

СЕКЦИЯ 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

читальный зал преподавателей (ауд.229), гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Начало в 10.00.

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

Руководитель экспертной комиссии: к.т.н., доцент Федорук В.Г.

Ученый секретарь: к.т.н., доцент Власов А.И.

Экспертная комиссия:

В.В.БЕЛОУС, А.Н. БОЖКО, Т.М. ВОЛОСАТОВА, Д.М. ЖУК, В.Б. МАНИЧЕВ, В.А.МАРТЫНЮК, В.А.ТРУДОНОШИН, С.В. ГРОШЕВ, С.Ю. КНЯЗЕВА, С.В. РОДИОНОВ, Е.В. ФЕДУРУК, С.А. ШЕСТАКОВ, Н.В. ПИВОВАРОВА

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.

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.

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ПОПУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

Антонова (Литун) Т.О., Ковтун О. В.

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

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

POPULATION AND GENETIC ALGORITHMS' SYNTHESIS SOFTWARE REVIEW

Antonova (Litun) T.O., Kovtun O.V.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются программные комплексы синтеза популяционных алгоритмов. Подробно исследованы возможности программных комплексов MATLAB, HeuristicLab, JGAP. Кратко представлены особенности конструирования генетических алгоритмов, используя C++. В заключении представлены рекомендации по выбору среды для синтеза генетических алгоритмов в зависимости от поставленной задачи.

Abstract

The paper is dedicated to population algorithm synthesis software. Functional capabilities of MATLAB, HeuristicLab, JGAP software were studied. Common features of genetic algorithm's synthesis using C++ were described. Suitable genetic algorithm synthesis environments were recommended depending on the task being solved.

Введение

В настоящее время популяционные алгоритмы (далее П-алгоритмы), составляющие класс алгоритмов поисковой оптимизации, широко применяются для решения различных задач. Не все алгоритмы могут быть эффективными при решении тех или иных задач, поэтому актуальной является проблема создания программной системы, предоставляющей пользователю возможность синтеза П-алгоритма, его тестирования и оценки эффективности.

Общая схема популяционных алгоритмов включает в себя следующие этапы [1].

1) Инициализация популяции. В области поиска тем или иным образом создаем некоторое число начальных приближений к искомому решению задачи – инициализируем популяцию агентов.

2) Миграция агентов популяции. С помощью некоторого набора миграционных операторов, специфических для каждого из П-алгоритмов, перемещаем агентов в области поиска таким образом, чтобы, в конечном счете, приблизиться к искомому экстремуму оптимизируемой функции.

3) Завершение поиска. Проверяем выполнение условий окончания итераций и, если они выполнены, завершаем вычисления, принимая лучшее из найденных положений агентов популяции за приближенное решение задачи. Если указанные условия не выполнены, возвращаемся к выполнению этапа 2.

При инициализации популяции могут быть использованы детерминированные и случайные алгоритмы. Формирование начальной популяции, агенты которой находятся вблизи глобального экстремума оптимизируемой функции, может существенно сократить время решения задачи. Однако обычно априорная информация о местоположении этого экстремума отсутствует, поэтому агентов начальной популяции распределяют равномерно по всей области поиска.

Миграцию агентов, например, в генетическом алгоритме, который мы также относим к популяционным алгоритмам, реализуют генетические операторы скрещивания, мутации и другие.

В качестве условия окончания поиска используют, как правило, условие достижения заданного числа итераций (поколений). Часто используют также условие стагнации (stagnation)

алгоритма, когда лучшее достигнутое значение оптимизируемой функции не изменяется в течение заданного числа поколений. Могут быть использованы и другие условия, например, условие исчерпания времени, отпущенного на решение задачи.

Из представленной общей схемы П-алгоритмов следует, что они обладают ярко выраженной модульной структурой, позволяющей легко получить большое число вариантов любого из алгоритмов путем варьирования и комбинирования правил инициализации популяции, миграционных операторов и условий завершения поиска. Заметим, что для решения любой задачи оптимизации во множестве всех известных оптимизационных алгоритмов, включая популяционные алгоритмы, наверняка найдется хотя бы один алгоритм, который даст, как минимум, удовлетворительные результаты. Однако, нет и не может быть алгоритма, который мог бы обеспечить высокую эффективность при решении всех задач оптимизации. Поэтому для каждой прикладной задачи необходимо осуществлять кропотливый подбор свободных параметров П-алгоритма, чтобы найти баланс между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией поиска.

При выборе среды для конструирования П-алгоритмов также необходимо учитывать множество параметров: возможность встроенных библиотек программных комплексов; простота освоения среды разработки; возможность распараллеливания, конструирования и проверки на тестовых задачах собственных П-алгоритмов; внесение изменений в П-алгоритмы, встроенные в библиотеки и т.п. В данной статье проведен анализ наиболее известных сред для конструирования П-алгоритмов.

1 Синтез П-алгоритмов в помощь языков программирования C++ и JScript

Использование широко распространенного языка программирования C++ позволяет инженеру не тратить время на разработку большинства стандартных П-алгоритмов - листинги многих хорошо изученных П-алгоритмов находятся в открытом доступе в сети интернет. Однако использование таких алгоритмов требует тщательной проверки корректности их реализации, что невозможно без навыков программирования в выбранной среде. К достоинствам конструирования П-алгоритмов с использованием стандартизированных языков программирования можно отнести гибкость, возможность распараллеливания, большую базу алгоритмов и тестовых задач. Недостатки – высокие трудозатраты при разработке собственных П-алгоритмов, необходимость разработки интерфейсов для сравнения эффективности алгоритмов.

Система JGAP (Java Genetic Algorithms Package) – программное обеспечение, предложенное европейскими разработчиками в 2006 году [2]. Данный комплекс находится в свободном доступе. Система написана на популярном и быстроразвивающемся языке Java, отличается простотой интерфейса.

Структура программного комплекса приведена на рисунке 1. Параметры любого из представленных модулей пользователь может самостоятельно изменить, создав собственный генетический алгоритм, который сохранится в отдельном файле с возможностью его дальнейшего использования [3]. Кроме того, в программный пакет включено большое число тестовых примеров для решения задач оптимизации.

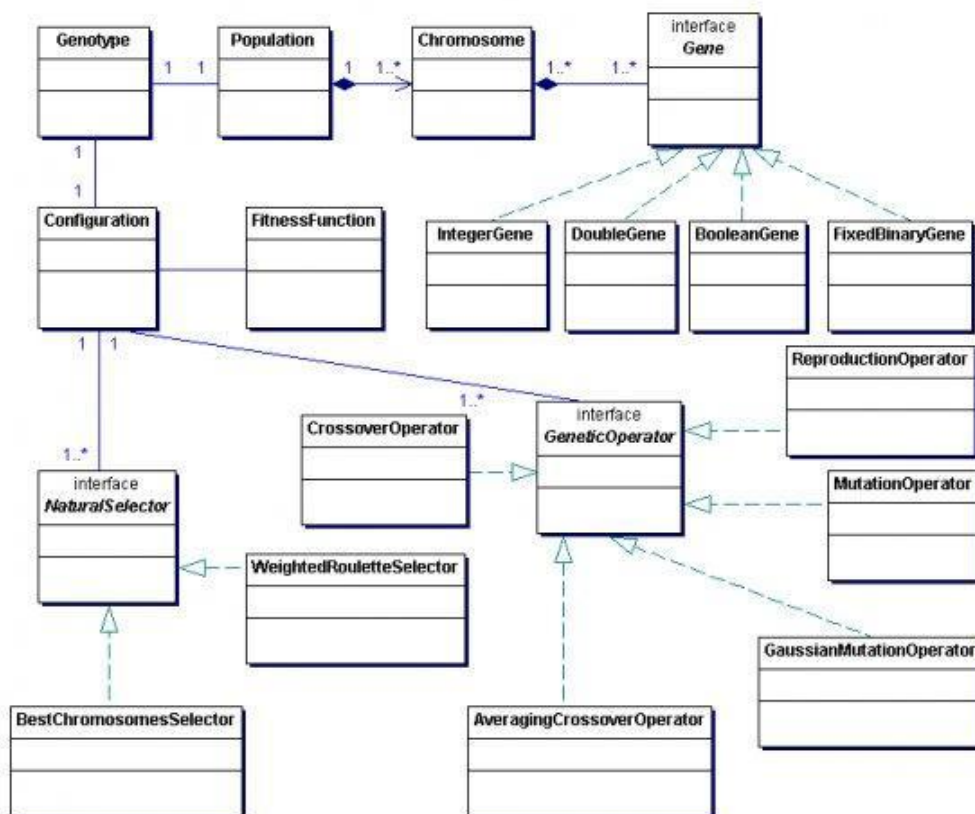


Рисунок 1 - Структура программного комплекса JGAP

К достоинствам системы можно отнести ее доступность, гибкость, удобство в использовании, наглядный графический интерфейс. Недостатки системы – ее подверженность внешнему влиянию, незащищенность внутреннего кода.

2 Синтез П-алгоритмов средствами системы MATLAB

В программном комплексе MATLAB 2014b библиотеки работы с П-алгоритмами вынесены в Global Optimization Toolbox. Помимо классических методов оптимизации, набор инструментов тулбокса включает в себя генетический алгоритм и метод роя частиц. Использование функции `gaoptimset` позволяет создать генетический алгоритм с желаемой структурой (определяются операторы мутации, кроссинговера, способы генерации начальной популяции и тп.) [4]. Среда также позволяет реализовать гибридизацию генетических алгоритмов с классическими методами поиска, что положительно сказывается на скорости сходимости решения.

В работе [5] приводится описание способов конструирования П-алгоритмов в среде MATLAB 7.0.1 с использованием пользовательских библиотек. В работе [6] представлена программная реализация генетического алгоритма для решения задач многомерной оптимизации с возможностью программного создания пользовательского П-алгоритма.

3 Синтез П-алгоритмов в системе HeuristicLab

Система HeuristicLab является программной средой для эвристических и эволюционных алгоритмов (в том числе и генетических алгоритмов), разработанных членами Heuristic and Evolutionary Algorithms Laboratory в 2002 году [7].

От других аналогичных проектов HeuristicLab отличает богатый графический интерфейс. В HeuristicLab алгоритмы представлены в виде графа операторов и изменение или перестановка операторов может быть осуществлена путем перетаскивания, фактически без

написания кода. Данное программное обеспечение позволяет работать с алгоритмами пользователям, которые мало знакомы с программированием, но рассматривают возможность использования П-алгоритмов для решения прикладных задач. При этом остается возможность расширить функциональность системы на уровне кода на языке C#. Разработчики алгоритмов могут с легкостью интегрировать новые алгоритмы, делать свои представления решений и решать задачи оптимизации. Эта концепция приводит к значительному уровню повторного использования кода и помогает пользователям получить больше знаний о разработке алгоритмов.

Среди достоинств системы также следует выделить возможность поэтапного выполнения алгоритмов, конвертации полученных результатов в различные форматы, сохранения сконструированных алгоритмов в пользовательской библиотеке. Недостатками системы является большой объем памяти, занимаемой системой, длительная установка, необходимость наличия дополнительного ПО.

Заключение

В статье рассмотрена общая концепция П-алгоритмов. Проведен обзор программных комплексов, позволяющих создавать П-алгоритмы и применять их для решения задач оптимизации. Также указаны достоинства и недостатки данных систем.

Проведенный анализ показал, что существует значительное число программных систем для конструирования П-алгоритмов. Однако наблюдается недостаток разработок с наглядным графическим интерфейсом, позволяющих пользователю без навыков программирования создавать собственные П-алгоритмы и осуществлять проверку их эффективности. Также существующие инструменты для синтеза алгоритмов содержат только наиболее популярные и хорошо изученные методы, что серьезно ограничивает возможность их использования при решении прикладных задач.

Исходя из вышеизложенных фактов, можно сделать вывод о перспективности создания программного комплекса для синтеза П-алгоритмов с интуитивно понятным интерфейсом, предоставляющего широкие возможности инженерам, решающим реальные задачи, а также исследователям и разработчикам новых методов.

Литература

1. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – С. 14-116.
2. Java Genetic Algorithms Package Homepage. Электронный ресурс. <http://jgap.sourceforge.net>
3. Ipate F., Lefticaru R. Genetic Model based Testing: a Framework and a Case Study. Romanian Journal of Information Science and Technology, 2008, Vol.10, Numb.3, pp. 209-227.
4. MathWork 2014Rb Documentation. Электронный ресурс. <http://www.mathworks.com/help/gads/gaoptimset.html>
5. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007.- С. 66-75.
6. Иванюк В.А., Егорова И.Е. Разработка программной реализации генетического алгоритма для решения задач многомерной оптимизации. – Волгоград: Известия ВолгГТУ, 2010. - С.23-25.
7. HeuristicLab Development Homepage. Электронный ресурс. <http://dev.heuristiclab.com>.

МАГНИТНЫЙ МЕТОД 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 METHODS 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.

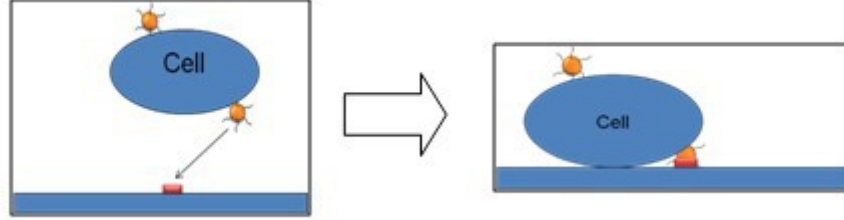


Figure 1 - Concept of magnetically assisted cell positioning. Cells tagged with SPM beads are attracted to magnets, which are located at specific positions on the Si-based chip.

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

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

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).

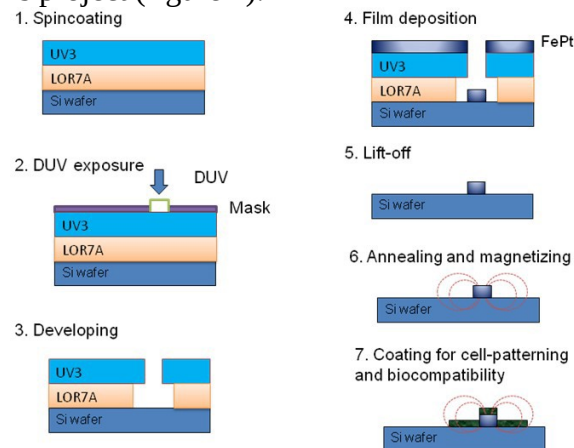


Figure 2 - Lift-off process: LOR – Lift-off Resist, UV3 – positive DUV photoresist

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).

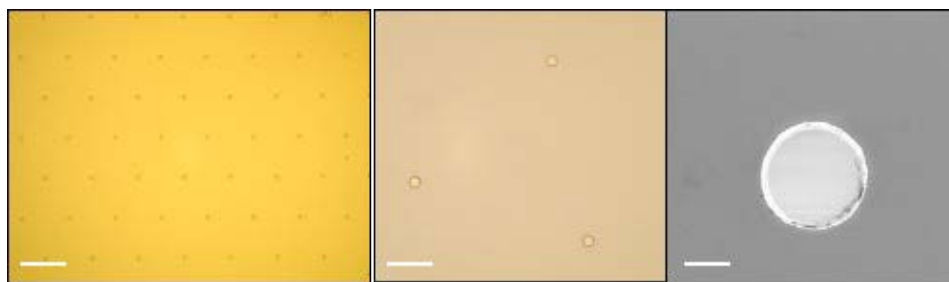


Figure 3 - Left, middle. Optical micrographs of micro-magnet networks. Right. SEM micrograph of a 20 μm diameter micro-magnet. From left to right scale bars are 100 μm , 50 μm and 10 μm

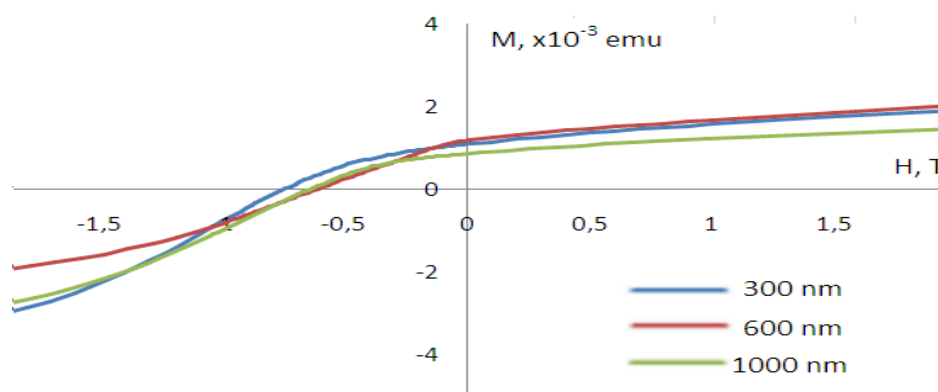


Figure 4 - VSM study of different thicknesses of FePt film

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.

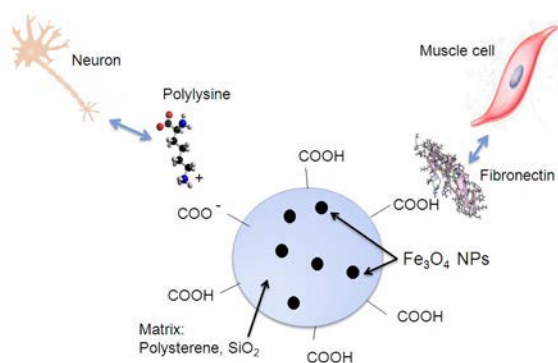


Figure 5 - Scheme of cell tagging

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

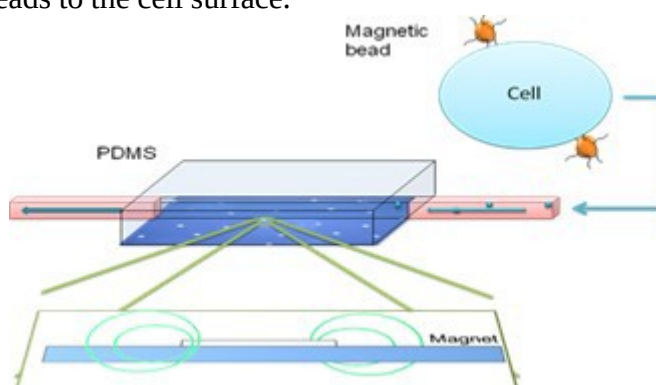


Figure 6 - Scheme of microfluidic system

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).

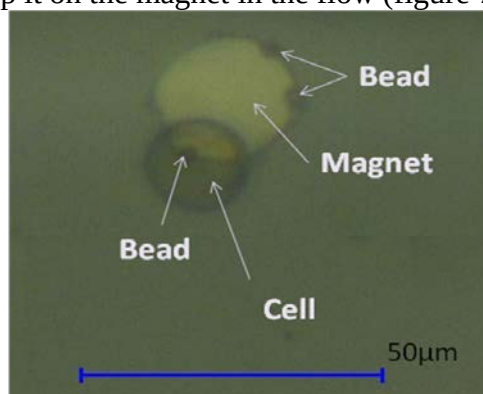


Figure 7 - Single-cell trapping in the microfluidic channel

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.

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ MODELICA

Борисенко Н.Д.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, Маничев В.Б.,
к.т.н., доцент, Жук Д.М.*

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

MODELICA-BASED PROGRAMS MATHEMATICAL TESTING METHOD

Borisenko N.D.

*Supervisor: Cand. Sci., Assoc. Prof., Manichev V.B.,
Cand. Sci., Assoc. Prof., Zhuk D.M.*

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются метод тестирования программ, реализующих язык моделирования Modelica (на примере пакета OpenModelica), на математических тестах с известным математически точным решением. Рассмотрены только «трудные» тестовые задачи. Приведено сравнение с решателями систем ОДУ из математических пакетов и EDA пакетами, использующими SPICE симулятор. Показан основной недостаток методов моделирования в реализациях языка – выдача по умолчанию неверного (иногда правдоподобного, но не достаточно точного по сравнению с заданной точностью) решения без предупреждения пользователя.

Abstract

In the article the method of testing programs implementing modeling language Modelica (on the example of the package OpenModelica) by math tests with known mathematically exact solution is described. The comparison of ODE solver of mathematical packages and EDA packages using SPICE simulator is shown. Also a basic defect of methods of language implementations in giving an incorrect default (sometimes plausible, but not quite accurate compared with a given accuracy) solutions without warning the user is shown.

Введение

Значительным шагом в развитии систем автоматизированной проектирования является появление специализированных языков, называемых также языками моделирования. Данные языки позволяют проектировать системы, содержащие компоненты различной природы, а также компоненты управления и компоненты, ориентированные на отдельные процессы, в некотором роде абстрагирующие пользователя от написания решателя данных систем. В подобных языках достоверность и точность численного моделирования являются определяющими факторами. Большинство инженеров не являются специалистами в вычислительной математике и не могут оценить математическую точность полученного численного моделирования, поэтому качественно верное и точное решение должно быть обеспечено в соответствующих реализациях языка Modelica по умолчанию. Для решения этой проблемы необходимо для конкретных классов систем иметь наборы тестовых задач с известным заведомо достоверным и точным решением. Тестирование должно показывать надежность и эффективность соответствующего пакета программ для данного класса систем и соответственно обеспечить настройку параметров решателей систем ОДУ для получения достоверных и точных результатов численного моделирования.

В данной статье рассматривается метод тестирования решателей систем ОДУ, используемых в реализациях языка Modelica, на математических тестовых задачах с известным асимптотическим или аналитическим решением. Рассмотрены «трудные» тестовые системы ОДУ с локально неустойчивым многопериодным решением, а также система ОДУ с разрывом производных интегрируемых функций. Математическое тестирование позволяет определить причину выдачи неверных результатов математического моделирования.

1 «Трудные» тестовые задачи

Эффективность численного решения систем ОДУ в значительной степени определяется спектром матрицы Якоби системы ОДУ. Сложность задачи можно оценить величиной ρT , где ρ - спектральный радиус матрицы Якоби, T - величина интервала интегрирования. Трудности возникают при больших значениях ρT (больше 10^3). В зависимости от расположения наибольших по модулю собственных значений такие «трудные» задачи подразделяются на жесткие (наибольшие собственные значения в левой полуплоскости), быстро осциллирующие (вблизи мнимой оси) и локально-неустойчивые (в правой полуплоскости). В реализациях Modelica реализованы неявные методы интегрирования, поэтому жесткие задачи будут «легкими», а тестовые задачи второго и третьего типа будут «трудными» для реализаций Modelica, поэтому далее рассматриваются только такие «трудные» тестовые задачи.

ТЕСТ 1. Система ОДУ 2-го порядка с локально неустойчивым решением и с переменной степенью «трудности» (MU – параметр «трудности») – осциллятор Ван дер Поля.

$$\begin{cases} dx_1 / dt = x_2 \\ dx_2 / dt = -x_1 + MU \cdot (1 - x_1^2) \cdot x_2 \\ x_1(0) = 2, x_2(0) = 0, \\ t \in (0, 4.2 \cdot MU) \end{cases}$$

Решатель этой системы ОДУ должен выдавать правильное асимптотическое решение с периодом $2MU$ как минимум до $MU=10^6$.

ТЕСТ 2. По аналогии с работой [1], среди задач с быстро осциллирующим решением была выбрана линейная электрическая схема (high Q filter circuit (Рисунок 1)), которая моделируется системой ОДУ 5-го порядка.

$$kr = Ku / Ki, kc = Kt \cdot Ki / Ku, kl = Kt \cdot Ku / Ki,$$

$$\begin{cases} dx_1 / dt = x_4 / 0.001 \cdot kc \\ dx_2 / dt = x_5 / 0.001 \cdot kc \\ dx_3 / dt = (x_4 - x_5) / kc \\ dx_4 / dt = (ku - x_1 - x_3 - kr \cdot x_4) \cdot / 1001 \cdot kl \\ dx_5 / dt = (-x_2 + x_3 - kr \cdot x_5) / 999 \cdot kl \end{cases}$$

$$x_1(0) = 0, x_2(0) = 0, x_3(0) = 0, x_4(0) = 0, x_5(0) = 0,$$

$$t \in [0, 12560Kt].$$

ТЕСТ 3. Нелинейная система ОДУ с многопериодным решением, имеющая локально-неустойчивое решение. Это «трудный» тест для неявных методов интегрирования систем ОДУ [2].

$$\begin{cases} dx_1 / dt = x_2 \\ dx_2 / dt = 10^6 \cdot (1 - x_1^2) \cdot (x_1 + x_2) \\ x_1(0) = 2, x_2(0) = 0, t \in (0, 3) \end{cases}.$$

ТЕСТ 4. Нелинейная жесткая система ОДУ с многопериодным решением для математического моделирования процессов реального лазера.

$$\begin{cases} dx_1 / dt = -x_1 \cdot (\alpha \cdot x_2 + \beta) + \gamma \\ dx_2 / dt = x_2 \cdot (p \cdot x_1 - \sigma) + \tau \cdot (1 + x_1) \end{cases}$$

$$x_1(0) = -1, x_2(0) = 0, t \in (0, 10^6),$$

$$\alpha = 1.5 \cdot 10^{-18}, \beta = 2.5 \cdot 10^{-6}, \gamma = 2.1 \cdot 10^{-6},$$

$$p = 0.6, \sigma = 0.18, \tau = 0.016.$$

ТЕСТ 5. Решение большого количества практических задач показало, что не достоверные решения часто бывают при интегрировании функций, имеющих разрывы производных этих функций по времени (в основном, при наличии кусочно-линейных функций, зависящих от времени).

