисплеи и т.д.).

Поэтому, появляются новые нерешённые задачи. Первый вариант разрешения этой проблемы – перспективы развития дисплеев на основе органических светоизлучающих диодов (технология AMOLED), где путём синтеза некоторых органических неоднородностей на поверхности экрана, или изменения физических параметров на передней плоскости

органических диодов (к примеру, температура), возможно, удастся решить задачу обеспечения удобства ввода информации при помощи тактильного определения нужных областей прикосновения.

Другой вариант решения – заменить в дальнейшем сенсорный ввод а альтернативные способы, наиболее совершенные. Недавно, в декабре 2012 года, Председатель Совета Директоров ЗАО «Smart Logistic Group» Владимир Елин получил патент РФ на систему управления мобильным устройством, альтернативной сенсорному вводу информации – интерфейс основан на оценке направления взгляда человека. Это, по мнению автора, позволит существенно упростить и ускорить ввод информации, коммуникацию с устройством: вводить символы с помощью взгляда, управлять курсором мыши, выделять элементы графического интерфейса и запускать приложения, выделять объекты в приложениях виртуальной и дополненной реальности [5]. Устройство с такой системой управляется движением зрачков пользователя, а встроенные сенсоры интерпретируют их как управляющие команды. И, как следствие, сенсорный интерфейс в таком случае становится второстепенной опцией, в которой уже нет насущной необходимости.

Литература

1. Патент США № 713/100. База патентов Правительства США – www.patft.uspto.gov – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnethtml%2FPTO%2Fsearch-bool.html&r=1&f=G&l=50&co1=AND&d=PTXT&s1=%22Activating+Applications+Based+Accelerometer+Data%22&OS=> – Проверено 24.01.2013;
2. Сайт компании Sony Mobile Communications AB – «www.sonymobile.com» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://developer.sonymobile.com/knowledge-base/technologies/floating-touch/> – Проверено 18.01.2013;
3. Патент США № 715/863. База патентов Правительства США – www.patft.uspto.gov – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnethtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=7657849.PN.&OS=PN/7657849&RS=PN/7657849> – Проверено 25.01.2013;
4. Патент Китайской Республики (Тайвань) № 200945128. База патентов Правительства Тайвань – www.twpat2.tipo.gov.tw – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://twpat2.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwekm?@@1868938342> – Проверено 26.01.2013;
5. В. Ерухимов, В. Елин, А. Бовярин. От мечты к реальности – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://community.sk.ru/net/1110185/b/news/archive/2012/12/18/smartfon-1320-generation-next-chast-4.aspx> – Проверено 27.01.2013.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОИСК ДОКУМЕНТОВ В БАЗЕ ДАННЫХ ПАТЕНТОВ ПО МИКРО И НАНО ТЕХНОЛОГИЯМ

Тихомиров Д. В.

Научный руководитель : к.т.н, доцент, Резчикова Е.В.

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

INTELLECTUAL DISTRIBUTION AND SEARCH DOCUMENTS IN DATABASE OF PATENTS ON MICRO AND NANO TECHNOLOGIES

D. Tikhomirov

Supervisor: Docent, Rezchikova E.V.

Moscow State Technical University n.a. N.E. Bauman, Moscow, Russia

Аннотация

В настоящее время проблема поиска информации в больших массивах сравнивается с проблемой Вавилонской башни. Эта проблема усугубляется еще и тем, что существующие поисковые механизмы и алгоритмы осуществляют поиск информации без учета семантики слов, входящих в запрос, а также контекста, в котором они используются. В данной работе рассматривается применение онтологий для повышения эффективности обработки и поиска информации в больших массивах знаний, в частности, в разрабатываемой базе данных патентов по микро и нано технологиям.

Abstract

At present the problem of information retrieval in large arrays compared with the problem of the tower of Babel. This problem is compounded by the fact that the existing search mechanisms and algorithms to search for information without semantic words in the query, and the context in which they are used. This paper describes the use of ontologies to improve the efficiency of processing and retrieval of information on a large area of knowledge, particularly in the developed database of patents on micro and nano technologies.

Введение

Во многих областях человеческой деятельности на данный момент накоплены большие объемы данных. Рост информационных потоков, связанных с деловой активностью человека, требует внедрения автоматизированных методов и систем хранения и обработки данных. В связи с этим, новые и накопленные ранее материалы переводятся в электронный формат в разного рода банки и хранилища данных. По историческим, техническим и другим причинам тематически связанные данные сохраняются в различных форматах под управлением различных СУБД и других систем хранения и обработки данных.[1]

Очевидно, что для изучения и анализа информации требуется открытый доступ к локальным и удаленным информационным источникам. Эта задача успешно решается с развитием интернет/интранет технологий доступа к хранилищам данных. С другой стороны встает проблема интеграции данных. Различные коллекции, базы персоналий и публикаций по единой тематике, даже расположенные на одном физическом сервере, зачастую имеют различные логические входы и не предоставляют возможности сквозного связывания данных из разных источников. Необходимость учета всей имеющейся информации определенной тематики требует от поисковых механизмов обеспечения прозрачных для пользователей средств доступа к распределенной информации.

Одним из решений задачи интеграции является реструктуризация имеющихся данных для приведения содержательно сопоставимых данных к единообразному представлению. Но это трудоемкий и не всегда возможный процесс, так как источники информации могут иметь самостоятельное значение и использоваться при решении других задач.

Другим подходом является использование существующих систем поддержки хранилищ данных (data warehouse) [1]. При этом организуется единое хранилище, в которое периодически собираются данные из внешних источников. Такой подход требует серьезной

технической поддержки для управления единым массивом данных, а также сопоставления информации, представленной в разных источниках.

1. Распределение и поиск документов

Документ поступает в систему (Рис. 1.) через подсистему ввода документов. С каждым документом ассоциируется электронный индекс, включающий, в частности, список атрибутов, по которым может осуществляться навигация и поиск документа в архиве. Этот электронный индекс включает в себя набор атрибутов, отражающих содержание документа, генерируется системой автоматически в процессе обработки документа.

Все знания о предметной области (ПО) вводятся в базу данных через подсистему ввода документов, документы должны быть заранее преобразованы в формат PDF.

В процессе обработки текст документа поступает на вход модуля индексирования, который выделяет ключевые понятия ПО, слова и номера, и позволяет в дальнейшем производить поиск документа по этим ключевым данным. Модуль индексирования осуществляет основной анализ документа, результатом которого является совокупность фактов, отражающих содержание документа, а также другая необходимая в индексе информация.

По завершении этапа автоматической обработки электронный документ направляется в базу знаний о ПО, а его адрес попадает в электронный архив. Получение необходимых пользователю документов из электронного архива обеспечивается подсистемой поиска.[4]

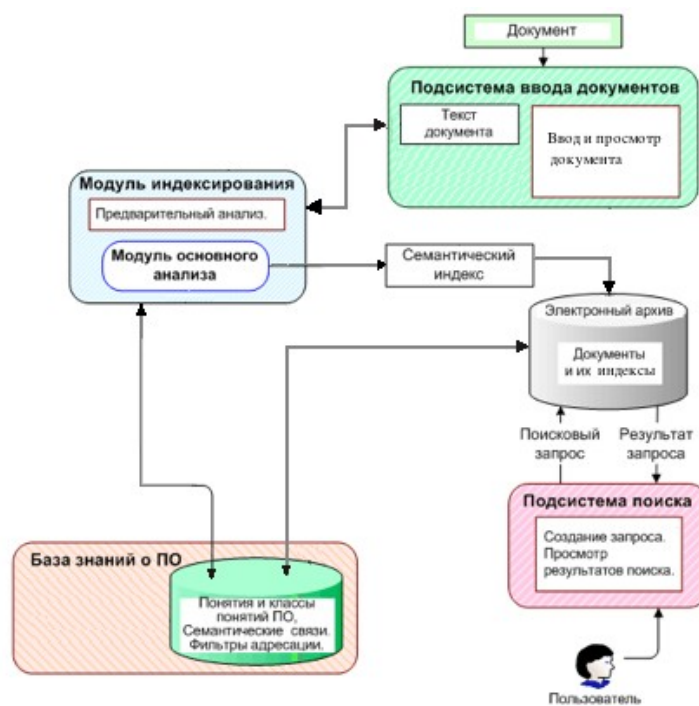


Рисунок 1 - Структурная схема и потоки данных в системе

Подсистема поиска предоставляет пользователю возможность обратиться в электронный архив за необходимой информацией об интересующих его патентных знаниях в данной ПО, необходимых для принятия какого-либо решения.[2]

Поиск документов в архиве ведется с помощью поисковых запросов, в которых задаются ограничения (№ патента, ключевое слово, индекс МПК, авторы, фирмы, страна, дата регистрации). При этом пользователю будут выдаваться те документы, значения полей которых успешно сопоставились с формальным представлением запроса.

При поиске учитывается иерархия понятий ПО и вложенность объектов в отдельные блоки знаний. Предусмотрены также средства настройки и дополнительной фокусировки поиска (поиск только по некоторым параметрам, ручной поиск).

В predetermined запросе выделяются две части: фиксированная и изменяемая. В фиксированной части выводится самый подошедший по запросу патент в виде отображаемого PDF - документа, а в изменяемой — остальные патенты, которые в той или иной степени подошли под параметры поискового запроса. Так, в приведенном примере:[4]

Фиксированная часть: Основной патенты = «»

Переменная часть: Наиболее подходящие патенты = «»

Поисковый запрос пользователя преобразуется в SQL-запрос, который возвращает список удовлетворяющих запросу документов базы данных.

2. Индексирование документов

Основной задачей системы обработки документа является составление семантически-верного индекса для патента, во время которого определяются значения следующих атрибутов[4]:

- № патента;
- Ключевое слово;
- Индекс МПК;
- Автор(ы);
- Фирма(ы);
- Страна;
- Дата регистрации;

На этапе предварительного анализа осуществляется выделение всех найденных слов, подходящих под параметры поиска.

Так же, было принято решение сгруппировать основные параметры, по которым проводится поиск, на три группы по степени убывания значимости параметра в патентном документе (рис.2.). А именно :

- 1-ая группа : № патента + Индекс МПК ;
- 2-ая группа : Ключевое слово + Автор(ы);
- 3-ая группа : Фирма(ы) + Страна + Дата регистрации;

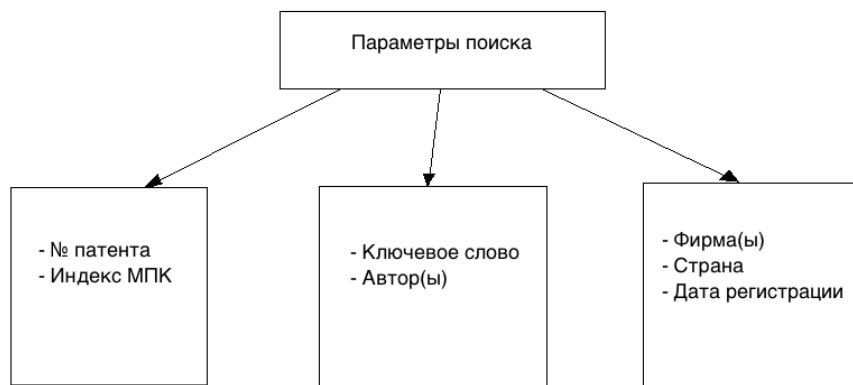


Рисунок 2 - Разделение параметров поиска на группы

Затем выполняется идентификация найденных объектов при этом каждая пара ключевых понятий, проверяется на предмет наличия между ними отношения вложенности. Это позволяет собирать объекты сложной структуры в отдельные блоки знаний.

После генерации семантического индекса документ отправляется в электронный архив.

Залючение

В работе предложен подход, позволяющий повысить эффективность поиска в базе данных путем организации блоков знаний, каждый из которых предоставляет пользователю доступ к ресурсам определенной тематики(если так необходимо). Главным преимуществом данного подхода является то, что блоки знаний позволяют значительно сократить время обработки запроса пользователя и количество выдаваемых документов за счет более точного определения степени их релевантности.

Пока нет достаточного опыта построения и статистики использования специализированных порталов знаний в определенной предметной области, но в данной статье показано, что порталы знаний, основанные на методах, представленных выше, должны обеспечить более быстрые и релевантные ответы на запросы, связанные с поиском патентной информации.

Литература

1. Hausser R. Foundations of Computational Linguistics. Springer 1999 – pp. 33–39.
2. О.И. Боровикова, Ю. А. Загорулько. Организация порталов знаний на основе онтологий Диалог'2002 “Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии”. -Т.2. -Протвино, 2002. -с.76-82.
3. Ю.А. Загорулько, И.С. Кононенко, Ю.В. Костов, Е.А. Сидорова, Система Indock. Распределение и поиск документов в электронном архиве. Проблемы управления и моделирования в сложных системах, 2003. -С. 248-254.
4. Новая редакция Международной патентной классификации (МПК), http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/international_classification/Inventions/, проверено 07.01.2013 в 22.32.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЕКОМПОЗИЦИИ ТОПОЛОГИИ СБИС ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО ШАБЛОНА С ПОВЫШЕНИЕМ ВЫХОДА ГОДНЫХ

Верстов В.А.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Зинченко Л.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

PARALLEL RANDOM ALGORITHM FOR POLYGONS REDISTRIBUTION IN LAYERS AFTER LAYOUT DECOMPOSITION FOR DOUBLE PATTERN TECHNOLOGY

Verstov V.A.

Supervisor: Dr., Prof., Zinchenko L.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при декомпозиции топологии СБИС для технологии двойного шаблона, в частности проблема равномерного распределения полигонов по слоям. В статье предлагается алгоритм, позволяющий добиться более равномерного распределения полигонов по топологическим слоям. В заключение даются рекомендации по дальнейшему развитию исследуемых и разрабатываемых подходов трансформации топологии СБИС для технологии двойного шаблона.

Abstract

This article is about problems that appears during the process of decomposition VLSI layout for double pattern technology, especially problems with polygons distribution after decomposition. The special algorithm was developed for redistribution of polygons in layers. As conclusion is given roadmap for future development algorithms for VLSI layout decomposition for double pattern technology.

Введение

Одним из основных направлений развития литографии согласно документам ITRS является технология двойного шаблона. Основная идея технологии двойного шаблона базируется на последовательном применении двух шаблонов во время прожига резиста для получения рисунка с размерами элементов, не достижимыми с помощью традиционных методов литографии. Декомпозиция топологии СБИС для технологии двойного шаблона заключается в разделении исходного топологического слоя на два новых. Наиболее распространенный способ решения задачи декомпозиции топологии – использование графовых моделей, в частности – графа ограничений и графа противоречий [1].

В результате декомпозиции топологического слоя на два новых при использовании алгоритмов, предложенных в работе [2], не всегда удается добиться равномерного распределения топологии по слоям, что плохо сказывается на воспроизведении топологии при производстве субмикронных СБИС. В данной статье предлагается алгоритм, который позволяет добиться более равномерного распределения полигонов по топологическим слоям.

Стохастический алгоритм декомпозиции топологии СБИС

Задача равномерного распределения полигонов по топологическим слоям заключается в достижении равномерной плотности распределения полигонов в топологических слоях после декомпозиции топологии СБИС для технологии двойного шаблона. Для решения этой задачи необходимо разделить исходную топологию на множество участков, и для каждого участка считать плотность распределения полигонов в каждом из слоев.

В результате будут определены участки топологии с максимальной разницей в плотности топологии в двух слоях. Для получения равномерного распределения полигонов

на таких участках топологии предлагается использовать разработанный алгоритм, представленный ниже. Причем, обработка каждого участка топологии может производиться в параллельном режиме.

Алгоритм равномерного перераспределения полигонов по слоям для участка топологии СБИС после декомпозиции для технологии двойного шаблона показан на рисунке 1. На вход алгоритма поступают два новых полученных в результате декомпозиции топологических слоя и граф противоречий:

$$L_1 = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (1)$$

$$L_2 = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}, \quad (2)$$

$$G = \{X, U\}, \quad (3)$$

где топологические слои L_1 и L_2 представляют собой множество полигонов p_n и p_m соответственно, а G – граф противоречий: X – множество вершин, U – множество ребер графа.

На первом шаге алгоритма определяется в каком слое больше полигонов и насколько:

$$d = |n - m|, \quad (4)$$

где d – разница в количестве полигонов в слоях, а n и m – количество полигонов в слоях L_1 и L_2 соответственно.

На следующем шаге алгоритма определяется множество полигонов $P = \{p_k\}$, полигоны которого можно перенести из одного слоя в другой, не нарушив конструкторско-технологические нормы и параметр технологии двойного шаблона. Далее случайным образом выбираются полигоны из множества P и переносятся из одного слоя в другой.

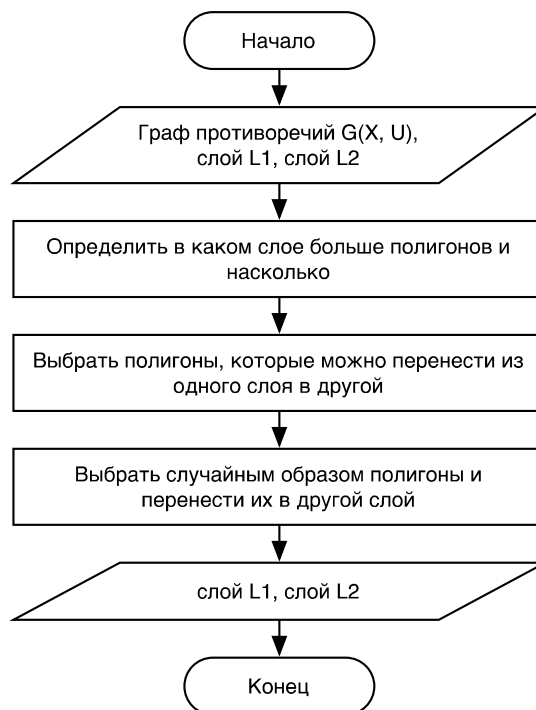


Рисунок 1 – Стохастический алгоритм перераспределения полигонов по слоям после декомпозиции топологии СБИС для технологии двойного шаблона

В результате работы алгоритма формируются два топологических слоя L_1 и L_2 с более равномерным распределением полигонов по слоям.

На рисунке 2 приведен подробный алгоритм отбора полигонов в множество P . Входными данными для работы алгоритма служат: топологический слой $L = \{p_n\}$, пустое множество P , граф противоречий $G = \{X, U\}$, где $X = \{x_{n+m}\}$ – множество вершин графа, причем каждому элементу L соответствует одна вершина, $U = \{u_{ij}\}$ – множество ребер графа.

На каждом шаге алгоритма из L выбирается полигон p_i , если вершина графа противоречий x_j , соответствующая выбранному полигону не имеет инцидентных ребер,

полигон p_i добавляется в множество P . Работа алгоритма завершается, когда рассмотрены все полигоны из множества L .

В результате работы алгоритма формируется множество P .

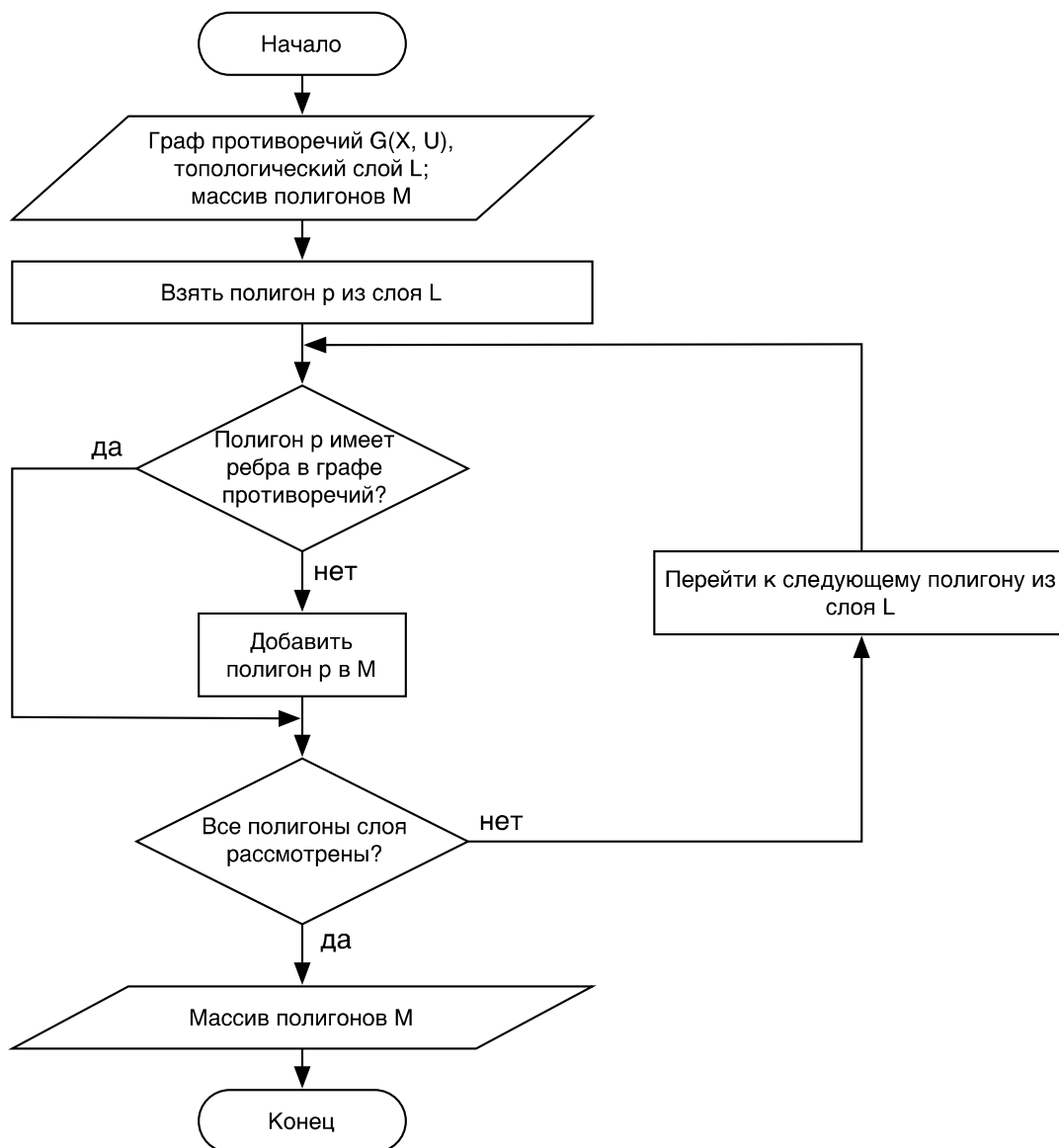


Рисунок 2 – Алгоритм выбора полигонов, которые можно перенести из одного слоя в другой

На рисунке 3 приведен алгоритм выбора и переноса полигонов из одного слоя в другой. Входными данными для алгоритма служат множества $L_1 = \{p_n\}$, $L_2 = \{p_m\}$, $P = \{p_k\}$, d .

На каждом шаге алгоритма случайным образом выбирается полигон p_i из множества P и переносится из множества L_1 во множество L_2 , p_i удаляется из множества P , уменьшается величина d на единицу. Алгоритм прекращает работу, когда множество P – пустое множество или когда d меньше либо равно единице.

В результате работы алгоритма достигается более равномерное распределение полигонов по топологическим слоям для участка топологии СБИС.

Результат работы алгоритма для топологии мультиплексора представлен на рисунке 4. На рисунке 4, а показано распределение полигонов слоя металлизации после декомпозиции топологии для технологии двойного шаблона. На рисунке 4, б показано распределение полигонов после применения предложенного алгоритма повышения равномерности плотности распределения полигонов по слоям.

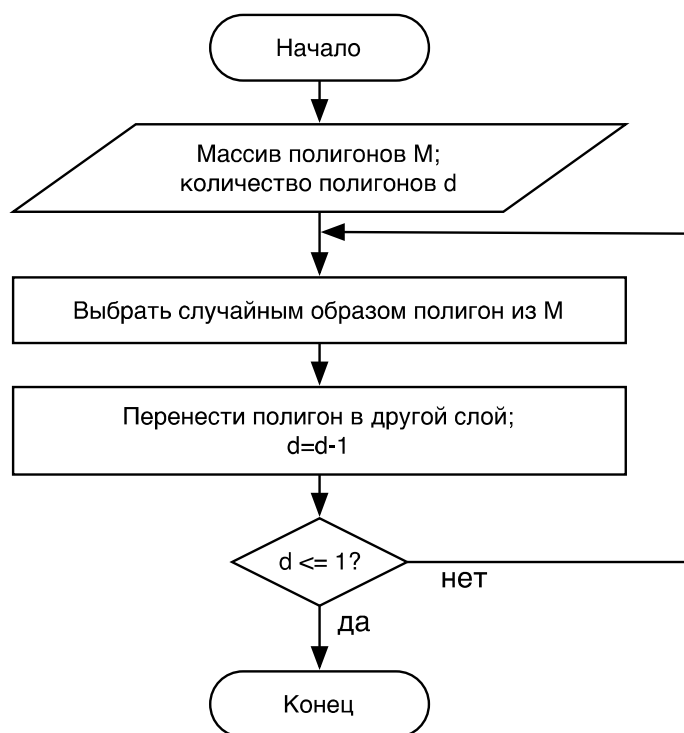


Рисунок 3 – Стохастический алгоритм выбора полигона для переноса из одного слоя в другой



Рисунок 4 – Результат работы алгоритма повышения равномерности плотности распределения полигонов по слоям: а – слой металлизации после декомпозиции, б – слой металлизации после применения алгоритма

Из рисунка 4 видно, что до применения алгоритма в первом слое было пять полигонов, во втором – тринадцать, после применения алгоритма в обоих топологических слоях по девять полигонов.

В качестве метрики выберем локальную плотность заполнения слоя [3]:

$$d = S_{эл}/S_{уч}, \quad (5)$$

где $S_{эл}$ – площадь элементов, составляющих топологию, а $S_{уч}$ – площадь участка топологии.

В таблице 1 приведены результаты расчета локальной плотности заполнения топологических слоев до проведения декомпозиции топологии, после проведения декомпозиции и после применения разработанного алгоритма.

Таблица 1 – Результаты расчета локальной плотности заполнения слоя

Номер топологического слоя	Локальная плотность топологии		
	До декомпозиции	После декомпозиции	После работы алгоритма
1	0.49	0.42	0.40
2	0	0.07	0.09

Анализируя полученный результат, можно сделать вывод о том, что предложенный алгоритм позволяет достичь увеличения степени равномерности распределения полигонов по слоям для участков топологий.

Заключение

Предложенный алгоритм позволяет повысить равномерность распределения полигонов по топологическим слоям на участке топологии после декомпозиции топологии субмикронных СБИС для технологии двойного шаблона. Равномерное распределение полигонов по слоям позволит повысить качество воспроизведения топологии при производстве СБИС.

Для дальнейшего развития исследуемых подходов трансформации топологии СБИС для технологии двойного шаблона планируется разработать параллельный алгоритм для равномерного распределения полигонов по слоям. Так же планируется уделить особое внимание обработке входной топологической информации, для повышения качества работы алгоритмов трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного шаблона.

Литература

1. Шахнов В. А., Зинченко Л. А., Резчикова Е. В., Аверьянихин А. Е. Алгоритмы трансформации топологии субмикронных сверхбольших интегральных схем. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011, №1, с. 76-87.
2. Верстов В.А. Разработка высокопроизводительных алгоритмов трансформации топологии СБИС для технологии двойного шаблона // Сборник трудов четвертой всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению «Наноинженерия» - Москва.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
3. Гладких А.А. Временная оптимизация модели хмп с учетом распределения скорости планаризации по кремниевой пластине. Сборник трудов XII научно-технической конференции «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2010». – Москва.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (грант НШ-1152.2012.9).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ СБИС

Ященко А.В.