Математической моделью этой тестовой задачи будет система ОДУ из трех дифференциально-алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} C1(du_{C1}(t)/dt) - i(t) = 0 \\ (0.5 - u_{C2}(t)) \times (du_{C2}(t)/dt) - i(t) = 0 \\ u_{C1}(t) + u_{C2}(t) - V(t) = 0 \end{cases}$$

относительно трех переменных $u_{C1}(t)$, $u_{C2}(t)$, $i(t) = i_{C1}(t) = i_{C2}(t)$. График $V(t)$ представлен на Рисунок 1.

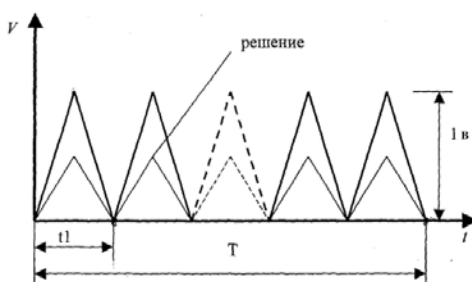


Рисунок 1 - Входной сигнал, подаваемый на емкостной делитель напряжения

2 Тестирование решателей ОДУ в OpenModelica

В решателях систем ОДУ OpenModelica реализованы одиннадцать методов интегрирования: метод дифференцирования назад (по-умолчанию), метод Эйлера (явный и неявный), метод Рунге-Кутты (явный и неявный), radau ПА (3 реализации) и lobatto ПА (3 реализации).

С учетом результатов, опубликованных в работе [6], в таблице 1 приведено итоговое сравнение решателей систем ОДУ из разрабатываемой кафедрой РК6 библиотеки SADEL, из математических пакетов, из EDA пакетов со SPICE симулятором и тестируемой реализации языка Modelica OpenModelica.

Таблица 1 - Сравнение решателей систем ОДУ для «трудных» систем ОДУ

Программа- решатель систем ОДУ	ТЕСТЫ				
	ТЕСТ 1	ТЕСТ 2	ТЕСТ 3	ТЕСТ 4	ТЕСТ 5
	«Трудность» MU=1e9	«Трудность» Kt=1, Ki=1, Ku=0.01	«Трудность» MU=1e6	Параметры реального лазера	C2=(0.5 - u _{C2} (t))
SADEL 2012	+	+	-++	-++	+
Mathcad 2010	--	-++	+	+	нд
MATLAB 2012	--	-++	-++	+	нд
Maple 2008	--	+	-++	-++	нд
Mathematica 2012	--	+	+	+	нд
SPICE-Multisim	--	-++	-+	-+	-+
OrCAD- PSPICE	--	-+	--	--	+
SPICE-SYMICA	нд	-+	нд	нд	+
OpenModelica	-	-+	--	--	+

Знак (+) означает верное решение теста методом, рекомендуемым для решения жестких систем ОДУ, с параметрами по умолчанию.

Знак (-) означает отсутствие решение теста методом, рекомендуемым для решения жестких систем ОДУ, с параметрами по умолчанию с предупреждением пользователя.

Знак (--) означает не верное решение теста методом, рекомендуемым для решения жестких систем ОДУ, с параметрами по умолчанию без предупреждения пользователя и отказ при попытке получения верного решения.

Знак (-+) означает не верное решение теста методом, рекомендуемым для решения жестких систем ОДУ, с параметрами по умолчанию без предупреждения пользователя и получение верного решения путем настройки соответствующих методов и параметров интегрирования и увеличения времени счета.

Знак (-++) означает не верное решение теста методом, рекомендуемым для решения жестких систем ОДУ, с параметрами по умолчанию без предупреждения пользователя и получение верного решения путем настройки только параметра заданной точности метода интегрирования и увеличения времени счета, нд – нет данных.

Заключение

Рассмотренный метод тестирования на «трудных» математических тестах решателя систем ОДУ в реализациях языка Modelica пакетах выявил его основные недостатки:

1. возможное получение без диагностических сообщений неверного результата численного моделирования электронных схем при невысокой заданной по умолчанию относительной точности решения систем ОДУ;

2. неудачная реализация алгоритмов автоматического выбора шага интегрирования;

Любые результаты численного моделирования систем, полученные с помощью реализаций Modelica, следует многократно перепроверять для более высоких требований к точности интегрирования решаемых систем ОДУ, ограничив максимальный размер шага интегрирования, что влечет непроизводительные затраты процессорного времени.

Новые научные результаты предполагается получить в направлении разработки для реализаций Modelica с решателями систем ОДУ, в которых будут устранены указанные выше недостатки. Для решения этих задач предполагается разработка новых эффективных методов решения жестких и локально-неустойчивых систем ОДУ с многопериодным решением с учетом ограниченности разрядной сетки компьютеров. Для достоверного решения систем ОДУ при невысоких требованиях к точности результатов будут реализованы только $A(\pi/2)$ -устойчивые методы решения систем ОДУ [4]. Для получения высокоточных численных результатов предполагается использовать вычисления с повышенной разрядностью [5].

Литература

1. В.Б.Маничев, Д.М. Жук, Ф.А.Витюков. Метод математического тестирования программ анализа переходных процессов в САПР электронных схем. // МЭС-2014 - М.: ИППМ РАН, 2014, С. 1-6.
2. Скворцов Л.М. Явный многошаговый метод численного решения жестких дифференциальных уравнений. // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2007. Т. 47. № 6. С. 959-967
3. Жук Д.М., Маничев В.Б., Сахаров М.К. SADEL – библиотека «сверхточных» решателей для программного комплекса ПА10 (SADEL-PA10). МЭС-2012 - М.: ИППМ РАН, 2012. С. 147-153.
4. Д.М. Жук, В.Б. Маничев, А.О. Ильницкий Методы и алгоритмы решения дифференциально-алгебраических уравнений для моделирования систем и объектов во временной области. // Информационные технологии. - 2010. – часть 1 - №7. С. 16-24, часть 2 - №8. С. 23-26.
5. В.Б.Маничев, В.В.Глазкова, Д.Ю.Кожевников, Д.А.Кириянов, М.К.Сахаров Решение систем линейных алгебраических уравнений с удвоенной точностью вычислений на языке Си. //Вестник МГТУ, сер. Приборостроение. 2011. - Вып. 4. С. 25-36.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЗВОНОЧНИКА

Чачин А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Жук Д.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD IN HUMAN SPINE MODELLING

Chachin A.V.

Supervisor: Ph.D., Jhuk D.M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается применение метода конечных элементов для решения задачи создания модели позвоночника человека. Проиллюстрированы способы наложения сетки конечных элементов на геометрические модели различных частей и составляющих позвоночника. Кратко представлено общее строение позвонков и межпозвоночных дисков.

Abstract

The article discusses the use of finite element method for solving the problem of creating a model of the human spine. Illustrated ways to generate finite elemental mesh of geometric models variable parts and segments of spine. Briefly presented basic structure of vertebrae and intervertebral discs.

Введение

Во всем мире от заболеваний позвоночника страдают около 60-85 % населения. Наиболее распространенная причина – дегенерация позвонков, относящихся к поясничному сегменту позвоночника. Под дегенерацией следует понимать губительные изменения в строении позвоночника, вызванные старением или перенагрузкой. Метод конечных элементов является эффективным инструментом для симуляции и расчетов процессов, протекание которых невозможно пронаблюдать экспериментально, например, дегенерация позвоночника. Численное моделирование так же может существенно снизить затраты ресурсов и времени при разработке новых методов лечения и проектирования имплантов.

Метод конечных элементов (МКЭ) — численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Идея МКЭ была разработана в СССР ещё в 1936 году, но из-за неразвитости вычислительной техники того времени метод получил развитие несколько позже. Суть метода следует из его названия. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только возможностями ЭВМ.

В ходе написания данной статьи было произведено ознакомление с работами ученых, занимавшихся данным направлением ранее. Ее цель – изучение методики применения метода конечных элементов в ходе создания модели позвонков и межпозвоночных дисков.

1 Основные положения о строении позвоночника

1.1 Позвоночник

Позвоночник человека состоит из пяти отделов (Рисунок 1): шейный (7 позвонков), грудной (12 позвонков), поясничный (5 позвонков), крестец (5 неразделимых позвонков) и копчик (4-5 неразделимых позвонков). В задней части позвонки соединены через межостистые и надостные связки. В передней части позвонки ограничены двумя соседними межпозвоноковыми дисками. Каждый межпозвоночный диск и два соседних позвонка являются кинематической составляющей позвоночника, названной сегментом движения (motion segment). Позвоночник состоит из четырех кривых: два лордоза и два кифоза: шейный лордоз, грудной кифоз, поясничный лордоз, и крестцовый кифоз [1, 2].

1.2 Позвонок

В различных отделах позвоночника возможности движения позвонков, а так же размеры отличаются. Позвонок состоит из двух основных анатомических компонентов: тела позвонка спереди, и невральной дуги, задней части [1]. Тело позвонка обращено вперед и предназначено для опорной функции. Дуга позвонка соединяется с телом с помощью ножек дуг позвонка. Между телом и дугой располагается позвоночное отверстие. От дуги позвонка отходят отростки: сзади в сагиттальной плоскости остистый отросток, направо и налево от дуги — поперечные отростки, вверх и вниз от дуги — верхние и нижний суставные отростки [1, 2].

1.3 Межпозвоночный диск

Диск состоит из желатинового сердечника, известного как студенистое ядро, который окружен фиброзным кольцом и двумя хрящевыми пластинками (Рисунок 2). Они лежат выше и ниже диска и помогают ему крепиться к смежным позвонкам [5].

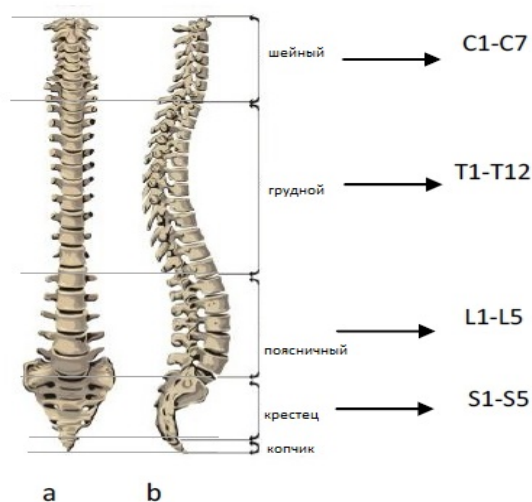


Рисунок 1 - а) Фронтальный и б) сагиттальный виды позвоночника и его отделов

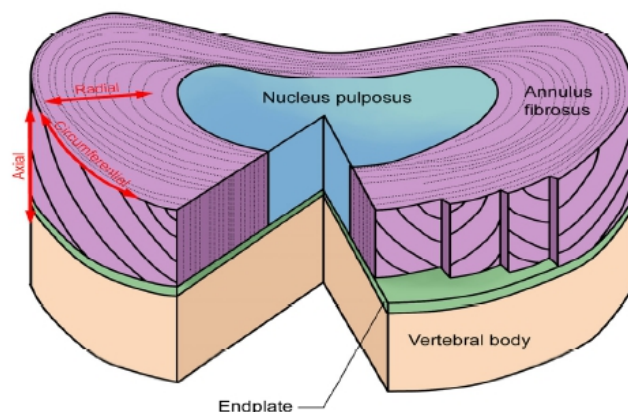


Рисунок 2 - Межпозвоночный диск. Nucleus pulposus - студенистое ядро, annulus fibrosus - фиброзное кольцо, endplate - хрящевые пластинки [7]

2 Применение МКЭ при моделировании

Геометрическое моделирование требует точных геометрических данных реального объекта. Кроме топологии, необходимы дополнительные данные, такие как объем, плотность, текстура поверхности и т.д. Могут быть использованы различные методы приобретения данных о геометрии, такие как сканеры, компьютерная томография или магнитно-резонансной томография [3].

При геометрическом моделировании позвонка необходимо задать или знать следующие параметры: толщина кортикального слоя кости (в работе [3] для поясничного позвонка принималась равной 1.5 мм или 1 мм), толщина хрящевой пластины (в [3] принималась 1 мм или 0.5 мм). Для позвоночной кортикальной кости, губчатой кости, пластин, задних костных элементов, различных типов связок задаются модуль Юнга и коэффициента Пуассона.

Таблица 1 - Параметры кости для МКЭ расчета позвонка

	Тип элемента разбиения	Параметры материала						Коэффициент Пуассона
		Ex	Ey	Ez	Gxy	Gyz	Gxz	
Кортикальная кость	Оболочка толщиной 1мм из трехгранников, четырехгранников	8000	8000	14000	3280	3280	3280	0.3
Губчатая кость	Четырехгранники, восьмигранники	767	401	1157	20.4	24	24	0.12

Таблица 2 - Параметры различных типов связок для МКЭ расчета

	Тип элемента разбиения	Параметры материала		Коэффициент Пуассона	Площадь
		Ex			
Передняя продольная связка	2-ух узловой отрезок (только при расчете на натяжение)	20		0.3	38
Задняя продольная связка		70			20
ligamenta flava		50			60
Межпозвонок овые связки (Interspinous Ligament)		28			35.5
Межпопереч ные связки		50			10
Надкостные связки		28			35.5
Facet capsulary ligament		20			40

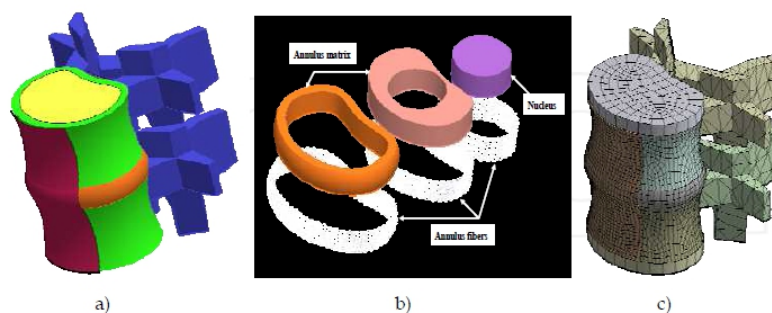


Рисунок 4 - а) Геометрическая модель сегмента, б) межпозвоночных дисков и с) МКЭ сетка модели

Для нанесения сетки на межпозвоночный диск используются восьмигранные элементы. Пример подобного разбиения представлен на рисунках 4 и 5.

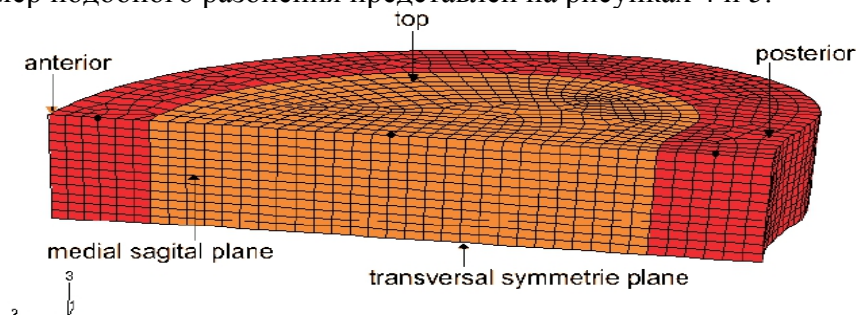


Рисунок 5 - Элементная сетка на межпозвоночном диске. Красным отмечено фиброзное кольцо, желтым – студенистое ядро

Для расчетов модели позвоночника методом конечных элементов можно воспользоваться программой ANSYS или плагином LIFEModeller для MSC Adams.

Заключение

Так как кости находятся в сложно-напряженном состоянии, подвержены разрушению, изменению и росту, то их моделирование и расчет наиболее целесообразно проводить с помощью метода конечных элементов. В данной статье рассмотрены принципы разбиения основных элементов позвоночника на конечные элементы, а так же приведены числовые значения для параметризации.

Литература

1. Hui Lin. "Biomechanical modeling of vertebral mechanobiological growth and of the deformation process in adolescent idiopathic scoliosis", 2010.
2. Saba Pasha. "Biomechanical modeling and characterization of the postural parameters in adolescent idiopathic scoliosis", 2012.
3. Marta Kurutz. "Finite Element Modelling of Human Lumbar Spine", Finite Element Analysis, pp. 209-236, 2010.
4. Márta Kurutz and László Oroszváry. "Finite Element Modeling and Simulation of Healthy and Degenerated Human Lumbar Spine", Finite Element Analysis - From Biomedical Applications to Industrial Developments, pp. 193-216, 2012.
5. Schröder Yvonne. "Putting pressure on the spine an osmoviscoelastic FE model of the intervertebral disc", 2008.

ЭВОЛЮЦИЯ РЕЗЕРВУАРНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРИМИНАЦИОННОЙ ФИТНЕСС-ФУНКЦИИ

Чернышев А.С.

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

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

EVOLUTION OF COMPUTING RESERVOIR BASED ON DISCRIMINATIVE FITNESS FUNCTION

Chernyshev A.S.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В докладе рассматривается задача поиска оптимальной структуры рекуррентной спайковой нейронной сети в контексте фреймворка резервуарных вычислителей при помощи метода эволюционной стратегии адаптации матрицы ковариаций. В качестве фитнес-функции для минимизации выбрана функция, описывающая наилучшие дискриминационные свойства резервуара при помощи оценки качества кластеризации выходов нейронной сети.

Abstract

The topic of the report is the task of searching optimal structure of recurrent spiking neural network in the context of reservoir computing framework with the help of Covariance Matrix Adaption - Evolution Strategy method. As a fitness function for minimization we have chosen the function that describes the best discrimination properties of reservoir with the help of evaluation of clustering quality of the outputs of neural network.

Введение

Резервуарные вычисление (reservoir computing) послужили своего рода прорывом в изучении и, как следствие, «приручении» динамики рекуррентных нейронных сетей (см. обзоры [1,2]). Начиная с двух первых, не связанных между собой работ, изучение данного феномена разделилось на две школы [3,4]. Первая, изучает феномен нейронных эхо-сетей (Echo State Networks), в которых динамика описывается усреднённой динамикой простых пороговых интеграторов. Второе направление исследований относится к области рекуррентных сетей неустойчивых состояний (Liquid State Machine), в которых нейрон – это сложная динамическая система с импульсным (спайковым) характером выходного сигнала.

В данном докладе сделан акцент на втором типе резервуарных вычислителей, который представляет собой рекуррентную нейронную сеть, где каждый нейрон является динамической системой, придавая тем самым сложную хаотическую динамику всей сети. Ключевой особенностью фреймворка резервуарных вычислений является неизменностью входных и рекуррентных весов сети. Полагаясь на сложные динамические процессы в рекуррентной сети, выход сети можно обучить линейным классификатором и, тем самым, решить поставленную задачу. Однако далеко не каждая структура сети будет оптимальной в рамках конкретной задачи, поэтому поиск оптимальной структуры является важным и не до конца решённым вопросом.

1 Спайковый резервуар

В качестве элементарной единицы спайкового резервуара рассматривается модель спайкового отклика (Spike Response Model, SRM) [5] с экспоненциальной активационной функцией, придавая тем самым динамике нейрона характер негомогенного пуассоновского процесса. Входные нейроны соединены прямыми возбуждающими связями с нейронами сети с варьируемой вероятностью P_{in} , а также рекуррентными возбуждающими связями,

исключая связи нейрона с самим собой, с вероятностью P_{rec} . Веса входных и рекуррентных возбуждающих связей распределены нормально со средними W_{in} , W_{out} , соответственно, и одинаковым для всех связей стандартным отклонением равным 0,1. Так же помимо возбуждающих связей, присутствуют тормозящие связи с аналогичными параметрами P_{in}^{inh} , P_{rec}^{inh} , W_{in}^{inh} , W_{rec}^{inh} .

2 Постановка задачи

Задача данного исследования заключается в поиске оптимального вычислительного резервуара с точки зрения его дискриминационных способностей. Расстояние между двумя негомогенными пуассоновскими процессами можно описать величиной

$$D_{ij} = \int (p_i(t) - p_j(t))^2 dt, \quad (1)$$

где $p_i(t)$, $p_j(t)$ – интенсивности i -ого и j -ого активностей нейронов, соответственно. Получив активности сети для M входных временных рядов, принадлежащим L различным классам, можно построить матрицу расстояний размера $M \times M$ между всеми ответами сети.

Оценку компонентов такой матрицы можно получить методом многомерного шкалирования, преобразовав каждый ответ в координаты x, y , уменьшив тем самым размерность до двух. Мера кластеризованности таких точек даст ответ о степени дискриминации между ответами сети для разных классов.

В качестве критерия оценки качества кластеризации оказался наиболее адекватным критерий Калинского-Харабаша [6], поскольку он поощряет кластеры с наименьшей дисперсией и с наибольшим расстоянием между ними, что вполне достаточно в данной задаче.

3 Эволюционный алгоритм

В качестве алгоритма для поиска оптимальной модели выбран метод эволюционной стратегии адаптации матрицы ковариаций (СМА-ES), так как он больше всего удовлетворяет стохастическому характеру фитнес-функции с большим числом локальных минимумов [7]. Пространство признаков ограничено отрезком $[0; 10]$ и начальным стандартным отклонением $\lambda = 2$. Во время запуска итерации, каждый признак масштабировался относительно минимального и максимального значения (таблицы 1, 2).

Таблица 1 - Параметры сети

Параметр	P_{in}	P_{rec}	W_{in}	W_{rec}	P_{in}^{inh}	P_{rec}^{inh}	W_{in}^{inh}	W_{rec}^{inh}
Старт. знач.	0,5	0,05	10,6	10,6	0,5	0,05	10,6	10,6
Минимум	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Максимум	1,0	1,0	100,0	100,0	1,0	1,0	100,0	100,0
Оптимальное	0,05	0,0	95,03	0,0	0,0	0,25	26,95	0,0

Таблица 2 - Параметры нейрона

Параметр	τ_a (мс)	q_a	τ_r (мс)	β	τ_{exc} (мс)	τ_{inh} (мс)
Старт. знач.	300,0	1,0	2,5	2,0	20,0	20,0
Минимум	10,0	0,0	1,0	0,1	1,0	1,0
Максимум	500,0	10,0	50,0	7,5	50,0	50,0
Оптимальное	10,0	1,80	1,0	0,7	7,91	25,46

4 Вычислительный эксперимент

В качестве входных данных взят набор данных Synthetic control из комплекта UCR [8], который состоит из 300 временных рядов шести разных классов длиной в 60 измерений. Временные ряды были конкатенированы в один временной ряд и нормализованы в диапазоне $[-1; 1]$.

Каждое измерение было преобразовано в короткий импульс (спайк) входного нейрона. Время спайка t_{sp} определялось значением $i\Delta$, где i – порядковый номер значения временного ряда и Δ – константа равная 1 мс. Индекс нейрона n_{sp} , который его производит, определяется индексом минимального значения величины $|v_i - R|$, где v_i – i -ое измерение временного ряда; R – вектор размера N , содержащий чувствительные зоны каждого входного нейрона в виде равномерно разделенного отрезка $[-1; 1]$.

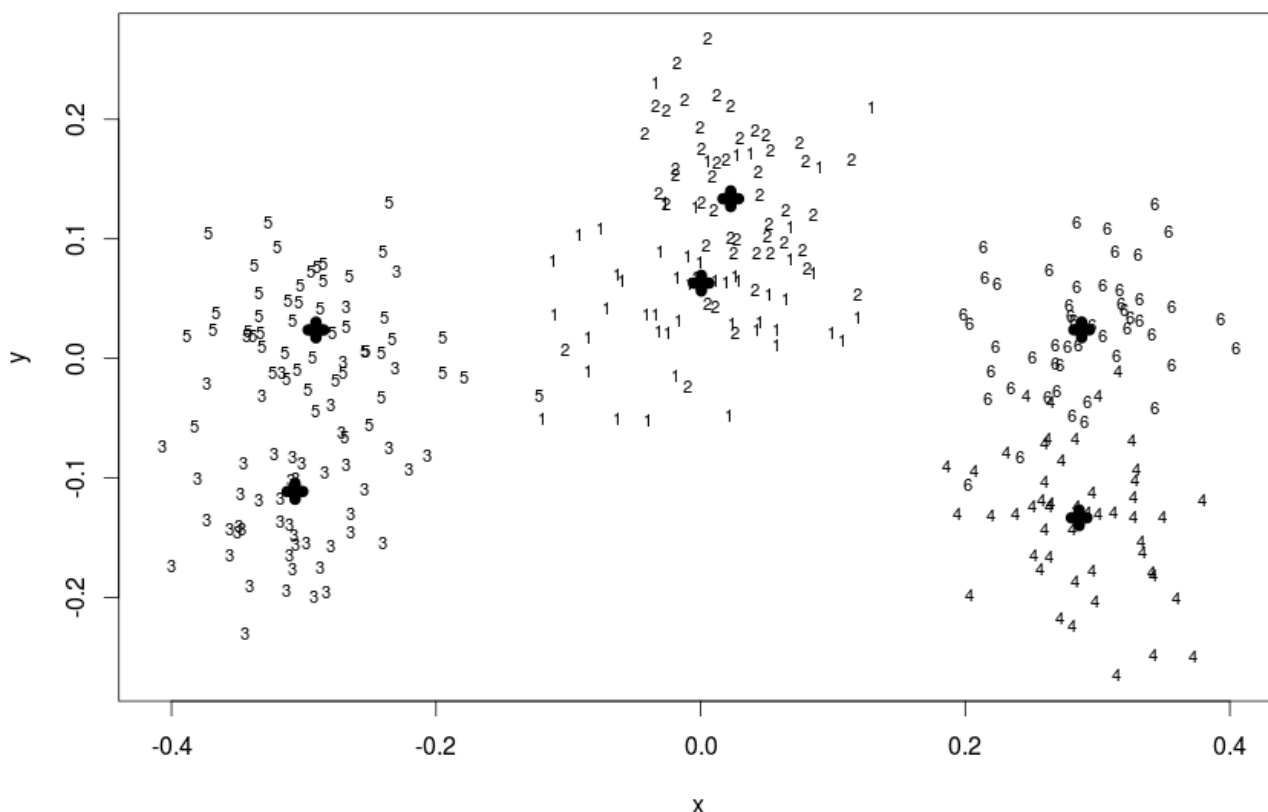


Рисунок 1 - Результат кластеризации. Номер точки соответствует классу временного ряда. Жирный крест – центр кластера.

Было произведено 538 популяций по 50 запусков в каждой, суммарная длительность симуляции составила 23 часа на современном ноутбуке.

5 Анализ результатов

На рисунке 1 показан итог кластеризации оптимальным вычислительным резервуаром найденный при помощи метода описанного выше. Не смотря на то, что первый и второй классы имеют небольшие пересечения, чётко видно разделение других классов между собой. Заменяв метрику (1) на обычное евклидово расстояние между исходными временными рядами (не показано), построение такой же кластеризации показало перемешивание классов 3-5, 1-2, 4-6 между собой. Таким образом, оптимальный резервуар показал лучшие дискриминантные свойства, чем базовый метод.

Интересными являются свойства сети, которые позволили ей получить такие результаты. Эволюционный алгоритм подобрал сеть с минимальными вероятностями любых связей в сети, кроме тормозящих рекуррентных связей. Рекуррентные тормозящие связи являются довольно распространённым феноменом в участках мозга, отвечающих за первичную обработку сенсорной информации. Не раз показывалось, что такие связи позволяют формировать так называемую сенсорную карту, которая позволяет выделить наиболее характерные признаки стимула.

Заключение

Резервуарные вычисления является молодой, но, в тоже время, интенсивно развиваемой областью исследования. Данная работа только приоткрывает весь потенциал, который кроется в сложной динамике спайковых нейронных сетей. Поиск оптимальной структуры резервуара является только одним из шагов к его раскрытию, и следующий шаг состоит в поиске алгоритма изменения весов синапсов таких сетей, которые позволят применить сеть в задачах машинного обучения для временных данных.

Литература

1. Lukoševičius M., Jaeger H. Reservoir computing approaches to recurrent neural network training // *Computer Science Review*. – 2009. – Vol. 3. – №. 3. – P. 127-149.
2. Lukoševičius M., Jaeger H., Schrauwen B. Reservoir computing trends // *KI-Künstliche Intelligenz*. – 2012. – Vol. 26. – №. 4. – P. 365-371.
3. Jaeger H. The “echo state” approach to analysing and training recurrent neural networks-with an erratum note // Bonn, Germany: German National Research Center for Information Technology GMD Technical Report. – 2001. – Vol. 148. – P. 34.
4. Maass W., Natschläger T., Markram H. Real-time computing without stable states: A new framework for neural computation based on perturbations // *Neural computation*. – 2002. – Vol. 14. – №. 11. – P. 2531-2560.
5. Gerstner W. Spike-response model // *Scholarpedia*. – 2008. – Vol. 3. – №. 12. – P. 1343.
6. Caliński T., Harabasz J. A dendrite method for cluster analysis // *Communications in Statistics-theory and Methods*. – 1974. – Vol. 3. – №. 1. – P. 1-27.
7. Hansen N., Müller S., Koumoutsakos P. Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (CMA-ES) // *Evolutionary Computation*. – 2003. – Vol. 11. – №. 1. – P. 1-18.
8. Keogh, E., Zhu, Q., Hu, B., Hao, Y., Xi, X., Wei, L. and Ratanamahatana, C. A. (2011). The UCR Time Series Classification/Clustering Homepage: www.cs.ucr.edu/~eamonn/time_series_data/.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Горелов Д.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Власов А.И.

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

ALGORITHMS OF AUTOMATIC NUMBER PLATE RECOGNITION VEHICLES

Gorelov D.V.

Supervisor: Ph.D, docent Vlasov A.I.

MSTU, IU4, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается обработка изображений с камер видеонаблюдения для определения номерного знака транспортного средства. Рассмотрена потребность в разработке системы для распознавания номерных знаков. Определены методы обработки изображения для получения номерного знака. Определен способ для эффективного применения путем использования алгоритмов на основе нейронных сетей.

Abstract

The article rassmatirvaetsya image processing with cameras to determine the license plate of the vehicle. Discussed the need to develop a system for recognizing license plates. Defined image processing techniques to obtain the license plate. Identify the methods for the effective application by using algorithms based on neural networks.

Введение

Повсеместное внедрение информационных технологий во все сферы современной жизни создает требование считать систему обработки изображений с камер видеонаблюдения с последующим распознаванием каких-либо его частей, например, номерного знака автомобиля, является неотъемлемым ресурсом информационной системы. Потому что отдельно взятая информационная система, без каких-либо данных не имеет значения, она так же должна уметь трансформировать информацию об изображении, содержащее необходимые данные, из реального мира в информационную систему. Распознавать номерной знак можно как с помощью специального человека, так и с помощью компьютерного оборудования, которое будет идентифицировать автомобили по их номерным знакам (государственным регистрационным знакам) и затем помещать эти данные в информационную систему [1].

Исходя из этого, могут применяться различные методы распознавания номерных знаков транспортного средства, в различных сферах жизни [1 – 2]. Автоматическое распознавание номеров широко применяется на предприятиях, которые ограничивают проезд на свою территорию. Во многих странах систему распознавания автомобильных номеров используют для контроля автомобильного движения. Передвижения каждого транспортного средства регистрируется в центральной базе данных и позволяет легко находить угнанные машины, а в час-пик помогает регулировать движение на загруженных городских магистралях.

1 Методы обработки изображений и распознавания их образов

Автомобильный номер это всего лишь черно-белое изображение, определяемое как функция $f(x,y)$, где x и y – это координаты точки внутри номера, а функция f определяется как яркость этой точки [3]. Поэтому имеется необходимость разрабатывать надежные математические алгоритмы, которые могли бы извлекать связанные данные из полученного изображения. Разработка системы обработки изображения, содержащего номер для

распознавания – это совокупность подзадач в области искусственного интеллекта, машинного зрения, распознавания образов и нейронных сетей.

Обработка изображения с камеры видеонаблюдения и последующее распознавание возможно с помощью различных методов. Наиболее распространенными методами распознавания изображений являются экстремально-корреляционные, статистические, структурно-лингвистические, геометрических инвариантов.

Идея экстремально-корреляционного решения сводится к вычислению корреляционной функции $K(x,y)$ исходного изображения $I(x,y)$ и изображения эталона $\mathcal{E}(x,y)$. Если в исходном изображении найдется фрагмент, идентичный $\mathcal{E}(x,y)$, то в этом месте $I(x,y)$ возникнет локальный экстремум. Все поле корреляционной функции подвергают высокочастотной фильтрации для подавления шумов, размытых пиков и пороговым методом выделяют положение эталонного объекта. Недостатками экстремально-корреляционного метода являются высокая чувствительность к несовпадению масштаба, ориентации, яркости и значительный объем вычислений. Последний недостаток преодолевают путем параллельных вычислений, достигая высокой скорости из-за потери универсальности вычислителя.

Статистические методы основываются на идее сходства некоторых статистических характеристик (математического ожидания, дисперсии, моментов высшего порядка, гистограмм) изображения эталона и их проявлений на анализируемом изображении. Такой подход пригоден для решения задачи распознавания после того, как объект обнаружен, что само по себе остается проблемой. Кроме того, метод анализирует лишь часть содержащейся на изображении информации, игнорируя такие важные характеристики, как форма и структура. Метод оперирует небольшим числом сравнительно просто вычисляемых признаков, что делает его пригодным в частных случаях [4 – 5].

Сущность структурных методов заключается в выделении намраспознаваемом и эталонном изображениях некоторых признаков и их связей, кодировании признаков и связей на формальном языке и решении задачи идентичности семантических образов эталона и анализируемого изображения. В качестве признаков, например, могут использоваться фрагменты контурной линии изображения объекта, такие как прямые и дуги определенных направлений. Описываемый подход инвариантен к масштабу, повороту, яркости, однако сам процесс извлечения признаков из изображения остается проблемным и обычно решается субъективным вмешательством.

Метод геометрических инвариантов оперирует такими признаками изображения, как площадь фигуры и площадь выпуклой оболочки, длина периметра, величины углов смежных контурных линий, и их соотношениями в различных сочетаниях. Для выделения этих признаков эталон и анализируемое изображение подвергают бинаризации [6 – 8]. Метод может быть применен только в частных случаях.

Все перечисленные методы объединяет общая идея сравнения эталонного и анализируемого изображений непосредственно или через вторичные признаки. Вне зависимости от метода качество сравнения в сильной степени зависит от идентичности условий освещения и наблюдения анализируемого и эталонного изображений.

2 Принципы определения зоны номерного знака

Обнаружение границ и ранговая фильтрация. Мы можем использовать периодическую функцию свертки f с определенными типами матриц для обнаружения различных типов границ в изображении:

$$f'(x,y) = f(x,y) \tilde{*} m[x,y] = \sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} f(x,y) m[\text{mod}_w(x-i), \text{mod}_h(y-j)], \quad (2.1)$$

где w и h – размеры изображения, представленные функцией f , $\tilde{*}$ – обозначает двумерную дискретную операцию свертки [9].

Матрица свертки.

Каждое действие над изображением (или фильтрование изображения) определяется матрицей свертки. Матрица свертки определяет как конкретный пиксель зависит от соседних пикселей в процессе свертки. Отдельные ячейки в матрице представляют соседей, связанных с пикселями, находящимися в центре матрицы. Пиксель представлен ячейкой y (см. рисунок 2.1) в целевом изображении, и она зависит от пикселей $x_0...x_8$ исходя из следующей формулы [1]:

$$y = x_0 m_0 + x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + x_4 m_4 + \dots + x_8 m_8 \quad (2.2)$$

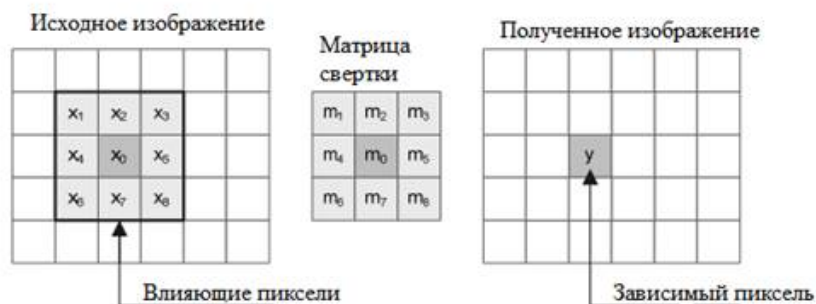


Рисунок 2.1 – Пиксель зависит от своих соседей на основе матрицы свертки

Обнаружение горизонтальных и вертикальных границ. Для определения горизонтальных и вертикальных границ, можно свернуть исходное изображения с помощью матриц m_{he} и m_{ve} . Матрицы свертки, как правило, гораздо меньше, чем само изображение. Кроме того, мы можем использовать большие матрицы для обнаружения грубых краев:

$$m_{he} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; m_{ve} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.3)$$

Обнаружение границ с помощью оператора Собеля. Оператор использует матрицы 3×3 , с которыми сворачивают исходное изображение для вычисления приближенных значений производных по горизонтали и по вертикали. Пусть A исходное изображение, а G_x и G_y – два изображения, где каждая точка содержит приближенные производные по x и по y . Они вычисляются следующим образом:

$$G_x = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}; G_y = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

В каждой точке изображения приближенное значение величины градиента можно вычислить, используя полученные приближенные значения производных:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (2.5)$$

На практике, скорее рассчитать только приблизительно величины:

$$|G| = |G_x| + |G_y|. \quad (2.6)$$

Горизонтально и вертикально ориентированные ранговые фильтры.

Горизонтально и вертикально ориентированные ранговые фильтры часто используются для выявления кластеров с высокой плотностью ярких краев в области номерного знака. Ширина матрицы горизонтально ориентированного рангового фильтра гораздо больше, чем высота матрицы ($w \ll h$), и наоборот, для вертикального рангового фильтра ($w \gg h$). Для сохранения глобальной интенсивности изображения, необходимо, чтобы каждый пиксель будет заменен пикселем со средней интенсивностью в области, указанном в матрице рангового фильтра. В общем, матрица свертки должна удовлетворять следующим условиям:

$$\sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} m_{hr}[i, j] = 1, 0. \quad (2.7)$$

где w и h – размеры матрицы.

Горизонтальные и вертикальные проекции изображения. После серии операций свертки, мы можем обнаружить области номерного знака в соответствии со статистикой снимка. Существуют различные методы статистического анализа. Одним из них является горизонтальная и вертикальная проекции изображения на оси x и y . Вертикальная проекция изображения графа представляет собой общую величину изображения по оси y [10 – 11].

Если вычислить вертикальную проекцию изображения после применения фильтра вертикального обнаружения границы, то величина определенного момента представляет появление вертикальных границ в этой точке. Затем вертикальная проекция так измененного изображения может быть использована для вертикальной локализации номерного знака. Горизонтальная проекция представляет собой общую величину изображения, отображающегося на оси x .

Эвристический анализ и приоритетным выбором номерного знака кандидатов. В целом, захваченные снимки могут содержать несколько кандидатов на номерной знак. Из-за этого, алгоритм обнаружения всегда обрезает несколько полос, и несколько знаков с каждой полосой. Существует заданное значение максимального количества кандидатов, которые определяются на основе анализа прогнозов.

Есть несколько эвристических способов, которые используются для определения стоимости отобранных кандидатов в соответствии с их свойствами. Эти способы были выбраны специально во время практических экспериментов. Логика определения кандидатов сортирует в соответствии с их стоимостью от самых подходящих до наименее подходящих. Затем наиболее подходящих кандидатов анализируют более глубоким эвристическим способом. Более глубокий анализ определенно принимает или отклоняет кандидатуру. Поскольку существует необходимость анализа отдельных символов, этот тип анализа потребляет большое количество процессорного времени. Учитывая, возможности современных методов распараллеливания вычислений, данную операцию можно оптимизировать, используя параллельные вычисления.

Основная концепция анализа состоит из следующих шагов:

- 1) Обнаружение возможных кандидатов на номерной знак.
- 2) Сортировать их по их стоимости (определяется основным эвристическим способом).
- 3) Сокращение первого знака из списка с лучшей ценой.
- 4) Сегментировать и проанализировать его более глубоким анализом (емкая по времени операция).
- 5) Если глубокий анализ отказывается от данного варианта знака, вернуться к шагу 3.

3 Принципы сегментации зоны номерного знака

Следующим шагом после выявления области номерного знака является сегментация знака. Сегментация является одним из самых важных процессов в автоматическом распознавании номерных знаков, потому что все дальнейшие шаги зависят от нее. Если сегментация не удастся, символ знака может быть неправильно разделен на две части, или два символа могут быть неправильно объединены вместе. Можно использовать горизонтальную проекцию номерных знаков для сегментации, или один из более сложных методов, такой как сегментация, с помощью нейронных сетей. Если мы предположим, что известна только одна строка знака, то сегментация выльется в процесс поиска горизонтальных границ между символами. На втором этапе сегментации производится расширение сегментов. Сегмент знака содержит, помимо символа и нежелательных элементов, таких как точки и растянутые области, а также как избыточные пространства по

бокам символа. Существует необходимость устранения этих элементов, и извлечь только сам символ [2].

Цель алгоритма сегментации является поиск пиковых значений, соответствующих пространствам между символами. Сначала необходимо определить несколько важных значений в графике горизонтальной проекции $p_x(x)$:

v_m – максимальное значение, содержащиеся в горизонтальной проекции $p_x(x)$, например, $v_m = \max\{p_x(x)\}$, $0 < x < w$, где w – ширина знака в пикселях,

v_a – среднее значение горизонтальной проекции:

$$v_a = \frac{1}{w} \sum_{x=0}^{w-1} p_x(x),$$

v_b – базовое значение для определения пиковой высоты, вычисляется как

$$v_b = 2v_a - v_m.$$

Алгоритм сегментации многократно находит максимальный пик на графике вертикальной проекции. Пик рассматривается как пространство между символами, если он отвечает некоторым дополнительным условиям, таким как высота пика. Затем алгоритм обнуляет пик и многократно повторяет этот процесс, пока не будет места для поиска.

4 Извлечение признаков и нормализации символов

Распознать символ из растрового представления, необходимо извлечь дескрипторы такого изображения. Метода извлечения существенно влияет на качество целого процесса оптического распознавания, очень важно, чтобы извлечь признаки, которые будут инвариантны к различным условиям освещения используемого шрифта и деформации символов вызванного перекосом изображения. На первом этапе нормализации яркость и контрастность изображения обрабатываются посегментно. Символы, содержащиеся в сегментах изображения, должны быть изменены на единый размер (второй этап). После этого алгоритм извлечения признаков извлекает соответствующие дескрипторы из нормированных символов (третий шаг) [12].

5 Распознавание символов

Выделив признаки символов, теперь их необходимо распознать. Цель методов распознавания состоит в получении вектора характеристик (так называемый шаблон), который всесторонне описывает символы, содержащейся в обрабатываемом растровом изображении [3]. Существуют разные методы распознавания, такие как нейронные сети, которые могут классифицировать модели в соответствующих классах. Символ может быть классифицирован и распознан с помощью алгоритма «simple nearest neighbor algorithm» применяемый к вектору извлеченных характеристик, или возможно использовать один из методов «умной» классификации, таких как feed-forward или нейронные сети Хопфилда [13 – 14]. Так же необходимо проводить дополнительный эвристический анализ, который используется для устранения с номеров элементов, не являющихся символами алфавита. Иногда процесс распознавания может не работать, или результаты распознавания могут содержать ошибки. Некоторые такие проблемы могут быть устранены проверкой синтаксиса распознанных номеров. Если мы имеем набор правил, по которым формируются автомобильные номера в определенной стране, то возможно провести реконструкцию дефектных номеров.

Заключение

В статье были рассмотрены возможные методы обработки изображения, содержащие в себе номерной знак транспортного средства. Обработанное изображение используется для распознавания символов номерного знака, в свое время распознавание может быть осуществлено различными алгоритмами, основанных на нейронной сети.

Литература

1. Ondrej Martinsky Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems [Текст] / B.Sc. Thesis. – Brno University of technology, faculty of information technology, department of intelligent systems, 2007. – 76 с.
2. Tran Duc Duan, Tran Le Hong Du, Tran Vinh Phuoc, Nguyen Viet Hoang “Building an Automatic Vehicle License-Plate Recognition System“, Febraury, 2005.
3. Иванов В.П., Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика [Текст] / Под ред. Г.М. Полищука. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.
4. Балухто А.Н., Бурый Е.В., Власов А.И. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений: Кн.7 / под ред. Галушкина А.И., Гуляева Ю.В. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
5. Буянов А.А., Власов А.И., Макеев С.С. Исследование нейросетевых алгоритмов, применяемых для распознавания образов // 2-ая Межд. Конф. СНГ «Молодые ученые – науке, технологиям и профобразованию для устойчивого развития: проблемы и новые решения». – Москва, октябрь, 2000. Часть 2, 3. 22 – 25 с.
6. Саймон Хайкин. Нейронные сети. Полный курс. – М.: Вильямс, 2005. – 1104 с.
7. Местецкий Л.М., Математические методы распознавания образов: Курс лекций. МГУ, ВМиК, кафедра «Математические методы прогнозирования», 2002 – 2004.
8. Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А., Кузнецов А.С. Нейрокомпьютеры: Архитектура и схемотехника // ChipNews, 2011. – №1. – 18-21 с.
9. Абрамов Е.С. Моделирование систем распознавания изображений: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01 СПб., 2006 – 140 с.
10. Демин А. А. Обзор интеллектуальных систем для оценки каллиграфии. Электронный научно – технический журнал «Инженерный Вестник», изд-во ФГБОУ ВПО МГТУ им Н.Э. Баумана, 2012.
11. Мищенко В.А., Модели и алгоритмы распознавания графических образов на основе нейронных сетей [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Мищенко Вадим Анатольевич; Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2013.
12. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания Москва Высшая школа, 1984. – 208 с.
13. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978 – 414 с.
14. Власов А. И. Конспект лекций по курсу «Системы искусственного интеллекта».

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КОМПЛЕКТОВАНИЯ ЗАКАЗОВ НА ОДНО- И ДВУХБЛОЧНЫХ СКЛАДАХ

Коробков Е. В.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф., Карпенко А. П.

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

COMPARISON OF THE ROUTING HEURISTICS EFFICIENCY OF THE ORDER- PICKING PROBLEM IN CASE OF ONE- AND TWO-BLOCK WAREHOUSES

Korobkov E. V.

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

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются эвристические методы маршрутизации процесса комплектования заказов на одно- и двухблочных складах. Подробно исследовано восемь эвристик маршрутизации в сравнении с оптимальным решением. Кратко представлено описание двух комбинированных эвристик. В заключении представлены рекомендации по выбору оптимальной эвристики для различных конфигураций складов.

Abstract

The article discusses routing heuristics of the order-picking problem for one- and two-block warehouses. Eight heuristics are studied in comparison with the optimal solution. Two combined heuristics are briefly discussed. In conclusion, the paper presents recommendations on choosing the optimal heuristics for different warehouse layouts.

Введение

Процесс комплектования заказов включает в себя поиск и извлечение товаров из ячеек хранения с целью удовлетворения потребительских заказов, и может достигать от 55% [1] до 70% [2] от всех трудозатрат на складе. Целью методов маршрутизации является определение последовательности сборки (извлечения) товаров из ячеек хранения для обеспечения оптимального маршрута передвижения по складу.

Оптимальная планировка склада представлена на рисунке 1. Поперечные проходы используются для перехода между сборочными — содержащими сборочные ячейки, т.е. ячейки, которые необходимо посетить для удовлетворения потребительского заказа. Склад, состоящий из двух поперечных проходов, является одноблочным, из трех — двухблочным, и т.д. Сборочные проходы на многоблочных складах делятся поперечными проходами на n под-проходов, где n — число блоков.

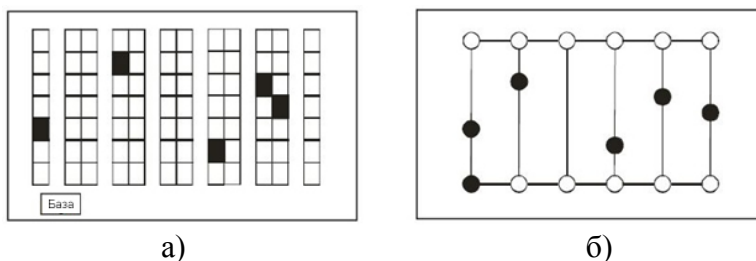


Рисунок 1

а) Типовое задание на сборку на складе с оптимальной планировкой

б) его представление в виде графа

Задача маршрутизации сборщиков заказов на складе является частным случаем задачи коммивояжера [3]. Сборщик заказов стартует из зоны приемки/отгрузки (базы), где получает задание на сборку (сборочный лист); ему необходимо посетить некоторое количество ячеек хранения для извлечения из них требуемого количества товара, и вернуться обратно на базу,

причем за минимальное время. Подразумевается, что расстояния между всеми вершинами графа-представления известны, а также возможно собрать весь заказ за один обход склада.