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

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND SOFTWARE FOR VLSI TOPOLOGY STRUCTURE OPTIMIZATION

Yashchenko A.V.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы сжатия иерархических форматов представления топологии СБИС. Подробно исследованы вопросы сжатия иерархического файла описания топологии СБИС с оптической коррекцией близости. Кратко представлены идеи кластеризации, локальной, глобальной замены, лежащие в основе принципа сжатия. В заключении представлены рекомендации по выбору алгоритмов для построения программного обеспечения.

Abstract

The questions of the compression formats of hierarchical topology VLSI are discussed. Investigated in detail the issues of compression of the hierarchical topology description file VLSI with optical proximity correction. Briefly described the ideas of clustering, local, global change, the underlying principle of compression. Finally, we provide recommendations for the choice of algorithms to build the software.

Введение

В настоящее время при проектировании СБИС очень часто используется оптическая коррекция близости (ОКБ) [1]. Побочным эффектом ОКБ является значительное увеличение размера файла топологии (до 10 раз). В 2001 году был представлен новый стандарт хранения топологического описания СБИС - Open Artwork System Interchange Standard (<http://www.semiwiki.com/forum/content/445-dawn-oasis.html>) который пришел на смену GDSII и существенно опережает его по степени сжатия. Однако, в настоящее время размеры топологических файлов описания могут достигать 100 Гб и более, что делает проблему сжатия файлов топологии актуальной.

В данной работе ставится задача разработать программную систему, позволяющую сжимать файлы топологического описания OASIS без необходимости кодирования/декодирования, то есть сжатие должно достигаться из-за внутренних средств формата OASIS [2].

Цель работы - разработка алгоритмов и программного обеспечения для оптимизации топологического описания и организации структуры данных для хранения топологических ограничений СБИС. В основе данного решения лежит принцип поиска похожих структур на топологии СБИС и их замена внутренними ссылками совместимыми с форматом OASIS. В работе решаются следующие задачи:

- разработка алгоритма сжатия файлов описания топологии СБИС;
- разработка структуры данных для хранения топологических ограничений в повторяющихся ячейках;
- реализация программного обеспечения, позволяющего производить сжатие топологического описания СБИС и не пересчитывать технологические ограничения в повторяющихся ячейках топологии;
- экспериментальная оценка временной сложности алгоритма.

Основной проблемой при сжатии файлов топологического описания является высокая вычислительная сложность задачи (большое число обрабатываемых полигонов), что отражается на времени выполнения задачи. Так же, стоит отметить, что ОКБ разрушает

иерархическую структуру полигонов, поэтому не всегда возможно найти повторяющиеся структуры.

Методы исследований базируются на положениях теории алгоритмов и теории графов, методах кластерного анализа, правилах построения программного обеспечения.

1 Нахождение повторяющихся структур

Несмотря на то, что после ОКБ иерархическая структура OASIS файла разрушается, некоторые файлы подвергаются одинаковой коррекции, следовательно, могут быть заменены ссылками. Таким образом, задачу нахождения повторяющейся структуры полигонов внутри ячейки и вне ячеек можно сформулировать следующим образом: найти множество полигонов $\{P_1, P_2 \dots P_n\}$ которое максимизирует метрику $|SCr| * r$, где $|SCr|$ - число полигонов в ячейке, а r - число раз, сколько такая ячейка встречается. Данный процесс представлен на рисунке 1.

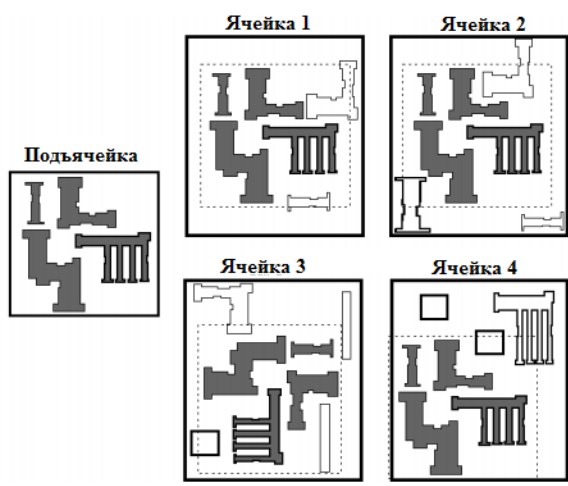


Рисунок 1 - Найденная подъячейка в составе 4 ячеек

В данном случае поиск может производиться как внутри одной ячейки, так и в нескольких ячейках. Понятно, что решать задачу поиска схожих подъячеек в нескольких ячейках затруднительно, так как ячеек может быть очень много и решать эту задачу методом полного перебора очень затратно. В целях снижения вычислительной сложности предлагается использовать кластеризацию ячеек.

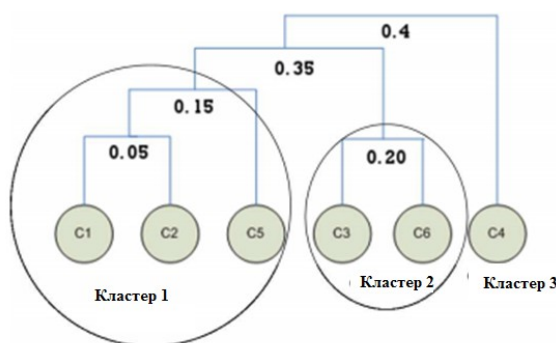


Рисунок 2 - Дерево кластеров ячеек топологии СБИС

Данное дерево строится следующим образом: сначала каждая ячейка является отдельным кластером, затем происходит объединение самых похожих кластеров и так далее, пока не получим единый кластер. Отсекая дерево по высоте 0.35 можем получить группу кластеров, в которых в дальнейшем будем искать повторяющиеся подъячейки.

$$d(\text{cluster}_i, \text{cluster}_j) = \frac{\sum_{m=1}^{N_i} \sum_{n=1}^{N_j} d(C_m^i, C_n^j)}{N_i N_j} \quad (1)$$

похожесть кластеров оценивается по метрике (1), формула отражает расстояние между кластерами, N_j - число ячеек в j ом кластере N_i - число ячеек в i ом кластере, под суммой стоит расстояние между m -ой ячейкой i ого кластера и j ой ячейка n ого кластера.

2 Использование трансформации и информации о структуре иерархии до ОКБ

При поиске подъячеек стоит ввести возможные преобразования, которым могут быть подвержены полигоны, такие как:

- трансляция;
- поворот;
- отображение.

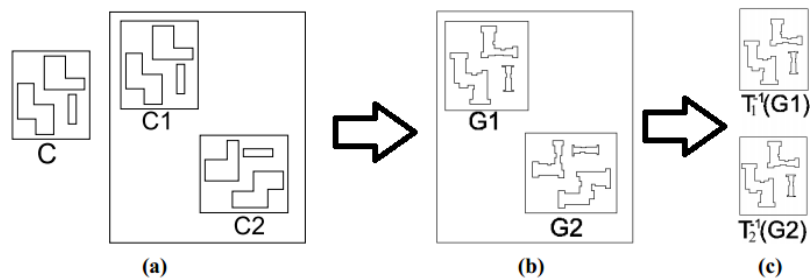


Рисунок 3 - Применение обратных преобразований для восстановления начальной формы

Так же стоит отметить, что при поиске ячеек для объединения в структуре после ОКБ, стоит опираться на информацию до ОКБ. Так как ОКБ разрушает иерархию, то можно точно сказать, что те полигоны, которые не были в составе иерархии до ОКБ, точно не входят в неё после ОКБ. При исследовании трансформаций стоит фокусироваться только на направлениях (при вращении) отличающихся на 90 градусов, поэтому различные вариации вращение и отображение могут быть пройдены полным перебором без какой-либо потери эффективности.

Заключение

В работе представлен подход, применимый для сжатия файлов иерархического топологического описания СБИС. Ожидаемая степень сжатия 2 - 1.5 раза относительно начального размера. Наибольший эффект будет оказываться на топологии с ячейками, имеющими симметричную структуру. Говоря об алгоритмической реализации, предполагается использование жадных алгоритмов, при отборе ячеек с критерием максимизации энергии (1).

Литература

1. Data analysis for photolithography C. Mack, S. Jug, D. Legband, Proc. SPIE vol. 3677, p. 415 (1999)
2. V. Dai and A. Zakhor, "Lossless Compression Techniques for Maskless Lithography Data", Emerging Lithographic Technologies VI, Proc. of the SPIE Vol. 4688, pp. 583–594, 2002.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (грант НШ-1152.2012.9).

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АДАПТАЦИИ МЕТОДА МНОГОМАСШТАБНОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРООПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И.А. Косолапов

Научный руководитель д.т.н., проф. Л.А. Зинченко
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

DEVELOPMENT OF MODULE TO ADOPT THE METHODS OF MULTISCALE MODELING OF MICRO-OPTICAL-ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Ilya A. Kosolapov

Supervisor: Doctor of Technical Sciences, professor Lyudmila A. Zinchenko

Аннотация

В статье идет речь о многомасштабном иерархическом моделировании механической подсистемы микрооптоэлектромеханических систем. Подробно рассматривается алгоритм работы предложенного модуля. Описаны основные преимущества данного модуля.

Annotation

The article deals with the hierarchical multiscale modeling of the mechanical subsystem of micro-optical-electromechanical systems. Details the algorithm of the proposed module. The basic advantages of this module described.

Введение

В настоящее время основной проблемой математического моделирования является невозможность проведения определенных видов анализа поведения механических подсистем с любыми входными параметрами в специализированных программных комплексах. Невозможность дальнейшего моделирования возникает из-за создаваемой сетки конечных элементов. Сетка конечных элементов, генерируемая используемым программным комплексом является неэффективной [1].

Геометрическая и конечно-элементная модели

На рисунке 1 приведена геометрическая модель механической подсистемы микрооптоэлектромеханической системы, созданная в программном комплексе ANSYS.

При помощи встроенного инструмента была построена сетка конечных элементов. На рисунке 2 приведена конечно-элементная модель механической подсистемы микрооптоэлектромеханической системы [2].

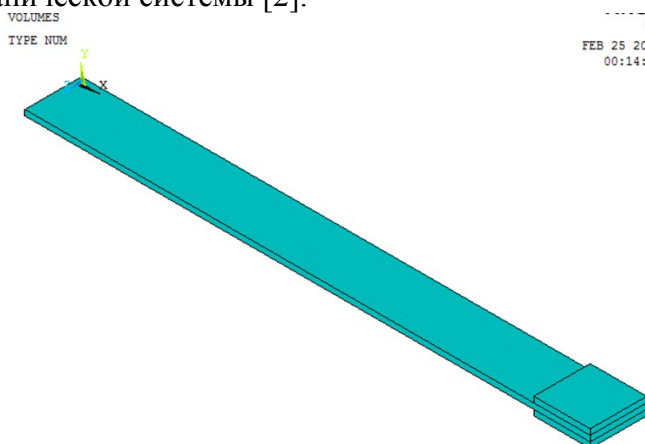


Рисунок 1 – Геометрическая модель механической подсистемы микрооптоэлектромеханической системы

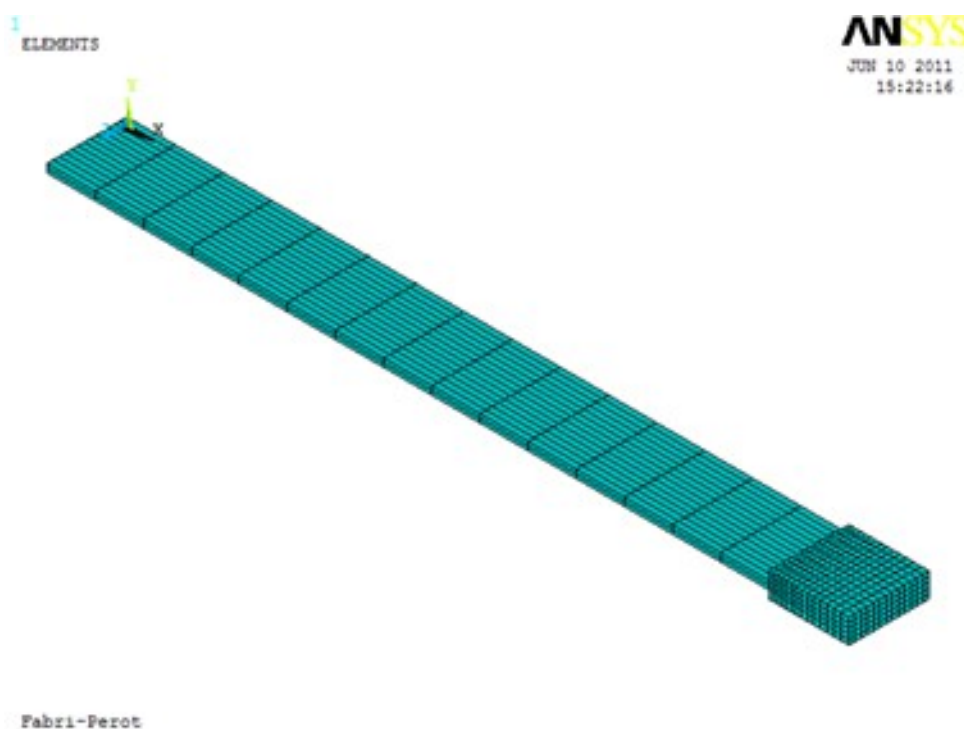


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель механической подсистемы микрооптоэлектромеханической системы

- Основными недостатками данной конечно-элементной модели являются следующие:
- Равномерное распределение конечных элементов в объеме геометрической модели;
 - Отсутствие учета областей максимальной и минимальной деформации;
 - Ресурсоемкость построения сетки конечных элементов (таблица 1).

Таблица 1. Время построения и количество конечных элементов различных конечно-элементных моделей.

Число узлов	Число КЭ	Время разбиения	Размеры КЭ по $\{x,y,z\}$
128	10	0,015 сек.	$\{1e-6,1e-6,1e-6\}$
393	40	0,051 сек.	$\{5e-6,5e-6,5e-6\}$
7553	1000	3,16 сек.	$\{1e-7,1e-7,1e-7\}$
4335221	1000000	17 сек.	$\{1e-8,1e-8,1e-8\}$

Наличие данных недостатков увеличивает время, затрачиваемое на построение сетки конечных элементов, а так же существенно влияет на экспериментальное исследование, усредняя значения деформации по всей конечно-элементной модели [2,3,4,5].

Алгоритм работы разработанного программного модуля

Алгоритм работы разработанного программного модуля, реализующего предложенный алгоритм адаптации методов многомасштабного иерархического моделирования механической подсистемы микрооптоэлектромеханических систем [3,4]. На рисунке 3 приведен алгоритм, описывающий работу разработанного программного модуля.

Основой данного модуля является учет областей наименьшей и наибольшей деформации. Данный модуль реализован на языке APDL, являющегося видоизмененным языком Фортран. В начале работы модуля необходимо ввести параметры моделируемой механической подсистемы. Дальнейшая обработка не требует участия пользователя в обработке результатов или выполнении каких-либо действий.

После ввода исходных данных геометрической модели, проводится ее построение, затем проводится «грубое» построение сетки конечных элементов. «Грубое» построение сетки конечных элементов необходимо для проведения предварительного моделирования с целью оценки областей максимальной и минимальной деформации. После проведения предварительного моделирования проводится извлечение матрицы деформаций и находятся области минимальной и максимальной деформации. После этого производится повторное построение сетки конечных элементов с учетом найденных областей [3].

После перестроения сетки конечных элементов проводится повторное моделирование механической подсистемы и проводятся дальнейшие этапы моделирования. После окончания работы разработанного модуля в виде выходных файлов сохраняются результаты математического моделирования механической подсистемы, математическая модель на языке формального описания VHDL-AMS, математическая модель механической подсистемы в формате программного комплекса ANSYS [4].

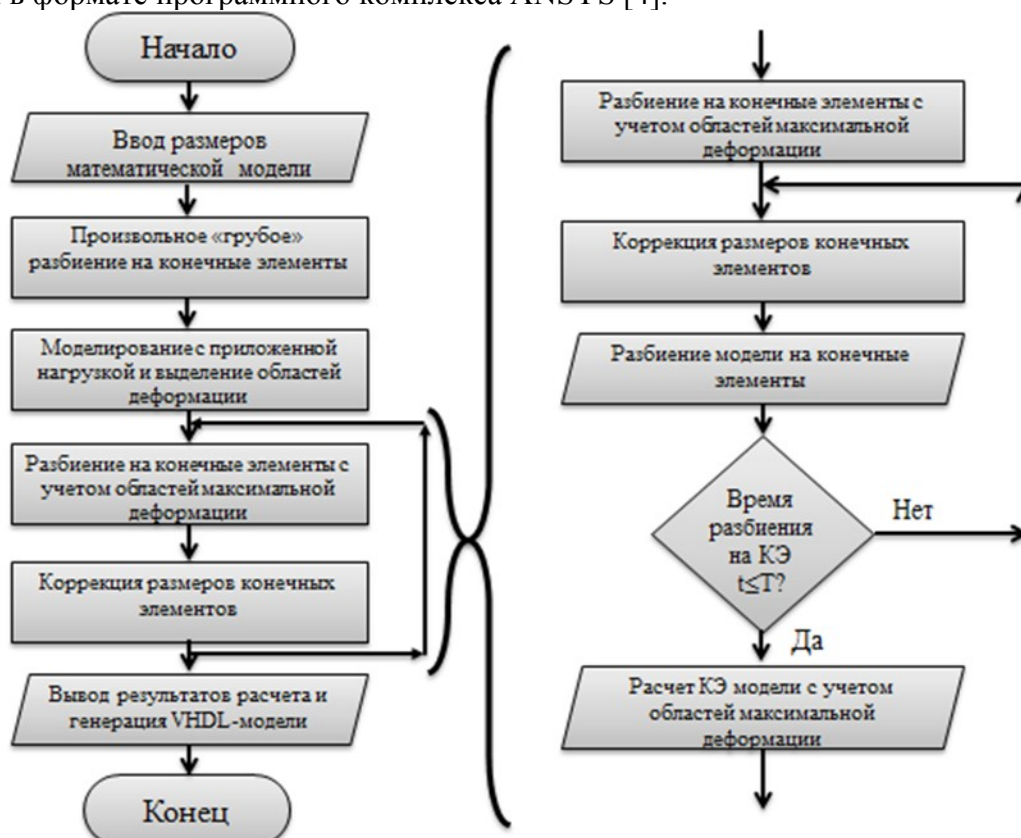


Рисунок 3 – Алгоритм работы разработанного программного модуля

На основе предложенного алгоритма реализован программный модуль для программного комплекса ANSYS, выполненный на языке APDL [5,6].

Результаты работы разработанного модуля

На рисунке 4 приведен общий вид конечно-элементной модели механической подсистемы микрооптоэлектромеханической системы, полученной на промежуточном этапе работы модуля.

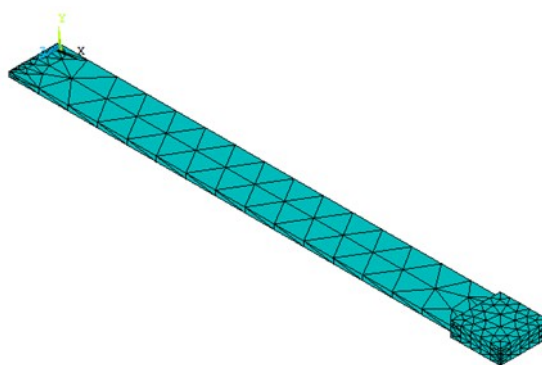


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель механической подсистемы микрооптоэлектромеханической системы

В таблице 2 приведены основные характеристики процесса разбиения математической модели на конечные элементы с применением разработанного программного модуля.

Таблица 2. Основные характеристики процесса разбиения математической модели на конечные элементы.

Число узлов	Число КЭ	Время разбиения
9862	1461	0,7 сек.

Число узлов и количество конечных элементов изменилось, поскольку в соответствии с алгоритмом были выделены области максимальной и минимальной деформации механической подсистемы. Из таблицы видно, что значительно сократилось время построения сетки конечных элементов для механической подсистемы, а так же изменилась конфигурация и форма конечных элементов (рисунок 4).

Заключение

Разработанный программный модуль реализует предложенный алгоритм адаптации методов многомасштабного иерархического моделирования микрооптоэлектромеханических систем. Данный модуль позволяет получить описание математической модели при любых входных параметрах механической подсистемы, а так же снижает время построения сетки конечных элементов, что снижает ресурсоемкость решения задачи многомасштабного иерархического моделирования.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 13-7-00073а.

Литература

1. Энциклопедия ЮНЕСКО // Шахнов В.А., Зинченко Л.А. и др. Сер. Нанонаука и нанотехнологии, Изд-во ЮНЕСКО, 2011.
2. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение: Пер. с англ. / Ред. пер. Заболотная Ю.А.- М.: Техносфера, 2004. - 525 с.
3. Косолапов И.А. Моделирование микроакселерометра на основе интерферометра Фабри-Перо в САПР ANSYS // Сборник трудов Научно-технические технологии и интеллектуальные системы. – Москва, 2009. – С.98-100.
4. Косолапов И.А. Междисциплинарные связи в многомасштабном моделировании микрооптоэлектромеханических систем // Сборник трудов Научно-технические технологии и интеллектуальные системы – Москва, 2011, с.205-209.
5. Senturia S. S. D. Microsystem Design. – 2001. – 720 с.
6. Шахнов В.А., Зинченко Л.А. Особенности применения вычислительных систем в САПР наноинженерии // Вестник МГТУ, 2010. Спец. Выпуск «Наноинженерия», с. 100- 109.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ

Якубов А.Р.

Научный руководитель: доцент, Соловьев В.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

RESEARCHING OF ELECTROMAGNETIC SHIELDS

Yakubov A.R.

Supervisor: Soloviev V.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной работе идет речь о исследовании электромагнитных экранов. В статье рассматриваются теоретические основы экранирования и основные аспекты экранирования, применяемые при дальнейших расчетах различных видов экранирования. Также в статье описывается расчетная часть, реализованная с помощью программного обеспечения.

Abstract

In this work refers to the study of electromagnetic shields. The article considers the theoretical basis of screening and the main aspects of the screening used in further calculations of different types of shielding. Also, the article describes the design part realized by the software.

Введение

В настоящее время активное использование электромагнитного ресурса, связанное с развитием радиосвязи и различных систем передачи и дистанционной обработки информации, телевидения, мобильной связи, радиолокации и радионавигации, приводит к появлению дополнительного электромагнитного фона. Особенно сложная электромагнитная обстановка складывается в крупных городах, где источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона являются радиочастоты связи, вещания, телевидения, радиолокационные станции, средства сухопутной подвижной радиосвязи и другие источники. Весомый вклад вносят также бытовые электроприборы, электротранспорт и, безусловно, компьютеры. Наведенные электромагнитные поля все чаще вызывают сбои в работе ИТ-оборудования, влияют на качество связи.

Применяются электромагнитные экраны в РЭА для защиты чувствительных элементов и узлов от внешних и внутренних электромагнитных помех. При этом различают следующие виды экранирования:

- экранирование электрического поля (поле в ближней зоне излучения от источника, эквивалентного электрическому диполю);
- экранирование магнитостатического поля (поле в ближней зоне излучения от источника, эквивалентного магнитному диполю – рамке с током);
- экранирование электромагнитного поля (поле в ближней и дальней зонах излучения от любых других источников энергии).

При экранировании внутри блоков РЭА, в следствии относительно небольших расстояний между источниками и приемниками помех, речь идет, как правило, об экранировании электро- или магнитостатических полей. Известно, что эффективность магнитостатического экрана значительно ниже, чем электростатического. Поэтому наибольшую сложность представляет защита от магнитостатических полей.

Целью работы является исследование:

- эффективности экранирования экранами из различных материалов;
- эффективности экранов при различных частотах источника помехи;
- эффективность экранирования в зависимости от формы экрана;

1 Исследование электромагнитных экранов

Исходными данными для расчета электромагнитной помехоустойчивости являются:

- конструкционные параметры изделия и его узлов;
- спектр частот помехи $[f_i]$ и соответствующие им значения напряженности электрического поля $E(f_i)$ или магнитной индукции $B(f_i)$, допустимые значения напряженности $E_g(f_i)$ или магнитной индукции $B_g(f_i)$, или напряжения помехи U_{Π} .

Наибольшее воздействие на работоспособность узлов РЭА оказывает магнитная составляющая электромагнитного поля с индукцией B . Когда магнитное поле частотой f пересекает замкнутый контур площадью S , то в контуре возникает э.д.с. U

$$|U| = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot S \cdot |B| \quad (1)$$

Рассчитанное по формуле (1) напряжение U является напряжением помехи для чувствительных элементов устройства. При анализе помехоустойчивости печатных узлов чувствительными элементами обычно являются микросхемы, тогда S - наибольшая площадь замкнутого контура, образованного заземляющим и сигнальным проводниками.

Если $|U| \geq U$ и нет возможности уменьшить площадь контура S , то необходим электромагнитный экран, эффективность которого:

$$|\mathcal{E}_H| = 20 \cdot \lg \left(\frac{|U|}{U_{\Pi}} \right)$$

Главное назначение экрана - ослабление напряженности электрического (E) или магнитного (H) полей.

На рис.1 приведена классификация электромагнитных экранов по трем признакам: типу поля помехи, конструктивной форме, материалу и конструкции стенок экрана.



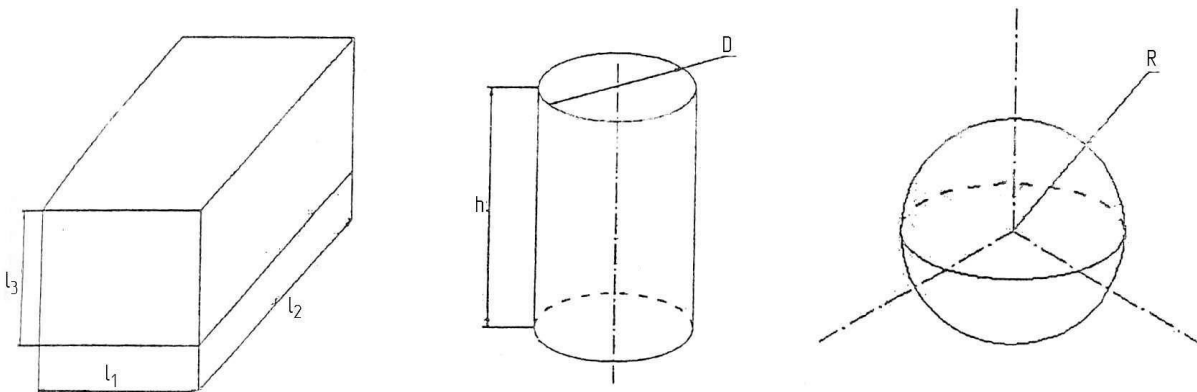
Рисунок 1 – Классификация электромагнитных экранов

1.1 Тип поля помехи

Область пространства вокруг условного излучателя электромагнитной помехи делится на ближнюю ($r \leq \lambda/2\pi$) и дальнюю ($r \geq \lambda/2\pi$) зоны, где r - расстояние от излучателя до экрана; λ - длина волны помехи.

1.2 Форма экрана

Конструктивная форма экрана в зависимости от экранируемого изделия может быть в виде параллелепипеда, цилиндра или сферы (см. рис. 2).



а) прямоугольной формы б) цилиндрической формы в) сферической формы

Рисунок 2 – Конструктивные формы экранов

Форма экрана влияет, в первую очередь, на величину характеристического сопротивления среды вблизи него и, как следствие, на эффективность экранирования. Кроме того, форма экрана влияет на его резонансные свойства, а именно на значение частоты, на которой происходит резкое увеличение магнитного или электрического поля внутри экрана. Чтобы сравнить экраны различных форм, вводится обобщенный параметр - эквивалентный радиус $R_{\text{э}}$.

Для экрана прямоугольной формы

$$R_{\text{э}} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot l_3}$$

Для цилиндрического экрана

$$R_{\text{э}} = \sqrt[3]{\frac{3}{16} \cdot D^2 \cdot h}$$

Для сферического экрана

$$R_{\text{э}} = r$$

Нижшая резонансная частота экрана может быть определена по приближенной формуле

$$f_{\text{PEЗ}} \cong \frac{13.8}{R_{\text{э}}} \cdot 10^6$$

Значение $f_{\text{PEЗ}}$ не должно входить в спектр помехи.