Оптимальный алгоритм решения имеет полиномиальную сложность в зависимости от числа проходов и размера потребительского заказа. На практике используются эвристические методы [4].

1 Эвристические методы маршрутизации процесса комплектования заказов

Простейшей эвристикой маршрутизации является *S-образная эвристика*, или *эвристика пересечений*. Она подразумевает, что каждый под-проход, содержащий хотя бы одну сборочную ячейку, пересекается полностью.

При использовании *эвристики с возвратами* сборщик заказов заходит в под-проход и выходит из него, используя один поперечный проход, за исключением случая перехода из одного блока в другой.

Серединная эвристика разбивает каждый блок на два под-блока, при этом доступ к данным под-блокам осуществляется через разные (ближайшие к под-блоку) поперечные проходы, окаймляющие блок. Переход из блока в блок осуществляется аналогично методу с возвратами.

Эвристика захождения на наибольший интервал схожа с серединной, за исключением того, что сборщик заказов может заходить в под-проход на расстояние, определяемое наибольшим интервалом на граф-представлении данного под-прохода.

При использовании *последовательной эвристики* [5], сборщик заказов будет обходить склад проход за проходом, стараясь минимизировать расстояние, преодолеваемое вдоль каждого из проходов. Для определения поперечного прохода, с помощью которого будет осуществлен переход от одного сборочного прохода к другому, используется динамическое программирование.

Составная эвристика [6] сочетает в себе преимущества S-образной эвристики и эвристики с возвратами. Для каждого под-прохода определяется наилучший способ его преодоления — пересечение целиком или заход с возвратом.

Комбинированная эвристика [7] аналогична составной, однако для определения наилучшего способа преодоления прохода используется динамическое программирование.

Модифицированная комбинированная эвристика [7] достигает улучшения результатов за счет задания пары ограничений на движение сборщика заказов. Во-первых, при движении к наиболее удаленному (от базы) блоку склада, ему разрешается двигаться не строго через первый сборочный проход. Во-вторых, при движении по наиболее близкому блоку, ему разрешается движение только по направлению к базе, за исключением первой итерации.

2 Сравнение эффективности эвристических методов маршрутизации

В работе выполнено сравнение эвристических методов маршрутизации с оптимальным решением для различных конфигураций складов. В докладе представлены результаты, полученные при исследованиях.

Моделирование проводилось с помощью веб-приложения Interactive Warehouse [8], выбор которого обусловлен широкими возможностями по моделированию складских планировок и маршрутов сборщиков.

Варьировались следующие параметры планировки склада: а) число блоков (1; 2); б) число сборочных проходов (7; 15); в) число ячеек в под-проходах (6; 12); г) расположение базы (в углу или в середине поперечного прохода); а также размер заказа (10; 30 строк). Итого было рассмотрено $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ конфигураций, каждая по 10 прогонов для каждого из методов.

Получены зависимости преодолеваемого сборщиком заказов расстояния от числа блоков, сборочных проходов, ячеек в под-проходах, расположения базы, размера потребительского заказа, а также среднее отклонение от оптимального решения (Рисунок 2).

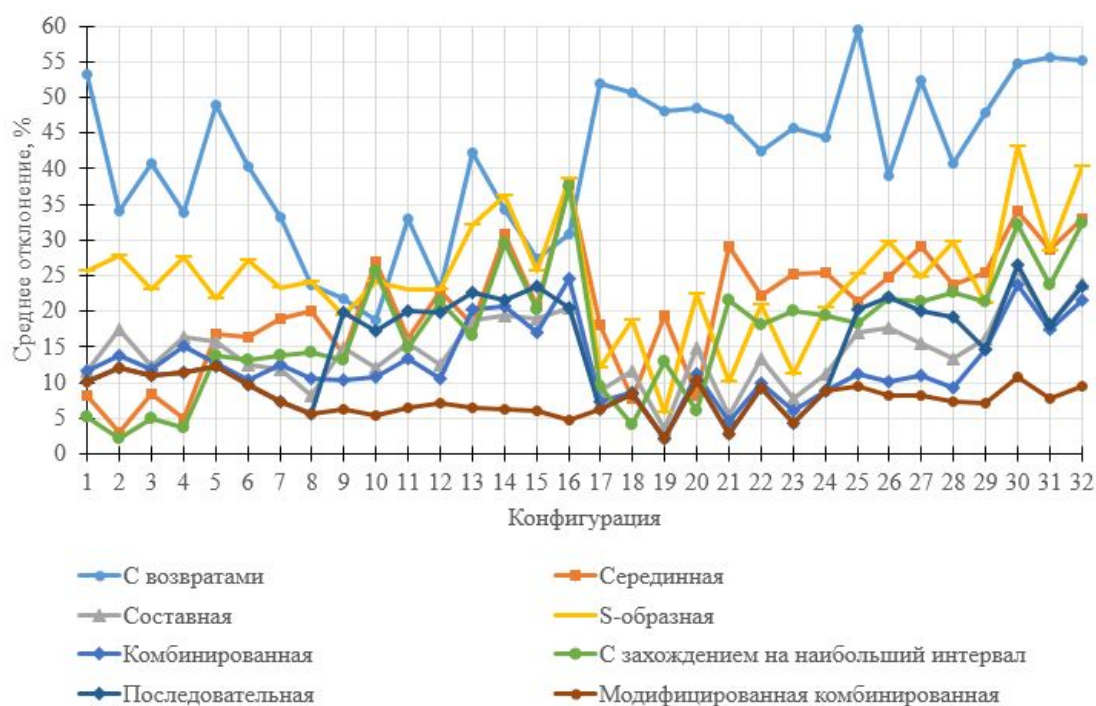


Рисунок 2 - Среднее отклонение от оптимального решения на 10 прогонах

Заключение

Среди эвристических методов маршрутизации сборщиков заказов на одно- и двухблочных складах наиболее близкие к оптимальным результаты показывают комбинированная и модифицированная комбинированная эвристика. Для отдельных случаев планировок складов также могут быть использованы последовательная эвристика (большие заказы на складах с базой в середине поперечного прохода) и эвристика с захождением на наибольший промежуток (небольшие заказы с базой в углу поперечного прохода).

В дальнейших исследованиях планируется определить результаты использования эвристик на складах с количеством блоков, большим двух, а также оценить результаты на логичность и простоту для сборщиков заказов.

Литература

1. Bartholdi III, J. J., Hackman, S. T. Warehouse and Distribution Science Release 0.94. Atlanta, GA: The Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, 2011. PP. 1–300.
2. Nave, M. Einführung und Grundlagen / Pulverich, M., Schietinger, J. Handbuch Kommissionierung: Effizient Picken und Packen. München: Verlag Heinrich Vogel, 2009. PP. 16–29.
3. Ratliff, H. D., Rosenthal, A. S. Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem // Operations Research, Vol. 31 (3), 1983. PP. 507–521.
4. Gademann, N., Velde S. Order Batching to Minimize Total Travel Time in a Parallel-Aisle Warehouse // IIE Transactions, Vol. 37 (1), 2005. PP. 63–75.
5. Vaughan, T. S. The Effect of Warehouse Cross Aisles on Order Picking Efficiency // International Journal of Production Research, Vol. 37 (4), 1999. PP. 881–897.
6. Petersen II, C. G. An Evaluation of Order Picking Routeing Policies // International Journal of Operations and Production Management, Vol. 17 (11), 1997. PP. 1098–1111.
7. Roodbergen, K. J., de Koster, R. Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles // International Journal of Production Research, Vol. 39 (9), 2007. PP. 1865–1883.
8. Interactive Warehouse. Date Views 08.01.2015. www.roodbergen.com/warehouse/.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕГМЕНТОВ ПОЗВОНОЧНИКА LI-LV МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Краева А.В.

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

MATHEMATICAL MODELLING OF SPINE SEGMENTS LI-LV BY FINITE ELEMENT METHOD

Kraeva A.V.

Supervisor: Ph.D. Zhuk D.M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы разработки сегмента позвоночного столба при помощи метода конечных элементов. Подробно исследованы особенности создания конечно-элементной модели сегмента позвоночника. Кратко представлено строение позвоночника.

Abstract

In article considers the questions of working out of spine segments by means of finite element method. In it is in detail especially the creation of the finite element model of the spine segment. Briefly presented the structure of the spine.

Введение

Современная медицина является экспериментальной наукой, способной констатировать факты и рекомендовать средства для ослабления патологических процессов [1]. Множество проблем в ортопедии и травматологии, связанных с восстановлением травматических структур позвоночника, свидетельствуют о недостатке необходимой информации о состоянии позвоночника в норме, при различных травмах и реконструкциях.

В настоящее время наиболее достоверным и научно-обоснованным методом изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) в области биомеханики позвоночника является метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ в полной мере позволяет построить биометрическую модель, наиболее близко приближенную к реальной анатомии костных структур, а также учесть их различные механические свойства и задать сложную пространственную систему нагрузок. Данная биомеханическая модель широко используется в выборе оптимальной фиксирующей конструкции, вариантов их крепления к позвоночному столбу, расчетах прочностных характеристик, кинематическом анализе и т.д..

Биомеханические исследования позвоночника необходимы для:

- 1) анализа состояния позвоночника в норме, при нестандартных нагрузках и патологических изменениях;
- 2) выбора обоснованного метода коррекции;
- 3) разработки новых методов коррекции;
- 4) разработки конструкций имплантатов.

Для количественно достоверных оценок НДС конкретного случая необходимо выполнить построение геометрической модели по результатам рентгенограммы или томографии и рассматривать наиболее реальные возможные нагрузки на определенный фрагмент позвоночника.

Цель данной работы – ознакомление с принципом построения конечно-элементной модели сегмента позвоночного столба.

1 Строение и функция позвоночника

Позвоночник или Позвоночный столб (columna vertebralis) – основная часть осевого скелета человека. Позвоночный столб имеет S-образную форму и по своему строению напоминает скорее пружину, нежели однородный стержень. Состоит из 33-34 позвонков, соединенных между собой хрящами, суставами и связками.

По строению позвонков и характеру сочленяющихся с ними элементов позвоночника разделяют на отделы (шейный (C1-C7), грудной (T1-T12), поясничный (L1-L5), крестцовый (S1-S5) и копчиковый (Co1-Co5)) (рисунок 1).

Существуют два вида изгиба позвоночника: лордоз и кифоз. Лордоз – это те части позвоночника, которые вогнуты вперед – шейный и поясничный. Кифоз – это те части позвоночника, которые выгнуты назад – грудной и крестцовый. Изгибы позвоночника способствуют сохранению человеком равновесия.

ПОЗВОНОЧНИК (ПОЗВОНОЧНЫЙ СТОЛБ)

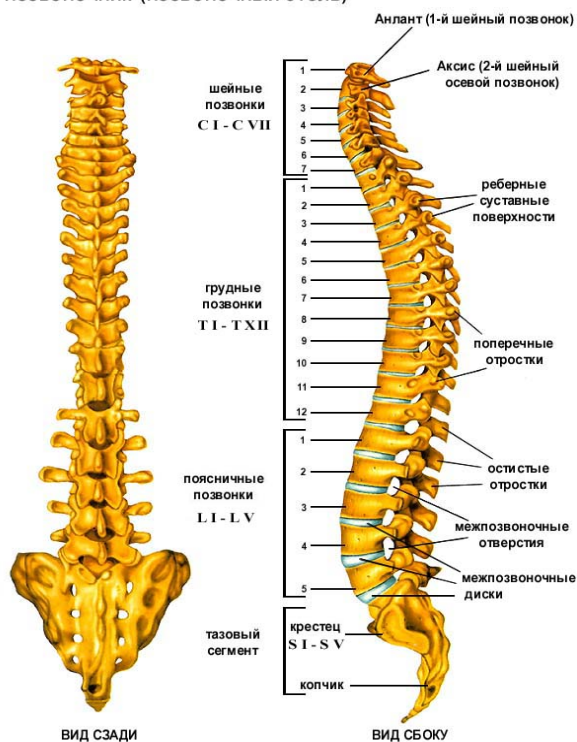


Рисунок 1 - Позвоночный столб человека

Функции позвоночника: 1) поддерживает голову и придает жесткость скелету; 2) поддерживает тело в вертикальном положении; 3) защищает спинной мозг, в котором проходят нервы; 4) служит местом прикрепления мышц и ребер; 5) амортизируют толчки и удары; 6) позволяет телу выполнять разнообразные движения.

2 Разработка конечно-элементной модели сегмента позвоночника LI-LV

При моделировании структур позвоночника ведущее место занимает интегральный компьютерный метод, позволяющий анализировать состояние структур биологических объектов в норме, патологии и при коррекции. Метод представляет собой симбиоз биомеханического компьютерного моделирования и анализа биологических структур по данным клинических (томографического, ангиографического, эхографического) исследований.

Сложность геометрических форм структур позвоночника, неоднородность и анизотропия их конструктивных механических свойств предопределили построение математических моделей в рамках механики трехмерного тела и параметрических моделей,

построенных в конечно-элементных пакетах CosmosWorks, NASTRAN, COMSOL, ANSYS, интегрированных в CAD-систему Solid Works.

В конечно-элементных моделях позвоночника учитывается структура позвоночника [2]. Каждый компонент разбивается на большое количество деформируемых элементов, которые находятся в контакте друг с другом.

В методе конечных элементов могут рассматриваться любой тип геометрии, нагрузки, поведения материалов и граничные данные состояния. Таким образом, метод конечных элементов позволяет дать подробное описание механики структуры.

В данной работе мы будем рассматривать поясничный отдел позвоночника и анализ конечно-элементной модели для этого отдела.

В медицине наиболее популярные методы позволяющие распознать 3D модель живого организма, основаны на компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) [3]. Компьютерная томография – современный рентгеновский метод получения послойного изображения органов и тканей. КТ позвоночника позволяет увидеть детальное изображение позвонков, их отростков, межпозвонковых дисков, связок и спинного мозга.



Рисунок 2 - КТ поясничного отдела позвоночника



Рисунок 3 - 3D модель поясничного отдела позвоночника (L1-L5)

Геометрия позвоночника подразделяется на маленькие участки (элементы). Расчетные величины включают в себя локальные деформации, реагирующие на приложенные нагрузки.

Первым шагом при создании конечно-элементной модели является получение сетчатой модели (построение сетки конечных элементов). Сетчатые модели получаются из стереорентгенографии или КТ. Модели, полученные КТ-сканирование или МРТ, как правило, требуют сегментации.

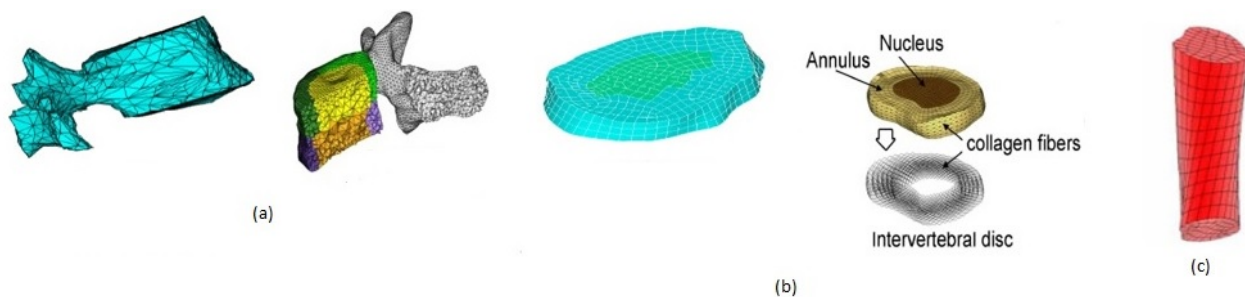


Рисунок 4 - Сетчатая модель (a) позвонка L1 и позвонок в разрезе; (b) межпозвонкового диска; (c) спинного диска

Вторым шагом является определение свойств материала. При выборе материала следует учитывать некоторые параметры такие, как модуль продольной упругости и коэффициенты Пуассона. Костная ткань позвоночника очень неоднородна по своей структуре и его свойства меняются в зависимости от места в позвонке. Таблица свойств материала для позвонков L1-L5 приведена в работе [3].

Пульпозное ядро часто рассматривают как идеально упругий материал для наиболее эластичнее конечно-элементной модели, однако, последние результаты показали, что пульпозное ядро ведет себя, как вязкоупругий материал с краткосрочной реакцией. Параметр материала краткосрочной нормированной релаксации это модуль сдвига.

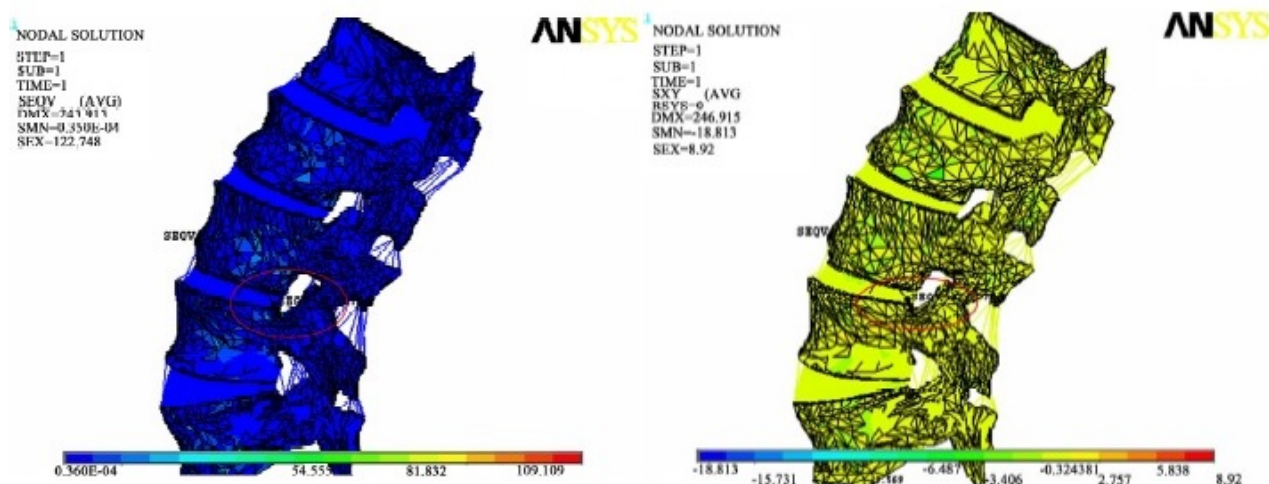


Рисунок 5 - Результаты изгиба в программе ANSYS

Третьим шагом является учет граничных условий. В данном случае под граничными условиями понимаем различные виды нагрузки. Для того чтобы проанализировать как определенная нагрузка будет влиять на позвонки мы применяем одну из программ конечно-элементного анализа (см. Рисунок 5).

Заключение

В данной работе был рассмотрен принцип построения конечно-элементной модели сегмента позвоночника. В дальнейшем по построенной конечно-элементной модели поясничного отдела позвоночника можно будет проводить биомеханический анализ состояния структур позвоночника пациента при различных травмах и предоперационном прогнозировании результатов хирургических операций на позвоночнике.

Литература

1. Marko de Jager, Mathematical modelling of the human cervical spine: a survey of the literature, Technische Universiteit Eindhoven, 1993, pp. 53.
2. Fafa Ben-Hatira, Kaouthar Saidane, Abdelfatah Mrabet, A finite element modeling of the human lumbar unit including the spinal cord, Journal of Biomedical Science and Engineering, 2012, Vol. 5, pp. 146-152.
3. Tomas Lodygowski, Witold Kakol, Marcin Wierszycki, Three-dimensional nonlinear finite element model of the human lumbar spine segment, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 7, No. 2, 2005, pp. 29-37.
4. [Lalonde, N.M.](#), [Petit, Y.](#), [Aubin, C.](#), [Wagnac, E.](#), [Arnoux, P.](#), Method to geometrically personalize a detailed finite element model of the spine, Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2009. CVPR Workshops 2009, 2009, pp. 47 – 54.
5. [J.L. Wang](#), [M. Parnianpour](#), [A. Shirazi-Adl](#), [A.E. Engin](#), [S. Li](#), [A. Patwardhan](#), Development and validation of a viscoelastic finite element model of an L2/L3 motion segment, [Theoretical and Applied Fracture Mechanics](#), Volume 28, Issue 1, 1997, pp. 81–93.

ОСОБЕННОСТИ ТАРИРОВАНИЯ ЗАРЕЗОНАНСНЫХ БАЛАНСИРОВОЧНЫХ СТАНКОВ

Кузнецов В.С.

Научные руководители: к.т.н. Камалдинов А.М.,

д.ф-м.н., профессор Карпенко А.П.

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

SOME FEATURES OF ABOVE RESONANCE BALANCING MACHINES CALIBRATION PROCESS

Kuznetsov V.S.

Supervisors: Dr. Kamaldinov A.M., Dr., Prof. Karpenko A.P.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Настоящий материал относится к вопросу динамической балансировки жестких роторов и, более конкретно – к способам разделения плоскостей коррекции ротора и обеспечению точности балансировки на зарезонансных балансировочных станках. Рассмотрены применяемые на практике способы разделения плоскостей коррекции и соответствующие методики тарирования балансировочных станков, а также подходы к автоматизации процесса определения дисбалансов.

Abstract

The present subject relates to a dynamic balancing of rigid rotors, and in particular to plane separation methods and methods for providing accuracy of above resonance balancing process. The author describes concisely applied plane separation methods, balancing machine calibration methods and some ways for balancing process automation.

Введение

Известно, что при двухплоскостной динамической балансировке неуравновешенность жесткого ротора полностью определяется двумя векторами дисбалансов, в общем случае неравными и разнонаправленными, лежащими в двух разных плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Чаще всего, векторы дисбалансов приводят к плоскостям коррекции ротора. Для осуществления высокоточной двухплоскостной балансировки применяется оборудование зарезонансного типа (рисунок 1).

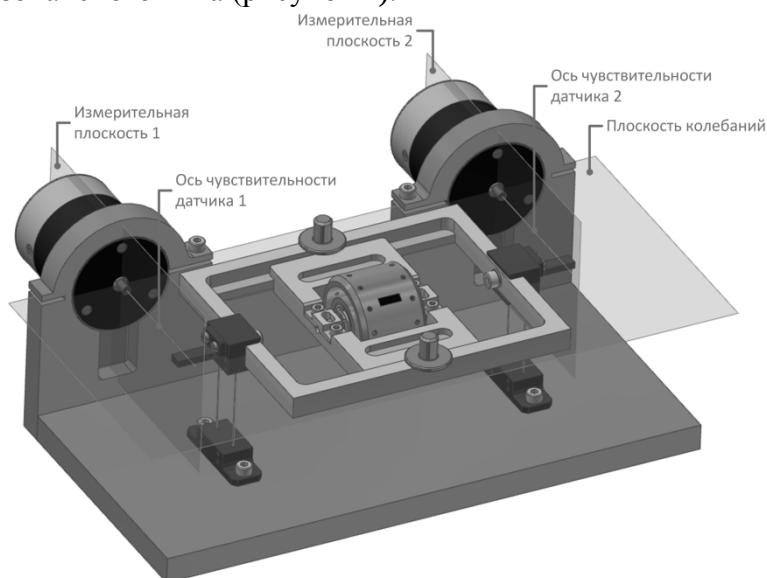


Рисунок 1 – Механическая часть зарезонансного балансировочного станка

Балансируемый ротор устанавливается на опоры подвеса, обеспечивающего не менее двух степеней свободы, и приводится во вращение. Вследствие неуравновешенного состояния ротора, в горизонтальной плоскости станка возникают вибрации, носящие колебательный характер. Измерение параметров вибраций выполняется одновременно в двух плоскостях. Соотношения между дисбалансами ротора и вибрациями в измерительных плоскостях, как правило, выражаются при помощи коэффициентов разделения плоскостей коррекции. Значения коэффициентов определяются при тарировании балансировочного станка.

В зависимости от типа используемых коэффициентов и способов разделения плоскостей коррекции, а также степени автоматизации балансировочного оборудования, применяются методики тарирования, обладающие различными особенностями.

1 Разделение плоскостей коррекции на аналоговых электрических схемах

До конца 80-х годов прошлого столетия автоматизация процесса разделения плоскостей коррекции резонансных балансировочных станков осуществлялась, преимущественно, с использованием аналоговых электрических схем, среди которых наибольшее распространение получили схемы на базе операционных усилителей. Благодаря простоте, высокой степени надежности и ремонтпригодности некоторые образцы балансировочной техники, использующие аналоговые схемы разделения плоскостей коррекции, по настоящий день находятся в рабочей эксплуатации, в частности, на предприятиях гироскопического производства аэрокосмической отрасли.