1.3 Материал и конструкция экрана

Материал стенки экрана оказывает наибольшее влияние на эффективность экранирования. Величиной, характеризующей экранирующее действие материала экрана, является глубина проникновения δ (на такой глубине напряженность электрического поля уменьшается в e раз):

$$\delta = \frac{0,52}{(\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \sigma)^{0,5}}$$

где f - частота поля помехи;

μ_r - относительная магнитная проницаемость;

σ – удельная проводимость материала экрана;

Для немагнитных материалов $\mu_r = 1$, а для ферромагнитных μ_r зависит от частоты f . Для стали эта зависимость может быть учтена следующим образом:

$\mu_r = 150 - 30f$, при $f < 4$ МГц, где f – частота, МГц.

Если экран работает в магнитном поле ближней зоны, эффективность магнитных материалов значительно выше немагнитных, так как $\mu_r \gg 1$. В электромагнитном поле дальней зоны немагнитные материалы, обладающие большей проводимостью по сравнению с магнитными, обеспечивают большую эффективность.

В таблице 1 приведены электрические параметры наиболее часто применяемых для экранирования материалов.

Таблица 1 – Электрические параметры материалов экранов

Материал	Удельная проводимость σ , 10^7 См/м *	Относительная магнитная проницаемость μ_r
Алюминий	3.54	1
Латунь	1.25	1
Медь	5.8	1
Серебро	6.2	1
Железо	1.0	1100-2200
Никель	1.38	12-80
Сталь	0.66	150
Пермаллой	0.47	800-8000

* 1 См (сименс) = 1/Ом

Для электромагнитного экранирования могут быть успешно применены тонколистовые и фольгированные материалы толщиной 0.01-0.05 мм. Также широко применяются сеточные материалы. Это объясняется тем, что металлические сетки легки, а сеточные экраны проще в изготовлении, удобны в сборке и эксплуатации, не препятствуют свободным конвективным потокам воздуха, светопроницаемы и позволяют получить - высокую эффективность экранирования во всем диапазоне радиочастот. Недостатком сеточных экранов является их низкая механическая прочность. Экранирующие свойства металлических сеток проявляются главным образом в результате отражения электромагнитной волны от их поверхности. Параметрами сетки, определяющими ее экранирующие свойства, являются шаг сетки S_c , радиус проволоки r_n и удельная проводимость материала сетки.

2 Расчетная часть исследования электромагнитного экранирования

Расчетная часть реализована с помощью программы. Программа составлена на языке С++. Программа предназначена для решения задач анализа и синтеза следующих видов экранирования:

- магнитоэлектростатического;
- электромагнитного;
- электростатического;

При решении задачи синтеза была использована величина эффективности экранирования \mathcal{E} , представляющей собой коэффициент экранного затухания в логарифмических единицах – децибеллах, дБ.

Задача синтеза непосредственно связана с расчетом толщины стенок экрана и определением экранирующего эффекта.

В зависимости от задачи анализ-синтез, вида экранирования, конструкции экрана, с учетом формы, сплошной, перфорированной, расстояния до экрана, дальняя, ближняя зона возможен расчет различных вариантов.

Логическая структура программы может быть представлена следующим образом:

- 1 Выбор вида экранирования.
- 2 Выбор требуемой функции анализ-синтез экрана.
- 3 Ввод исходных данных.
- 4 Расчет программой выбранного вида экранирования.
- 5 Вывод результатов расчета.

Заключение

Актуальность разработки высокоэффективных, широкополосных, технологичных и удобных в эксплуатации экранирующих и радиопоглощающих материалов обуславливается высокой потребностью в таких материалах при разработке и усовершенствовании конструкций изделий радиоэлектроники, устройств защиты информации и военной техники. Одним из способов достижения стойкости электронных систем к воздействию электромагнитной помехи, к устранению или ослаблению паразитных связей между источником и приемником наводок является экранирование.

Литература

1. В.П. Усачев, В.П. Григорьев, В.Г. Костиков. Исследование электромагнитных экранов. 1998.
2. Э.Н. Камышная, В.П. Усачев. Расчет экранирования в ЭВА и РЭА, 1986.

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ, КОАКСИАЛЬНЫХ И СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЯХ «ВИТАЯ ПАРА»

Зваев В. В.

Научный руководитель: Косолапов И. А.

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

HARDWARE SYSTEMS TO STUDYING SIGNAL PROPAGATION IN OPTICAL FIBER, COAXIAL AND SYMMETRICAL CABLES "TWISTED PAIR"

V. V. Zvaev

Supervisor: Kosolapov I. A.

Moscow State Technical University n.a. N.E. Bauman, Moscow, Russia

Аннотация

В настоящее время в телекоммуникациях применяются различные технологии по передачи данных. В связи с возрастающим объемом информации и скоростью при передаче данных, к технологиям предъявляются высокие требования по помехоустойчивости и надежности доставки данных. В данной работе исследуются основные, на данный момент, проводные линии передачи данных, а так же факторы, влияющие на передачу сигнала по этим линиям. На базе аппаратного телекоммуникационного стенда создается перечень лабораторных работ и методический материал для студентов начальных курсов.

Abstract

Currently, telecommunications use different technologies for data transfer. Due to the increasing amount of information and the speed with data transfer technology to meet high requirements for noise and reliability of data delivery. This paper examines the main, for the moment, wired data lines, as well as factors affecting the transmission of the signal along these lines. Hardware-based telecom stand creates a list of labs and teaching material for students of elementary courses.

Введение

На сегодняшний день, основными технологиями проводной передачи данных являются линии на основе коаксиального, оптоволоконного кабеля и кабеля «витая пара» [1, 2].

Кабель из витой (скрученной, свитой) пары является стандартом для ЛВС. По сравнению с коаксиальным кабелем он проще в прокладке, подходит для большого количества различных предметных областей и обеспечивает намного лучшую производительность. Большим преимуществом витой пары является то, что она уже используется бесчисленным количеством компьютерных и телефонных систем по всему миру. Это означает, что огромное число подрядчиков хорошо знакомы с процедурой монтажа такой проводки, и в новых зданиях разводка кабеля для ЛВС может осуществляться одновременно с прокладкой телефонного кабеля.

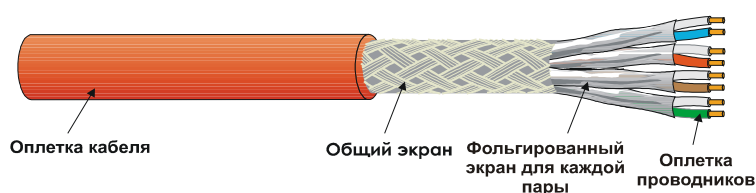


Рисунок 1 – Внешний вид кабеля типа SFTP

В идеальном случае линия передачи представляет собой, как минимум, два проводника, разделенных диэлектрическим материалом и имеющих равномерный зазор на

всем своем протяжении. К двум проводникам прикладывается сбалансированное напряжение равное по амплитуде и противоположное по фазе. В каждом проводнике текут равные по величине и противоположные по направлению токи.

Коаксиальный кабель [1] состоит из центрального проводника, одножильного или многожильного, и внешней экранирующей оплетки, являющейся вторым проводником. Коаксиальный кабель имеет круглое сечение с медным сердечником в центре, который представляет собой первый проводник. Он и переносит сигнал. Слой диэлектрика вокруг сердечника отделяет его от второго проводника из металлической сетки, который играет роль "земли".

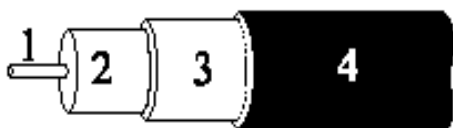


Рисунок 2 – Внешний вид коаксиального кабеля

- 1- центральный провод (жила)
- 2- изолятор центрального провода
- 3- экранирующий проводник (экран)
- 4- внешний изолятор и защитная оболочка

Оптоволоконный кабель состоит из сердечника, сделанного из стекла (кварца) или полимера, оболочки, окружающей сердечник, затем следует слой пластиковой прокладки и волокна из кевлара для придания прочности. Вся эта структура помещена внутрь тефлоновой или поливинилхлоридной трубки. Геометрия и свойства сердцевины и оболочки дают возможность передавать сигнал на относительно большие расстояния. Показатель преломления сердечника выше, чем у оболочки, что делает внутреннюю поверхность оболочки отражающей. Когда световой импульс передается по сердечнику, он отражается от оболочки и распространяется дальше. Отражение света позволяет изгибать кабель под разными углами, при этом сигнал может по-прежнему передаваться без потерь.

Затухание сигнала - это отношение в децибелах (дБ) мощности входного сигнала к мощности сигнала на выходе при соответствии импедансов источника и нагрузки характеристическому импедансу кабеля. Значение входной мощности может быть получено путем измерения мощности при непосредственном подключении нагрузки к источнику без прохождения сигнала по кабелю. В случаях, когда в местах терминирования импедансы не идеально соответствуют друг другу, отношение входной мощности к выходной носит название вносимых потерь или вносимого затухания. Затухание - потеря мощности сигнала. Чем меньше затухание, тем сильнее сигнал на входе приемника, тем лучше связь.

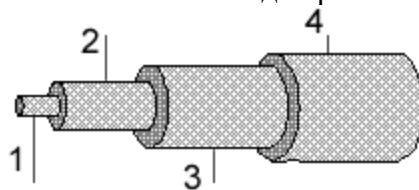


Рисунок 3 – Внешний вид оптоволоконного кабеля

- 1 – сердечник (ядро)
- 2 - отражающая оболочка (демпфер)
- 3 - покрытие первичного буфера (оболочка)
- 4 - покрытие вторичного буфера 900μ (оболочка)

Факторы, влияющие на передачу сигнала

Математически это выглядит следующим образом:

$$A=10 \cdot \lg \cdot (P1/P2), \text{ где}$$

P_1 — мощность сигнала на выходе передатчика, P_2 — мощность сигнала на входе приемника.

Сигнал затухает с расстоянием экспоненциально. При чрезмерном затухании между источником и приемником электрические шумы и помехи приводят к росту числа ошибок.

В коаксиальном кабеле чем больше частота, тем больше уменьшается амплитуда сигнала с увеличением расстояния, частота для оптического волокна постоянна до тех пор, пока она не достигнет предела диапазона рабочих частот. Таким образом, оптические потери пропорциональны только расстоянию. Такое затухание в волокне вызвано поглощением и рассеиванием световых волн на неоднородностях, вызванных химическими загрязнениями, и на молекулярной структуре материала волокна. Эти микрообъекты в волокне поглощают или рассеивают оптическое излучение, оно не попадает в ядро и теряется. Затухание в волокне специфицируется производителем для определенных длин волн: например, 3 дБ/км для длины волны 850 нм. Это делается потому, что потери волокна изменяются с изменением длины волны.

Задача экранирования магнитного поля [3] сводится к уменьшению или полному устранению индуктивной связи между источником и приемником помехи. Если магнитный поток пересекает контур, образуемый проводником (проводниками), то в контуре наводится помеха. Значение индуцируемого напряжения, U , помехи вычисляется по формуле:

$$U = -S \frac{dB}{dt}, \text{ где}$$

B – магнитная индукция, Тл; S – площадь контура

Для полного устранения или уменьшения напряжения помехи, наводимой в контуре, необходимо:

- поместить контур в экран;
- ориентировать его так, чтобы магнитные силовые линии поля не пересекали контур, а проходили вдоль него;
- уменьшить площадь контура.

Телекоммуникационный стенд

Стенд предназначен для изучения распространения сигналов в волоконно-оптических, коаксиальных и симметричных кабелях «витая пара».

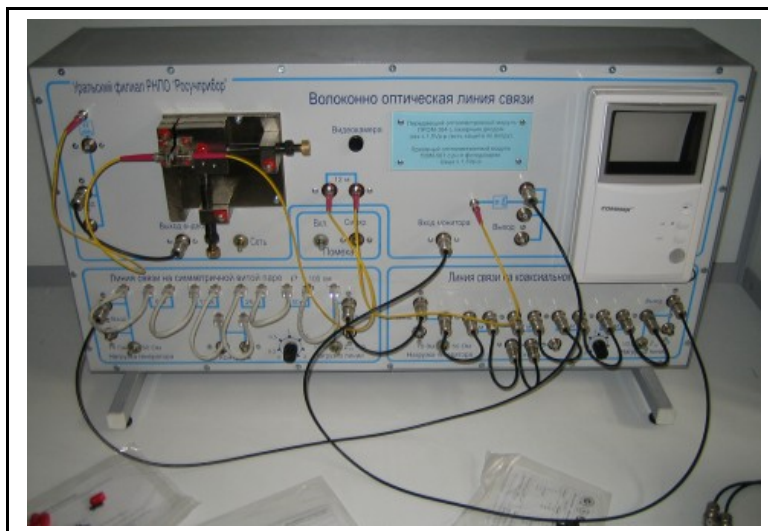


Рисунок 4 - Внешний вид лабораторного стенда

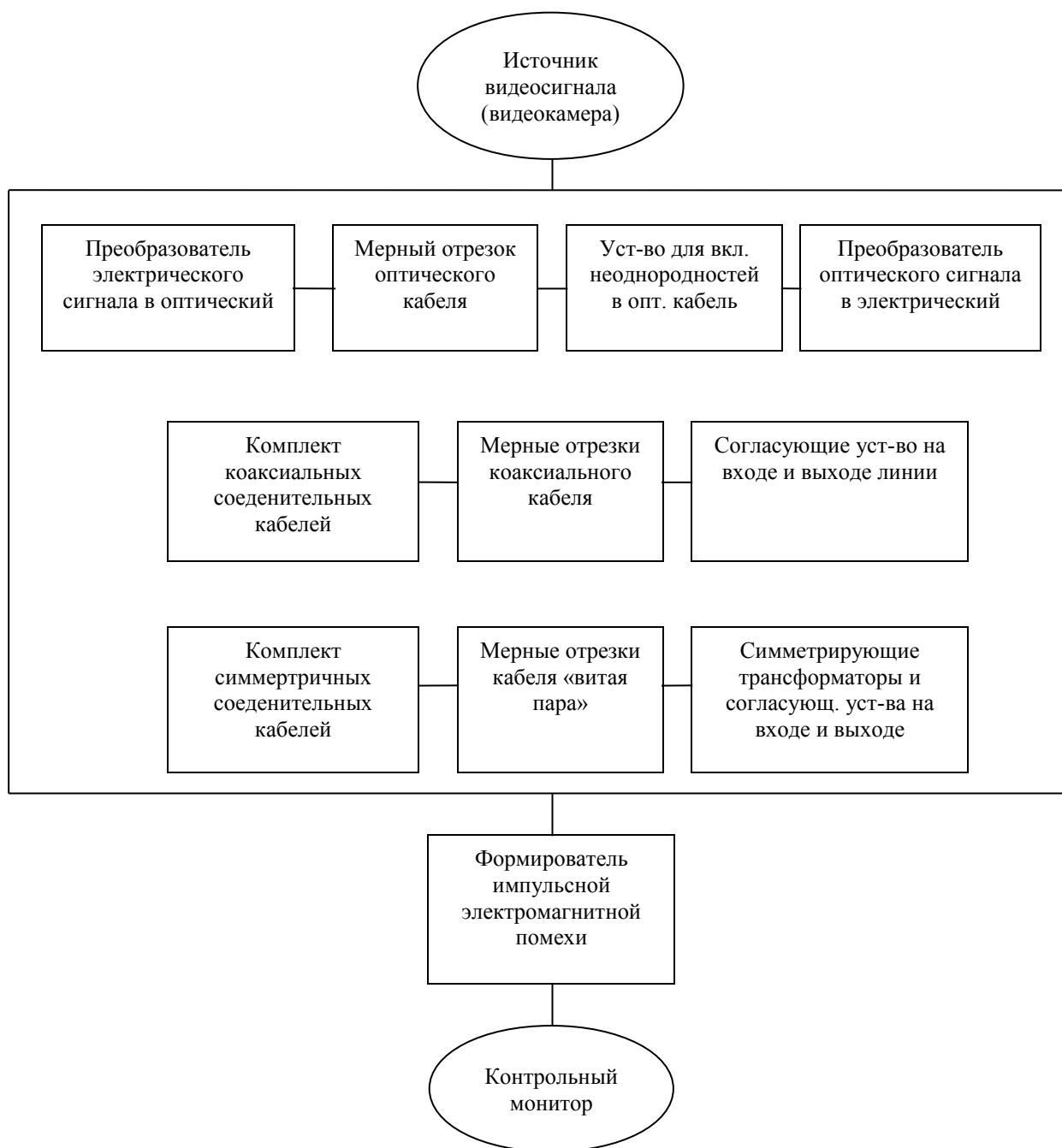


Рисунок 5 - Структурная схема лабораторного стенда

Стенд состоит из следующих частей:

Волоконно-оптическая линия связи, включающая:

- преобразователь электрического сигнала в оптический;
- устройство для включения неоднородностей в оптический кабель;
- мерный отрезок оптического кабеля;
- преобразователь оптического сигнала в электрический.

Линия связи на симметричном кабеле «витая пара», включающая:

- симметрирующие трансформаторы на входе и выходе линии;
- мерные отрезки симметричного кабеля «витая пара»;
- согласующие устройства на входе и выходе линии.

Линия связи на коаксиальном кабеле, включающая:

- согласующие устройства на входе и выходе линии;
- мерные отрезки коаксиального кабеля.

Источник видеосигнала (передающая телевизионная камера).

Контрольный видеомонитор.
Формирователь импульсной электромагнитной помехи.
Комплект оптических, коаксиальных и симметричных соединительных кабелей.

Стенд позволяет:

- проведение качественной оценки ТВ сигнала при передаче его через оптическую, коаксиальную или симметричную линию связи;
- измерение допустимых неоднородностей в разъемах оптического кабеля;
- измерение полосы пропускания оптоэлектрических преобразователей;
- определение волновых сопротивлений коаксиального и симметричного кабеля;
- определить затухание коаксиального и симметричного кабеля;
- произвести сравнительную оценку помехозащищенности линий в условиях воздействия внешних электромагнитных полей.

Технические данные:

- Волновое сопротивление коаксиального кабеля - 75 Ом
- Волновое сопротивление симметричного кабеля «витая пара» - 100 Ом
- Максимальная длина моделируемой линии связи на кабелях - 100 м
- Напряжение и частота питания - 220V 50Гц
- Потребляемая мощность, не более - 50 Вт
- Габаритные размеры - 770 x 420 x 320 мм
- Масса - 20 кг

В рамках тематики кафедры, на основе описанного телекоммуникационного стенда был разработан перечень лабораторных работ для студентов младших курсов:

Лабораторная работа №1. Знакомство с технологией Wi Fi и настройка точки доступа Wi Fi.

Лабораторная работа №2. Линии связи на основе витой пары.

Лабораторная работа №3. Линии связи на основе коаксиального кабеля.

Лабораторная работа №4. Изучение лабораторного стенда.

Лабораторная работа №5. Определение полосы пропускания оптико-электрических преобразователей.

Лабораторная работа №6. Изучение влияния погрешностей в стыках оптоволоконных кабелей на затухание/искажение сигнала.

Лабораторная работа №7. Изучение влияния сопротивления нагрузки на характер распространения в линии связи импульсного сигнала.

Лабораторная работа №8. Изучение влияния сопротивления нагрузки на характер распространения в линии связи гармонического сигнала.

Лабораторная работа №9. Затухание сигнала в кабеле.

Лабораторная работа №10. Оценка помехозащищенности различных видов линий.

Данный комплекс лабораторных работ позволяет получить студентам не только теоретическое представление о различных линиях передачи данных, но и практические навыки по монтажу и эксплуатации. Лабораторные работы включают в себя как методические указания, так и журналы для выполнения, в которых студенты фиксируют результаты выполнения лабораторной работы и на их основе делают выводы. Для закрепления полученной информации к каждой лабораторной предусмотрен список контрольных вопросов.

Заключение

В данной статье рассмотрена проводная технология передачи данных, включающая в себя несколько видов линий, а так же факторы, которые влияют на распространение сигнала в этих линиях. В рамках аппаратного телекоммуникационного стенда разработан перечень лабораторных работ, позволяющий получить практические навыки в области телекоммуникационных технологий

Литература

1. Гроднев И.И. Верник С.М .Линии связи. 5-е издание, 1988 –с 132-153.
2. С.А. Пескова, А.В. Кузин, А.Н. Волков Сети и телекоммуникации. 2-е издание, 2007 –с 184-188.
3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры Шахнов В.А., Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В., Макачук В.В., Мысловский Э.В. 2-е издание, 2005 –с 129-136.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА КНИ КМОП СБИС ПО КРИТЕРИЮ СТОЙКОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ СПЕЦФАКТОРОВ

Юлкин А.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Макаrchук В.В.

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

PRODUCING PROCESS PARAMETER OPTIMIZATION OF SOI CMOS VLSI BY CRITERION OF RESISTANCE TO SPECIAL FACTORS

Yulkin A.S.

Supervisor: PhD, associate professor Makarchuk V.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрена задача повышения стойкости элементов КНИ КМОП СБИС к воздействию спецфакторов путем оптимизации режимов технологических операций при их производстве. Кратко представлены преимущества и недостатки встроенных средств современных систем TCAD. Подробно исследован волновой метод оптимизации технологических режимов производства КМОП-структур.

Abstract

The article considers the problem of increasing the resistance elements SOI CMOS VLSI to influence of special factors through optimization of process steps in production. Advantages and disadvantages of modern embedded systems TCAD are summarized. The method for optimizing the wave of technological modes of production of CMOS structures is studied in detail.

Введение

Одной из важнейших задач современного приборостроения является поддержание в актуальном состоянии, а также дальнейшее развитие производства электронной аппаратуры оборонного и космического назначения. Для ее решения используются новейшие разработки в области микроэлектроники, в том числе и интегральные микросхемы (ИМС), обладающие стойкостью к ионизирующим излучениям и характеризующиеся стабильной работой всех элементов в широком диапазоне изменения внешних воздействий. При этом к транзисторным структурам в изготавливаемых цифровых СБИС предъявляются наиболее высокие требования по стойкости их электрических параметров к воздействию спецфакторов.

Известно, что на КНИ МОП-структуру в процессе воздействия ионизирующего излучения влияют, главным образом, три фактора: генерация электронно-дырочных пар в объемной области кармана за счет бомбардировки тяжелыми ионами, утечки по боковому окислу и накопление положительного заряда в захороненном окисле. При этом последний фактор вносит существенные изменения в работу транзистора, независимо от его конструкции. Поэтому задача повышения стойкости транзистора к накопленному положительному заряду (пропорциональному накопленной дозе излучения) является актуальной. В предлагаемой статье как раз и рассмотрена эта проблема.

Накопление заряда в скрытом окисле эквивалентно прикладываемому на подложку положительному напряжению, и при определенной величине этого накопленного заряда происходит образование паразитного проводящего канала в «донном» n -канальном МДП-транзисторе, в котором роль подзатворного диэлектрика играет заглубленный окисел, а роль затвора – подложка (рисунок 1). Поэтому, чтобы повысить устойчивость параметров транзисторной структуры к воздействию ионизирующего излучения, необходимо обеспечить настолько высокое пороговое напряжение паразитного «донного» транзистора, насколько это возможно, сохранив при этом характеристики основного транзистора: пороговое напряжение и ток насыщения. Причем допустимым является их отклонение не более чем на 10% от первоначальных значений. Таким образом, ставится задача оптимизации, условия

которой интуитивно ясны, но её решение даже в численном виде является сложным в силу нелинейной зависимости электрических параметров транзисторных структур микросхемы от изменяемых параметров технологического процесса. Для решения этой задачи применяют современные системы приборно-технологического моделирования, известные под названием TCAD. В работе используется система “TCAD Sentaurus” фирмы “Synopsys”.

1 Обзор методов оптимизации в TCAD

Метод оптимизации, предложенный для решения общей задачи нелинейного программирования в современных системах TCAD, базируется на последовательном квадратичном программировании (SQP). SQP-метод решает нелинейную задачу, используя итеративный подход. В каждой итерации нелинейная функция аппроксимируется квадратичным полиномом, оптимизация которого выполняется проще.

Эти SQP-методы работают путем перемещения из одной допустимой точки области параметров в другую, причем следующая точка является лучшим решением задачи оптимизации. Типичная стратегия в этом случае состоит в том, что для допустимой точки x_k направление d_k определяется так, что для достаточно малого $\lambda > 0$, следующие два условия удовлетворены:

- $x_k + \lambda d_k$ является допустимой точкой,
- значение целевой функции в точке $x_k + \lambda d_k$ лучше, чем значение целевой функции в x_k .

После того, как направление d_k найдено, по нему выполняется одномерная оптимизация целевой функции. Это приводит к новой точке, и процесс повторяется.

На каждой итерации выбирается наилучшее допустимое направление, вдоль которого и проводится оптимизация целевой функции.

На сегодняшний день не существует единого мнения о том, какой из методов является наилучшим. Однако SQP-метод многими специалистами определен как более предпочтительный [1]. Главным его недостатком является направленность на решение общей задачи оптимизации и, как следствие, большие вычислительные затраты, в результате чего нужны и большие затраты машинного времени.

В данной задаче можно выделить закономерности, которые упростят и ускорят процесс оптимизации, а именно несимметричный профиль легирования, получаемый после операции ионной имплантации, что подробно рассмотрено ниже.

2 Предлагаемый модифицированный метод оптимизации

Исследуя частную задачу оптимизации, возникающую при попытке повышения стойкости интегральной микросхемы к спецвоздействиям, можно заметить, что некоторые параметры технологического процесса напрямую влияют на целевую функцию.

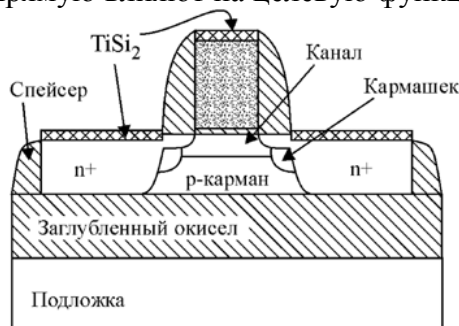


Рисунок 1 – Структура КНИ МОП-транзистора

Рассмотрим структуру МОП-транзистора, полученного на подложке со скрытым оксидным слоем (см. рисунок 1). В данной конструкции, кроме основной транзисторной структуры, образованной областями стока, истока и затвора, существует структура

паразитного «донного» транзистора, образованного областями стока, истока и подложки, выполняющей функцию затвора.

Как известно, пороговое напряжение транзистора определяется тремя величинами: толщиной подзатворного окисла (и его удельной емкостью), материалом затвора и уровнем легирования подложки [2]. В данном случае толщина подзатворного окисла определяется производством подложек со скрытым слоем окисла и не может быть изменена. Материалы «затвора», образованного объемом подложки, тоже определяются в процессе её производства. Следовательно, единственным путем повышения порогового напряжения «донного» транзистора является повышение концентрации акцепторной легирующей примеси вблизи заглубленного окисла.

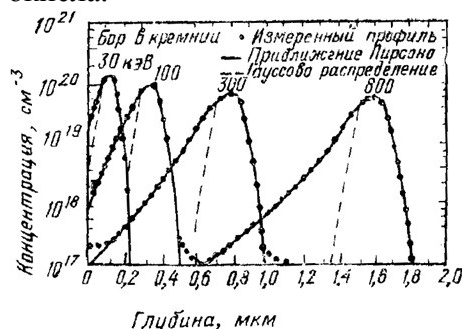


Рисунок 2 – Профиль распределения примеси при ионной имплантации атомов бора различных энергий в кремний

На современном производстве интегральных микросхем легирование подложек осуществляется преимущественно методом ионной имплантации, по окончании проведения которой профиль легирования подложки получается несимметричным (рисунок 2). Благодаря этому, операции ионного легирования атомами с меньшими энергиями (применительно к данной структуре в КНИ МОП-транзисторе) влияют только на свойства основного транзистора, в то время как операции ионной имплантации с большими энергиями оказывают влияние как и на основной транзистор, так и на «донную» структуру.