Для измерения вибраций в балансировочных станках часто применялись датчики перемещения с выходом по напряжению (например, емкостного типа). При разработке схем разделения плоскостей коррекции, как правило, предполагалось, что влияние упругости подвеса на измеряемый сигнал пренебрежимо мало и выходные напряжения прямо пропорциональны перемещениям опор [2].

Пусть U_1 и U_2 – напряжения на выходах датчиков перемещения в двух измерительных плоскостях балансировочного станка, а D_1 и D_2 – проекции дисбалансов ротора на горизонтальную плоскость. Известно, что в случае принятия вышеуказанных допущений, справедливыми становятся зависимости [1, 2]

$$D_1 = K_{11}U_1 + K_{12}U_2, \quad (1)$$

$$D_2 = K_{21}U_1 + K_{22}U_2, \quad (2)$$

где $K_{11} \dots K_{22}$ – коэффициенты разделения плоскостей коррекции.

Приведенные выражения являются базовыми для построения простейших аналоговых схем разделения плоскостей коррекции [2].

Для схемы, представленной на рисунке 2, зависимость выходных напряжений U_I , U_{II} от входных U_1 и U_2 можно выразить соотношениями

$$U_I = -\frac{R_5}{R_3} U_{R1} = \frac{R_5}{R_3} \left[\frac{R_a}{R_1} U_1 + \frac{R_1 - R_a}{R_1} U_2 \right] = \frac{R_5 R_a}{R_1 R_3} U_1 + \frac{R_5 (R_1 - R_a)}{R_1 R_3} U_2, \quad (3)$$

$$U_{II} = -\frac{R_6}{R_4} U_{R2} = \frac{R_6}{R_4} \left[\frac{R_b}{R_2} U_1 + \frac{R_2 - R_b}{R_2} U_2 \right] = \frac{R_6 R_b}{R_2 R_4} U_1 + \frac{R_6 (R_2 - R_b)}{R_2 R_4} U_2, \quad (4)$$

где значения величин R_a , R_b определяются положением ручек потенциометров R_1 , R_2 , причем $R_a = 0 \dots R_1$, $R_b = 0 \dots R_2$.

Сопоставив зависимости (1)–(3) и (2)–(4) заметим, что при определенном соотношении сопротивлений, напряжения U_I , U_{II} будут численно равны дисбалансам D_1 , D_2 .

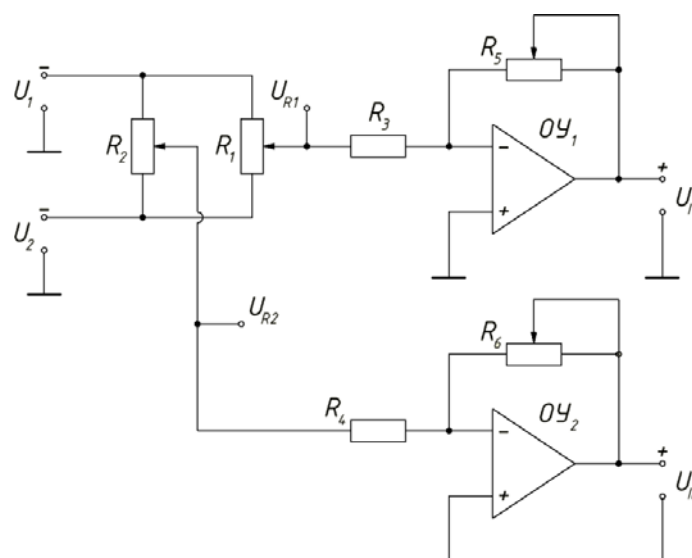


Рисунок 2 – Аналоговая схема разделения плоскостей коррекции

Во время тарирования балансировочного станка, оснащенного подобной схемой разделения плоскостей коррекции, регулировка выходных сигналов осуществляется путем подстройки резисторов R_1 , R_2 , R_5 , R_6 . Тарирование выполняется за два пробных пуска (или более) с применением тарировочного ротора [3] (предполагается, что дисбалансы тарировочного ротора пренебрежимо малы по сравнению с допустимыми остаточными дисбалансами балансируемых изделий).

На первом пуске в одну из плоскостей коррекции тарировочного ротора (пусть для определенности это будет первая плоскость) вводят пробный груз. Регулируя сопротивление резистора R_2 , сводят показания индикатора дисбаланса второй плоскости к нулевому (минимальному) значению. На следующем пуске пробный груз переставляют во вторую плоскость коррекции и, используя резистор R_1 , проводят аналогичную регулировку показаний индикатора дисбаланса первой плоскости. Далее, при необходимости, выполняют один-два дополнительных пуска для определения соотношений между значениями дисбалансов ротора, обусловленных установкой пробных грузов, и показателями индикаторов дисбалансов. Для этого с помощью резисторов R_5 , R_6 регулируют по амплитуде выходные сигналы U_I , U_{II} соответственно.

Важным условием для осуществления качественного тарирования зарезонансных балансировочных станков с аналоговым разделением плоскостей коррекции является наличие необходимым образом сбалансированных и регулярно проверяемых тарировочных роторов. К настоящему моменту эксплуатация подобных образцов балансировочной техники осложняется, в том числе, ввиду трудности выполнения этого условия.

2 Разделение плоскостей коррекции с применением методов обработки дискретных сигналов

В виду наличия упругих и диссипативных сил в подвесе балансировочного станка и опорах балансируемого изделия, а также паразитных индуктивно-емкостных нагрузок в цепях усиления, выходные сигналы датчиков U_1 , U_2 имеют фазовые сдвиги φ_1 , φ_2 по отношению к измеряемым величинам, причем в общем случае $\varphi_1 \neq \varphi_2$. Фазовые сдвиги отрицательно влияют на погрешность определения дисбалансов на станках с аналоговым разделением плоскостей коррекции и существенно ограничивают точность балансировки.

Для улучшения рабочих характеристик станков следует использовать более совершенные способы разделения плоскостей, учитывающие фазовые сдвиги сигналов. Один из таких способов основан на применении комплексных коэффициентов разделения плоскостей коррекции.

Положим, что сигналы U_1, U_2 , дисбалансы D_1, D_2 , а также коэффициенты $K_{11}...K_{22}$ можно представить в виде векторов комплексной плоскости. В таком случае, зависимости (1), (2) принимают вид

$$\begin{aligned} & Re_{D1} + j \cdot Im_{D1} = \\ & = (Re_{K11} + j \cdot Im_{K11}) \cdot (Re_{U1} + j \cdot Im_{U1}) + (Re_{K12} + j \cdot Im_{K12}) \cdot (Re_{U2} + j \cdot Im_{U2}), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & Re_{D2} + j \cdot Im_{D2} = \\ & = (Re_{K21} + j \cdot Im_{K21}) \cdot (Re_{U1} + j \cdot Im_{U1}) + (Re_{K22} + j \cdot Im_{K22}) \cdot (Re_{U2} + j \cdot Im_{U2}). \end{aligned} \quad (6)$$

В (5), (6) действительные и мнимые части векторов обозначены Re, Im , соответственно; j – мнимая единица.

Анализируя полученные выражения, можно заметить, что комплексные коэффициенты $K_{11}...K_{22}$ оказывают влияние не только на модули, но и на фазы дисбалансов, что позволяет обойти первоначальные ограничения модели.

Приведенный способ, однако, достаточно сложен для реализации в виде аналоговых схем на базе операционных усилителей. В связи с этим, для построения цепей разделения плоскостей коррекции с применением комплексных коэффициентов в настоящее время используются различные сочетания средств цифровой вычислительной техники.

Входным звеном в цифровой цепи разделения плоскостей, как правило, является аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Посредством аналого-цифрового преобразования выполняется переход от непрерывных сигналов к дискретным выборкам, с которыми оперируют последующие звенья цепи разделения, реализованные программными или аппаратными методами.

Пусть u_1, u_2 – дискретные выборки сигналов U_1, U_2 , причем каждая выборка содержит по N отсчетов. Выполняется дискретное преобразование Фурье (ДПФ) выборок u_1, u_2 в комплексной форме:

$$Re_{Uk} = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} u_{ki} \cos\left(\frac{2\pi ni}{N}\right), k = 1, 2, \quad (7)$$

$$Im_{Uk} = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} u_{ki} \sin\left(\frac{2\pi ni}{N}\right), k = 1, 2, \quad (8)$$

где число n соответствует частоте вращения ротора.

Полученные таким образом действительные и мнимые части векторов U_1, U_2 могут быть непосредственно применены в выражениях (5), (6) для вычисления дисбалансов D_1, D_2 (при условии, что известны коэффициенты $K_{11}...K_{22}$).

Особое внимание следует обратить на процесс тарирования балансировочных станков, оснащенных цифровыми цепями разделения плоскостей коррекции. В данном случае, для тарирования необходимо выполнить три пробных пуска: первый – без установки пробных грузов, два последующих – с установкой пробного груза в первую и вторую плоскости коррекции, соответственно.

Введем следующие обозначения. Пусть $U_{11}, U_{21}, U_{12}, U_{22}, U_{13}, U_{23}$ – векторы сигналов U_1, U_2 , полученные на первом, втором и третьем пусках; d_1, d_2 – векторы дисбалансов, обусловленные установкой пробных грузов.

По завершению пробных пусков для определения коэффициентов разделения плоскостей $K_{11}...K_{22}$ решают следующую систему уравнений (для упрощения здесь опущена комплексная форма записи):

$$D_1 = K_{11}U_{11} + K_{12}U_{21}, \quad (9)$$

$$D_2 = K_{21}U_{11} + K_{22}U_{21}, \quad (10)$$

$$D_1 + d_1 = K_{11}U_{12} + K_{12}U_{22}, \quad (11)$$

$$D_2 = K_{21}U_{12} + K_{22}U_{22}, \quad (12)$$

$$D_1 = K_{11}U_{13} + K_{12}U_{23}, \quad (13)$$

$$D_2 + d_2 = K_{21}U_{13} + K_{22}U_{23}. \quad (14)$$

Вычисления, как правило, выполняются в автоматическом режиме. После окончания вычислений, коэффициенты разделения плоскостей коррекции сохраняются в постоянной памяти станка, и тарирование считается завершенным.

Особенностью приведенной методики является отсутствие жестких требований к дисбалансам тарировочного ротора. Потенциально, с этой целью может быть использован любой ротор заданного типа. Отличные от нуля дисбалансы роторов D_1 , D_2 могут быть определены вместе с коэффициентами $K_{11} \dots K_{22}$ при решении системы уравнений (9) – (14).

Заключение

Рассмотренные в работе способы разделения плоскостей коррекции и методики тарирования резонансных балансировочных станков относятся к двум поколениям балансировочной техники. Для первого характерно широкое применение аналоговой электроники и относительно простых, но в то же время эффективных способов определения дисбалансов, для второго – автоматизация на базе цифровой техники, применение методов обработки дискретных сигналов, учет в моделях дисбалансов ранее игнорируемых факторов.

Помимо обеспечения лучшей точности, к преимуществам методики тарирования станков, оснащенных цепями разделения плоскостей коррекции с комплексными коэффициентами, следует отнести отсутствие специальных требований к тарировочному ротору, что значительно упрощает эксплуатацию оборудования, возможность более глубокой автоматизации процесса.

Не смотря на то, что тема резонансной балансировки жестких роторов считается хорошо изученной, и сегодня с регулярной периодичностью в различных источниках появляются сведения о разработке новых методов балансировки, образцов балансировочной техники и пр. (см., например, работу [4]).

Литература

1. Основы балансировочной техники. Том 2. Уравновешивание гибких роторов и балансировочное оборудование / В.Н. Барке, В.А. Захаров, В.А. Зенкевич и др.; под ред. В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1975. – 679 с.
2. Современные методы и средства балансировки машин и приборов / М.В. Баркан, Т.Т. Гаппоев, А.А. Геркус и др.; под общ. ред. В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
3. Справочник по балансировке / М.Е. Левит, Ю.А. Агофонов, Л.Д. Вайнгортин и др.; под общ. ред. М.Е. Левита. – М.: Машиностроение, 1992. – 464 с.
4. Пат. US 2009/0255334 A1, МПК G01M 1/16. Dynamic balancing apparatus and method using simple harmonic angular motion / Wan Sup Cheung, Jong Yeon Lim, Won Yoon. – Опубл. 15.10.2009. – Бюл. №12/382773. – 13 с.

ОБЗОР И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СТЕГАНОГРАФИИ

Марченков А.М.

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

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

OVERVIEW AND TRENDS IN STEGANOGRAPHY

Marchenkov A.M.

The scientific chief: Ph.D., associate professor Volosatova T.M.

Department RK6 BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены работы, в которых описаны исследования в области стеганографии за последние несколько лет. Выделены основные направления исследований. Предложено направление для исследований.

Abstract

The works which describes the research in the field of steganography over the past few years are examined. The basic directions of research are singled out. New direction for research is suggested.

В настоящее время наблюдается увеличение темпов развития стеганографии, этот вывод можно сделать на основе увеличения числа публикаций в этой области. В частности по данным портала eLIBRARY.RU (крупнейшая Российская электронная библиотека научных публикаций) в области стеганографии зарегистрировано 74 публикации в 2013, а в 2014 уже 102 публикации.

Среди всех работ посвященных стеганографии условно можно выделить два больших направления исследований. К первому можно отнести работы, в которых рассматриваются алгоритмы и методы встраивания стеганосообщений в мультимедийные данные (изображения, аудиозаписи и видеозаписи). Во втором направлении работы посвящены цифровым водяным знакам (ЦВЗ), методам и алгоритмам их встраивания, а также способам их применения. Есть еще ряд статей, не относящихся к выделенным выше направлениям, но их меньшинство.

В работе [1] предлагаются новые направления развития теории стеганографии исходя из предложенной эталонной модели взаимодействия стеганографических систем. Особый интерес представляет выделенный автором список областей стеганографии, в которых на текущий момент не проводилось исследований.

Среди алгоритмов и методов встраивания стеганосообщений в изображения можно выделить две наиболее популярные области исследований – это алгоритмы встраивания данных в пространственной области и алгоритмы встраивания данных в области преобразования.

В статье [2] предложен устойчивый способ стеганографии, который исключает использование злоумышленниками стохастических закономерностей, не позволяет применять инструментальные средства спектрального анализа и, исходя из реализации, ограничивает возможность использования механизмов обучения распознающих систем. Также интерес представляет модификация метода LSB matching, устойчивая к статистическому анализу, предложенная в работе [3].

Среди методов встраивания данных в области преобразования интерес представляет метод субполосного внедрения, который устойчив к внешним воздействиям в виде аддитивного шума и обеспечивающий низкий уровень искажений изображений контейнеров и восстановленных изображений. Исследования метода субполосного внедрения приведены в работах [4] и [5].

Еще можно отметить работу [6], в которой приведен способ изменения коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП) с помощью генетического

алгоритма. Также представляет интерес математическая модель сжатого стеганографического контейнера из работы [7], используя которую авторы показали, что перераспределением искажений гистограмм коэффициентов ДКП и минимизацией шума в пространственной области изображения, достигается снижение информативности признаков, используемых при распознавании стеганографических изображений.

Среди работ посвященных различным методам и алгоритмам встраивания цифровых водяных знаков (ЦВЗ) и способам их применения стоит отметить описанный в работе [8] алгоритм повышения устойчивости стегоалгоритма встраивания ЦВЗ путем объединения математического аппарата модулярной арифметики и морфологических методов обработки изображения, который обеспечивает невосприимчивость к большинству атак на стеганосистемы, а так же позволяет повысить стойкость алгоритма LSB matching к стегоанализу. Статья [9] интересна тем, что в ней рассмотрено комбинирование методов встраивания для повышения устойчивости ЦВЗ к искажающим воздействиям, а также предложено преобразование изображения для снижения влияния искажающих воздействий на ЦВЗ.

В работе [10] приведено исследование методов защиты данных для систем автоматизированного проектирования. В ней предложены двухступенчатые методы сокрытия коммерческой документации (в частности проектной документации САПР) и метод сокрытия текстов в аудиофайлах. В статье приведены описания методов и алгоритмов встраивания стеганосообщений и ЦВЗ. Особый интерес представляет описанный комбинированный метод сокрытия данных, основанный на применении цифровой голографии, устойчивый к трансформированию и частичному разрушению контейнера со стеганосообщением. Таким образом исследование, проведенное в этой работе затрагивает большинство аспектов стеганографии, которые рассматривались в упомянутых выше публикациях.

Исходя из описанного выше можно сделать вывод, что наиболее востребованными направлениями исследований в области стеганографии являются ЦВЗ и методы встраивания стеганосообщений. Существующие наработки в области информационной безопасности САПР не учитывают целый ряд специфических факторов, которые присущи САПР системам [10,11]. Поэтому внедрение опыта полученного в ходе исследований, проведенных в смежных областях, в системы информационной безопасности САПР с учетом их особенностей, представляется одним из наиболее перспективных направлений для дальнейших исследований.

Литература

1. Макаренко С.И. Эталонная модель взаимодействия стеганографических систем и обоснование на ее основе новых направлений развития теории стеганографии // Вопросы кибербезопасности, 2014, №2(3), с. 24-32.
2. Довгаль В.М., Гордиенко В.В., Гора С.Ю., Дорошенко А.Ю. Способ стеганографии на основе дискретного отображения Хенона // Auditorium, 2014, № 1 (1), с. 54-58.
3. Гуфан А.Ю., Тикиджи-Хамбурьян А.Р. Стойкая модификация стеганографического метода LSB matching // Инженерный вестник Дона, 2013, т. 27, № 4, с. 10-15.
4. Жиялков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. Исследование устойчивости стеганографии в изображении // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2014, т. 29, № 1-1 (172) , с. 168-174.
5. Жиялков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. Оценка эффективности субполосного внедрения данных в изображение // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика, 2014, т. 30, № 8-1 (179) , с. 200-206.
6. Каваленко М.П. Генетические алгоритмы в стеганографии // Технические науки – от теории к практике, 2012, № 9, с. 17-20.
7. Сизов А.С., Никутин Е.И. Модель контейнера в формате JPEG для разработки адаптивных методов стеганографической защиты информации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2012, № 2-1, с. 173-180.
8. Абасова А.М. Алгоритм повышения устойчивости к деструктивным воздействиям цифровых водяных знаков, встраиваемых в цветное изображение // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2014, № 8, с. 75-81.
9. Илюшечкин Е.А. Некоторые способы повышения устойчивости цифровых водяных знаков к искажающим воздействиям // Вестник Омского университета, 2013, № 4 (70) , с. 217-220.
10. Волосатова Т. М., Денисов А.В., Чичварин Н.В. Комбинированные методы защиты данных в САПР // «Информационные технологии» 2012. №5. Приложение к журналу
11. Глинская Е.В., Чичварин Н.В. Информационная безопасность открытых каналов передачи проектной документации, продуцируемой САПР // Вопросы кибербезопасности, 2014, №4(7), с. 11-22.

РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА КОРАБЛЕ

Минин Д.С.

Научные руководители: Цивинская Т.А., Тиняков Ю.Н.

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

DEVELOPMENT OF A PROTECTIVE CIRCUIT FOR PRESSURE SENSOR MOUNTED ON A SHIP

Minin D.S.

Supervisors: Civinskaya T.A., Tinyakov U.N.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается разработка и применение защитных схем в различных электронных устройствах. Использование схемы для защиты датчика давления. Проведён эксперимент для проверки работоспособности защитной схемы.

Abstract

This article discusses the development and application of protective circuit in various electronic devices. Using circuit for pressure sensor protection. Performed an experiment to test the protective circuit.

Введение

Защитные схемы используются повсеместно. Бывает, что на какое-либо устройство подаётся напряжение выше допустимого. Такое может произойти из-за различных факторов, например неисправность источника питания, либо удар молнии. В то же время очень часто перенапряжение вызывает статическое электричество, которое повышает напряжение на металлоконструкции, проводниках или элементах электронных схем. А это повышение в свою очередь может многократно превышать напряжение питания электронных схем. Вследствие чего разрабатываются защитные схемы, которые спасают от перенапряжения различные устройства, на которые установлена данная схема.

Актуальность работы: создание защитных схем небольших габаритов и с учётом индивидуальных особенностей нужного устройства. Создание схем с широким диапазоном недопустимых напряжений.

Целью работы является исследование работы защитной схемы для датчика давления на корабле.

Научная и практическая новизна работы заключается в разработке защитной схемы для конкретного устройства, а также уменьшенные габариты.

Практическая ценность работы заключается в защите от перегрузок внутри схемы датчика давления и защиты самого датчика от разрушения.

Результатом работы является разработка защитной схемы для датчика давления, изучение её основных элементов и проверка её работоспособности.

1 Перенапряжение

В нашей повседневной среде невозможно обойтись без статического электричества. Само явление объясняется возникновению на поверхности проводников и накоплении свободных электрических зарядов. Статическое напряжение вызывает импульсы тока, которые ведут к выходу устройства из строя, вследствие чего разрабатывают специальные схемы, которые могли бы уберечь от скачков напряжения.

Также перенапряжение могут вызвать грозовые разряды. Перепадом напряжения называют случайные пульсации напряжения на большую амплитуду, чем амплитуда

рабочего напряжения. Такие перепады длятся от нескольких наносекунд до нескольких миллисекунд, чего достаточно для выхода из строя оборудования.

2 Способы защиты электроники от перенапряжения

Чтобы уберечь устройство от перенапряжения, используют защитные схемы, которые состоят из элементов активной защиты. Например TVS-диоды (transient voltage suppressors), также называемые супрессорами, варисторы, TVS-тиристоры и разрядники.

Защитные схемы должны выполнять ряд функций:

- отводить скачок напряжения от устройства
- фиксация напряжения ниже максимально возможной для требуемого устройства
- возврат к рабочему режиму без ухудшения функционирования

Защитная схема должна обладать быстрым временем реакции и малыми габаритами.

3 Изучение защитной схемы для датчика давления

В данной работе рассматривается защитная схема для датчика давления. В схеме использовались TVS-диоды и варисторы.

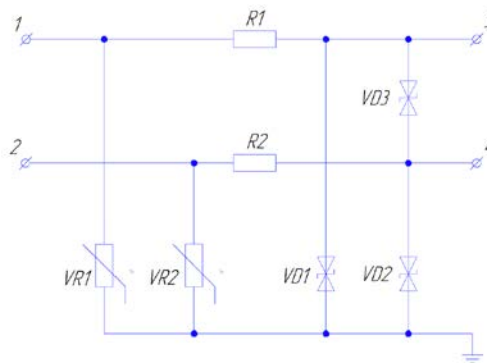


Рисунок 1 - Принципиальная схема защитной схемы

В модификации для борьбы с грозовыми разрядами также используется разрядник.

4 TVS-диоды, варисторы и разрядники

TVS-диод – это полупроводниковый диод, который работает на обратной ветви ВАХ с лавинным пробоем или на прямой ветви ВАХ. Предназначен для защиты от перенапряжения интегральных схем.

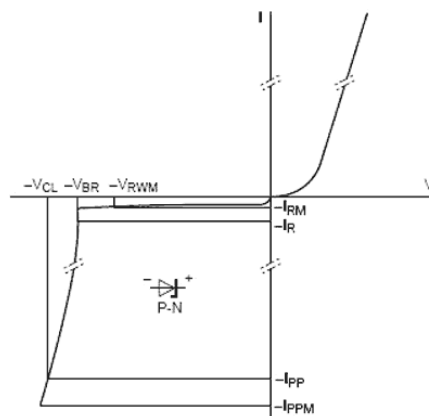


Рисунок 2 - ВАХ TVS-диода

Одним из важных плюсов TVS-диодов является их быстрое время реакции. Это время составляет несколько пикосекунд. Но есть минус: технология TVS-диодов не позволяет делать их достаточно эффективными при напряжении ниже 5 вольт.

В данной работе используется диод с напряжением срабатывания 30 вольт, то есть при напряжении до 30 вольт диод работает в режиме высокоимпедансной нагрузки. В тот момент, когда напряжение превышает рабочее напряжение цепи, сопротивление ограничителя понижается, и ток начинает течь через ограничитель. Когда напряжение возвращается в своё нормальное состояние, ограничитель начинает опять работать в высокоимпедансном режиме.

Также в схеме используются варисторы. Варистор – это нелинейный резистор, который зависит от приложенного к нему напряжения.