Такая особенность данного технологического процесса позволяет модифицировать алгоритм оптимизации. А именно - использовать параметры (стадии ионных имплантаций с большими энергиями), которые в наибольшей степени влияют на свойства «донного» транзистора для максимизации его порогового напряжения, а также параметры (стадии ионных имплантаций с меньшими энергиями), необходимые для поддержания качественных и количественных характеристик основного транзистора в пределах допустимых ограничений.

На рисунке 3 показана блок схема модифицированного метода оптимизации. После задания начальных условий выполнения оптимизации производится вычисление целевой функции и функции ограничений в смежных точках, а также расчет коэффициентов влияния параметров режимов ионных имплантаций на электрические характеристики структуры МОП-транзистора. Производится поиск параметра с наибольшим коэффициентом влияния на пороговое напряжение «донного» транзистора и переход в соответствующую точку области параметров. В том случае, если полученная точка не удовлетворяет накладываемым ограничениям, производится попытка возврата в область допустимых значений. Вычисляются новые коэффициенты влияния параметров на электрические характеристики МОП-транзистора, выбирается параметр, обладающий наибольшим коэффициентом влияния на электрическую характеристику, которая не попадает в область допустимых значений и производится корректировка.

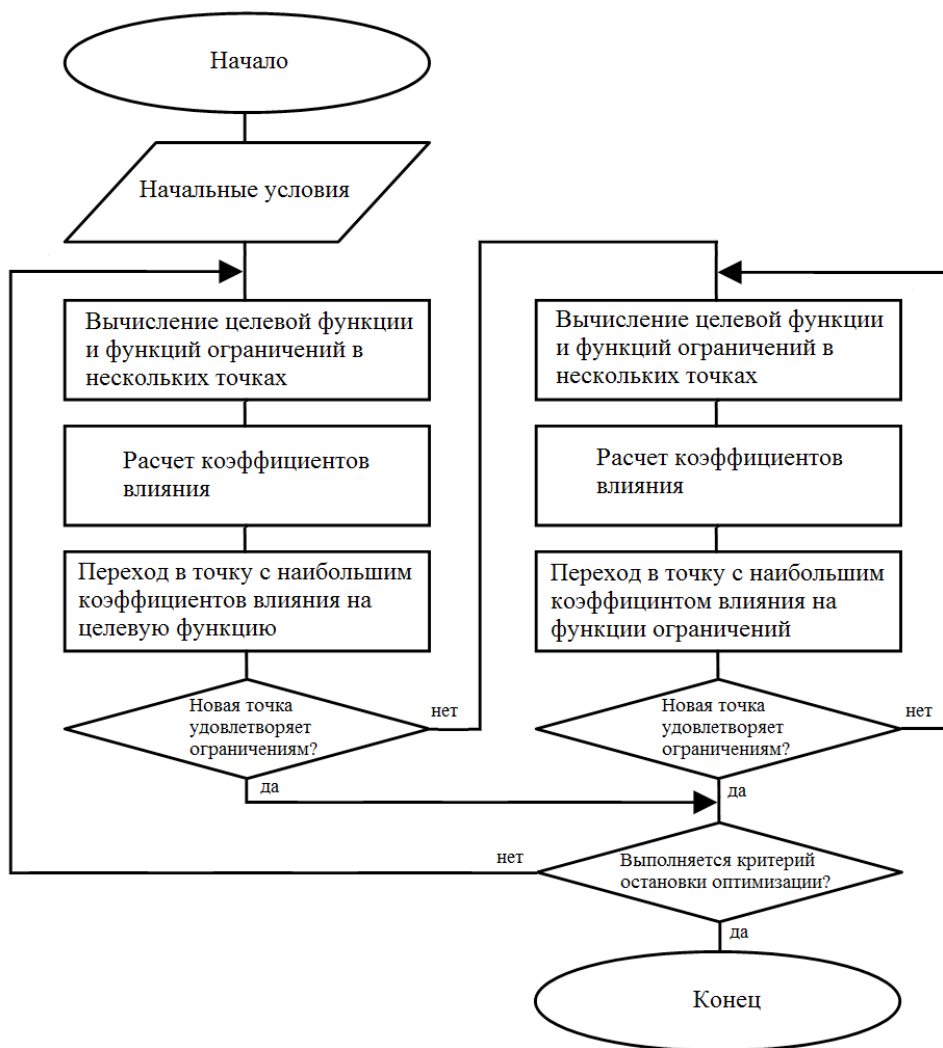


Рисунок 3 – Алгоритм модифицированного метода оптимизации

Окончание процесса оптимизации осуществляется либо по критерию заданного числа выполненных итераций, либо по минимальному приращению целевой функции.

Заключение

В отличие от алгоритмов, заложенных в систему TCAD, предложенный алгоритм позволит не останавливать процесс оптимизации при достижении границы области ограничений, а продолжать его, корректируя электрические параметры основного транзистора за счет изменения дозы легирования при ионной имплантации с меньшей энергией. Поскольку описанный в данной статье волновой метод оптимизации технологических режимов показал себя наиболее функциональным и результативным, имеет смысл рекомендовать его в качестве предпочтительного при решении задач оптимизации, в частности, и задач повышения спецстойкости СБИС специального назначения в целом.

Литература

1. R. Fletcher, Practical Methods of Optimization, New York: John Wiley & Sons, 1987.
2. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2008. – 288 с.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА УСТРОЙСТВА 3D-MID

Курносенко А.Е.

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, Шахнов В.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

CONCEPTS OF MODERN AUTOMATED EQUIPMENT FOR COMPONENT PLACEMENT ON 3D-MID DEVICES

Kurnosenko A.E.

Supervisor: Dr., Prof., Shakhnov V.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье рассматривается несколько современных подходов к реализации операции автоматизированной 3D-установки компонентов поверхностного монтажа. Представлены конструкции конструкций автоматов и их оснащение – как предлагаемых серийно, так и существующих в качестве опытных образцов. В заключении представлено сравнение концепций и рекомендации по выбору оборудования.

Abstract

Some modern concepts of SMT-component 3D-placement are described. Constructions of serial and prototype equipment/tools are presented. In conclusion described concepts are compared and recommendations on equipment choice are given.

Введение

Разработка современного изделия электроники практически всегда подразумевает рост функциональности и надежности при одновременном уменьшении массы и габаритов, удешевлении проектирования и производства по сравнению с изделием-предшественником. При этом конструктор часто оказывается перед необходимостью сочетания в рамках одного устройства электрических и механических элементов и узлов. Перспективным и активно развивающимся в настоящее время направлением, решающим такие задачи, является внедрение устройств 3D-MID – монтажных оснований, изготавливаемых из термопластиков методами литья с металлизацией проводящего рисунка тем или иным способом на активированных участках трехмерной поверхности устройства. Наибольшее распространение на данный момент получили методы двухкомпонентного литья под давлением, а также однокомпонентного литья с последующим аддитивным или субтрактивным лазерным структурированием проводящего рисунка. Для некоторых устройств находят применение формирование рисунка при помощи горячего тиснения металлической фольги [1 - 12].

Устройства 3D-MID обладают многочисленными достоинствами, среди которых следует отметить возможность реализации в рамках единого устройства монтажного основания с рисунком электрической схемы, а также таких элементов конструкции, как корпус, экран, теплоотвод, элементы фиксации, излучатели, соединители, переключатели и пр. Внедрение таких устройств означает упрощение и сокращение по времени сборочного процесса при увеличении надежности производства – прежде всего, за счет меньшего числа механических деталей. Материал устройств 3D-MID – различные термопластики – дружелюбен к окружающей среде и пригоден для вторичной переработки.

Особенности конструкции устройств 3D-MID предопределили области их предпочтительного применения – в настоящее время это автомобильная электроника, промышленная автоматизация, телекоммуникации, медицинские технологии, потребительская электроника. Некоторые примеры устройств 3D-MID представлены ниже на рис. 1.

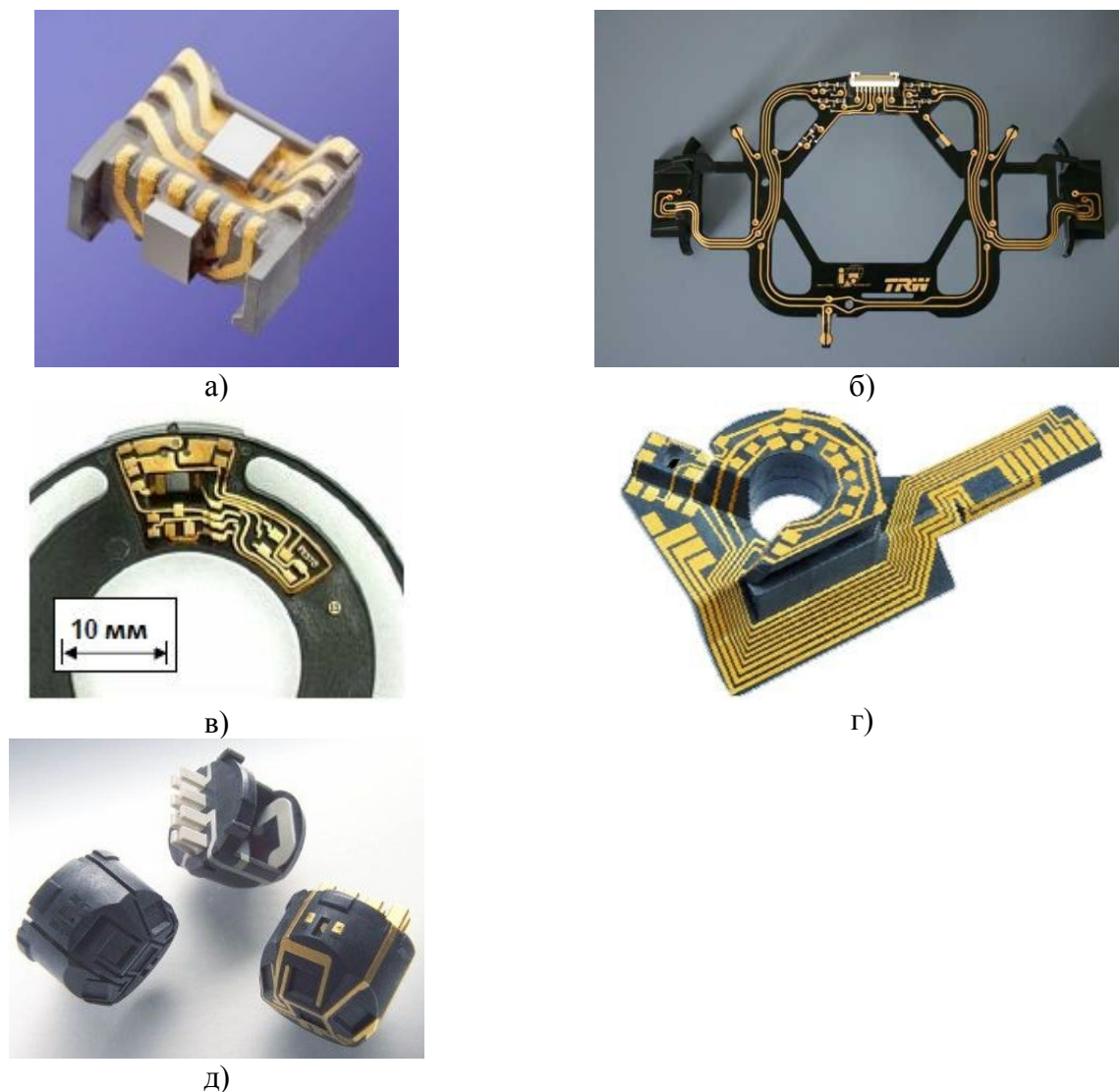


Рисунок 1 – Примеры изделий на базе технологии 3D MID: а) датчик магнитного поля на компонентах flip chip, установленных на непроводящий адгезив [HARTING Mitronics AG, 13]; б) концепт многофункционального автомобильного рулевого колеса [LPKF Laser & Electronics AG, I & T 3D Produktionsgesellschaft mbH и TRW Automotive Safety Systems, 14]; в) датчик угла поворота [HSG-IMAT, 15], г) датчик радиолокатора для адаптивного круиз-контроля [Iskra Automobiltechnik, 16], д) датчик автомобильных систем климат-контроля [Hella, 17]

Основные сборочные операции для устройств 3D-MID аналогичны применяемым в традиционной технологии поверхностного монтажа – это дозирование паяльной пасты/клея, установка компонентов и пайка оплавлением. Отличие их реализации заключается, в частности, в повышенных требованиях к процессу установки компонентов. При этом основная проблема заключается в необходимости установки компонентов на криволинейные поверхности либо поверхности, располагающиеся под углом, отличным от угла в 90° между осью Z сборочной головки и плоскостью расположения установленного компонента.


Для реализации операции пайки оплавлением имеет существенное значение стойкость термопластиков к воздействиям высоких температур – далеко не все из них в состоянии выдержать температуру пайки оплавлением. В то же время для них характерен более высокий ТКР, чем у традиционных материалов печатных плат на основе эпоксидной смолы. Такие материалы, как полибутилентерефталат/полиэтилентерефталат (PBT/PET), полиамид (PA6/6T) и жидкокристаллический полимер (LCP), хорошо подходят для бессвинцовой пайки. Если требуется применение других термопластичных материалов или следует минимизировать тепловые напряжения, перспективной альтернативой является технология

создания соединений с помощью изотропных проводящих адгезивов. Можно также применять точечную пайку. Монтаж бескорпусных кристаллов на 3D-MID возможно производить при помощи традиционной ультразвуковой/термокомпрессионной сварки, а компонентов flip chip – при помощи изотропных проводящих или непроводящих адгезивов [1, 10, 11].

В данной статье мы ограничимся операцией автоматизированной 3D-установки компонентов поверхностного монтажа и рассмотрим несколько современных подходов к ее реализации с точки зрения конструкции автоматов и их оснащения – как предлагаемых серийно, так и существующих в качестве опытных образцов.

Перед тем, как приступить непосредственно к рассмотрению подходов, приведем классификацию трехмерных монтажных оснований по критерию расположения поверхностей установки компонентов (табл. 1) [2].

Таблица 1 – Классификация трехмерных монтажных оснований

Размерность	Расположение поверхностей установки компонентов	Схема процесса установки компонентов	Области применения
2D	Плоская поверхность		Обычные печатные платы
2½D	Плоская поверхность, 3D-элементы на обеих сторонах		Простые корпуса
	Плоская поверхность, 3D-элементы на стороне установки		Простой монтаж, Модульная конструкция
	Несколько параллельных поверхностей		Фиксация тяжелых компонентов
n x 2D	Несколько параллельных поверхностей; поверхности, располагающиеся под углом		Простые корпуса, Компактные печатные платы
3D	Регулярные поверхности, например, цилиндрические		Телекоммуникации, автомобилестроение
	Поверхности свободной формы		Камеры

В статье мы будем касаться концепций автоматов, способных реализовать размерности установки n x 2D и 3D.

1 Требования, предъявляемые процессом автоматической сборки

При установке компонентов важнейшим требованием является обеспечение перпендикулярности плоскости установки компонента к оси перемещения сборочной головки. Это же требование справедливо и для операции дозирования, однако здесь оно даже более жесткое: для надежного нанесения пасты допускается меньший угол между иглой дозатора и плоскостью монтажного основания, чем в случае установки компонентов [1].

Необходима механическая фиксация компонентов на наклонных поверхностях, в противном случае весьма вероятно сползание компонентов с посадочных мест под воздействием собственной массы при изменении положения устройства 3D-MID, вибрациях, линейных ускорениях и пр. В особенности это свойственно компонентам с большой массой и малой областью контакта с паяльной пастой. Для осуществления фиксации рекомендуется выполнение механических литых конструкций вокруг таких компонентов – например, бортиков у их нижних краев, или же установка компонента в полость. Другое решение – нанесение адгезива под компонент с отверждением в процессе удержания компонента насадкой, при этом автомат должен обладать возможностью установки головки дозирования адгезива [1]. Рекомендуется применение быстроотверждаемых адгезивов или адгезивов с УФ-отверждением – это также потребует от сборочного автомата соответствующего оснащения.

Так как устройство 3D-MID может иметь совершенно произвольную форму и габариты по трем осям, важно предотвратить возможные взаимные столкновения собираемого устройства 3D-MID и технологического оснащения, служащего для фиксации и манипулирования устройством 3D-MID, со сборочной головкой и другими элементами оборудования. Достигается это расположением всех элементов технологического оснащения вне рабочей области перемещения головки по осям X, Y, т.е. в области над монтажным основанием, где перемещение головки осуществляется только по оси Z, а также в области под основанием (под конвейером автомата). Следует отметить, что конструкция рабочей зоны современных автоматов очень компактна, отличается малыми осевыми перемещениями, поэтому место для размещения элементов технологического оснащения сильно ограничено.

При традиционной 2D-установке от сборочного автомата требуется обеспечить 4 распределенных между компонентом и монтажным основанием степени свободы – 3 линейных и одну вращательную, при 3D этих степеней свободы должно быть по крайней мере 6 [3].

2 Концепции построения сборочных автоматов для 3D-MID

Рассмотрим несколько современных концепций автоматов, применяемых для установки компонентов на устройства 3D-MID. Часть из них существует в виде отлаженных и готовых к производству моделей, часть еще не покинуло стадию опытных образцов и проходит испытания и апробацию. После рассмотрения сравним предложенные концепции, отметив их достоинства и недостатки.

Первым и самым простым решением является использование существующего оборудования для 2D-установки компонентов. Разумеется, такое оборудование позволяет собирать только изделия типа 2,5D (табл. 1), где компоненты располагаются на разных уровнях в плоскостях, перпендикулярных оси вертикального перемещения сборочной головки, поэтому мы оставим его за рамками рассмотрения.

Линия, оснащенная 6-осевыми промышленными роботами

Установка компонентов на устройства 3D-MID имеет много общего с применяемыми в машиностроении традиционными и хорошо отлаженными за многие годы пространственными операциями обработки и сборки, поэтому неудивительно, что ряд компаний пошел по пути использования в качестве сборочной головки гибких, свободно программируемых 6-осевых промышленных роботов в составе производственной линии.

Примером такого подхода может служить гибкая комплексная производственная линия (рис. 2), служащая для выпуска трехмерных мехатронных сборок – переключателей для встраивания в руль мотоцикла (6 типов устройств с 50 различными вариантами установки компонентов, рис. 3 [5, 6]), а также прочих устройств 3D-MID с габаритами вплоть до 100 x100 x100 мм³.



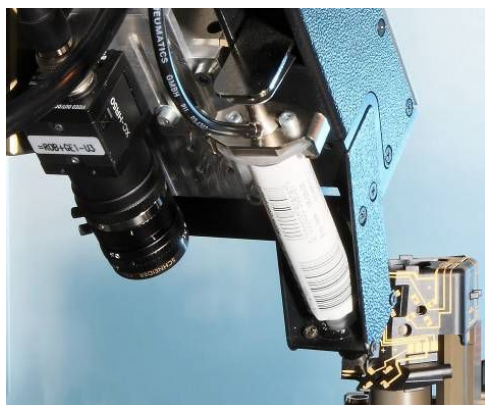
Рисунок 2 – Комплексная производственная линия сборки переключателей для мотоцикла на основе 3D MID [5, 6]



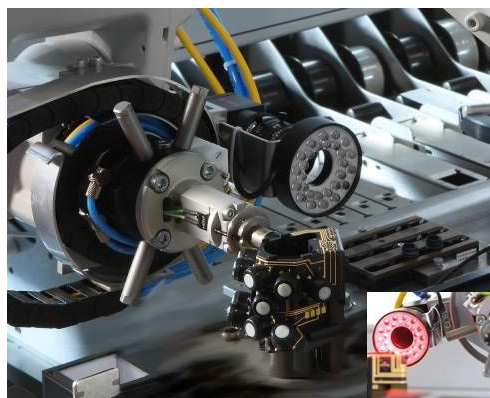
Рисунок 3 – Собираемое устройство 3D MID – переключатель для мотоциклов [6]

Техпроцесс состоит из следующих основных этапов (рис. 4):

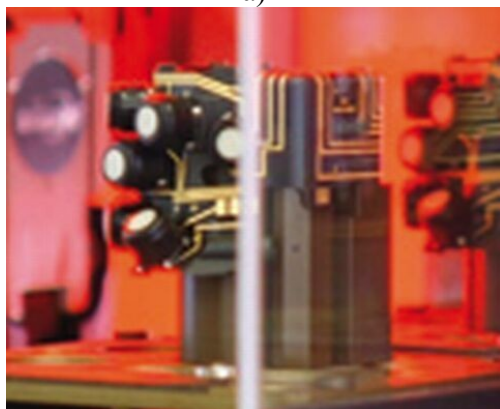
- входной контроль деталей 3D-MID;
- 3D-дозирование паяльной пасты с последующей оптической инспекции областей нанесения (рис. 3а);
- 3D-установка компонентов поверхностного монтажа, в том числе светодиодов, а также переключателей (рис. 3б);
- пайка с последующей трехмерной автоматической оптической инспекцией (рис. 3в);
- установка контактных штырьков;
- нанесение защитного покрытия;
- окончательная сборка и монтаж кабелей;
- окончательный функциональный контроль: тактильный, оптический и электрический;
- упаковка готовых изделий.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Операции 3D-дозирования паяльной пасты (а), установки компонентов (б) и АОИ паяных сборок (в) на роботизированной линии

Данные по точности линии не приводятся, заявленное время цикла составляет 2-3 с на компонент.

Модульный автомат, оснащенный 3D-держателем монтажных оснований

Еще одной реализацией возможности сборки устройств 3D-MID является концепция модульного автомата, оснащаемого в качестве модуля расширения 3D-держателем монтажных оснований.

Примером может служить система трехмерной микросборки VICO 520 M от компании Häcker Automation GmbH (рис. 5). Это модульное оборудование обладает различным гибко конфигурируемым оснащением для решения задач микросборки, нано- и микродозирования и оптической 3D-инспекции [7].



Рисунок 5 – Система трехмерной микросборки VICO 520 M [7]

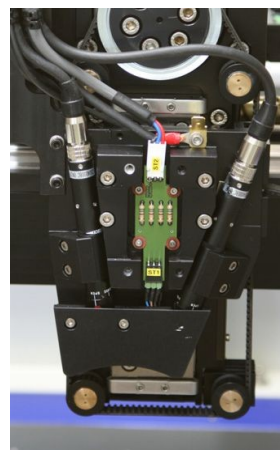


Рисунок 6 – Стереоскопическая система трехмерного технического зрения оборудования VICO 520 M [9]

Стандартным оснащением системы VICO 520 M является стереоскопическая система трехмерного технического зрения (рис. 6). Для компенсации возникающих погрешностей изготовления и позиционирования СТЗ автомата определяет положение монтажного основания в пределах рабочей зоны автомата не только в плоскости, но и по вертикали [7].

СТЗ выполнена на основе двух расположенных под углом камер, каждая из которых обозревает объект с различных ракурсов (рис. 7). ПО автомата вычисляет точное положение объекта в декартовой прямоугольной системе координат, причем не только в плоскости, но и по вертикали в пределах рабочей области, и даже определяет состояние поверхности. Областью поиска 3D СТЗ является куб с длиной стороны 2,5 мм, точность ± 2 мкм. Система оснащена алгоритмом компенсации дефектов структуры поверхности с размерами вплоть до 250 мкм и обладает возможностью проводить АОИ готовых сборок [8, 9].

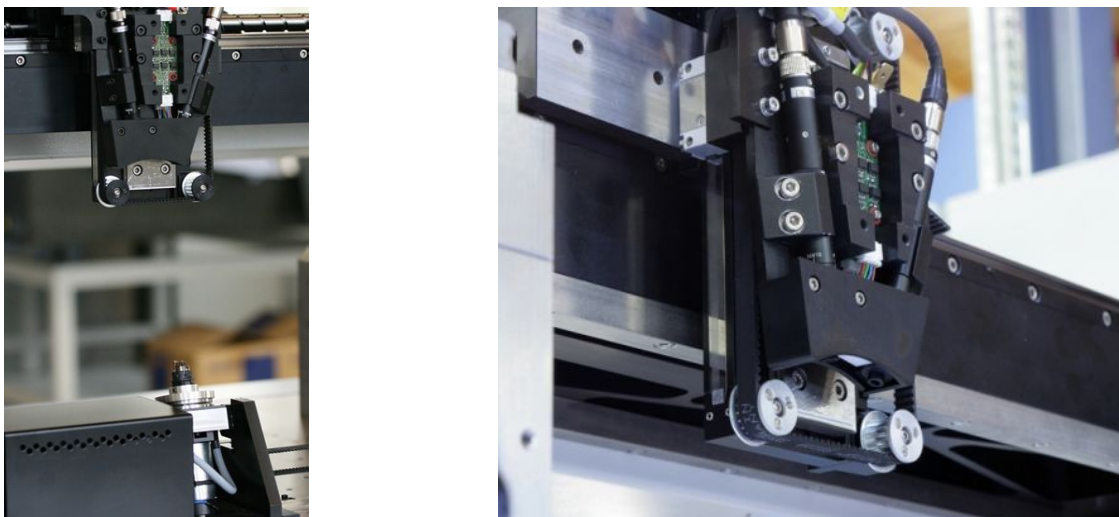


Рисунок 7 – Обзор объекта двумя камерами СТЗ оборудования VICO 520 M [9]

3D-оснастка для фиксации монтажных оснований – модуль расширения для модели VICO 520 M. Две оси модуля могут управляться независимо друг от друга. Рабочая область может поворачиваться на 360° вокруг оси Z и наклоняться вплоть до 90° по оси X, что добавляет две недостающие степени свободы к четырем, обеспечиваемым сборочной головкой. Таким образом, можно управлять положением устройства 3D-MID, устанавливая его выпуклую/вогнутую поверхность в требуемую для установки компонентов позицию с помощью поворота и наклона. При этом головки дозирования и установки могут достигать каждой точки всего полупространства над монтажным основанием. Само устройство 3D-MID крепится на держателе при помощи специального адаптера. Два варианта реализации модулей оснащения приведены на рис. 8.

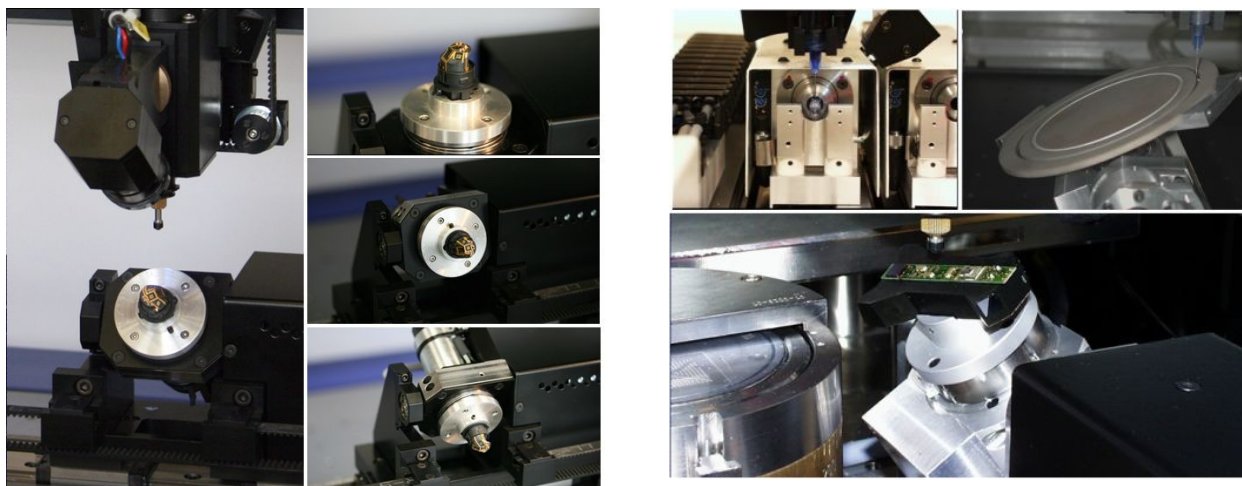


Рисунок 8 – 3D-держатели монтажных оснований – два варианта реализации [9]

Головка оснащается автоматически сменяемыми насадками для установки различных компонентов, вторая головка выполняет дозирование материала из картриджей объемом 5 – 10 мл. Процесс установки компонентов представлен на рис. 9.

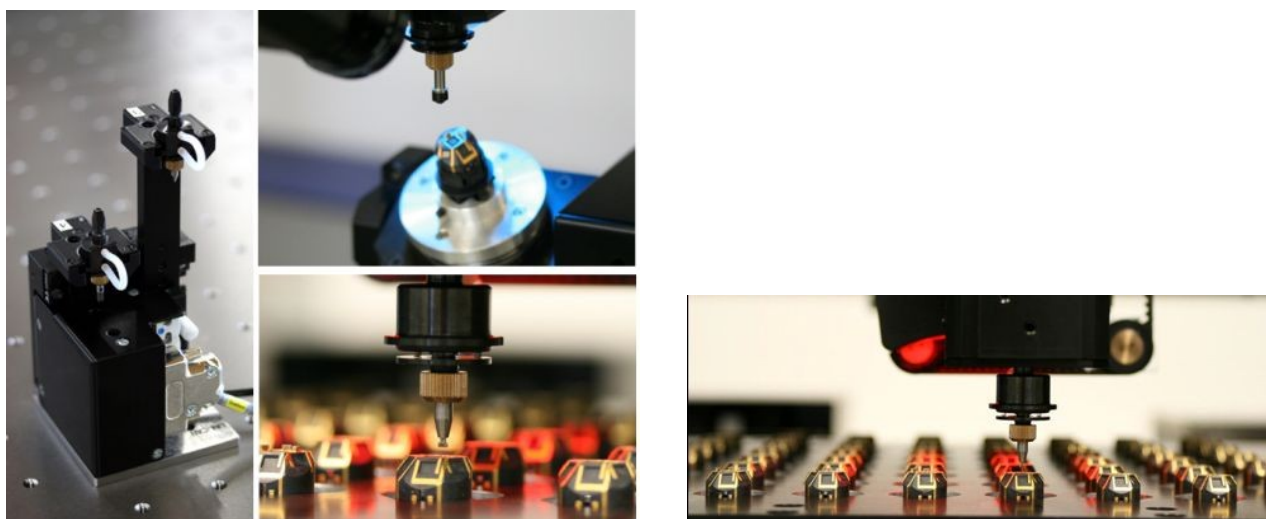


Рисунок 9 – Процесс установки компонентов в системе VICO 520 M [7,9]

Таблица 2 – Некоторые технические характеристики системы VICO 520 M

Точность позиционирования	± 10 мкм при 3σ
Точность дозирования	± 0.1 нл при 6σ
Время наладки	менее 5 мин.
Показатель возможностей техпроцесса	$C_{mk} > 2,0$
Коэффициент готовности	$> 97\%$

Интеграция многоосевого робота в существующий автомат 2D-установки компонентов

Одним из очевидно перспективных направлений является расширение кинематических возможностей обычного автомата 2D-установки компонентов с помощью интеграции в его структуру многоосевого робота, манипулирующего держателем с закрепленным на нем устройством 3D-MID.

Примером такого подхода служит реализация автомата 3D-установки компонентов в компании Essentec на основе платформы автоматов Paraquda в сотрудничестве с известной компанией-производителем роботизированных систем KUKA [3]. Концепция построения автомата приведена на рис. 10.

Устройство 3D-MID устанавливается на паллету, которая перемещается по конвейеру технологической линии и далее – по конвейеру сборочного автомата. Робот, установленный на станине автомата и располагающийся под зоной сборки, захватывает паллету с конвейера и подает ее в рабочую зону под головкой дозирования пасты/установки компонентов, поворачивая паллету таким образом, чтобы установочная поверхность была перпендикулярна оси Z перемещения насадки с компонентом или наконечника дозатора.

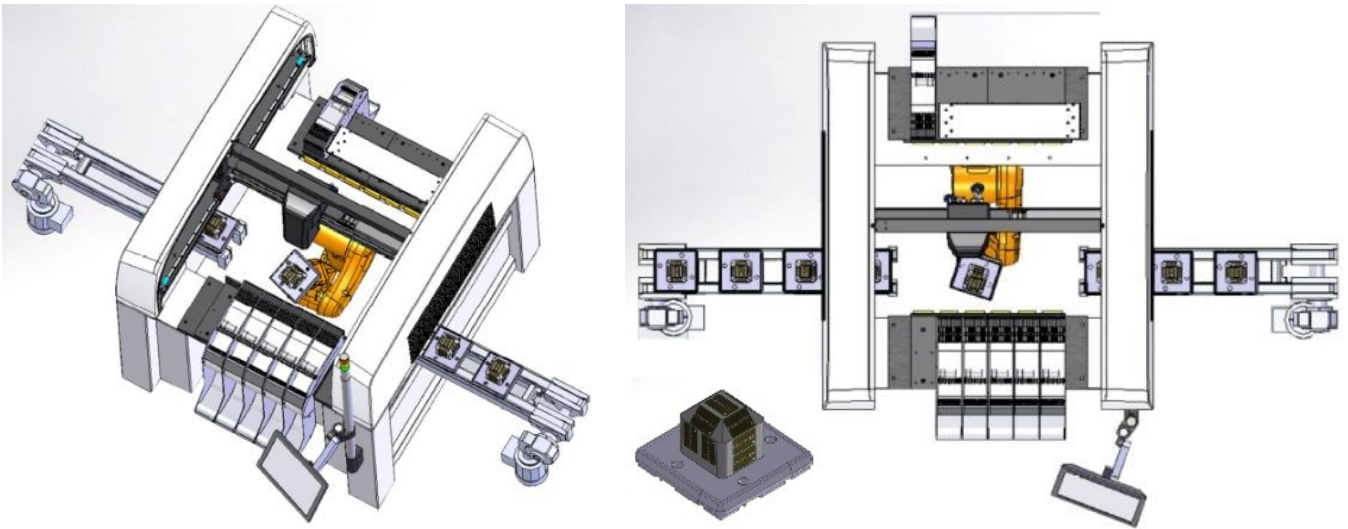


Рисунок 10 – Концепция построения автомата 3D-установки компонентов с интегрированным роботом-манипулятором [3]

При этом 4 оси (X , Y , Z , θ) обеспечивает традиционная система установки компонентов, а дополнительные 6 осей – робот, в результате чего появляется возможность реализовать для устройства 3D-MID все степени свободы – поступательное движение по осям X , Y , Z и вращение вокруг них (рис. 11).

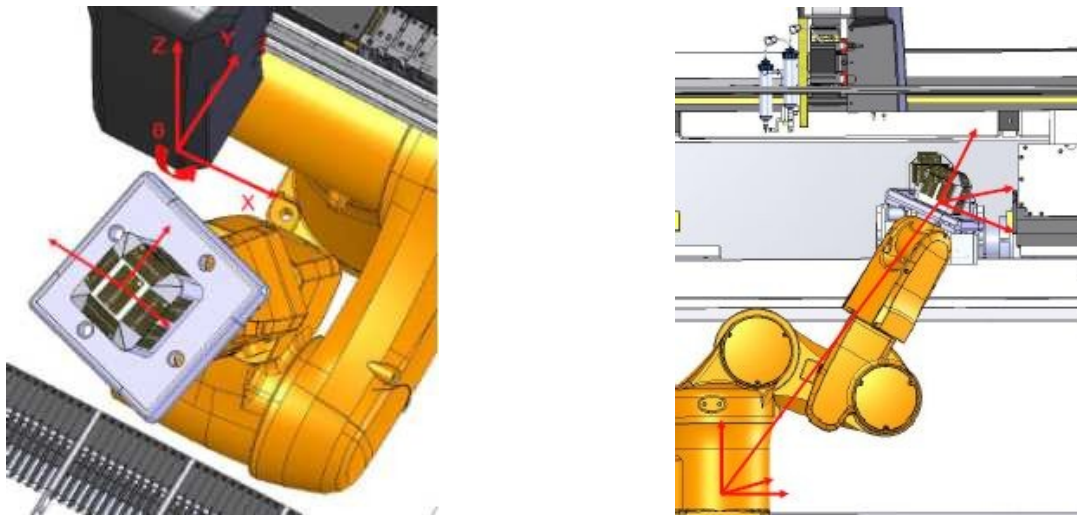


Рисунок 11 – Система установки компонентов и робот с осями своих систем координат [3]

Система оснащена пневматическим дозатором нанесения паяльной пасты и струйным – нанесения клея, материалов для заливки сверху, покрытий и пр. (рис. 12). На одной головке можно установить до двух систем дозирования. Вместо пневматического дозатора может устанавливаться дозатор шнекового типа. После установки компонента осуществляется отверждение адгезива при помощи встроенного в сборочную головку светодиодного устройства УФ-отверждения.

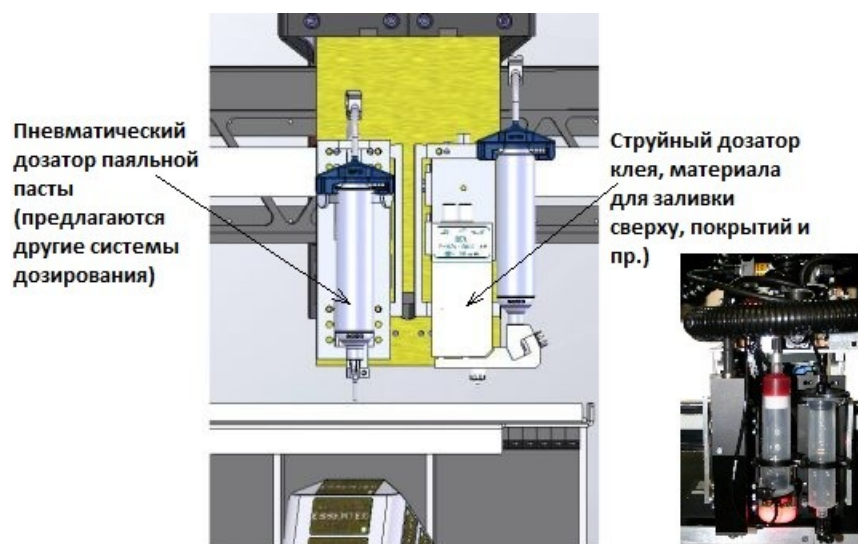


Рисунок 12 – Дозаторы для нанесения паяльной пасты, клея и прочих материалов [3]

Отмечается самая большая величина перемещения оси по оси Z среди автоматов установки SMD-компонентов – вплоть до 50 мм (рис. 13) [3].

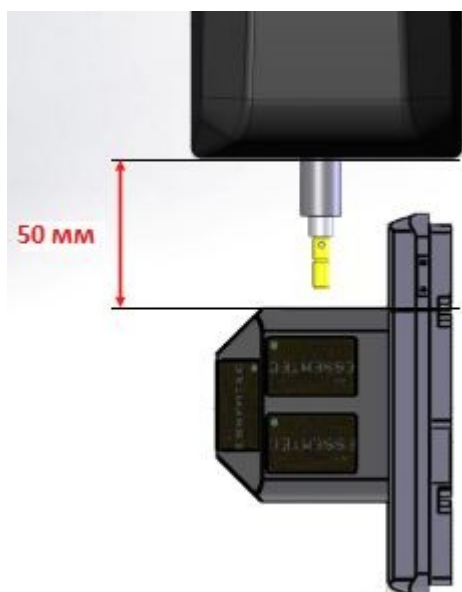


Рисунок 13 – Схема перемещения оси Z автомата 3D-установки компонентов [3]



Рисунок 14 – Изображение модели устройства 3D-MID и данных управляющей программы на экране монитора автомата [3]

Для составления управляющих программ автомата предлагается соответствующее программное обеспечение, автоматически создающее программу на основе данных, полученных от специализированного MID-модуля САПР NEXTRA® (рис. 14).

Таблица 3 – Некоторые технические характеристики концепта автомата от компании Essemtec

Производительность	Макс. скорость установки/время цикла в 3D-режиме	1000 – 2500 компонентов/час
	Время переналадки	менее 15 мин.
Точность	робота ± 20 мкм, системы paraquda 45 мкм при 3σ	результатирующая точность 60 мкм при 3σ
Размеры монтажного основания	Макс.	300x160x50 мм

Разработчик отмечает [3], что при проектировании устройств 3D-MID с учетом технологичности необходимо учитывать:

- Специфические особенности робота
- Размер монтажного основания
- Диапазон перемещения насадки с компонентом по оси Z
- Точность установки.

Для обеспечения точности в каждом монтажном слое основания следует предусматривать реперные знаки, как и на традиционных печатных платах.

Активный держатель монтажных оснований, устанавливаемый в стандартный автомат 2D-установки компонентов

Наконец, четвертым из рассматриваемых вариантов является активный держатель монтажных оснований, оснащенный многоосевыми манипуляторами. Он предназначен для модернизации существующих автоматов установки компонентов и устанавливается на конвейер подобно обычной ПП. Манипулятор содержит одну или несколько отдельных позиций для размещения и фиксации устройств 3D-MID при сборке.

Примером такого манипулятора может служить спроектированное для автомата Siplace HF устройство, предлагаемое группой разработчиков из немецкого Университета Александра Фредерика городов Эрланген-Нюрнберг (Friedrich Alexander University of Erlangen-Nuremberg) в рамках исследовательского проекта, финансируемого Ассоциацией 3-D MID e. V. [1] Схема работы манипулятора представлена на рис. 15.

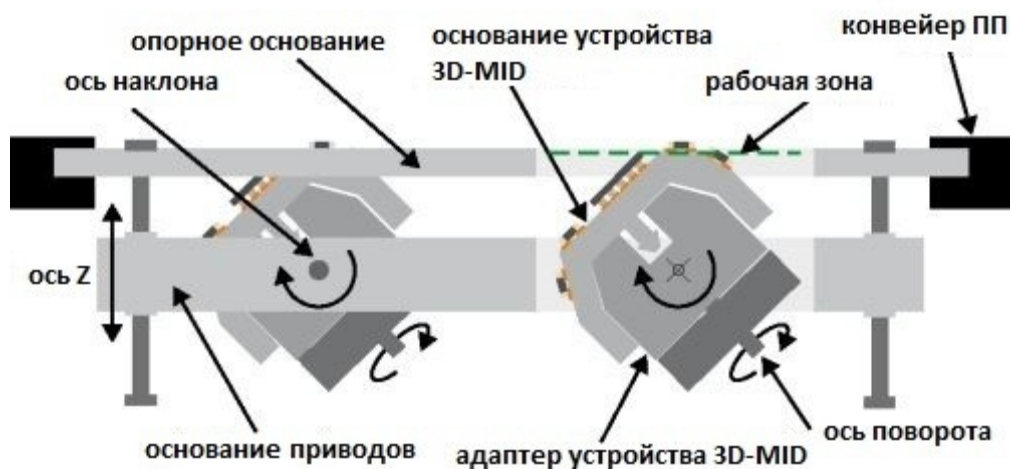


Рисунок 15 – Схема активного держателя монтажных оснований с манипуляторами [3]

Конструкция манипулятора включает в себя два основания – одно перемещается и фиксируется на конвейере автомата, второе служит для размещения приводов (рис. 16) с зубчатыми передачами. Исполнительная часть манипулятора, таким образом, размещается

под конвейером и реализует три оси: наклон вокруг оси X, поворот вокруг оси Z и подъем по оси Z. Реализуемые манипулятором степени свободы обеспечивают сборку на внешней поверхности полусферы без возникновения проблем, связанных со столкновениями с элементами сборочной головки. Манипулятор оснащен контроллером для управления приводами и связи с системой управления автомата. Во время позиционирования манипулятора автомат находится в режиме ожидания, либо может осуществлять захват компонентов из питателей.

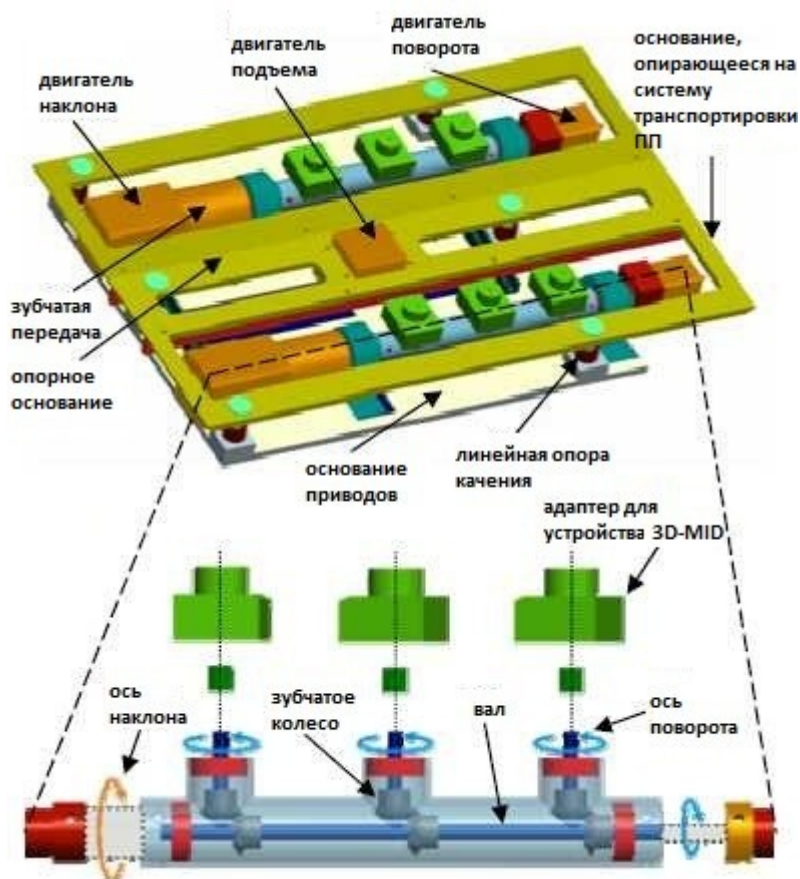


Рисунок 16 – Принцип действия активного держателя монтажных оснований [3]

Манипулятор перемещается по конвейеру автомата установки компонентов и закрепляется в пространстве рабочей зоны автомата с помощью его механизмов фиксации (рис. 17). Установка устройств 3D- MID в гнезда манипулятора требует применения специальных адаптеров.

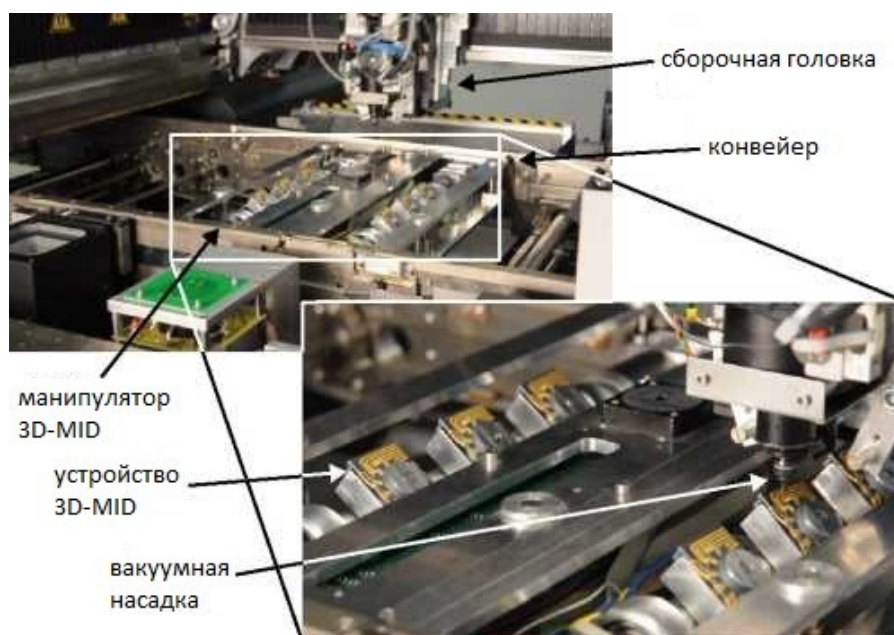


Рисунок 17 – Внешний вид установленного в автомат Siplace HF активного держателя монтажных оснований [3]

Погрешности расположения контактных площадок на монтажном основании, а также погрешности позиционирования устройства 3D- MID с помощью манипулятора могут компенсироваться при наличии реперных знаков на каждом рабочем слое устройства 3D- MID. Разработчики предлагают две различные стратегии применения своего устройства [1]:

Стратегия 1. Предварительно на манипулятор устанавливаются адаптеры, в которых, в свою очередь, размещаются устройства 3D- MID. Затем производится дозирование паяльной пасты и установка компонентов, после чего необходимо вынуть устройства 3D- MID из адаптеров, так как манипулятор не приспособлен к операции пайки оплавлением. Вследствие этого требуется размещение устройств 3D- MID на дополнительном неактивном держателе, выдерживающем высокие температуры пайки вплоть до 260°C. При этом наладка, установка и съем устройств 3D- MID может осуществляться при помощи 6-осевого робота, а увеличение производительности может достигаться использованием нескольких манипуляторов. Недостатком данной стратегии является дополнительный этап манипулирования объектами с использованием роботов, необходимость применения нескольких манипуляторов для совмещения временных циклов наладки и сборки, что влечет за собой значительные затраты.

Стратегия 2 предусматривает наличие многофункционального автомата, выполняющего все перечисленные выше функции, вследствие чего необходим только один манипулятор, располагающийся в автомате. Однако установка и съем устройств 3D- MID должны осуществляться в этом случае с помощью самого сборочного автомата, что в большинстве случаев потребует наличия в его конструкции механического захватного устройства для манипулирования деталями сложной формы, которым можно оснастить далеко не каждый стандартный автомат установки компонентов.

Вместе с тем, для обеих стратегий необходимо наличие инструментальной среды CAD/CAM, которая автоматически бы составляла управляющую программу для автомата на основе данных о монтажном основании 3D- MID, адаптере и компонентах.

3 Сравнение рассмотренных подходов

Несомненными достоинствами подхода с применением 6-осевых роботов в составе производственной линии являются высокая гибкость при сборке изделий однородной номенклатуры, комплексный подход к реализации техпроцесса, единая система фиксации и транспортировки изделий.

Вместе с тем следует отметить, что при выпуске широкой номенклатуры изделий гибкость линии может оказаться недостаточной, в результате чего потребуются ее длительная и затратная переналадка. Также необходимо принимать во внимание сравнительно малую производительность и точность роботов относительно специализированных автоматов установки компонентов [1].

При данной реализации техпроцесса робот дозирует пасту и устанавливает компоненты, в общем случае, под углом к вертикали, вследствие чего на точность как процесса дозирования, так и процесса установки компонентов начинается оказывать влияние гравитация. Это затрудняет гарантию качественной сборки вследствие возможного смещения как доз пасты, так и уже установленных компонентов, если они не устанавливались на клей с последующим его отверждением [4].

Помимо этого, эксплуатация и программирование многоосевых роботов обладают своими особенностями и могут быть непривычны для специалистов производства традиционных сборок по технологии поверхностного монтажа компонентов [4].

Рекомендовать такой подход можно производителям, собирающим относительно крупные партии изделий, отличающиеся небольшими вариациями конструкции, и не планирующих организацию многономенклатурного мелкосерийного производства. Такой подход будет особенно выгоден при наличии операций механической сборки, монтажа разъемов и кабелей, а также контроля, которые можно реализовать в составе этой же производственной линии.

Подход, использующий модульный автомат с опциональным 3D-держателем, отличается высокой гибкостью, так как подобный автомат может с успехом применяться для решения других специализированных задач, включая, например, установку компонентов на гибкие платы, сборку многокристальных MEMS-модулей, установку компонентов flip chip и пр. [7]. Системы такого рода отличает высокая производительность и точность установки. Тем не менее, разумеется, при выборе этого решения необходимы инвестиции в достаточно дорогое и сложное оборудование.

Наиболее полно такое оборудование проявит себя на высокотехнологичном производстве, сочетающем разнообразные операции микросборки изделий электроники и оптоэлектроники, вплоть до работы непосредственно с бескорпусными кристаллами и полупроводниковыми пластинами, где одной из задач будет высокоточная установка компонентов поверхностного монтажа на устройства 3D-MID.

Основные преимущества подхода со встроенным в стандартный 2D-автомат многоосевым роботом заключаются в следующем [4]:

- эксплуатация и программирование такого 3D-автомата сходно с обычным 2D-оборудованием;
- могут использоваться те же самые питатели компонентов, запасные части, система технического зрения, оснащение и программное обеспечение по установке компонентов;
- сохранение вертикальной ориентации головок установки компонентов и дозирования, вследствие чего накопленный опыт и наработанные параметры могут быть перенесены на новую операцию;
- высокая производительность.

Недостатком подхода является, главным образом, необходимость инвестиций в новое оборудование – модифицированное по конструкции и с доработанной системой управления – что может оказаться затруднительным для небольших компаний-производителей с ограниченным бюджетом [1].

Потребителем таких решений видится достаточно крупная компания, которая может позволить себе приобрести дополнительный соответствующий автомат для реализации своего портфеля проектов/заказов на сборку исключительно устройств 3D-MID, или же компания, модернизирующая или заменяющая свой парк устаревшего оборудования и параллельно с этим желающая расширить его функциональные возможности под новое направление сборки или на возможную перспективу.

Преимущества подхода с активным держателем оснований заключаются в использовании существующего оборудования, относительно низких капитальных вложениях, малом вмешательстве в конструкцию автомата, поддержании заявленного для 2D-установки уровня производительности.

Вместе с тем, необходимо отметить зависимость системы управления манипулятором и его конструкции от конкретной модели оборудования, что, скорее всего, потребует различных аппаратных и/или программных реализаций манипулятора для различных моделей автоматов. Также можно предвидеть возникновение трудностей с использованием типовых установок загрузки/выгрузки вследствие очевидно более высокой массы и габаритов по высоте манипулятора в сравнении со сборками на печатных платах, при довольно большом объеме ручных подготовительных операций.

Вследствие вышесказанного областью применения такого манипулятора видятся небольшие компании, не ставящие во главу угла производительность и полную автоматизацию сборочного процесса, но обладающие устраивающей их моделью автомата установки компонентов и желающие расширить его функциональные возможности для сборки небольших партий изделий 3D-MID.

Заключение

Возрождающийся в последние несколько лет интерес к технологии 3D-MID вызвал к жизни развитие соответствующих технологий и сборочного оборудования. Уже выпускаются или готовятся к серийному производству устройства 3D-MID с самой современной элементной базой – не только традиционными поверхностно монтируемыми компонентами, но и светодиодами, бескорпусными кристаллами с разваркой проволочных выводов, компонентами flip-chip – как с традиционными золотыми столбиковыми выводами, так и устанавливаемые на полимерные литые столбики, выполненные на поверхности самого устройства 3D-MID. Производители оборудования, видя растущий интерес разработчиков электроники к данной технологии, начинают предлагать новые сборочные решения и адаптировать существующие технологии сборки к новым задачам.

В данной статье мы коснулись современных концепций установки компонентов на трехмерные монтажные основания. Среди них пока нет очевидного лидера – каждое решение наиболее эффективно проявляет себя при соответствующем характере производства. Далеко не для каждого производителя экономически оправданным будет решение по организации полноценной сборочной линии, оснащенной промышленными многоосевыми роботами. С другой стороны, при серийном производстве решения с применением оснастки в виде устанавливаемых на конвейер манипуляторов могут не оправдать себя с точки зрения затрат времени на переналадку. Решения, связанные с приобретением нового специализированного оборудования, видятся разумным компромиссом между двумя описанными подходами, но повлекут необходимость капиталовложений, которые могут оказаться значительными с учетом высоких технологий, заложенных в это довольно сложное оборудование.