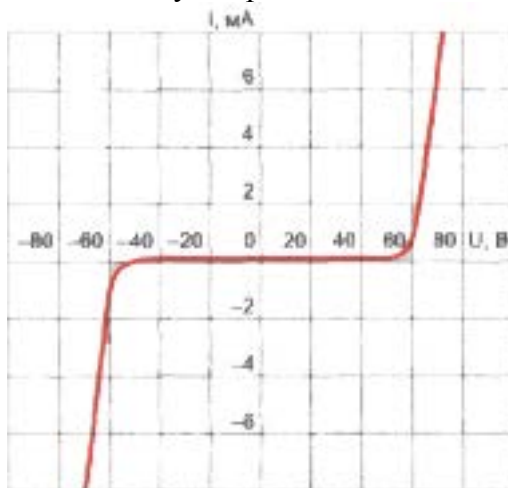


Рисунок 3 - ВАХ варистора

Отличительной чертой варистора является двухсторонняя симметричная нелинейная ВАХ.

В работе используются как ограничители верхнего порога тока. В данном случае напряжение срабатывания 125В. То есть, когда напряжение меньше напряжения срабатывания, варистор работает как резистор с большим сопротивлением. Как только напряжение становится выше, варистор снижает своё сопротивление до близкому к нулю, вследствие чего образуется короткое замыкание и отключение самой цепи, без разрушения самого датчика.

Плюсами является низкая цена и высокое значение допустимого тока, но при этом ограниченный срок службы и высокое напряжение ограничения.

Данную схему можно модифицировать и добавить в неё разрядник. Разрядник, это элемент, который спасает от перенапряжения из-за атмосферных явлений, например грозы. Состоит из керамической трубки, заполненной инертными газами. Плюс в том, что может выдержать очень большую нагрузку до десятков килоампер, но минусом является большое время срабатывания, из-за чего рациональнее всего использовать его вместе с TVS-диодами.

4 Эксперимент

После разработки был проведён эксперимент, в котором была проверена работоспособность защитной схемы и её возможность предохранять от перенапряжения.

U_1	U_2
5	4.4
10	9.4
15	13.7
20	18
25	22.2
30	26.6
35	30.14
40	30.31
45	30.35

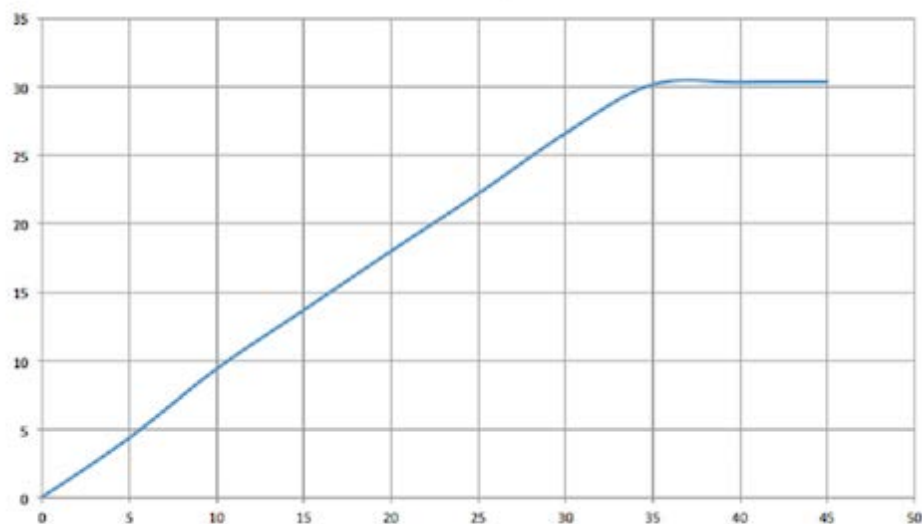


Рисунок 4 - График зависимости $U_{вх}$ и $U_{вых}$

В ходе эксперимента был подключён источник питания на вход и вольтметр на выход. Результаты исследования отображены на рисунке 4, где изображена зависимость входного напряжения от выходного.

Заключение

Как видно из графика, при подаче напряжения больше 35В напряжение на выходе не превышает 30В, как и требовалось по условиям работы датчика. Оптимальным вариантом разработки схем является использование комбинирование TVS-диодов и разрядников, так как этот вариант защиты спасёт от выхода из строя датчик в любой ситуации. Применение защитных схем позволит предохранить зачастую важные и дорогостоящие элементы от разрушения.

Литература

1. Кучиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. - М., ИД "Технологии". 2005

ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Портенко Г.К.

Научный руководитель к.т.н., доцент Власов А.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4

POTENTIAL DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

Portenko G.K.

The scientific chief: Ph.D., associate professor Vlasov A.I.

MSTU named after N.E. Bauman, IU4 department

Аннотация

Работа посвящена вопросам анализа параметров систем искусственного интеллекта и изученных свойств естественных нейронов. Рассмотрены строение и структурные схемы естественного и искусственного нейронов. Особое внимание уделено принципам работы нейросетей, а также сравнению их функционирования с биологическим процессом.

Abstract

This work is dedicated to questions of artificial intelligence systems parameters analysis and study of neuron nets properties. Structure schemes of biological and technical neurons were overviewed.

Especially attention was paid to principles of neuron nets work and to comparison of their functioning to biological processes.

Введение

Ни для кого не секрет, что основу человеческого мозга составляют нервные клетки – нейроны. Количество нейронов в мозге достигает 10^{12} , каждый из которых связан еще с тысячами и десятками тысяч других нейронов. Взаимодействуя между собой, нейроны обмениваются электрическими сигналами, тем самым обеспечивая работу мозга. Своеобразным проводником сигналов в пределах тела человека служит спинной мозг, обеспечивая передачу импульсов и взаимодействие организма с внешней средой посредством чувств, таких как осязание, обоняние и др.

Согласно предположениям английского ученого Александра Бэйна (первое упоминание о нейронных сетях, 1873 год), любая деятельность человека ведёт к активизации определённого набора нейронов. При повторении той же деятельности связи между конкретными нейронами усиливаются. Это и ведет к формированию памяти. Научное сообщество того времени восприняло теорию скептически, поскольку следствием её являлось возникновение чрезмерного количества нейронных связей в мозге. Однако, в наше время уже очевидно, что мозг чрезвычайно сложен, и вряд ли все принципы его работы будут изучены в ближайшее время.

Первые попытки человека симитировать деятельность мозга имели место в середине XX века. А именно, в 1956 году на конференции в Дартмутском университете Джон Маккарти в первый раз упомянул понятие искусственного интеллекта. Поясняя такое определение, Маккарти говорит, что основная проблема состоит в том, что не понятно, что именно представляют из себя интеллектуальные процедуры. Понятна только вычислительная составляющая достижений поставленных перед нейронной сетью целей. Другими словами, не существует четкого определения искусственного интеллекта.

Основным отличием в мышлении «машин» и людей является способность человека принимать решения в нестандартных ситуациях, а именно такое понятие как интуиция [3]. Обладая интуицией, человек имеет определенное преимущество перед компьютером, но очевидно значительно проигрывает в скорости вычислений.

Учитывая все вышесказанное, ясно, что можно строить различные прогнозы насчет развития интеллектуальных систем. Превзойдет ли искусственный интеллект своего «создателя», и что это может повлечь за собой – до сих пор остается вопросом без ответа.

1 Анализ адекватности модели нейрона

Рассмотрим подробнее структуру нейрона. Как видно из рисунка 1, основные части нейрона - это ядро; тело; разветвленный отросток – дендрит, отвечающий за прием сигналов от аксонов; аксон – длинный цилиндрический отросток, по которому импульсы идут от клетки к клетке. На конце аксона находится синаптическое окончание, контактирующее с целевой клеткой. Импульсы передаются толчками от одного узла аксона к другому (узлы называются перехватами Ранвье) со скоростью до 100 м/с.

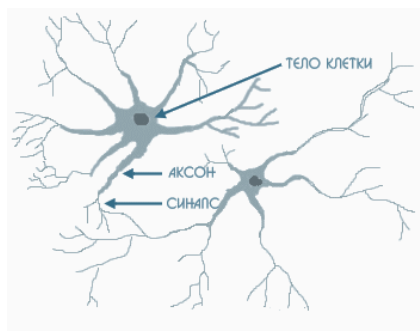


Рисунок 1 – Структура биологического нейрона

В зависимости от назначения нейроны делятся на рецепторные - взаимодействующие с органами чувств; эффекторные - передающие сигнал исполнительным органам; интернейроны - промежуточные или вставочные.

Искусственный нейрон является *упрощенной моделью* естественного (биологического) нейрона. То есть лишь аппроксимирует его свойства, а не копирует их. Схема искусственного нейрона показана на рисунке 2.

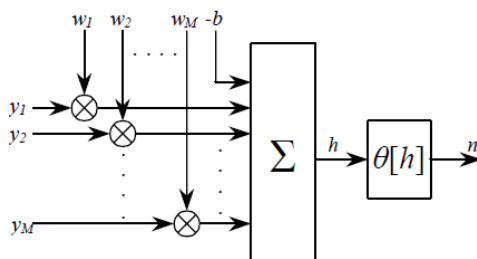


Рисунок 2 – Структура искусственного нейрона

На вход подается некоторое количество сигналов, после чего каждый из входов умножается на соответствующий вес. Здесь можно провести аналогию с биологической *синаптической силой*. Функция $\theta[h]$ - активационная характеристика, или передаточная функция нейрона, которая может быть различной формы. Например, в виде пороговой, сигмоидальной или гауссовой функции. Вид активационной функции отражает реакцию нейрона на входные сигналы.

В итоге, как и в нашем мозге, искусственные нейроны объединяются в сеть посредством связей. Искусственную нейронную сеть можно представить в виде направленного графа, ребра которого обладают некоторым весом (взвешенный граф).

2 Обучение нейронных сетей и моделирование мышления

Процесс обучения нейросети зависит от многих факторов, таких как количество нейронов в сети, структура связей, функции активации и конечно значения весовых коэффициентов [3]. Задавая различные параметры (синаптические весовые коэффициенты,

смещение нейрона и др.) сети можно производить так называемое обучение сети. при этом в качестве учителя выступает какое-либо целевое значение, с которым сравнивается вычисленное сетью значение. Обучение сети является более правдоподобным при *отсутствии учителя*. В этом случае обучающее множество состоит только из входных значений, что гораздо больше приближено к биологическому процессу. Алгоритм обучения при этом настраивает весовые коэффициенты так, чтобы при близких входных векторах на выходе сети получались одинаковые значения.

Несмотря на все усилия по созданию нейрокомпьютеров, «Машина» все еще не в состоянии обучаться так же эффективно, как человек [2]. Однако биологи делают все возможное, чтобы больше узнать о принципах работы головного мозга. Например, расшифровывают сигналы нервной системы, получаемые в процессе разглядывания человеком изображений. И это далеко не случайно. Распознавание изображений, или например, лиц человеком отличается от аналогичного искусственного процесса. Кроме того человеку не требуется специальная программа или алгоритм для обучения, в отличие от нейрокомпьютеров.

Человеческий мозг устроен так, что в нашем сознании постоянно строится модель окружающего мира. Для каждого объекта внешней среды мы создаем в своей голове соответствующий ему образ, что позволяет в дальнейшем более адекватно воспринимать и обрабатывать информацию об объектах. С помощью нейрокомпьютера такой подход организовать достаточно сложно. Это является одной из причин, почему все еще остается невозможным достаточно точно смоделировать мышление человека. В 60-е – 80-е годы прошлого века основным объектом исследования в области искусственного интеллекта были экспертные системы. Такие системы основывались на высокоуровневом моделировании процесса мышления (в частности, на представлении, что процесс нашего мышления построен на манипуляциях с символами). Скоро стало ясно, что подобные системы, хотя и могут принести пользу в некоторых областях, не ухватывают некоторые ключевые аспекты человеческого интеллекта. Согласно одной из точек зрения, причина этого состоит в том, что они не в состоянии воспроизвести структуру мозга. Ведь чтобы создать искусственный интеллект, необходимо построить систему с похожей архитектурой.

Выводы

Проанализировав структуру и принцип действия искусственных интеллектуальных систем, также выявив сходства и различия естественного и искусственного интеллекта, можно сделать следующие выводы.

Как бы далеко не продвинулись технологии, и как бы много человек не накопил знаний о принципах работы нашего мозга, мечта о создании роботов, мыслящих в точности как люди, скорее всего, будет все так же далека от реальности, хорошо это или плохо.

Однако эффективность применения интеллектуальных систем уже сейчас ни у кого не вызывает сомнений. Вычислительные способности нейронных сетей успешно используются на практике во многих областях науки и техники, и с развитием технологии построения компьютеров будут использоваться еще эффективнее.

Литература

1. В.В.Круглов, В.В.Борисов Искусственные нейронные сети - М. 2001 г.
2. Ю.Р. Цой, В.Г. Спицын Эволюционный подход к настройке и обучению искусственных нейронных сетей - 2006 г.
3. Власов А.И., Теоретический материал к лабораторному практикуму по курсу «Системы искусственного интеллекта» - 2014 г.

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта РФФИ грант 13-07-0073-а

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ВЕЛИЧИНЫ, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Проходцев Е.А.

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

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

THEORETICAL BASES OF METHODOLOGY FOR DETERMINING THE DEVIATION OF THE VALUES, SHAPE AND LOCATION OF THE REAL SURFACE ENGINEERING PRODUCTS

Prokhodtsev E.A.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Вопрос объективной интерпретации данных измерения для вычисления отклонений геометрических параметров реальных поверхностей изделий машиностроения сегодня является крайне актуальной. Устаревшая нормативная база, развитие компьютерной графики и повышение точности средств измерения показывают огромный потенциал для усовершенствования всего процесса определения геометрических отклонений. Описанная методика позволяет однозначно определить отклонения геометрических параметров реальных поверхностей изделий машиностроения.

Abstract

Question of objective interpretation of measurement data for the calculation of deviations of geometric parameters for real surfaces today is extremely important. Outdated regulatory base, the development of computer graphics and improving the accuracy of measuring devices show great potential for improving the whole process of determining the geometric deviations. The described method allows to uniquely identify deviations of geometric parameters of real surfaces of engineering products.

Введение

Проблема повышения точности изготовления продукции актуальна на протяжении всей истории развития техники. В современных условиях быстро меняющаяся конъюнктура рынка требует сокращения времени и стоимости разработки новой техники при возросших требованиях к качеству. Как следствие, многие технологические задачи, которые ранее относились к области высоко-ответственного машиностроения, переходят в разряд общих [1]. Сегодня мы видим значительный рост требований, предъявляемых точности изделий машиностроения. Обусловлено это как ростом сложных изделий машиностроения, так и экономическими соображениями уменьшения брака в изделиях.

До тех пор, пока требования к точности производства изделий машиностроения были невысоки, они обеспечивались технологически, или, в крайнем случае, применялся комплекс средств измерения и специальных приспособлений, с помощью которых с невысокой точностью контролировались геометрические параметры размеров, формы, расположения и шероховатости поверхности деталей. Тенденция ужесточения требований к точности в области технологии прецизионных наукоемких и высокотехнологичных производств такова, что они за десятилетие увеличиваются в два раза [2].

Часто для контроля геометрических параметров трехмерных объектов используют одномерные измерения длины. По таким измерениям невозможно получить объективное представление об отклонениях формы и взаимного расположения поверхностей без увязки их ориентации в пространстве по отношению к номинальной форме измеряемой поверхности. Отклонения формы поверхностей, основанные на измерении расстояний между двумя точками поверхности традиционными линейными средствами измерения, могут, в лучшем случае, считаться частным приближением, возможным при ряде существенных допущений. Из этих примеров можно сделать вывод, что адекватное описание и измерение

геометрических параметров трехмерных объектов в общем случае не может быть получено традиционными методами измерения линейных (одномерных величин). Таким образом, для адекватной оценки качества геометрических параметров обработанных прецизионных поверхностей, как трехмерных объектов, необходимы не одномерные, а пространственные методы. Пространственные измерения геометрических параметров поверхностей не могут быть осуществлены прямым аналоговым методом. Для этого необходимы измерения дискретных координат поверхностей в заданной системе координат и последующий расчет геометрических параметров по координатам в соответствии с их определением по стандартам. Такой метод измерений называется координатным.

Большую часть контролируемых параметров по сей день составляют линейно-угловые величины. Однако, проводя измерения лишь по двум точкам мы не можем достоверно оценить отклонения формы и расположения поверхностей.

Принимая во внимание возможности современных средств контроля, развитие средств производства и требования к точности изделий, мы уже не можем ограничиваться измерениями с помощью специальных приспособлений.

Параллельно с ростом требований к точности мы видим и развитие возможностей средств контроля. Современные координатно-измерительные машины способны предоставить данные о тысячах точек поверхности изделия машиностроения с высокой точностью (точность определяется микрометрами при габаритах детали, определяемой метрами). Объемы данных и точность средств контроля в свою очередь предъявляют особые требования к ЭВМ, на которых производятся вычисления.

Поэтому на сегодняшний день формирование целостной модели, которая позволяла бы адекватно интерпретировать геометрические параметры уже изготовленных изделий машиностроения все еще остается актуальным.

1 Номинальная геометрия

Номинальная геометрия в общем случае является совместным трудом конструктора и технолога. Все параметры номинальной геометрии можно найти в проектной документации. В общем случае, большинство возможных форм номинальных поверхностей не имеет наименований. Их относят к поверхностям общего вида. Некоторые формы поверхностей с кривизной имеют определённые названия: конические, параболические, гиперболические, спиральные, торовые и т.д. Поверхность без кривизны одна – плоскость. Геометрические параметры величины, формы и расположения номинальных поверхностей, определяемые характерными размерами длин и углов, единственные, поскольку номинальная величина и её размеры заданы в технической документации и могут быть больше или меньше только в пределах полей допусков, обеспечивающих гарантированную собираемость и работоспособность машин.

На практике можно выделить три основных способа задания номинальной поверхности:

1) Аналитическое задание поверхности. Существует четыре способа аналитического задания поверхностей: векторно-параметрическим уравнением, параметрическими уравнениями, явным уравнением, неявным уравнением.

2) Дискретное задание поверхности. Поверхность задается координатами точек, лежащих на номинальной поверхности, и заданных в рабочей документации на деталь.

3) Дискретно-аналитическое задание поверхности. Данный способ задания поверхности является промежуточным между аналитическим и дискретным заданиями поверхности.[1]

2 Реальная геометрия, координатные методы

Отличие реальной геометрии поверхностей детали от номинальной геометрии состоит в отклонении формы, величины и расположения реальных поверхностей детали от формы,

величины и расположения номинальных поверхностей. Получить актуальные данные о реальной поверхности изделия мы можем, проведя измерение на координатно-измерительной машине, получив на выходе облако точек.

Адекватную и однозначную оценку отклонения формы реальной поверхности осуществляют с помощью номинальных отсчётных поверхностей, расположенных среди

точек реальных поверхностей, по условию $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \rightarrow \min$, характерному для средних поверхностей. Отсчётной средней поверхностью для определения отклонения точек реальной поверхности в этом случае будем считать номинальную поверхность.

Одним из методов нахождения оптимального положения номинальной поверхности в облаке измеренных точек является метод наименьших квадратов, который повсеместно используется при решении инженерных задач. Можно назвать три причины, почему данный метод релевантен задаче метрологии: 1) задача нахождения оптимального положения номинальной поверхности в облаке точек приводит к вычислительной задаче, для которой уже разработаны и успешно применяются различные алгоритмы; 2) приближение методом наименьших квадратов имеет непосредственную геометрическую интерпретацию; 3) оценки методом наименьших квадратов могут быть интерпретированы также с вероятностной точки зрения [3].

После нахождения оптимального положения номинальной поверхности в облаке измеренных точек мы можем судить о величине отклонения реальной поверхности от номинальной. На этом этапе уже возможно оценочно судить о том, насколько реальная поверхность отличается от заданной в проекте. Также мы можем судить об отклонении положения начала и относительном угле поворота системы координат реальной поверхности. Найденное оптимальное положение считаем отсчётным.

Для вычисления отклонений формы необходимо ввести два дополнительных граничных элемента, аналогичных номинальным, которые будут соответствовать самому высокому выступу и самой глубокой впадине. Учитывая величину разброса граничных элементов относительно отсчётного, возможно численно выразить параметры отклонения формы реальной поверхности.

Для вычисления отклонений взаимного расположения поверхностей необходимо для каждой из них в отдельности найти оптимальное положение номинальной поверхности в облаке измеренных точек. После того как каждая поверхность получит отдельную систему координат, которая будет характеризовать отклонения геометрических параметров отдельно взятой поверхности, применяя аппарат аналитической и дифференциальной геометрии, мы можем судить об отклонении начала и взаимном угле поворота реальных поверхностей друг относительно друга [4].

Заключение

Представленная методика позволяет нам говорить о формировании отдельной целостной теории определения отклонений величины, формы и взаимного расположения реальных поверхностей изделий машиностроения. Сформированная модель позволяет со всех сторон взглянуть на проблему отклонения геометрических параметров. Используя предложенную методику мы можем с помощью достаточно простых принципов исчерпывающим образом описать отклонения величины, формы и расположения реальных поверхностей детали, особым образом интерпретируя данные, полученные при измерении поверхностей детали на координатно-измерительных машинах.

Литература

1. Погребинский А. В. Математическое обеспечение автоматизированного проектирования изделий сложной формы с учетом реальной геометрии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 2001.-207с.
2. Гоголев Д.В. Разработка и исследование методов и средств обеспечения единства измерений геометрических параметров отклонений формы сложнопрофильных поверхностей. – диссертация на соискание степени кандидата технических наук, ФГУП «ВНИИИМС», Москва, 2009 г. – 329 с.
- 3 Alistair B. Forbes Parameter estimation based on Least Squares Methods. Data modeling for metrology and testing in measurement science, 2009. – 498 с.
4. Кашуба Л.А., Проходцев Е.А. Разработка системы обработки информации, полученной измерением геометрии изделий с помощью координатно-измерительных машин. Электронный журнал Системный анализ в науке и образовании: электрон. науч. журнал. – Дубна, 2013. – №2. – [Электронный ресурс]. URL: [http: /www. sanse.ru/archive28](http://www.sanse.ru/archive28).

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЕТОНАЦИОННЫМ НАНОАЛМАЗОМ

Рясная С.И., Филимонова А.Ю., Сычева А.Е., Тинекова Е.С.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Плотников В.А.

Алтайский государственный университет, кафедра общей и экспериментальной физики,
Барнаул, Россия

SURFACE MODIFICATION OF STEEL PARTS DETONATION NANODIAMONDS

RIASNAIA S. I., FILIMONOVA A. U. SYCHEVA A. E. TINEKOVA E. S.

Supervisor: Dr., Prof., Plotnikov V.A.

ASU, Barnaul, Russia

Аннотация

Описаны ультрадисперсные алмазы и указан класс наноматериалов, к которым они относятся. Указан приблизительный состав наноалмаза и содержащих в нем примесей. Приведен способ очистки наноалмаза, позволяющего избавиться от значительного числа примесей. Описана методика получения суспензии на основе детонационного наноалмаза, позволяющая производить модификацию поверхности стальных деталей. Производился анализ сечения стального образца на предмет распределения углерода в поверхностном слое. Показан панорамный снимок поверхности стального образца при увеличении в 100 раз. Показана явная зависимость микротвердости стальной детали от процентного содержания углерода на одинаковой глубине.

Abstract

Described ultrafine diamonds and specified class of nanomaterials to which they relate. . The processes occurring during heating with nanodiamonds and load. Set an approximate composition of nanodiamond containing impurities . Details the various elements contained in ultrafine nanodiamonds . Is a method of cleaning the nanodiamond , allowing to get rid of a significant number of impurities.. A technique for obtaining a suspension based on detonation nanodiamond surface modification allows to produce steel parts . Explains how to install , which is made of steel surface modification of detonation nanodiamonds . Analyzed the sample section of the steel for the distribution of carbon in the surface layer. Shows a panoramic picture of the steel sample at a magnification of 100 times . The analysis of the relationship between structure steel surface with embedded nanodiamond particles in it and microhardness distribution . Shows the explicit dependence of the microhardness of steel parts on the percentage of carbon at the same depth.

Введение

Ультрадисперсные алмазы (УДА, или наноалмазы) детонационного синтеза относятся к классу наноматериалов, получение, модификация и применение которых вызывают интерес ученых и инженеров из разных стран [1].

В среднем наноалмаз состоит на 80-88% из углерода, который в основном находится в алмазной фазе. Имеются также кислород (10% и выше), водород (0.5-1,5%), азот (2-3%) и несгораемый остаток (0,5-8,0%), который состоит из оксидов, карбидов и солей различных элементов, таких как Be, Ti, Cr, Si, K, Ca, Si, Zn, Pb и т.д. Эти соединения наряду с неалмазным углеродом относятся к группе трудноудаляемых твердофазных примесей. Разработанный авторами способ очистки наноалмаза, позволяют добиться удаления 95 % примесей. В настоящий момент способ очистки находится на стадии патентования. Данный способ включает в себя нагревание наноалмаза по особой методике [2].