Тем не менее, вовлеченность большого числа научных и производственных компаний и их специалистов в работы над данной темой, а также быстрота появления новых решений позволяют надеяться на хорошее будущее технологии 3D-MID с точки зрения сборочного оборудования и дальнейшее расширение выбора гибких и производительных автоматов для сборки устройств 3D-MID.

Литература

1. Pfeiffer, M.; Goth, C.; Craiovan, D.; Franke, J. Inst. for Manuf. Autom. & Production Syst. (FAPS), Friedrich-Alexander-Univ. Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany. 3D-Assembly of Molded Interconnect Devices with standard SMD pick & place machines using an active multi axis workpiece carrier // 2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM) – Май 2011 – С. 1 – 6. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5942362
2. Universität Stuttgart, Institut for Zeitmeßtechnik, Fein- and Mikrotechnik. MID-Technology. Режим доступа: http://www.imtek.de/avt/content/upload/vorlesung/2007/mid_technology.pdf – Проверено 11.10.2011.
3. EssemSol. A Division of Essemtec AG. Режим доступа: http://www.fed.de/downloads/FED_Tagung_27.1.2011_-_3D_MID_Dispenser_Bestuecker.pdf
4. Mounting LEDs in all Directions and Angles – Assembly Technology for LEDs on 3D-MID. Режим доступа: <http://www.led-professional.com/products/led-production-test-equipment/mounting-leds-in-all-directions-and-angles>
5. XENON Automatisierungstechnik GmbH. 3D-MID Onsertion and Assembly Lines. . Режим доступа: <http://www.xenon-dresden.de/index.php?iL=2&FNDLR=Flyer%203D%20MID%20Produktgruppen&PHPSESSID=79iear3gmm1va2r74mmu34lucp73nvtf>
6. XENON Automatisierungstechnik GmbH. Modular Production Lines for Onsertion, Inspection and Final Assembly of MID Mechatronic Parts. Режим доступа: http://www.xenon-dresden.de/index.php?iL=2&FNDLR=flyer_3d_mid&PHPSESSID=79iear3gmm1va2r74mmu34lucp73nvtf
7. Häcker Automation GmbH. Multi Chip & 3D Micro Assembly System VICO 520 M. Technical Information. Режим доступа: http://www.haecker-automation.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/englisch/520M_e.pdf – Проверено 11.10.2011.
8. Häcker Automation GmbH. 3D-MID. Application Note. Режим доступа: http://www.haecker-automation.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/HaeckerAutomation_3D-MID.pdf – Проверено 11.10.2011.
9. Häcker Automation GmbH. 3-D Micro Assembly of Molded Interconnect Devices (3-D MID). Режим доступа: http://media.nmm.de/70/haeckerautomationgmbh_24445970.pdf – Проверено 11.10.2011.
10. Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik (HSG-IMAT). SMD on MID. Режим доступа: http://www.imat.hsg-imit.de/fileadmin/hsg-imat/pdfs/Flyer_P07V080523_SMD.pdf – Проверено 11.10.2011.
11. Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik (HSG-IMAT). Bare Die Assembly on 3D MID. Режим доступа: http://www.imat.hsg-imit.de/fileadmin/hsg-imat/pdfs/Flyer_P06V080523_Bare_Die.pdf – Проверено 11.10.2011.
12. 3D-MID: области применения и технологии. Антон Нисан, ЗАО Предприятие Остек. Режим доступа: <http://www.ostec-group.ru/data/publication/item/51/3D-MID.pdf> – Проверено 11.10.2011.
13. Dr. Jens Krause & Dr. David Moser, HARTING Mitronics AG. 3D-MID – Multifunctional Packages for Sensors in Automotive Applications // 10th International Forum on Advanced Microsystems for Automotive Applications. Берлин, Германия. – 25-27 апреля 2006 г. http://www.amaa.de/previous/amaa_2006/Presentations_2006/2-3-03_Moser.pdf – Проверено 11.10.2011.
14. Nils Heininger, LPKF Laser & Electronics AG, Dr. Wolfgang John, I & T 3D Produktionsgesellschaft mbH & Hans-Jürgen Boßler, TRW Automotive Safety Systems GmbH. Manufacturing of Molded Interconnect Devices from Prototyping to Mass Production with Laser Direct Structuring. Режим доступа: http://www.lpkf.cn/_mediafiles/1277-mechatronic-component-for-automatic-steering-wheel.pdf – Проверено 11.10.2011.

15. H. Willeck, HSG-IMAT. A new method for directly determining the adhesive strength of conductors on micro structured MID // Conference on Multi-Material Micro Manufacture. – Боровец, България, 3-5 октябрия 2007 г. Режим доступа: <http://www.4m-net.org/files/papers/4M2007/363765/PID363765.pdf> – Проверено 11.10.2011.
16. Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. e. VInnovationen im Netzwerk forcieren. Режим доступа: http://www.3d-mid.de/cms/upload/aktuelles/informationen/Herzlich_Willkommen_in_unserem_Netzwerk.pdf – Проверено 11.10.2011.
17. Vectra® LCP in new climate sensors from Hella. Режим доступа: <http://www.ticona.com/news-details?id=12320> – Проверено 11.10.2011.

РАЗРАБОТКА ПАРАДИГМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЕЕ ВНЕДРЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ НИИСИ РАН

Амирханов А.В., Гладких А.А., Глушко А.А., Макаrchук В.В.,
Новоселов А.С., Родионов И.А.

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, Шахнов В.А.
НИИСИ РАН, МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF THE IC DESIGN PARADIGM BASED ON TECHNOLOGY SIMULATION RESULTS AND ITS MANUFACTURING APPLICATION AT SRISA RAS

Amirkhanov A.V., Gladkikh A.A., Glushko A.A., Makarchuk V.V.,
Novoselov A.S., Rodionov I.A.

Supervisor: Dr., Prof., Shakhnov V.A.
SRISA RAS, BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены особенности проектирования СБИС и разработки технологического процесса их изготовления с применением средств конструкторско-технологического моделирования. Подробно описаны три взаимосвязанных блока проектирования, а также задачи, решенные в рамках каждого из них. В заключительной части статьи определен круг задач, которые предстоит решить в ближайшем будущем.

Abstract

The features of VLSI design and technology development using complex simulations are considered in the article. Three design blocks, which are connected to each other, are described in the article. The purposes and tasks of each block are stated and achieved. In the end of the article the tasks which should be solved are determined.

Введение

Сегодня представить себе жизнь современного человека без глобальной сети Интернет и телекоммуникационных технологий практически невозможно, а в крупных городах количество мобильных устройств, приходящихся на одного человека, уже давно превысило единицу, хотя еще в начале XXI века даже пейджер казался уникальным прибором. Такое положение дел напрямую связано с взрывным развитием полупроводниковых технологий. Достаточно вспомнить, что за последние 15 лет минимальные размеры областей транзисторов СБИС были уменьшены с 0,35 мкм до 22 нм (1/4000 диаметра человеческого волоса), что соответствует девяти различным технологиям с количеством операций от нескольких сотен до тысяч. При этом на каждой итерации развития технологии [1] растет количество элементов СБИС, технологические операции усложняются, повышается точность и воспроизводимость, учитываются и контролируются все более сложные физические эффекты.

Необходимо отметить, что в сегодняшней полупроводниковой технологии крайне сложно разделить технологию, технологическое оборудование и конструкцию элемента (прибора), т.к. технологическое оборудование разрабатывают под конкретную технологию и наоборот, а конструкцию проектируют с учетом влияния особенностей процесса ее формирования, при этом технологические режимы зачастую выбирают под конкретное изделие. Таким образом, технологические процессы изготовления интегральной схемы можно условно представить, как систему с несколькими «пересекающимися» обратными связями, которыми необходимо точно управлять, чтобы получить требуемый результат.

В описанной ситуации методы разработки новых технологических процессов и отработки технологических режимов, основанные на экспериментальных подходах, неприменимы ни с экономической точки зрения, ни по критерию затраченного времени.

Единственным разумным выходом является использование приемов конструктивно-технологического моделирования как для исследования сложных физических явлений, так и для отработки технологических режимов, а также оптимизации конструкции элементов СБИС с учетом влияния особенностей процесса их формирования.

Основное влияние на конструкцию (размеры и форму) элементов СБИС оказывает процесс проекционной литографии, результат которого в высокой степени зависит от топографии подложки (кремниевой пластины). Так как глубина резкости современных литографических процессов составляет десятые (сотые) доли микрона, неплоскостность исходной поверхности, на которую наносится резист, должна быть практически нулевой. Многослойная структура СБИС предполагает проведение процессов химико-механической полировки (далее ХМП) поверхности перед литографическими процессами. Поэтому эти два технологических процесса напрямую связаны друг с другом.

Однако, в конечном счете, результаты отдельных технологических операций, хотя и являются важными составляющими, но не дают представления о параметрах конечного продукта, т.е. интегральной схемы. Поэтому для полноценного проектирования и разработки СБИС необходим инструмент, который позволял бы аккумулировать результаты всех технологических операций, учитывать их особенности и на выходе предсказывать электрические характеристики исследуемых приборов. Для этой цели используются САПР технологических процессов производства и моделирования элементов СБИС – серия программных продуктов под общей аббревиатурой TCAD [1].

Работа разделена на три крупных блока, непосредственно связанных между собой:

- 1) особенности моделирования процесса ХМП и перепроектирования топологии СБИС с субмикронными проектными нормами (с учетом результатов моделирования);
- 2) особенности моделирования процесса проекционной литографии и топологической коррекции эффекта оптической близости при изготовлении СБИС с проектными нормами, меньшими длины волны источника экспонирующего излучения проекционной установки;
- 3) методы сквозного конструкторско-технологического моделирования элементов СБИС, исследование принципов их функционирования и влияния внешних воздействующих факторов, в т.ч. специальных, с учетом результатов моделирования по п. 1) и 2).

В работе предложена модель технологического процесса ХМП, проведен сравнительный анализ методов их калибровки и оптимизации топологии с использованием предложенных моделей, разработаны алгоритмы коррекции топологии и введения фиктивных структур заполнения. Все разработанные модели, алгоритмы и методы внедрены и используются при проектировании и изготовлении отечественных СБИС с проектными нормами 0,35 и 0,25 мкм.

В работе разработаны модели технологических процессов изготовления СБИС по эпитаксиальной и КНИ-технологиям с проектными нормами 0,5, 0,35 и 0,25 мкм. Предложены методы калибровки, улучшения сходимости Ньютоновских итераций, формирования расчетной сетки конечных элементов, построения конструкции элементов СБИС произвольной формы, оптимизации этой формы и методы интеграции TCAD с САПР моделирования отдельных технологических операций. В результате получен инструмент, который позволил предложить новые режимы имплантации (под каждую конкретную задачу оптимизации параметров приборов), новые конструкции транзисторов, оптимизированные под специфические технические задания, а также проводить исследования влияния внешних воздействующих факторов на конструкции приборов. Полученные результаты внедрены на производстве НИИСИ РАН при разработке новых отечественных СБИС.

Совместная работа кафедры ИУ-4 МГТУ им. Н.Э. Баумана и ОМТ НИИСИ РАН была начата в 2006 году. За семь лет плодотворной работы совместными усилиями преподавателей, специалистов, студентов и аспирантов в НИИСИ РАН было положено начало, реализованы и внедрены на производстве результаты деятельности по направлениям

конструкторско-технологического моделирования и методов проектирования с учетом возможностей технологического процесса изготовления СБИС с субмикронными проектными нормами.

За семь лет на базе НИИСИ РАН студентами и аспирантами МГТУ им. Н.Э. Баумана защищены 6 квалификационных работ бакалавра, 8 магистерских диссертаций и дипломных работ, 2 кандидатские диссертации.

1 Особенности моделирования процесса ХМП

Коммутация элементов в современных СБИС осуществляется с применением многоуровневой металлизации, которая представляет собой несколько слоев металлических межсоединений разделенных изолирующими слоями, называемыми межслойным диэлектриком (далее МСД). Формирование многоуровневой металлизации может осуществляться с использованием различных вариантов технологического процесса: аддитивного и субтрактивного. Причем применение аддитивного процесса характерно для технологий с проектными нормами 0,13 мкм и менее, в то время как для больших проектных норм применяют субтрактивный процесс. Наиболее часто в качестве аддитивного процесса используется двойной дамасский процесс, впервые предложенный компанией «IBM», с медными проводниками [2]. Такая технология позволяет получить более высокую плотность размещения межсоединений на кристалле СБИС.

Довольно широко используется и субтрактивный процесс, т.к. порядка 30 – 40% мирового объема выпускаемых СБИС [3, 4] изготавливается по технологическим нормам 0,25 мкм и более (в том числе на технологической линии НИИСИ РАН). В таком технологическом процессе первоначально на поверхность пластины наносят сплошной проводящий слой, в котором с помощью операций литографии и последующего травления открытых участков получают требуемый рисунок межсоединений.

После получения рисунка проводящего слоя на него осаждают изолирующий слой (обычно изолятором является диоксид кремния), причем в процессе осаждения над проводниками образуются локальные ступеньки (рельеф). Если не принять соответствующих мер, то формирование следующего проводящего слоя будет осуществляться на поверхности со значительным рельефом (десятые доли микрона), что недопустимо для литографических процессов формирования топологии слоя. Также вследствие более низкой скорости травления проводящего слоя на наклонных участках могут остаться непротравленные области, т.е. наличие рельефа может привести к возникновению закороток.

Для удаления локальной ступеньки, возникающей при осаждении диоксида кремния, используют технологическую операцию ХМП, в силу особенностей которой, на поверхности кристалла СБИС, тем не менее, возможно сохранение рельефа поверхности (глобальной ступеньки).

Первые научные работы, связанные с моделированием операции ХМП, проводились, начиная с 1991 года [5, 6, 7, 8]. Особенно стоит отметить, работы Массачусетского Технологического Института (МТИ) [9, 10], в которых впервые были разработаны математические модели и алгоритмы, позволяющие рассчитать распределение рельефа после операции ХМП. Ключевым отличием данных работ было использование плотности заполнения топологического слоя и применение математической операции двумерной свертки, а также оригинальное предложенное ядро свертки. Все это позволило выполнять расчеты распределения толщины межслойного диэлектрика по кристаллу СБИС. Причем зависимость толщины МСД от плотности заполнения, также была показана в данных работах с использованием специальных тестовых фотошаблонов.

Однако, экспериментальная апробация описанных моделей в работах [11, 12, 13] показала существенные отклонения результатов моделирования от экспериментальных данных для некоторых типов тестовых структур для диапазонов времен планаризации.

С целью корректировки этих недостатков и учета особенностей технологического процесса НИИСИ РАН совместно со специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана была предложена полиномиальная модель операции ХМП [13]. Данная модель позволила

повысить точность расчетов, что было подтверждено результатами ее калибровки по экспериментальным данным. Для примера на рисунке 1 представлено сравнение двух моделей: линейной, разработанной в работе [9], и полиномиальной модели операции ХМП.

Наличие точных моделей операции ХМП позволило проводить модификацию топологии СБИС с целью снижения общего разброса толщин (далее ОПТ) межслойного диоксида кремния.

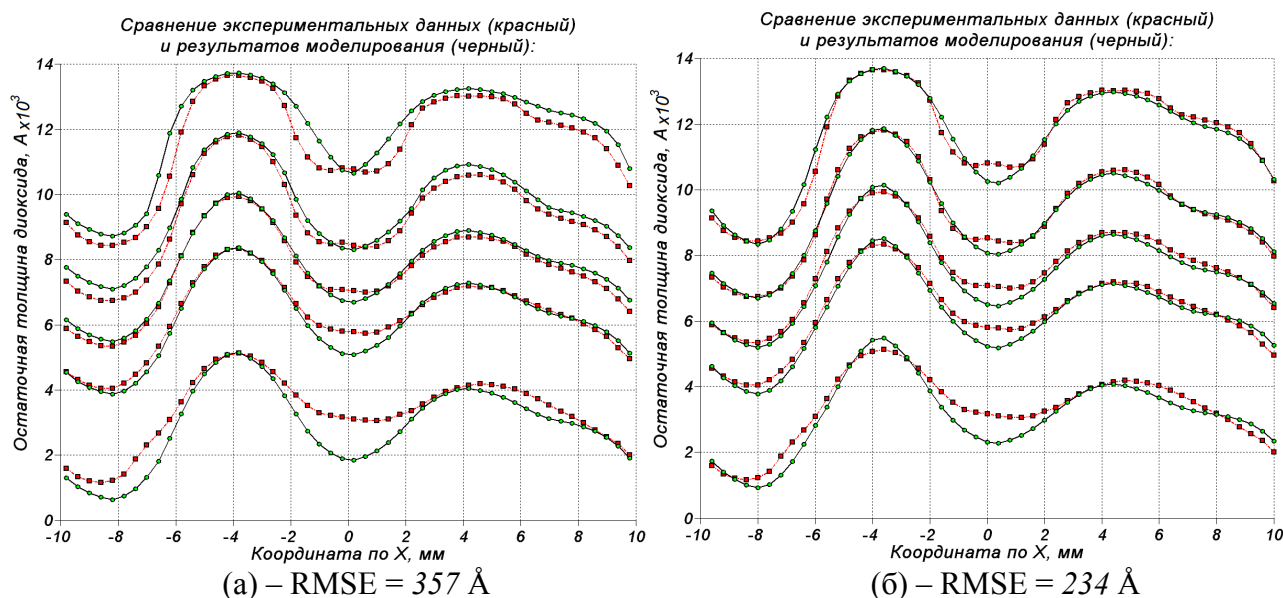


Рисунок 1 - Сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования:
(а) – линейная модель (б) – полиномиальная модель

Метод основан на том, что практически в каждой топологии СБИС существуют области, не занятые функциональными элементами, что, в частности, и вызывает разброс плотности заполнения слоя. Размещая в данных областях фиктивные структуры заполнения (СЗ), которые не изменяют электрическую схему устройства, можно добиться снижения разброса толщины МСД. Для определения расположения и параметров СЗ для каждой уникальной топологии СБИС целесообразно использовать моделирование операции ХМП. В работах [14, 15] был предложен алгоритм модификации топологии СБИС, основанный на способе, предложенном в работе [16]. Блок схема алгоритма приведена на рисунке 2.

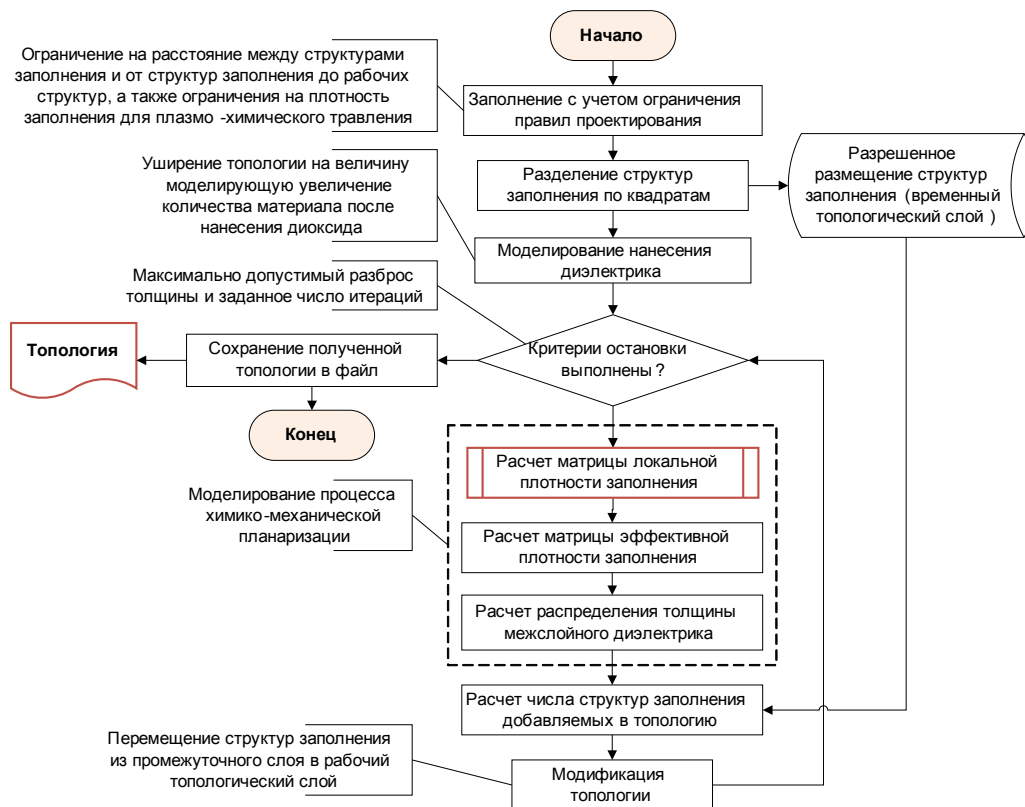


Рисунок 2 - Блок схема алгоритма модификации топологии СБИС С3 на основе моделирования операции ХМП

При реализации алгоритма необходим многократный расчет локальной плотности заполнения. Ее вычисление является ресурсоемкой задачей, так как при прямом расчете, например, для 0,35 мкм технологии, может потребоваться выполнение порядка $77,5 \times 10^9$ операций пересечения полигонов, представляющих топологию слоя СБИС, с квадратами расчета локальной плотности заполнения. Поэтому в работах [15, 17] был предложен алгоритм рекурсивного разбиения полигонов топологического слоя, позволяющий существенно сократить число операций пересечения. В работе показано, что количество операций пересечения R при использовании предложенного алгоритма снижается до $K \cdot N / 4r$, где N – число квадратов расчета локальной плотности, K – число неперекрывающихся и непересекающихся многоугольников топологического слоя. Так при глубине рекурсии $r = 5$, число операций уменьшается в 1 000 раз, а для приведенного выше случая $r \approx 8$ – в 65 000 раз (подробнее см. [17]).

С использованием предложенного алгоритма проведены модельные исследования по заполнению топологии различных типов СБИС. Для сравнения проведено моделирование топологий кристаллов СБИС со стандартным заполнением (свободные места топологии заполняются СЗ равного размера с равными расстояниями между ними) и с заполнением по разработанному алгоритму на основе моделирования. На рисунке 3 приведены результаты моделирования распределения МСД кристалла микропроцессора (МП) после операции ХМП до (слева) и после оптимизации с помощью предложенного алгоритма (справа).

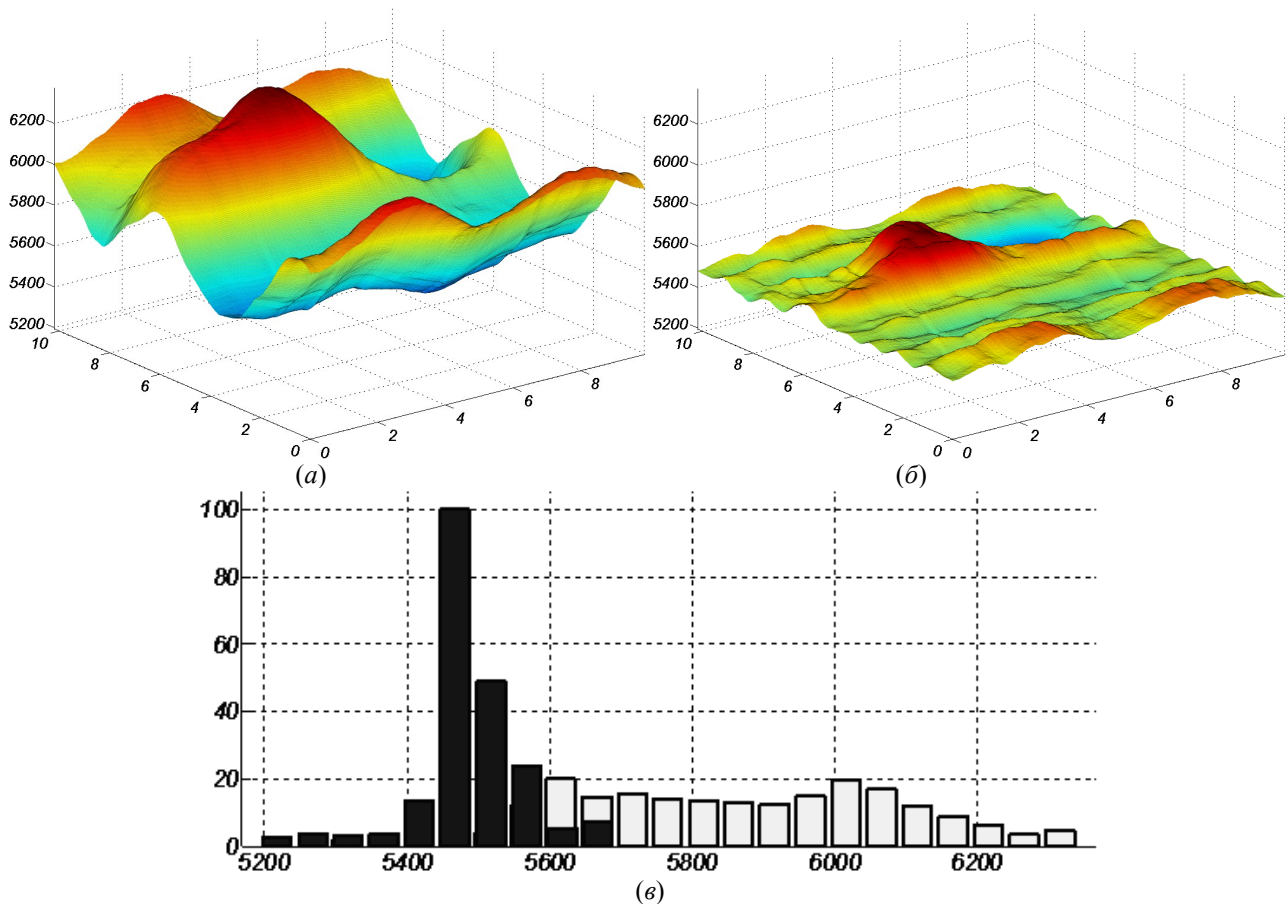


Рисунок 3 - Результаты заполнения топологического слоя СБИС МП №4 (таблица 1)
 (а) – стандартное заполнение, (б) – на основе моделирования, (в) гистограмма распределения
 толщины МСД (черным – на основе моделирования, белым – стандартное заполнение)

Из приведенного рисунка и гистограммы хорошо видно качественное снижение разброса толщины межслойного диоксида кремния. Количественные оценки результатов работы алгоритма для 20 различных кристаллов СБИС приведены в таблице 1. Кроме кристаллов МП и запоминающих устройств (далее ЗУ, в данном случае статической памяти) проверка алгоритма проводилась и на топологии тестовых кристаллов (далее ТК). Топология такого типа кристаллов отличается наличием локальных (размером 30 – 40% от площади кристалла) высокоплотных областей и разреженной остальной площадью кристалла.

Таблица 1 – Результаты модификации топологии кристаллов СБИС на основе моделирования операции ХМП в процессе формирования многоуровневой металлизации

Номер п/п	Тип схемы	ОРТ, Å		СКО толщины, Å		Среднее значение толщины, Å		Среднее число СЗ в квадрате	Оптимальное значение коэффициента	Размер СЗ, мкм	разброса, %Изменение
		До	После	До	После	До	После				
1	МП	1577	1006	322	184	6864	6563	8.2	200	5×1	36
2	ТК	890	306	255	57	6384	5496	9.3	200	4×2	66
3	ТК МП	574	313	106	45	5972	4459	12.2	100	4×2	45
4	МП	910	550	248	94	6867	6668	2.5	300	5×1	40
5	ТК	1082	514	224	72	5862	5490	4.6	450	4×2	53
6	СОЗУ	1300	1300	320	320	7496	7406	0.2	100	8×2	0
7	ТК МП	2386	2169	565	394	7238	6768	11.0	50	4×2	9
8	МП	417	181	88	26	6543	5700	11.2	300	4.8×1.2	57
9	МП	1530	1279	284	206	6823	6696	3.0	200	5×1	16
10	ЗУ	1382	1382	363	363	6976	6976	0.4	300	8×2	0
11	МП	1215	631	349	103	6960	6642	7.4	250	5×1	48
12	МП	416	159	95	32	6705	6009	3.8	100	5×2	62
13	МП	1696	1192	422	272	6479	6767	1.9	100	3×3	30
14	ТК ЗУ	589	256	113	36	6595	4680	16.4	110	4×2	57
15	МП	1561	1561	373	373	6494	6494	0.0	100	–	0
16	МП	2586	2343	672	579	7237	7075	6.1	150	5×1	9
17	ТК + ЗУ	1753	1719	282	265	6238	6147	3.0	150	8×2	2
18	ТК	1454	684	329	109	6131	5685	9.5	300	4.0×1.6	53
19	МП	1208	611	349	106	6960	6540	7.4	100	5×1	49
20	ЗУ	2917	2917	757	744	5528	5477	0.3	100	7×7	0

Из таблицы 1 видно, что при использовании разработанного алгоритма для большинства кристаллов величина ОРТ диоксида кремния значительно снизилась. Исключения составляет топология ЗУ, которая содержит блоки памяти высокой плотности заполнения. Эти блоки занимают практически всю площадь кристалла (более 90%), поэтому оптимизация топологии структурами заполнения практически невозможна.

Таким образом, в среднем ОРТ диоксида кремния для топологии микропроцессоров можно снизить на 36% только за счет оптимизации размещения СЗ в топологических слоях СБИС. Максимальное снижение разброса толщины МСД составляет 57%.

За счет полученного снижения ОРТ, т.е. улучшения неплоскостности подложки для выше лежащего слоя, были созданы условия для проведения литографических процессов с соблюдением требований к воспроизводимости минимальных линейных размеров. Задачей дальнейшей работы было добиться воспроизведения формы топологического рисунка с размерами меньшими длины волны источника экспонирующего излучения проекционной установки. Результаты решения этой задачи описаны во второй части статьи.

2 Особенности моделирования процесса проекционной литографии и топологической коррекции эффекта оптической близости

Моделирование процесса литографии необходимо рассматривать в двух направлениях (рисунок 4), задачи которых пересекаются только на первый взгляд [1]. К первому отнесем,

так называемое, «процессное» (полное физическое) моделирование, при котором последовательно обсчитываются все физико-химические явления от нанесения резиста до проявления/травления. Второе – «конструкторско-технологическое» моделирование, при котором применяется математически упрощенное описание всех процессов, оптимизированное по времени счета.

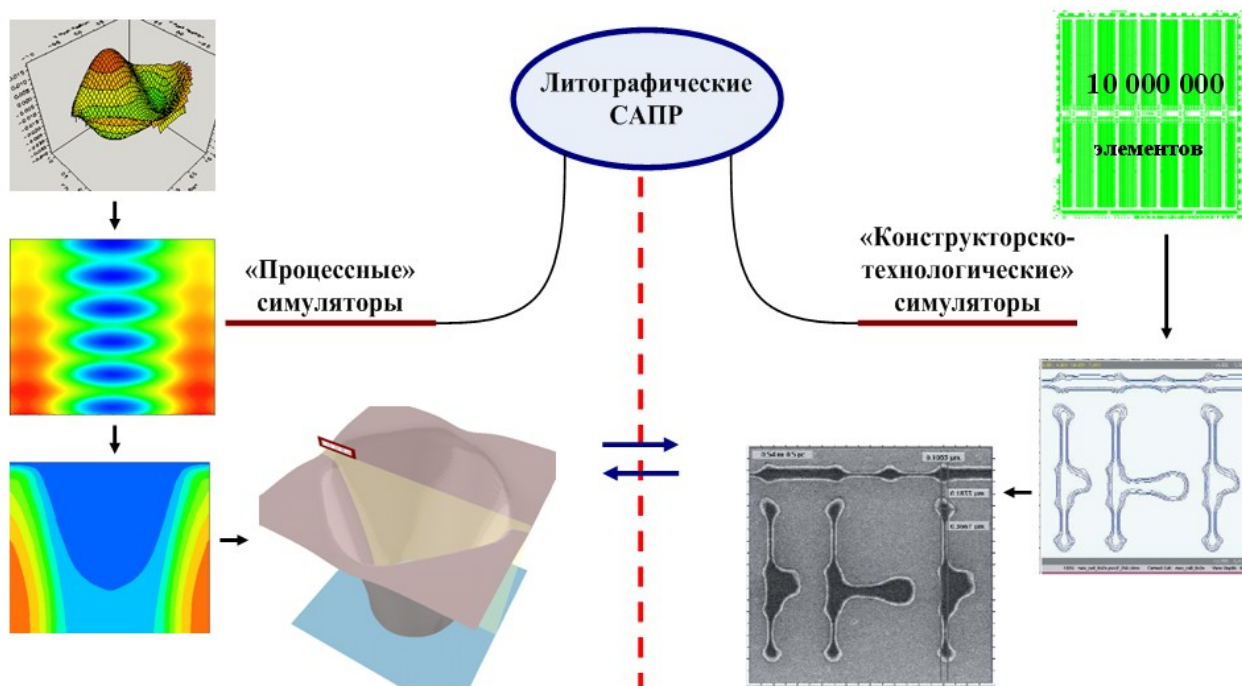


Рисунок 4 - Классификация литографических САПР

В «процессных» симуляторах на первом этапе моделируют процессы нанесения и сушки резиста, на втором – поглощение света резистом в каждой его точке с заданной точностью сетки, и на последнем этапе – процесс проявления резиста, который, с точки зрения математического описания, является одним из наиболее сложных.

Используемые модели требуют досконального понимания всех физических явлений процесса литографии и экспериментальных результатов различного рода для калибровки [18, 19], обеспечивают требуемую точность в диапазоне процессных параметров, а также крайне ресурсоемки с точки зрения вычислительных мощностей и ОЗУ. Так для моделирования полного слоя кристалла СБИС (технологии 0,25 мкм) с сеткой 10 нм потребуется вычисление $5,4 \times 10^{13}$ значений с плавающей точкой. Поэтому моделирование полного слоя поликремния с использованием таких моделей затруднено, так как для этого требуется использование вычислительных систем с сотнями процессоров и терабайтами ОЗУ.

В «конструкторско-технологических» симуляторах применяют алгоритмы ускоренных вычислений [20], которые частично учитывают физику процессов, однако обладают высокой точностью, достаточной для передовых полупроводниковых технологий.

Калибровка моделей не требует глубоких знаний о технологии, модель калибруется на основе измерений размеров сотен (тысяч) различных топологических структур для конкретного технологического режима, а вычисление результатов процессов литографии и травления полного слоя (для технологии 0,25 мкм) может быть выполнено за несколько часов на 4-8-ядерном сервере с 32 Гб ОЗУ.

С использованием «процессных» симуляторов проводят оптимизацию технологических режимов и параметров топологической коррекции, что заметно удешевляет исследовательские работы и снижает загрузку оборудования. В свою очередь «конструкторско-технологические» симуляторы используют для внедрения методов проектирования СБИС с учетом возможностей технологического процесса, что позволяет

поднять выход годных кристаллов СБИС и улучшить их характеристики (частота, потребление и т.п.).

В ходе совместной работы специалистами ОМТ НИИСИ РАН и кафедры ИУ-4 МГТУ им. Н.Э. Баумана были изучены оба описанных направления моделирования литографии, откалиброваны и внедрены оба типа моделей, проведена оптимизация литографических процессов для критических топологических слоев, а также разработаны процедуры топологической коррекции эффекта оптической близости серийно выпускаемых СБИС с проектными нормами 0,25 мкм.

Внедрение «процессного» симулятора

В рамках работы для сверхконтрастного резиста Ultra-i123 (США) определены ключевые параметры модели резиста (доза E0, коэффициент преломления, константа скорости экспонирования (рисунок 5), максимальная и минимальная скорости проявления) и получены модели литографического процесса, которые удовлетворяют точностным требованиям в заданных диапазонах изменения процессных параметров.

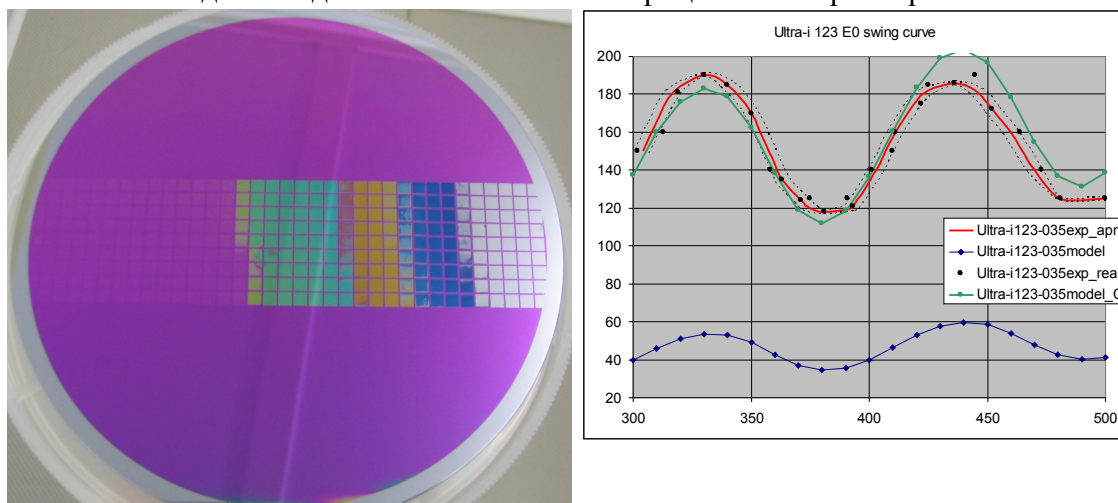


Рисунок 5 – Экспериментальное получение колебательных кривых

По результатам моделирования установлены и экспериментально подтверждены режимы литографического процесса с проектными нормами 0,25 мкм (параметры стека, числовая апертура, параметры внеосевого освещения, фокусное расстояние, доза экспонирования) с использованием проекционной установки ASML PAS5500/250C (источник – ртутная лампа 365 нм).

Промоделированы колебательные кривые для минимального критического размера (0,24 мкм) в зависимости от литографических режимов. Экспериментально подтверждена возможность проработки групповых структур с соотношением шина/зазор равным 0,24/0,24 мкм и шагом 0,48 мкм (рисунок 6) на технологической линейке НИИСИ РАН.

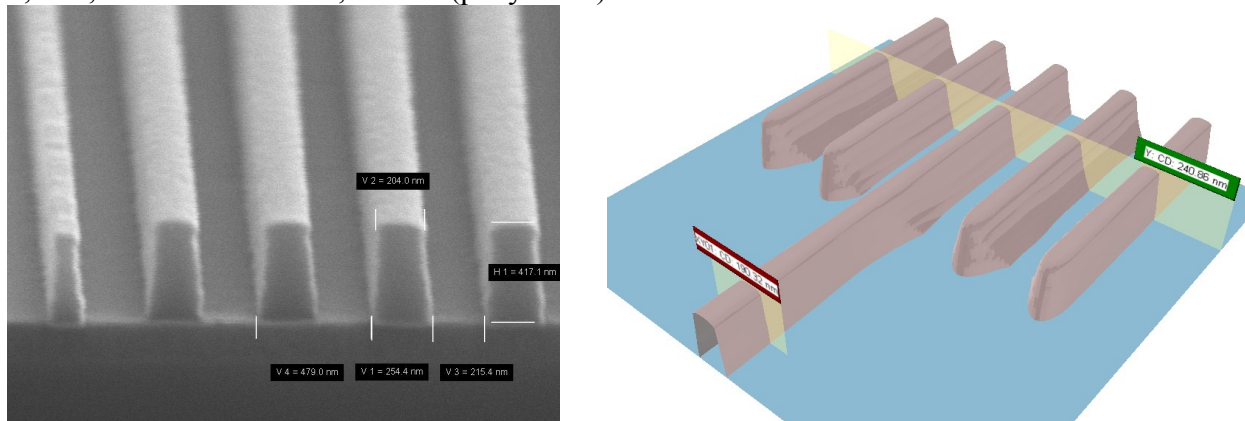


Рисунок 6 – Экспериментальная и полученная в результате моделирования структура с соотношением шина/зазор 0,24/0,24 мкм

По результатам моделирования установлены и экспериментально подтверждены параметры фигур коррекции эффекта оптической близости [21]. На примере ячейки статического ОЗУ подтверждена эффективность их применения [22] (рисунок 7).

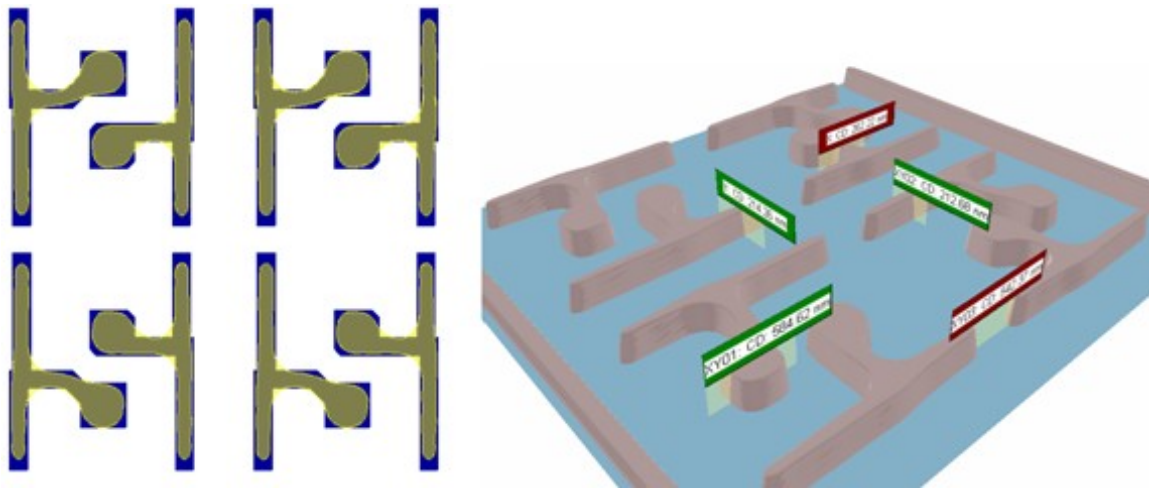


Рисунок 7 – Результат моделирования топологии ячейки статического ОЗУ

Моделирование процесса литографии было выполнено с помощью программного продукта “ProLith” v.10.2 компании “KLA-Tencor”, академическая лицензия на который была получена лабораторией МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Внедрение «конструкторско-технологического» симулятора

Разработаны методики и откалиброваны векторные оптические модели высокоапертурных проекционных систем, а также полуэмпирические модели процессов литографии и травления VT-5 для критических топологических слоев технологического процесса НИИСИ РАН с проектными нормами 0,25 мкм (рисунки 8, 9). Проведено исследование различных подходов к разработке полуэмпирических моделей [20, 22, 23].

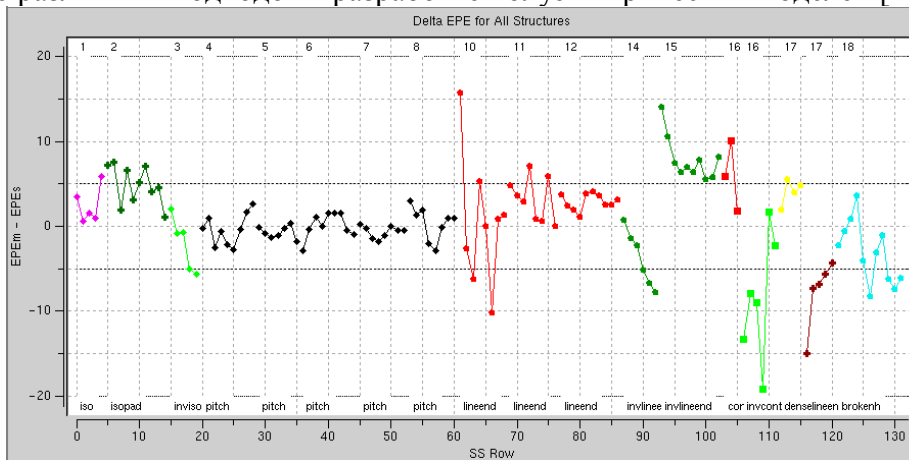


Рисунок 8 - Ошибка моделирования при калибровке модели VT-5

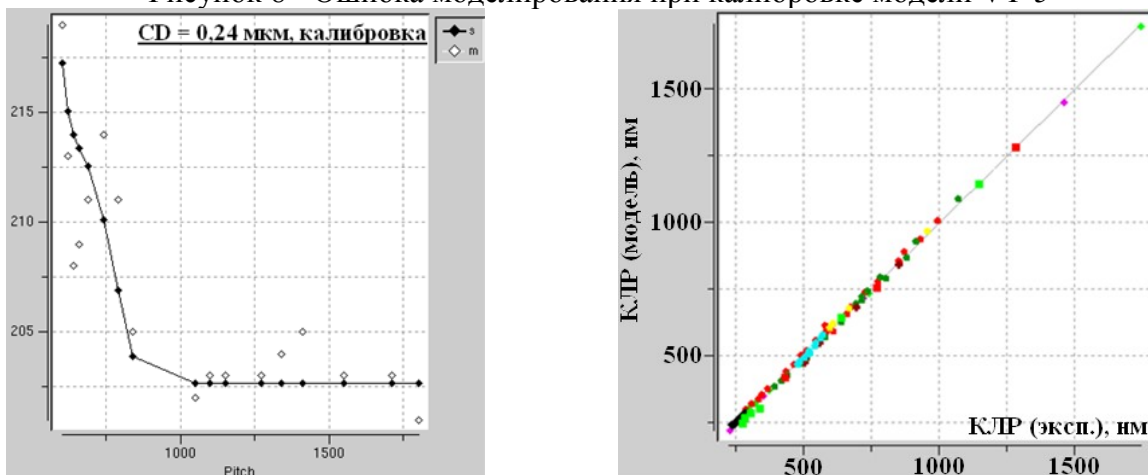


Рисунок 9 - Сравнение результатов моделирования и эксперимента

Предложены и проведены 3 стадии верификация разработанных «VT5» моделей литографии и травления, включая верификацию по сложным топологическим структурам (рисунок 10).

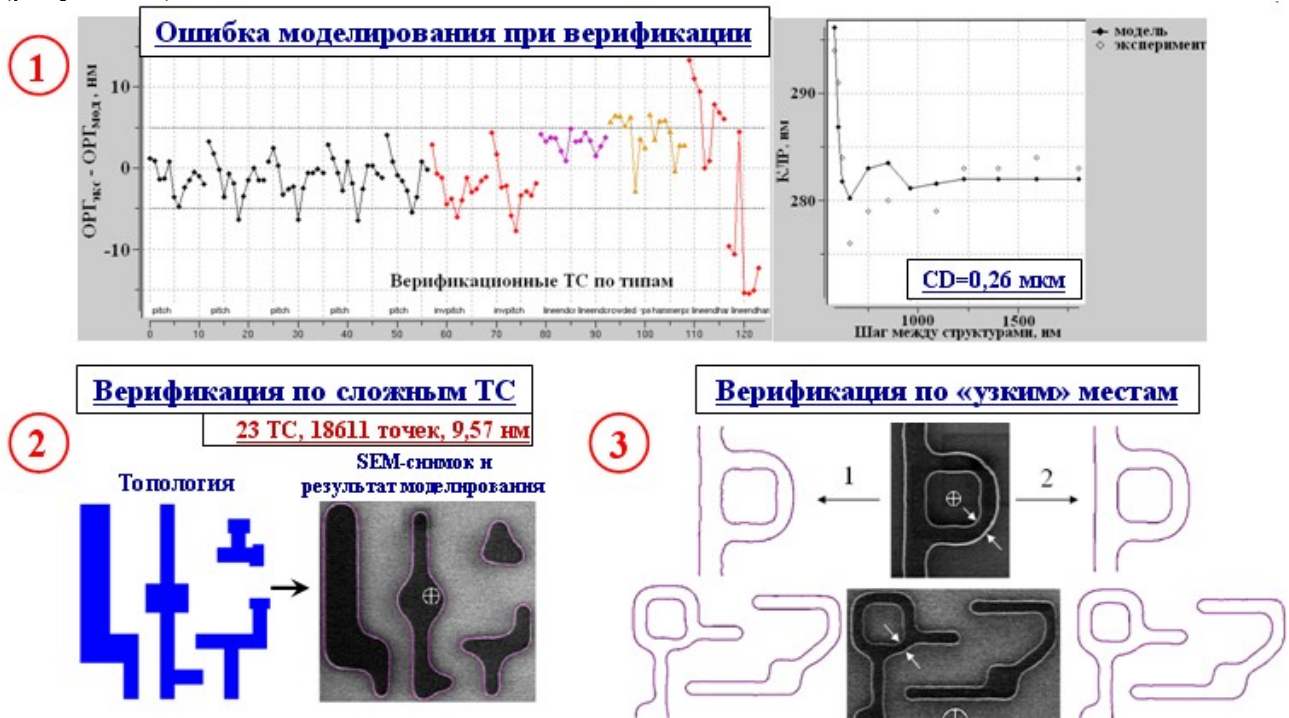


Рисунок 10 – Верификация моделей

Разработанные приемы проектирования, алгоритмы обработки топологических слоев и литографические модели внедрены на полупроводниковом производстве НИИСИ РАН при проектировании и изготовлении серийных СБИС. Экспериментально доказана эффективность внедрения разработанных методов как на примере транзисторов различных типов (рисунки 11, 12), так и на примере элементов 0,25 мкм СОЗУ (рисунки 13, 14).

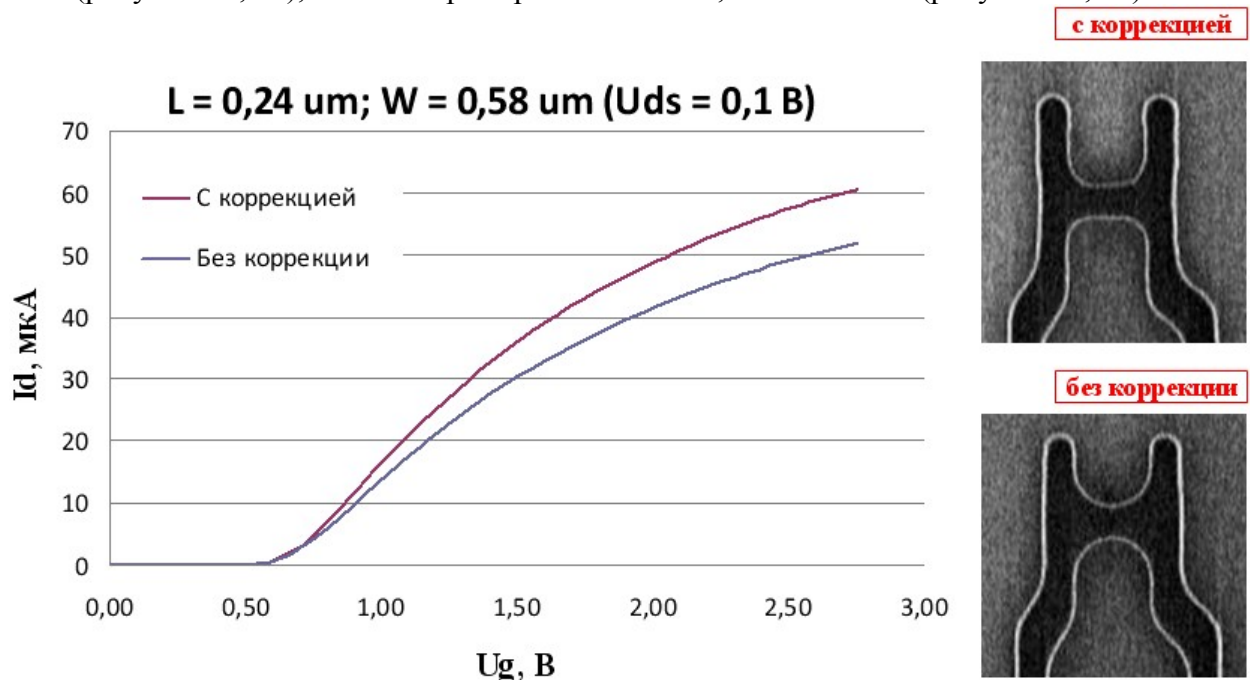


Рисунок 11 – Улучшение электрических характеристик N-транзистора

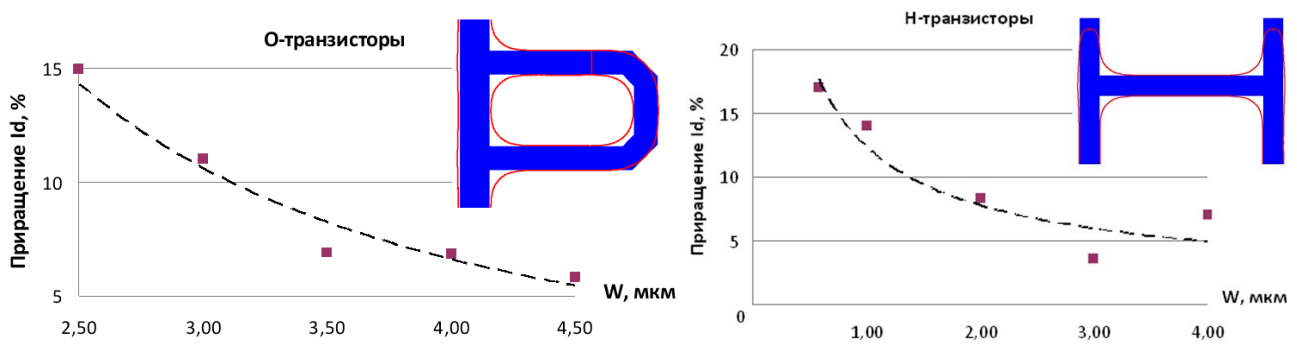


Рисунок 12 – Приращение тока I_d откорректированных Н- и О-транзисторов по сравнению со стандартными в зависимости от ширины канала

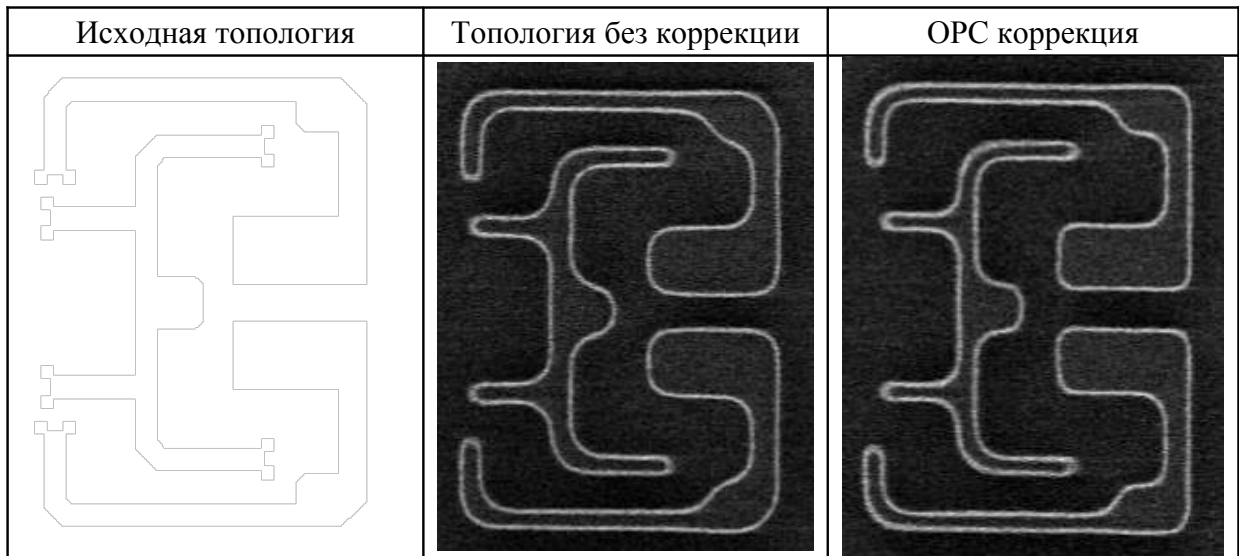


Рисунок 13 – Топология ячейки памяти (слева), SEM-снимок резистивной маски без коррекции (в центре) и с коррекцией (справа)

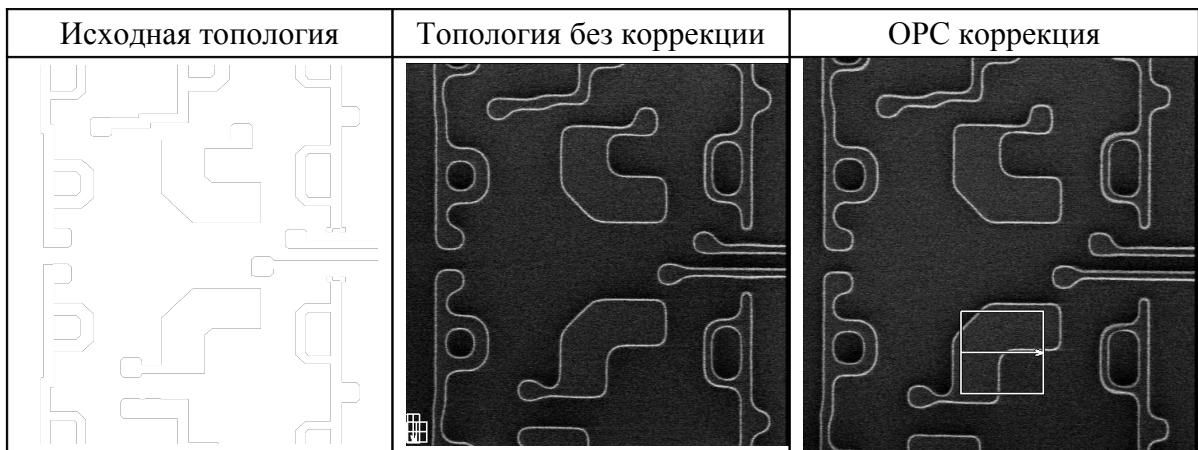


Рисунок 14 – Топология ячейки памяти (слева), SEM-снимок маски резиста без коррекции (в центре) и с коррекцией (справа)

Визуально сложно оценить улучшение воспроизведения топологии, однако для подтверждения достаточно отметить, что кристаллы СБИС СОЗУ (4 Мбит) с откорректированной топологией в среднем работают на частоте на 8% выше.