Актуальной задачей в современном машиностроении является увеличение микротвердости с целью упрочнения стальных деталей для снижения степени их износа [3]. Представлены результаты обработки поверхности стальных деталей очищенным от примесей наноалмазом и показана зависимость микротвердости от степени проникновения наноалмаза в сталь.

1 Проведение и результаты эксперимента

С целью обработки поверхности исследуемого образца нанодмазом, авторами была изготовлена суспензия, содержащая 80 процентов диффузионного масла и 20 процентов УДА. Приготовленной суспензией осуществлялась обработка стальных образцов, выполненных в виде цилиндров диаметром 11 мм. Обработка осуществлялась на протяжении 170 часов. После окончания обработки образец разрезался. Проводился анализ сечения разреза для определения размера зоны, модифицированной нанодмазом. Исследования позволили определить процентное содержание нанодмаза, внедренного в поверхностный слой на различной глубине, а также уровень микротвердости различных участков образца.

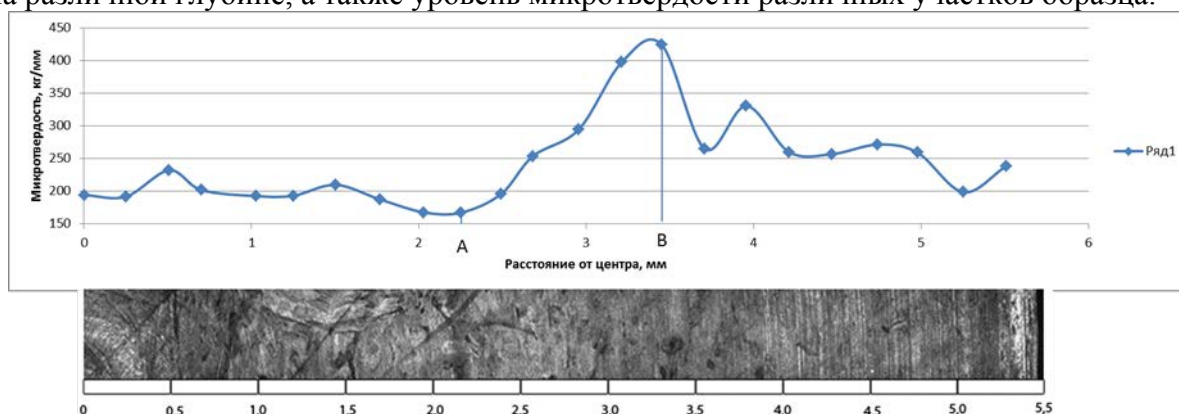


Рисунок 1 - График распределения микротвердости вдоль изображенной на снимке панорамы с 100-кратным увеличением

На рисунке 1 отчетливо заметна связь между структурой стальной поверхности с внедренными в нее частицами нанодмаза и распределением микротвердости. На участке от 0 до 2 мм, микротвердость практически не изменялась и составляла 200-250 кг/мм. На участке 2-3.5 микротвердость увеличилась до 425 кг/мм. После этого до самого края стального образца, на участке 3.5-5.5 мм происходило постепенное снижение микротвердости. Подобное распределение микротвердости можно объяснить разной степенью проникновения нанодмаза на разных участках исследуемого образца.

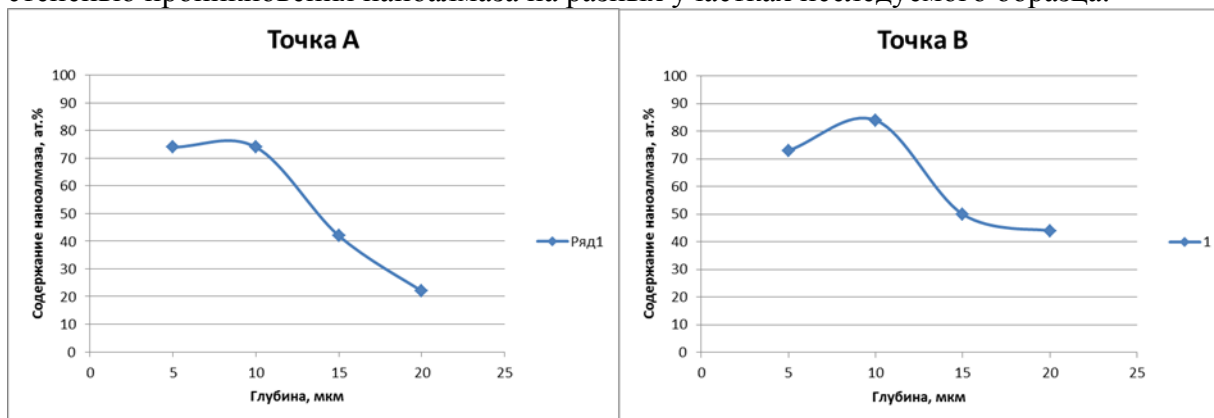


Рисунок 2 - Содержание нанодмаза, внедрившегося в сталь на различную глубину

На рисунке 2 изображены графики зависимости содержания нанодмаза в точках А и В, соответствующих максимуму и минимуму микротвердости соответственно. Отчетливо видно, что в точке А (значение микротвердости – 200 кг/мм), на глубине 20 мкм содержание нанодмаза составляло 20 %, а в точке В (значение микротвердости – 425 кг/мм), на глубине 20 мкм содержание нанодмаза составляло 40 %. Различия в процентном содержании нанодмаза, накапливающиеся с ростом глубины могут объяснить значительную разницу в показателях микротвердости в точках А и В.

Заключение

Таким образом, представленные результаты показывают существенную корреляцию между содержанием наноалмаза в металле и показателем его микротвердости. Помимо снижения износа и повышения прочности деталей, проникновение наноалмаза в сталь можно использовать для снижения коэффициента трения.

Литература

1. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза: свойства и применение // Успехи химии. — 2001. — Т. 70, № 7.
2. Плотников В.А., Демьянов Б.Ф., Макаров С.В., Богданов Д.Г. Примесная подсистема детонационного наноалмаза // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2013. — №4.
3. Алексенский А.Е., Байдакова М.В., Вуль А.Я., Сиклицкий В.И. Структура алмазного нанокластера //ФТТ. — 1999. — Т. 41, №4.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ

Романов А.В.

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

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

TECHNICAL PUBLICATIONS DEVELOPMENT USING A PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT TECHNOLOGIES

Romanov A.V.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В докладе рассмотрен типовой процесс разработки эксплуатационной документации для изделий авиационной техники, существующие недостатки традиционной схемы и методики повышения качества процесса разработки документации.

Abstract

In the report standard development process of technical publications for products of the aircraft equipment, an existing shortcomings of traditional schemes and techniques to improve a quality of development process is considered.

Введение

Послепродажное обслуживание (ППО) – один из ключевых моментов жизненного цикла изделия. В современных условиях развития техники применение новых технологий обслуживания является весомым конкурентным преимуществом.

Современные технологии управления жизненным циклом изделия (PLM-технологии) наиболее широко применяются в областях конструкторской и технологической подготовки производства. Новые изделия сложного машиностроения проектируются по технологии электронного макета изделия. Но эти изменения практически никак не привели к повышению качества разрабатываемой эксплуатационной документации (ЭД).

В работе проанализированы основные недостатки текущей типовой схемы разработки документации и предложены методики повышения качества процесса создания ЭД.

1 Типовой процесс разработки эксплуатационной документации

В существующих нормативных стандартах введен модульный подход к созданию ЭД. Все технические публикации (руководство по эксплуатации, руководство по обслуживанию и др.) состоят из набора модулей данных (каталог, технологическая карта и др.):



Рисунок 1 - Структура эксплуатационной документации

Схема создания одного модуля данных состоит из нескольких этапов:

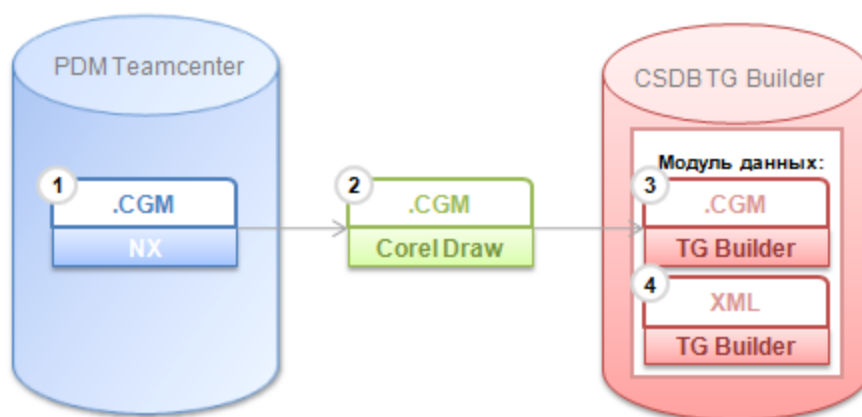


Рисунок 2 - Типовая схема создания модуля данных

Этап1: На данном этапе пользователи открывают в CAD-системе части многоуровневого конструкторского состава изделия, в которых содержатся все необходимые CAD-данные, затем на их основе создается векторное CGM-изображение и сохраняется в *PDM-системе*

Этап2: Полученная на предыдущем этапе изображение не соответствует правилам оформления технических иллюстраций (толщины линий, общие требования к виду и др.). Поэтому иллюстрация редактируется в векторном графическом редакторе (Corel Draw, IsoDraw и др.).

Этап3: Далее к иллюстрации в системе управления разработкой ЭД (*CSDB-системе, n-p TG Builder, Arbortext*) в редакторе изображений добавляются элементы интерактивности ЭД – «горячие выноски» (hotspot). Так же в этой системе ведется наполнение текстовой части модуля данных (xml-документ) на основе подготовленных иллюстраций.

После разработки всех необходимых модулей данных в *CSDB-системе* выполняется публикация ЭД в печатном и электронном форматах. Из элементов интерактивности у электронной документации присутствуют только «горячие выноски» на иллюстрациях. Рассмотрим методики повышения качества разрабатываемой документации в привязке к недостаткам текущей схемы.

2 Низкая информативность ЭД

Обслуживание и описание современных сложных изделий машиностроения очень сложно выполнить с помощью текстовой и иллюстративной документации. Созданные трехмерные CAD-данные не используются при создании ЭД.

Создание 2D и 3D документации возможно с применением *PLM-системы Teamcenter* и системы *RapidAuthorS*. Разработка описательных и процедурных модулей с использованием *RapidAuthorS* позволяет перейти от текстовых руководств к интерактивным 3D-процедурам, которые являются значительно более информативными.

При такой схеме разработки документация в 2D и 3D отличаются лишь форматом отображения, она основана на единых данных. Это позволяет создавать различные виды публикаций (печатные, интерактивные электронные, на мобильные устройства) без дополнительных доработок.

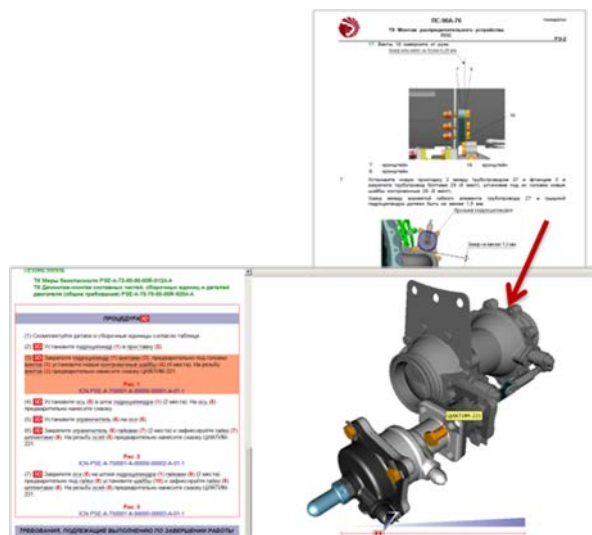


Рисунок 3 - Создание интерактивной 3D-документации

Именно эта методика вносит принципиальное отличие от существующей схемы: сейчас, например, для создания технологической карты разработчик документации имеет возможность получать чертежи и разнесенные виды необходимых ему объектов электронного макета изделия, а затем готовить к ним текстовую описательную часть. В отличие от этого продукты Cortona3D позволяют с помощью простых типовых операций над объектами (снять, установить, закрутить и др) визуализировать различные сложные технологические процессы с помощью 3D-анимаций (монтаж, поиск и устранение неисправностей, демонтаж и др).

Причем необходимо отметить, что создание анимации является не столько целью, сколько инструментом для понимания процедуры обслуживания изделия. За счет визуализации технологических процессов по эксплуатации на этапе проектирования идет значительная проработка конструкции на собираемость и конструктивные неточности, что позволяет выявлять многие ошибки еще до этапа технологической подготовки производства.

3 Низкая степень использования конструкторских данных (состав изделия, CAD-данные, атрибутивная информация и др.) для создания ЭД

Большой объем данных, который создается на этапе конструирования изделия, никак автоматизировано не используется при создании ЭД, все данные заполняются заново.

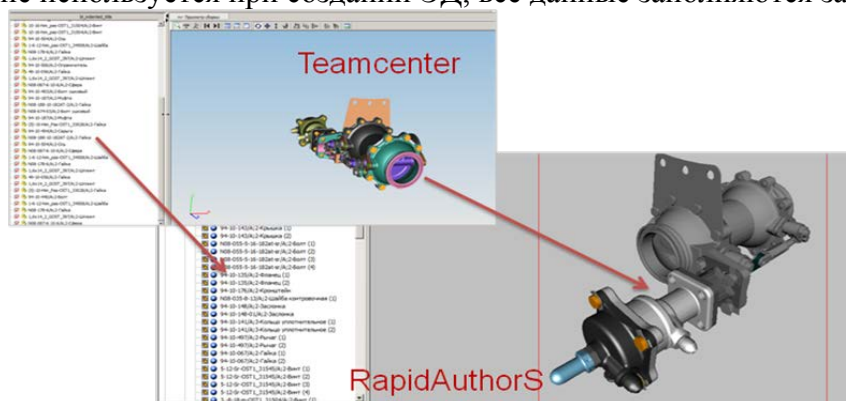


Рисунок 4 - Повторное использование конструкторских данных при создании ЭД

Исходными данными для разработки ЭД является конструкторский состав изделия (структура изделия, атрибутивная информация, CAD-данные и др.), который затем переформируется в эксплуатационный состав и состав для модулей данных.

Выполнение данного принципа реализуется настройкой передачи данных из *PLM-системы* в *RapidAuthorS*. Существует возможность передачи состава изделия, всей атрибутивной информации и CAD-данных с трансформацией во внутренний формат для выпуска ЭД.

4 Отсутствие связи между конструкторскими данными и ЭД

Процесс выпуска ЭД в *CSDB-системе*, несвязанной с *PLM-системой* приводит к тому, что невозможно определить, на основе каких данных создавалась ЭД, это в свою очередь ведет к ошибкам в документации.

ЭД должна выпускаться не основе эксплуатационного состава и состава для модулей данных, которые должны быть связаны с исходными конструкторскими данными.

Выполнение этого принципа позволяет анализировать, на основе каких данных выпускалась ЭД, и проводить изменения без пересоздания документов заново, что является одним из ключевых факторов в современных условиях проектирования с большим количеством изменений.

Для реализации принципа создания связи между эксплуатационной документацией и конструкторскими данными реализуется расширение модели данных *PLM-системы Teamcenter*. Весь состав для разработки ЭД хранится в отдельных объектах, сохраняющих связь с конструкторскими данными. Это позволяет отслеживать изменения между конструкторским составом и составом для разработки ЭД, но проводить их в документации только согласно правилам проекта.

5 Сложный механизм разработки модулей данных

Процесс создания модуля данных состоит из отдельных разрозненных этапов в различных средах, что влечет за собой очень трудоемкую и интеллектуально-сложную схему разработки (см. подробнее Рисунок 2).

Для разработчика ЭД необходимым условием является объединение этапов создания модуля данных (работа с 3D, написание текста, создание иллюстраций) в единой среде, это повышает качество ЭД и снижает количество ошибок.

В системе *RapidAuthorS* все процессы по созданию документации (подготовка текстовой описательной части, 3D процедур, иллюстраций) ведутся в одном приложении, в зависимости от типа модуля данных.

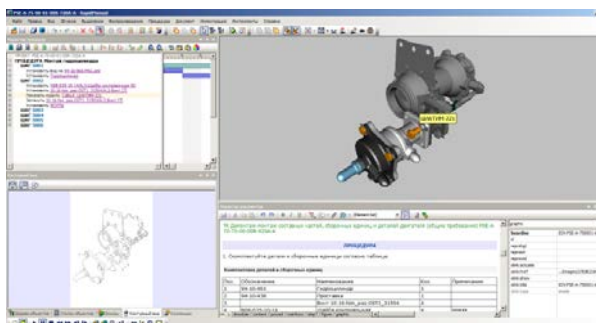


Рисунок 5 - Разработка модуля данных в единой среде

Теперь, если разработчик ЭД освоил новые возможности создания документации, необходимо изменить и методику управления структурой документации, схему предоставления данных эксплуатанту. Это реализуется новыми принципами:

6 Предоставление заказчику удобного доступа к ЭД

Переход к разработке интерактивной документации так же должен изменять и подход к передаче ЭД заказчику. Созданные с помощью *RapidAuthorS* данные могут быть использованы при создании сервисных WEB-порталов. Такой способ публикации значительно упрощает доступ заказчика к документации.

При этом важным моментом так же является размер интерактивной документации: за счет упрощения геометрии объем 3D-документации в несколько раз меньше, по сравнению с исходными CAD-данными.

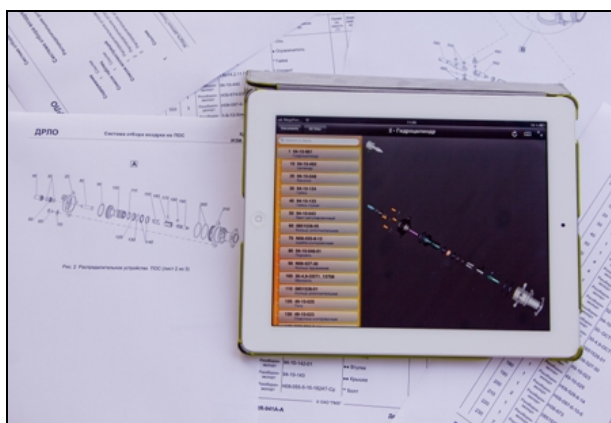


Рисунок 6 – Использование мобильных устройств для доступа к ЭД

Созданная интерактивная документация без дополнительного редактирования может просматриваться и с помощью современных мобильных устройств.

7 Защита интеллектуальной собственности при передаче ЭД

Важным аспектом перехода к выпуску интерактивной 3D-документации является сохранение интеллектуальной собственности разработчика при передаче документации заказчику.

Данный принцип реализован путем трансформации исходных CAD-данных во внутренний формат VRML с многократным упрощением, что обеспечивает невозможность восстановления инженерных данных из интерактивной документации.

Литература

1. Петров А.В. Методы расчета и анализа прямых затрат на техническую эксплуатацию сложной машиностроительной продукции // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2011. - №1. – С.71-7
2. ФГУП «НИИСУ» Международная спецификация на технические публикации, выполняемые на основе общей базы данных – Типография ФГУП «НИИСУ».: Москва, 2007. - 3028 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ПОСТРОЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ СИГНАТУРНО-ЛОГИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Савкин¹ Л.В.

Научные руководители: к. т. н., *Ширшаков¹ А.Е.*; к. т. н., доцент, *Новичков² В.М.*

¹ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Химки, Россия

²Московский авиационный институт, г. Москва, Россия

RESEARCH OF METHODS THE HARDWARE-SOFTWARE CREATION OF RECONFIGURABLE SIGNATURE-LOGICAL ANALYZERS FOR THE SOLUTION OF TASKS ONBOARD DIAGNOSING THE INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS OF SPACECRAFTS

Savkin¹ L.V.

Supervisors: *Shirshakov¹ A.E.*, *Novichkov² V.M.*

¹ Federal Enterprise «Lavochkin Association», Khimki, Russia

² Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются методы аппаратно-программного построения реконфигурируемых устройств, реализующих диагностирование информационно-измерительных и управляющих систем космических аппаратов с помощью сигнатурного и логического анализа. В качестве основного способа комбинированной реализации сигнатурно-логических анализаторов предлагается их построение на базе реконфигурируемого вычислительного поля, входящего в состав системы контроля и диагностики космического аппарата. Приводится пример распределения ресурсов реконфигурируемого вычислительного поля для решения задач бортового диагностирования информационно-измерительных и управляющих систем.

Abstract

In article methods of hardware-software creation of the reconfigurable devices realizing diagnosing of the information and measuring and controlling systems of spacecrafts by means of the signature and logical analysis are considered. As the main method of combined implementation of signature and logical analyzers their creation on the basis of the reconfigurable computing field which is a part of the monitoring system and diagnostics of the spacecraft is offered. The example of distribution of resources of a reconfigurable computing field for the solution of tasks of onboard diagnosing of the information and measuring and controlling systems is given.

Введение

Эффективность диагностического обеспечения бортовых информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) космических аппаратов (КА) всегда определяется совокупностью тех методов и средств, реализуемых посредством системы контроля и диагностики (СКД), которые направлены на успешное решение задач диагностирования как аппаратных составляющих ИИУС, так и программных. С этой целью, как правило, используются методы сигнатурного анализа аппаратной части ИИУС и методы логического анализа программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) ИИУС.

Одним из подходов, позволяющих реализовать данные методы, используя один и тот же вычислительный ресурс с возможностью многократной корректировки аппаратной архитектуры, является совместное аппаратно-программное построение сигнатурных и логических анализаторов на базе единого реконфигурируемого вычислительного поля (РВП), которое, в свою очередь, строится на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) типа FPGA (англ. *Field-Programmable Gate Array*, программируемые логические матрицы).

Целью исследований является разработка методов аппаратно-программного построения реконфигурируемых сигнатурно-логических анализаторов, способных

осуществлять локализацию аппаратных и программных неисправностей ИИУС КА с заданной степенью точности.

1 Формирование аппаратных уровней сигнатурно-логического анализатора в РВП СКД

В качестве способа формирования аппаратных уровней сигнатурно-логического анализатора используется принцип вложенных матричных наборов, описанный в [3], где каждый функциональный элемент более высокого аппаратного уровня q образуется путем задания строгой комбинации логико-арифметических связей между функциональными элементами матрицы РВП более низкого аппаратного уровня $(q-1)$, где $q = \overline{1, n}$, n – порядковый номер аппаратного уровня анализатора в РВП.

Удобство данного способа формирования аппаратных уровней заключается, прежде всего, в возможности проведения процедур мажоритирования логико-арифметических операций на любом из аппаратных уровней сигнатурно-логического анализатора, для чего достаточно будет продублировать диагностический канал необходимое число раз и выделить часть аппаратной области РВП для реализации на ней мажоритарного органа (Рисунок 1).

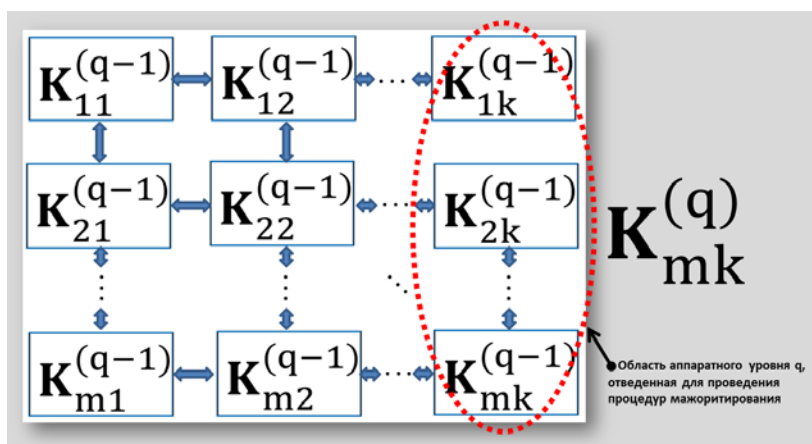


Рисунок 1 – К пояснению принципа проведения процедур мажоритирования логико-арифметических операций на всех аппаратных уровнях сигнатурно-логического анализатора

При этом любой функциональный элемент q -го аппаратного уровня РВП СКД можно описать соответствующей конфигурационной функцией вида

$$K^{(q)} = f(L^{(1)}, G(K^{(q-1)})),$$

где $L^{(1)}$ – матрица первого аппаратного уровня РВП, соответствующая выделенному фрагменту РВП, представляющего собой матричный набор коммутируемых логических блоков, реализующих базовые логико-арифметические операции в РВП; $G(K^{(q-1)})$ – оргграф, описывающий топологию логико-арифметических связей между элементами матрицы $(q-1)$ -го аппаратного уровня, образующими q -й уровень.