Разработанный комплекс методов позволил осуществить переход к меньшим проектным нормам при обеспечении требуемого уровня стабильности процесса литографии (процессного окна с глубиной фокусировки $\approx 0,6-0,8$ мкм при фиксированном значении диапазона дозы экспонирования $\approx 8-10\%$), повысить быстродействие за счет уменьшения

размеров получаемых элементов (около 30%), повысить степень интеграции СБИС за счет уменьшения размеров топологических элементов (до 40%). Универсальность разработанных методик и используемых моделей позволяет применять их на других предприятиях аналогичного профиля.

После получения возможности достоверного предсказания топологии основных технологических слоев следующей крупной задачей стояла необходимость расчета электрических характеристик приборов на основании данных об их конструкции и технологии изготовления. Рассмотрение этой задачи приведено в третьей части статьи.

3 О моделях, методах и средствах моделирования процесса формирования структур и их электрических характеристик

Все рассмотренные примеры приведены для одной из наиболее актуальных задач – трехмерного конструкторско-технологического моделирования элементов КНИ («кремний на изоляторе») СБИС с учетом особенностей технологического процесса их формирования [24]. В частности, при достижении размеров, меньших длины волны источника экспонирующего излучения степпера, необходимо учитывать искажения топологии элементов СБИС в процессе литографии [1].

В ходе работы предложены методы и алгоритмы трехмерного моделирования процесса формирования элементов СБИС и расчета их электрических характеристик с использованием САПР приборно-технологического моделирования и результатов литографического моделирования [25, 26]. Предложен метод построения сетки конечных элементов с привязкой к топологии затвора и возможностям САПР по реализации такого вида сетки. Примеры построения сетки транзисторов с различной конфигурацией канала представлены на рисунках 15, 16. При этом литографическое моделирование выполняется для целого фрагмента СБИС, например, ячейки статической оперативной памяти. На всех рисунках показана конфигурация канала, причем синий цвет и его оттенки соответствуют акцепторному типу примеси, красный цвет и его оттенки – донорному. Наиболее мелкой сетка является в области изменения концентрации и при смене типа примеси.

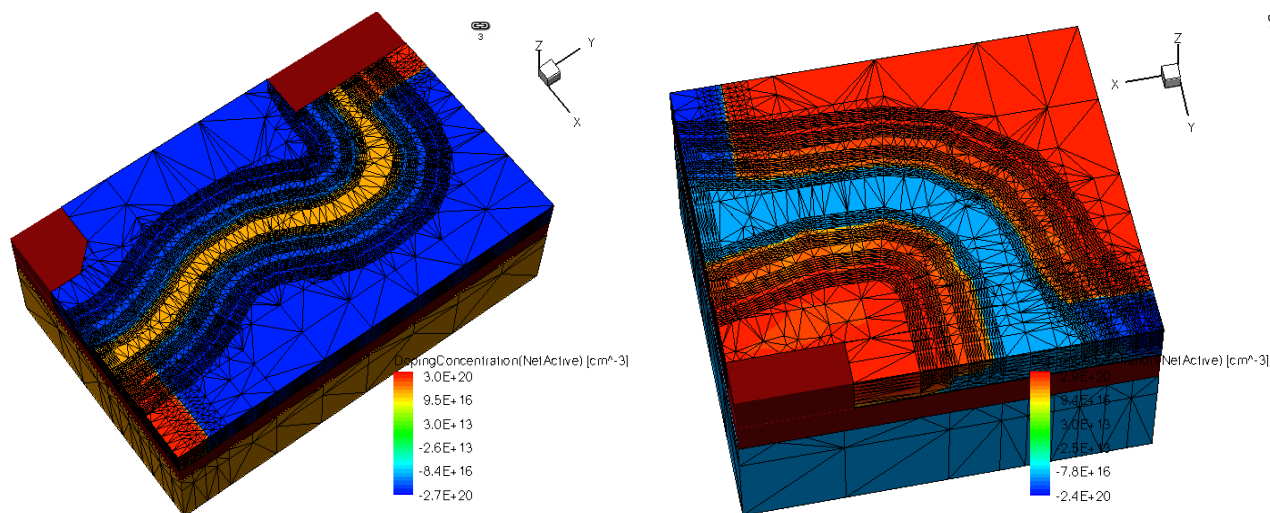


Рисунок 15 - Конфигурация канала и сетки при моделировании КНИ МОП-транзистора 1-го (слева) и 2-го (справа) типов из ячейки памяти СОЗУ с минимальными проектными нормами 0,25 мкм

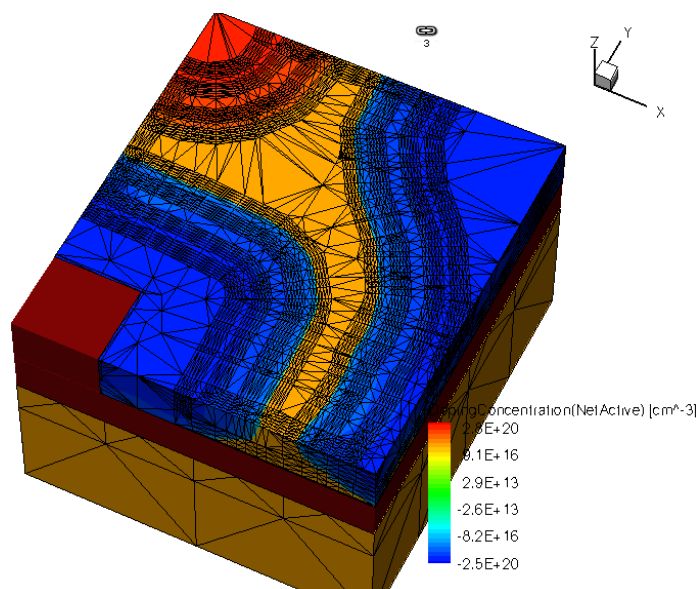


Рисунок 16 - Конфигурация канала и сетки при моделировании КНИ МОП-транзистора 3-го типа из ячейки памяти СОЗУ с минимальными проектными нормами 0,25 мкм

Трехмерное моделирование позволяет оценить и эквивалентную ширину канала транзисторов, составляющих ячейку памяти, требуемую при схемотехническом моделировании ячейки памяти. Разработан метод определения эквивалентной ширины канала на основе линейной аппроксимации зависимости тока насыщения транзистора от геометрической ширины канала.

О точности используемых моделей, методов и подходов можно судить на основе сопоставления статических электрических характеристик, полученных в результате моделирования, и экспериментальных данных. Достигнуто расхождение между расчетными и экспериментальными характеристиками, не превышающее 10%. Эти результаты получены для КНИ МОП-транзисторов различных конструкций с учетом литографических искажений топологии затвора. На рисунках 17, 18 представлены семейства расчетных статических выходных характеристики одного из типов КНИ МОП-транзисторов в сравнении с экспериментальными данными (точками – экспериментальные данные). На рисунках показаны 10%-е планки погрешностей.

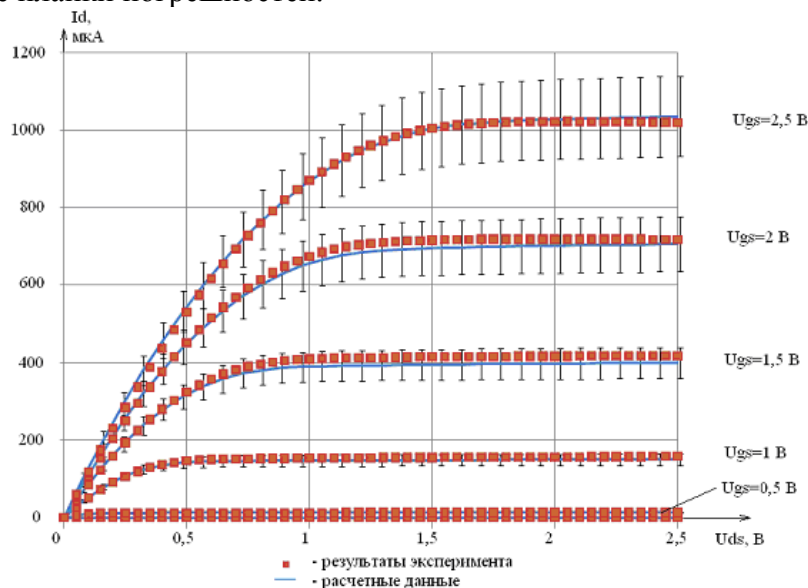


Рисунок 17 - Семейство выходных характеристик *n*-канального КНИ МОП-транзистора

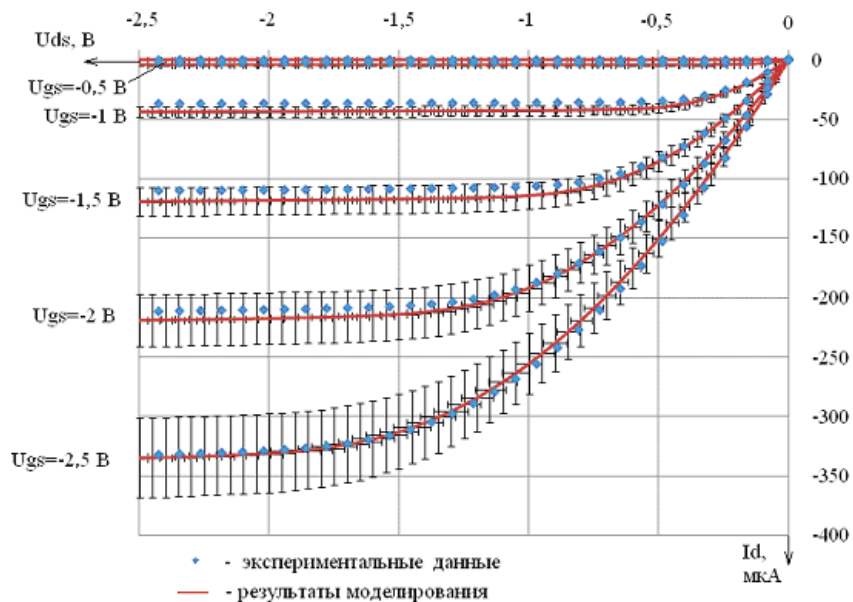


Рисунок 18 - Семейство выходных характеристик p -канального КНИ МОП-транзистора

Аппарат конструкторско-технологического моделирования позволил «заглянуть внутрь» исследуемого элемента СБИС, отслеживая изменения электрических характеристик при вариации параметров технологического процесса и геометрических параметров в топологии транзистора. Так, к примеру, на рисунке 19 представлены результаты моделирования распределения тока электронов в транзисторах с различной геометрией затвора (контур затвора выделен жирным). На рисунках 19 а, б, в – растекание токов для идеализированных транзисторов с различной топологией затвора (в предположении абсолютно точного переноса топологии затворов). На рисунках 19 г, д, е – растекание токов транзисторов, форма топологии которых рассчитана с использованием литографических моделей: 19 г – проведена коррекция на основе моделей, 19 д - проведена коррекция на основе правил, на рисунке 19 е – без применения коррекции.

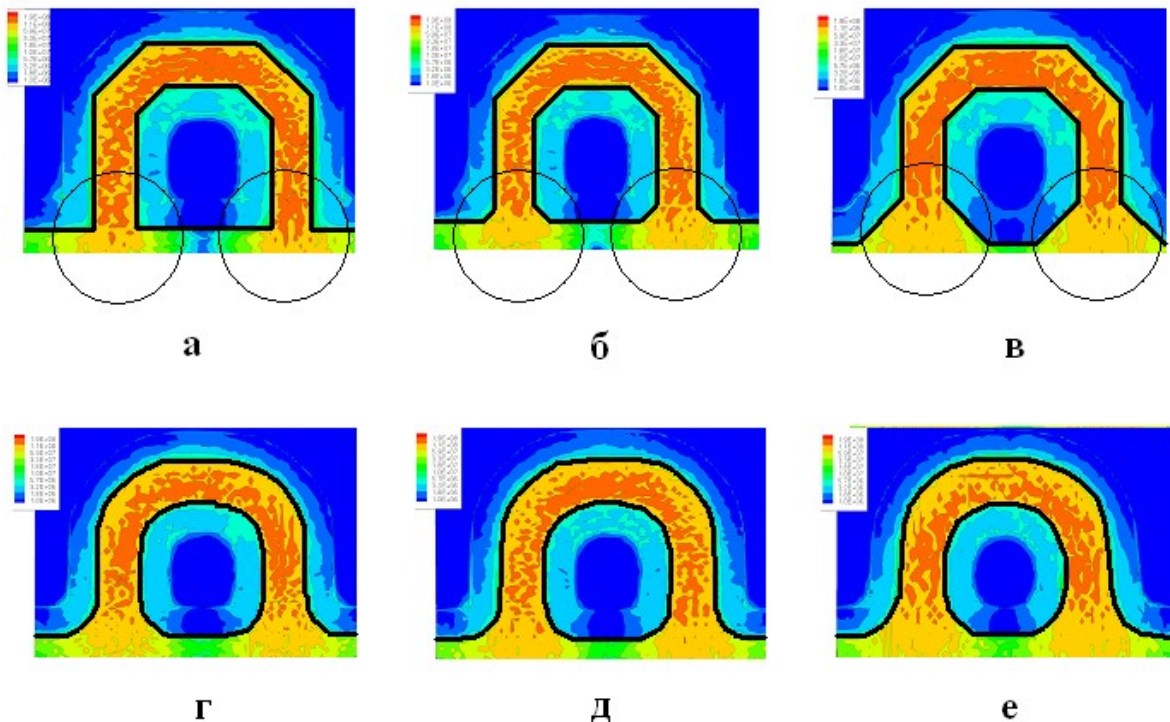


Рисунок 19 - К анализу результатов моделирования растекания токов при проектировании сложных элементов СБИС

В результате установлено, что искажение топологии транзисторов в ходе литографического процесса существенно влияет на электрические характеристики КНИ МОП-транзисторов. Добавление «скоса» в топологию (геометрического перехода по углом в 45° из вертикальной части затвора в нижнюю горизонтальную часть), присутствующего в реальных структурах, дает по самым оптимистичным прогнозам почти 7%-е снижение эквивалентной ширины канала транзистора (на практике из-за общего искажения топологии снижение эквивалентной ширины канала еще больше).

Моделирование также позволило оценить разработанные методы коррекции топологии на основе моделей и правил. Их можно считать эквивалентными, поскольку электрические характеристики транзисторов, полученные этими методами, отличаются примерно на 0,5%. А учитывая координальную разницу во времени проведения процедуры коррекции (на порядок), для технологии НИИСИ РАН с проектными нормами 0,25 мкм был обосновано сделан выбор в пользу метода коррекции на основе правил.

С помощью моделирования в TCAD были разработаны и новые конструкции КНИ МОП-транзисторов, обладающих повышенной стойкостью к воздействию специальных факторов. В их основе лежит сильное донное легирование акцепторной примеси под областью легирования истока донорной примесью (рисунок 20)

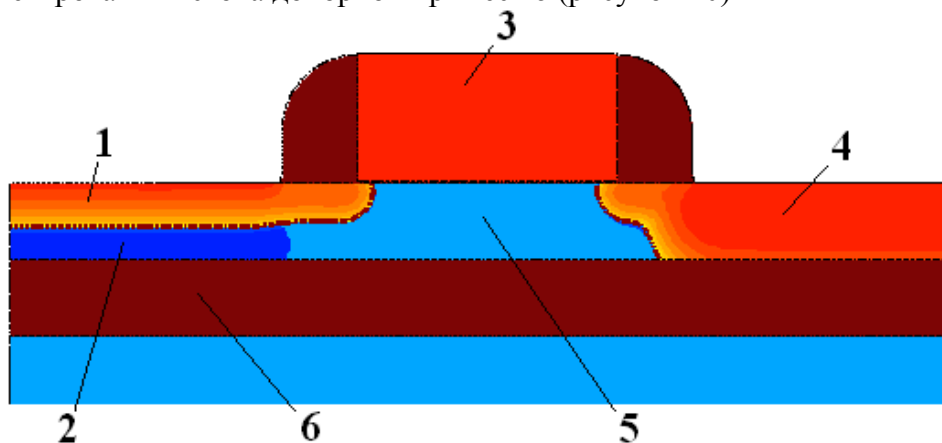


Рисунок 20 – Структура КНИ МОП-транзистора с сильным донным легированием акцепторной примесью под областью истока: 1 – область истока; 2 – область сильного донного легирования; 3 – область затвора; 4 – область стока; 5 – область кармана; 6 - скрытый окисел

Таким образом, разработаны методы и подходы к моделированию процесса формирования КНИ МОП-структур, которые нашли широкое применение при проектировании новых конструкций транзисторных структур. Также следует отметить, что ряд результатов запатентованы НИИСИ РАН, а соавторами патентов выступают недавние аспиранты МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Заключение

Следует отметить и несколько наиболее важных задач, связанных с моделированием КНИ МОП-транзисторов, которые еще предстоит решить. К ним относятся:

- моделирование эффектов пробоя и калибровка модели генерации носителей заряда (при необходимости). Моделирование пробоя особенно важно для технологий так называемого «глубокого субмикрона» (минимальные проектные нормы менее 0,25 мкм), когда вследствие бокового легирования области истока и стока в полевых транзисторах оказываются на расстоянии порядка 0,15 мкм, что накладывает существенные ограничения на напряжение их питания (не более 4 В из-за опасности пробоя). В этом случае наибольшая сложность при моделировании процесса пробоя состоит в том, что подключение моделей процесса ударной ионизации ухудшает сходимость Ньютоновских итераций. В качестве

меры по преодолению этой проблемы предлагается использовать ступенчатое приближение изменения скорости генерации носителей заряда от нуля до ее значения при заданных граничных условиях;

- моделирование n -канальных КНИ МОП-транзисторов в случае использования в качестве легирующей примеси мышьяка, а не фосфора. Электрические характеристики таких транзисторов, оказываются менее чувствительными к вариации параметров высокотемпературных процессов, что наиболее важно при изготовлении аналоговых или аналого-цифровых СБИС;

- моделирование динамических характеристик КМОП-элементов. В простейшем случае расчет динамических параметров может быть произведен на примере КМОП-инвертора. Однако решение этой задачи, как оказывается, требует существенных вычислительных затрат: для расчетов должны использоваться мощные вычислительные 64-разрядные серверы с объемом оперативной памяти не менее 16 Гбайт;

- получение параметров SPICE-моделей транзисторов: определение эквивалентной длины и ширины канала. Суть проблемы здесь заключается в том, что полученная по разработанной методике эквивалентная ширина канала не может быть напрямую введена в SPICE-модель транзистора, поскольку в нее вводятся эмпирические коэффициенты, позволяющие рассчитать ширину канала транзистора с привязкой к его геометрическим размерам [26]. Аналогично необходимо разработать методику определения эквивалентной длины канала для последующего ввода эмпирических коэффициентов вычисления длины канала в SPICE-модель транзистора. Решение этой задачи особенно важно на этапе долгосрочного прогноза характеристик технологического процесса еще до изготовления тестового кристалла;

- получение параметров технологического процесса для случая заранее заданных электрических характеристик транзисторных структур. Это позволит, например, добиться максимума порогового напряжения паразитного КНИ МОП-транзистора при отклонении параметров основного транзистора не более чем на 10%. Реализация алгоритма параметрической оптимизации при решении этой задачи предполагает использование как стандартных средств TCAD, так и дополнительно разработанных управляющих модулей на языке TCL.

Решение этих задач позволит расширить представление о КНИ МОП-структурах и всесторонне исследовать их характеристики, а также максимальным образом использовать возможности моделирования, что сократит время и удешевит процесс проектирования СБИС за счет уменьшения числа экспериментальных партий, заменяя их менее дорогостоящим и более быстрым вычислительным экспериментом [27].

Литература

1. Глушко А.А., Родионов И.А., Макачук В.В. Моделирование технологии изготовления субмикронных КМОП СБИС с помощью систем TCAD // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. № 4. С. 32–34.
2. J. M. Johnson, Modeling of Advanced Integrated Circuit Planarization Processes: Electrochemical-Mechanical Planarization (eCMP), STI CMP using Non-Conventional Slurries. Dis. Master of Science in Electrical Engineering and Computer Science / Joy Marie Johnson; Massachusetts Institute of Technology – Massachusetts, 2009 – 228 p.
3. Defense Industrial Base Assessment: U.S. Integrated Circuit Design and Fabrication Capability – U.S. Department of Commerce Bureau of Industry and Security Office of Technology Evaluation, 2009 – 254 p.
4. [Is 28nm really here? Now? When?](http://eda360insider.wordpress.com/2011/05/23/is-28nm-really-here-now-when) Published by Cadence Design Systems. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://eda360insider.wordpress.com/2011/05/23/is-28nm-really-here-now-when>. Проверено 15.01.13.
5. Warnock, J., 1991, “A Two-Dimensional Process Model for Chemimechanical Polishing Planarization,” J. Electrochem. Soc., Vol. 138, pp. 2398-2402.

6. P.A.Burke, Semi-Empirical Modeling of SiO₂ Chemical-Mechanical Polishing Planarization, Proc. VMIC Conf., p. 379, 1991.
7. H. Landis, P. Burke, W. Cote et al. Thin Solid Films, 220, 1 (1992)
8. Yu, T.-K., Yu, C.C., and Orlowski, M., 1993, "A Statistical Polishing Pad Model for Chemical-Mechanical Polishing," Proc. 1993 IEEE Int. Electron Dev. Mfg., pp. 865-868.
9. D. O. Ouma, Modeling of Chemical Mechanical Polishing for Dielectric Planarization. Dis. PhD in Electrical Engineering and Computer Science / Dennis Okumu Ouma; Massachusetts Institute of Technology – Massachusetts, 1998. – 228 p.
10. T. H. Smith. Device Independent Process Control of Dielectric Chemical Mechanical Polishing. – Massachusetts Institute of Technology, 1999. – 162 p.
11. Гладких А.А. Временная оптимизация модели ХМП с учетом распределения скорости планаризации по кремниевой пластине. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 12-я Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2010», 2010. – стр. 214-223.
12. Гладких А.А. Анализ повторяемости и точности моделирования операции химико-механической планаризации слоя двуоксида кремния. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 13-я Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011», 2011. – стр. 324-338
13. Амирханов А.В., Гладких А.А., Макаручук В.В., Пшенников А.Г., Шахнов В.А. Полиномиальная модель химико-механической планаризации в производстве субмикронных СБИС Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана Серия "Приборостроение" No.2, 2012, стр. 20-36 – ISSN 0236-3933
14. Амирханов А.В., Волков С.И., Гладких А.А., Демин С.В., Родионов И.А., Столяров А.А., Пшенников А.Г. Модификация топологии СБИС с учетом технологических ограничений операции химико-механической планаризации. – М., НИИСИ РАН, Математическое и компьютерное моделирование систем: теоретические и прикладные аспекты, 2011. – стр. 4-10
15. Гладких А. А., Макаручук В. В., Курейчик В. М. Методики оптимального размещения dummy-структур. [Электронный ресурс] // Электронное научно-техническое издание: наука и образование. – Электрон. журн. – 2012. – №05. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/368628.html> – ISSN 1994-0408
16. Robert Boone, D. F. Wong, Ruiqi Tian, Model-Based Dummy Feature Placement for Oxide Chemical-Mechanical Polishing Manufacturability. dac, pp.667-670, 37th Conference on Design Automation (DAC'00), 2000.
17. Гладких А.А. Алгоритм расчета локальной плотности заполнения топологии субмикронных СБИС для оптимального размещения dummy-структур. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, Сборник трудов Третьей Всероссийской Школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению «Наноинженерия», 2010. – стр. 256-267. ISBN 978-5-7038-3453-4
18. S. H. Thornton, C. A. Mack, Lithography Model Tuning: Matching Simulation to Experiment // Optical Microlithography IX, SPIE Vol. 2726 (1996).
19. A. Sekiguchi, C. A. Mack, Y. Minami, and T. Matsuzawa, Resist Metrology for Lithography Simulation, Part 2: Development Parameter Measurements // Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography X, SPIE Vol. 2725 (1996).
20. Исследование методов калибровки процессных OPC моделей VT-5 с переменным порогом чувствительности / И.А. Родионов [и др.] // Микроэлектроника. 2010. Том 39, № 6, с. 468–480.

21. Родионов И.А. Исследование влияния введения ОРС фигур на параметры полупроводниковых структур с размерами элементов 0,25 мкм. // 10-ая Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2008». 16 апреля 2008 г. – М.: издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008, с. 115-120.
22. Демин С.В., Амирханов А.В., Михальцов Е.П., Родионов И.А., Тафинцева Е.В. Особенности топологического проектирования субмикронных КМОП СБИС с учетом литографических ограничений. // "Математическое и компьютерное моделирование систем: теоретические и прикладные аспекты" - Сборник научных трудов НИИСИ РАН, 2009, С.24-31.
23. Родионов И.А., Шахнов В.А. Метод расчета значений весовых коэффициентов топологических структур для калибровки литографических моделей // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Секция: Приборостроение. 2010. Спец. выпуск: Наноинженерия. С. 150-160.
24. Киреев В.Ю. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии. М.: ФГУП ЦНИИХМ, 2008. 428 с.
25. Глушко А.А., Шахнов В.А. Особенности трехмерного моделирования КНИ МОП-транзисторов с непрямым затвором // Микроэлектроника. 2012. том 41. №2. С. 83 – 89.
26. Денисенко В.В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 408 с.
27. Sentaurus Device User Guide. Mountain View (California USA): Synopsys, 2010. 994 p.