Аппаратно-программное построение сигнатурно-логического анализатора в РВП СКД осуществляется путем перераспределения вычислительных ресурсов РВП в соответствии со структурной схемой, изображенной на Рисунок 2.

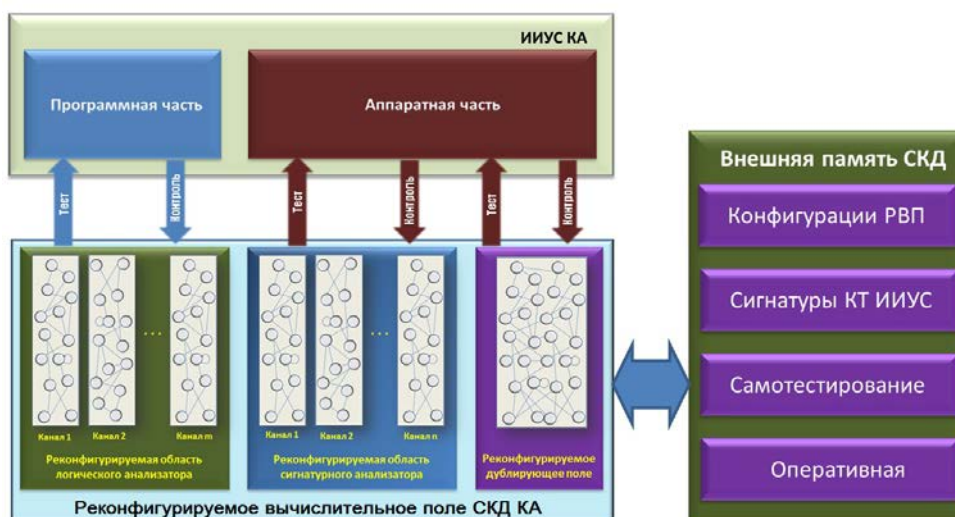


Рисунок 2 – Распределение ресурсов РВП для построения сигнатурно-логического анализатора в СКД КА

Здесь показано, что РВП делится на три основные области: область логического анализатора, область сигнатурного анализатора и область дублирующего поля, посредством которого совместно с сигнатурным анализатором осуществляется контроль и диагностика аппаратной части ИИУС КА, при этом в дублирующем поле могут формироваться дискретные элементы эквивалентные по своим функциональным возможностям дискретным элементам подсистем ИИУС. Не говоря о том, что логический и сигнатурный анализаторы строятся по принципу многоканальной системы, здесь необходимо отметить, что во внешней памяти СКД осуществляется хранение:

- конфигурационных наборов аппаратных архитектур РВП;
- предварительно считанных с контрольных точек *сигнатур* ИИУС;
- конфигураций РВП для *самотестирования* СКД, включая при этом *оперативную память*.

Учитывая что три основные области СКД полностью реализованы на базе РВП, в процессе анализа и идентификации ИИУС КА каждая из данных областей может осуществлять глубокую реконфигурацию на всех аппаратных уровнях сигнатурно-логического анализатора. Поэтому ключевую роль в данном случае играет исследование способов адаптивного перестроения (реконфигурации) аппаратных уровней сигнатурно-логического анализатора в процессе поиска программно-аппаратных неисправностей и отказов ИИУС КАС заданной степенью точности.

2 Адаптивная реконфигурация сигнатурно-логического анализатора при идентификации технического состояния ИИУС КА

Для реализации адаптивной реконфигурации сигнатурно-логического анализатора в РВП СКД необходимо прежде всего иметь конечный набор методов и алгоритмов бортового диагностирования ИИУС, который позволит не прибегать к поиску новых методов и алгоритмов, не зависимо от характера исследуемого аппаратно-программного отказа.

Ввиду того, что число конфигурационных наборов аппаратных архитектур РВП также ограничено, первым шагом для решения данной проблемы будет являться соотнесение конфигурационных наборов, описываемых конфигурационными функциями $\mathbf{K}^{(h)}$, $h = \overline{1, q}$ РВП, с конкретными методами и алгоритмами диагностирования ИИУС.

На Рисунок 3 схематично представлен принцип адаптивной реконфигурации сигнатурно-логического анализатора в РВП, на примере ИИУС, в качестве которой приводится бортовой комплекс управления (БКУ) КА.

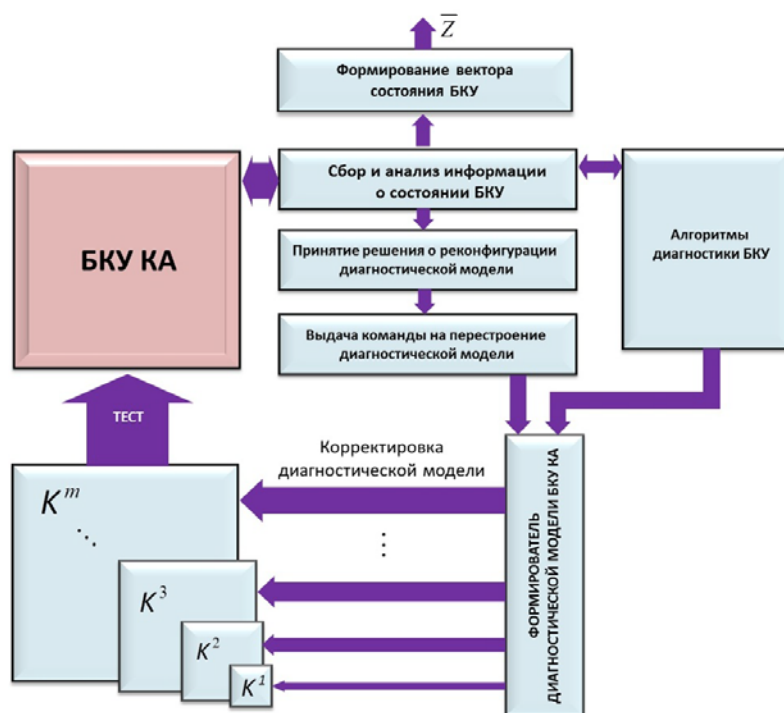


Рисунок 3 – К пояснению принципа адаптивной реконфигурации сигнатурно-логического анализатора в РВП СКД КА

Здесь показано, что независимо от выбираемого метода диагностирования БКУ в СКД КА всегда должна иметься возможность перестроения диагностической модели в РВП на ее отдельном аппаратном уровне. Это, в свою очередь, делает диагностическую модель БКУ гибкой с точки зрения архитектуры РВП не только в рамках многофункциональности СКД, но также и в рамках оперативности процедур диагностирования, что может иметь важное значение при возникновении кратковременных системных неисправностей, связанных, к примеру, с воздействием на высокоинтегрированную аппаратуру ИИУС тяжелых заряженных частиц.

Таким образом, возможность адаптивной реконфигурации полностью определяется исходя из соотношения конкретных методов и алгоритмов бортового диагностирования ИИУС с конфигурационными наборами аппаратных архитектур РВП СКД, что должно решаться еще на начальных стадиях проектирования реконфигурируемой СКД КА при моделировании неисправностей и отказов ИИУС.

Заключение

Построение реконфигурируемого сигнатурно-логического анализатора на базе РВП в составе СКД КА открывает большие возможности в отношении одной только многофункциональности, которой нельзя достичь, используя современные программные СКД. Вместе с этим эффективное аппаратно-программное построение сигнатурно-логического анализатора требует проведения широкого круга исследований, включающих в себя поиск наиболее оптимальных комбинированных архитектур логической и сигнатурной областей РВП, разработку единых принципов формирования аппаратных уровней анализатора, разработку высокоинформативных способов описания диагностических моделей в РВП, исследование способов адаптивной реконфигурации диагностических алгоритмов к сложным типам неисправностей и отказов в ИИУС и многое другое, не исключая при этом анализ номенклатуры ПЛИС, способной удовлетворять требованиям по условиям эксплуатации в составе СКД в течение всего срока активного существования КА.

Литература

- 1 Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Идентификация и диагностика систем.- М.: Издательский центр «Академия», 2009.–352 с.;
- 2 Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры /Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под общ. Ред. И.А. Каляева. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
- 3 Савкин Л.В., Новичков В.М., Ширшаков А.Е. Многоуровневая реконфигурация моделей диагностических систем как средство повышения гибкости алгоритмов диагностики и контроля бортовых систем космических аппаратов. Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25-27 ноября 2014 г. Т. 2.-М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.- С. 296-299.
- 4 Шкляр В.Н. Надежность систем управления: учебное пособие/Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. –126 с.
- 5 Hauck S. Reconfigurable computing. The theory and practice of FPGA-based computation. Morgan Kaufmann Publ., 2007. – 944 p.

ОБЗОР ОБНОВЛЕНИЯ C3D GEOMETRIC KERNEL V16

Стрелков С.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлёва Л.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ

REVIEW OF THE C3D GEOMETRIC KERNEL V16 UPDATE.

Strelkov S.S.

Scientific adviser: Ph.D., Associate Professor Zhuravleva L.V.

BMSTU, Moscow, RF

Аннотация

В работе представлены результаты исследования обновления ядра для программного обеспечения в среде САПР для моделирования объектов. Основное внимание уделено описанию новых функций и обновлению ядра. Приведены иллюстрированные примеры новых функций.

Abstract

The paper presents the results of a study of a new update of kernel for software in the CAD environment for modeling objects. The focus is paid to the description of new features and updates of the kernel. Also there were provided some illustrations of some new features.

Введение

Объектом исследования является новое ядро от ASCON - C3D Geometric Kernel v16. Компания представила последнее обновление 27 января 2015 года в Москве.

Актуальность данной работы довольно высока, так как новое программное обеспечение (ПО) для САПР с широким спектром возможностей востребовано среди пользователей, как любителей, так и профессионалов.

Целью данной работы является анализ новых возможностей обновления, краткое их описание и практическое применение.

1 Анализ C3D Kernel

Kernel представляет собой ядро, используемое в ПО как компонент, который отвечает за построение и управление построенной моделью. Подобные геометрические ядра используются в различном ПО САПР. Как основной инструмент разработчика, C3D на сегодняшний день является единственным ядром, объединяющий в себе одновременно три самых важных модуля САПР: Modeler (моделировщик), Solver (решающее устройство (РУ)) и Converter (конвертер).

Ядро C3D предоставляет пользователям возможность выполнения следующих функций.

1. Улучшение функциональных возможностей продукта.
2. Быстрое создание 3D-моделей на основе уже имеющихся моделей 2D.
3. Значительное снижение стоимости разработки конкретного продукта.
4. Повышение надёжности и скорости работы ПО.

2 Анализ V16

В обновлении ядра команда разработчиков C3D уделила большое внимание улучшению секционирования и разрезания, увеличив эффективность параллельных вычислений в ядре, а также обеспечению возможностей для связывания нескольких поверхностей друг с другом. Геометрическое РУ (solver) отличается кластеризацией, ведением журнала, перетаскиванием и зеркальной симметрией для 3D-фигур, а также расширенными возможностями для построения параметризованных сплайнов. Кроме того, были внесены существенные изменения в логические операции в среде 2D.

Обновленный конвертер в C3D импортирует данные в форматы STL и VRML и может передавать атрибуты во время преобразования, а также регулирует точность экспортируемых моделей STL. Благодаря оптимизированной многопоточности, данные теперь обрабатываются гораздо быстрее во время импортирования 3D моделей.

Чтобы повысить качество программных продуктов, в C3D Labs расширена справочная база данных до 350000 3D моделей, увеличено общее количество выполняемых логических операций до нескольких миллионов в сутки (данные с результатов тестов). Внутри ядра реализована поддержка компиляторов для Clang 3.5 и Visual Studio 2013, язык программирования C#, также расширен список поддерживаемых билдов Linux, обновлены тестовые приложения для Linux, и добавлено новое проиллюстрированное руководство.

3 Улучшения C3D Converter

Обновления затронули каждый из трёх основных модулей. Обновлённый C3D конвертер теперь может регулировать точность экспортируемых моделей STL с помощью трёх параметров триангуляции, таких как: максимальное отклонение, максимальный угол поворота нормальной кривой (или поверхности), а также максимальная длина стороны треугольника.

Конвертер импортирует полигоны моделей в форматы STL и VRML. Кроме того, программное обеспечение теперь передает атрибуты элементов: экспортируются название, обозначение и владелец.

Благодаря оптимизированной многопоточности, при импорте моделей C3D 16-ой версии преобразует данные гораздо быстрее.

4 Улучшения C3D Solver

Серьёзное обновление затронуло и Solver – решающее устройство. Для облегчения разработки приложений в C3D Labs реализован журнал всех вызовов API в 2D PY. Все подробности, касающиеся взаимодействий C3D Solver, автоматически записываются в файл, что позволяет проводить удалённую отладку ошибок, о которых сообщают клиенты, в случае их обнаружения.

Касательно непосредственно работы с моделями, в C3D PY добавлен новый геометрический объект под названием "кластер", который, по сути, является твердым телом с собственной системой ограничений. Кластеры необходимы для организации геометрических моделей, чтобы не прибегать к иерархии вложенных узлов. Теперь проектировщики могут использовать один и тот же экземпляр объекта из PY для всей модели. Это экономит вычислительные ресурсы и ускоряет расчеты при модифицировании 3D-моделей.

Для узлов, в которых некоторые объекты являются полным или лишь частичным зеркальным отражением других, C3D Solver может предложить новый тип геометрического ограничителя в 3D-моделировании - зеркальная симметрия. Зеркальная симметрия может быть применена к любому геометрическому объекту, например, к кривым на фасках (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Зеркальная симметрия кривой на стенках отверстия

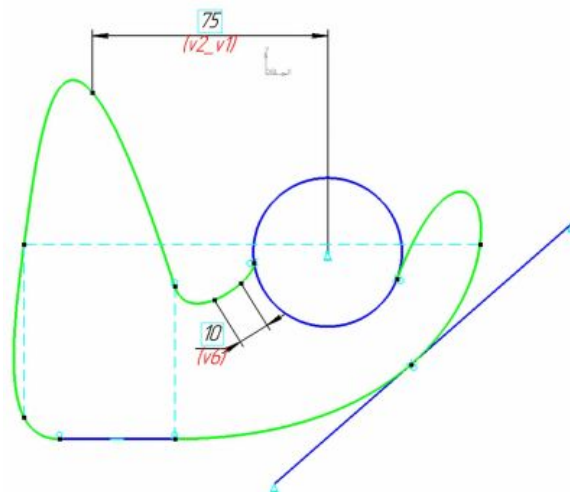


Рисунок 2 – Построение шлицевого соединения

В 16-ой версии C3D увеличено количество функций, используемых при построении шлицевых соединений с заданными параметрами (рисунок 2) [1].

Они включают в себя:

- новую функцию перетаскивания;
- обновлённую интерполированную сплайн-функцию с любым типом ограничения;
- новую функцию распознавания различных типов конических сечений, определенных в виде кривых NURBS;
- новое ограничение для определения конфигурации кривой через точки с фиксированными координатами, а также через векторы 1-й, 2-й и 3-й производных в точках с заданными параметрами.

5 Улучшения C3D Modeler

Основные улучшения затронули Моделировщик. Помимо улучшения старых (затронуты функции построения обечаек, например), были добавлены и новые, не менее важные. Среди них в C3D Modeler v16 наибольший интерес представляют следующие.

1. В кинематических операциях. Материалы из твёрдых веществ копируются в различных положениях (выравниваются) относительно направляющей линии (рисунок 3) [1].

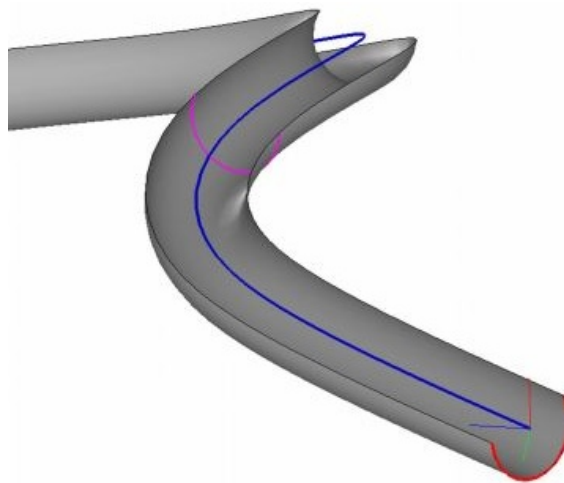


Рисунок 3 - Направляющий канал

2. Резьбу можно скорректировать в зависимости от исходного положения и длины отверстия, в котором она расположена. Это значительно сокращает время построения (рисунок 4) [1].

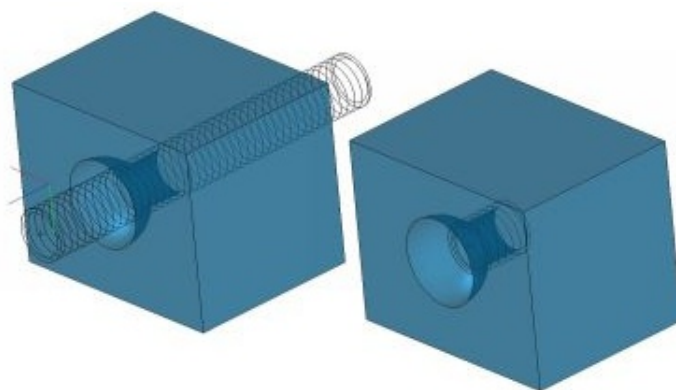


Рисунок 4 – Редактирование резьбы в отверстии

3. Построение обечаек по наброскам с нестандартными поверхностями теперь можно выполнить с помощью постоянного радиуса изгиба. Построение конических многоугольников по изгибам целых листов осуществляется через сегментацию опорной дуги (рисунок 5) [1]. *Сегментацией* называется процесс разбиения плоскостей на отдельные сегменты.

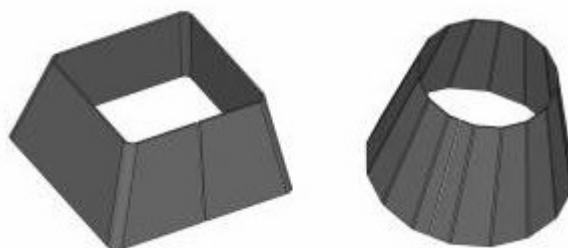


Рисунок 5 - Сегментация опорной дуги

4. Снятие фаски происходит более эффективно, так как была улучшена обработка данных по сравнению с предыдущими версиями ядра (рисунок 6) [1].

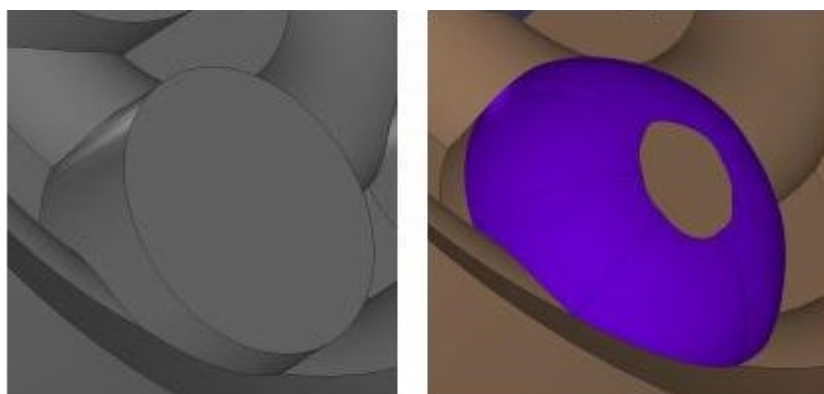


Рисунок 6 – Снятие фаски

5. Толщина поверхности может регулироваться благодаря отдельным (полярным) точкам (рисунок 7) [1].

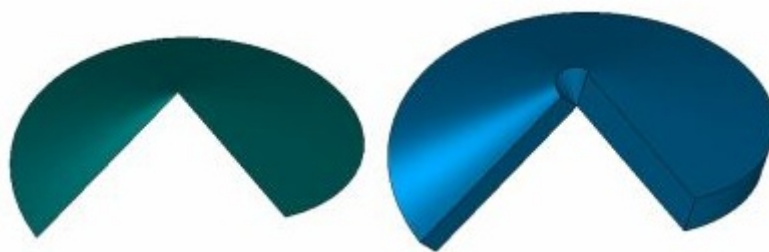


Рисунок 7 – Ручное регулирование толщин объекта

Заключение

Обновленная версия C3D предоставила гораздо больший спектр возможностей, чем предшественник V15. По просьбам пользователей были добавлены такие полезные функции, как журнал для удалённой отладки ошибок; расширен функционал при моделировании твёрдых объектов любых форм и размеров.

Литература

1. Официальный сайт C3D Geometrical Kernel - <http://c3dlabs.com/en/>.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КО-АЛГОРИТМА ЭВОЛЮЦИИ РАЗУМА

Сахаров М.К.

Научный руководитель: д.ф-м.н., доцент, Карпенко А.П.

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

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF MIND EVOLUTIONARY CO-ALGORITHM

Sakharov M.K.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлена модификация алгоритма эволюции разума (*MEC*), основанная на принципе ко-эволюции; предложена его программная реализация в среде *Wolfram Mathematica*. Приведены результаты анализа чувствительности и сравнительного исследования эффективности исходного алгоритма *MEC* и его ко-эволюционной модификации. Исследование эффективности проводилось с использованием многомерных тестовых функций различных классов.

Abstract

This article gives a brief description of the modified Mind Evolutionary Computation method (*MEC*) based on the concept of co-evolution; the proposed algorithm was implemented in *Wolfram Mathematica*. Results of the sensitivity analysis were presented along with results of the efficiency investigation performed with a use of several multidimensional benchmark optimization functions.

Введение

В работе [1] продемонстрировано, что классический алгоритм эволюции разума *MEC* плохо справляется с задачей оптимизации функций высокой размерности, то есть с решением практически значимых задач. В связи с этим авторами была предпринята попытка повысить эффективность алгоритма, не увеличивая его вычислительную сложность. Использована концепция ко-эволюционных алгоритмов, основанная на одновременной эволюции в пространстве поиска нескольких популяций, решающих одну задачу, но с разными начальными значениями свободных параметров, и борющихся за общий вычислительный ресурс. Разработана модификация ко-эволюционного алгоритма, основанная на использовании в качестве вычислительного ресурса суммарного числа агентов. Предложен ко-алгоритм *MEC* и его программная реализация, проведен анализ чувствительности алгоритма по отношению к значениям его свободных параметров, а также широкое сравнительное исследование эффективности с использованием многомерных тестовых функций различных классов.

1 Ко-алгоритм MEC

Подробно постановка задачи и исходный алгоритм эволюции разума описаны в работе [1]. Отметим лишь, что алгоритм *MEC* удобно интерпретировать как мультипопуляционный. Мультипопуляция состоит из лидирующих групп $S^b = (S_1^b, S_2^b, \dots, S_{|S^b|}^b)$ и отстающих групп $S^w = (S_1^w, S_2^w, \dots, S_{|S^w|}^w)$, включающих в себя $|S^b|$ и $|S^w|$ субпопуляций соответственно. В исходном алгоритме *MEC* число индивидов в каждой из указанных субпопуляций полагается одинаковым и равным $|S|$. Алгоритм *MEC* построен на основе операций инициализации групп, локальных состязаний (*similar-taxis*) и диссимилиации (*dissimilation*). Операции локальных состязаний и диссимилиации итерационно повторяются до тех пор, пока не выполнены критерии останова.

Основная идея ко-эволюционных алгоритмов (ко-алгоритмов) оптимизации состоит в следующем. Одновременно в пространстве поиска эволюционируют несколько субпопуляций, каждая из которых решает исходную оптимизационную задачу и имеет свою стратегию оптимизации, которая определяется значениями свободных параметров субалгоритма (алгоритма, который управляет данной субпопуляцией). В процессе решения задачи субпопуляции конкурируют между собой за некоторый ресурс (в данной работе – число агентов в каждой субпопуляции), который в процессе работы ко-алгоритма перераспределяется в пользу более эффективной из них [2].

В соответствии с описанной выше концепцией ко-эволюции нами модифицирована операция диссимилиации. После ранжирования и определения лидирующих и отстающих групп выполняется перераспределение числа индивидов внутри каждой группы по следующим правилам.

- Задаем минимально допустимый размер группы $|S_{min}|$. В рамках данной работы это значение составляет 20% от исходного числа агентов в каждой группе $|S|$.
- У всех отстающих групп S_j^w уменьшаем число агентов $|S_j^w|$ пропорционально их положению. Число индивидов лучшей группы из S_j^w уменьшаем на единицу, а число индивидов худшей группы уменьшаем в соответствии со значением параметра p_A , который определяется формулой

$$p_{|S^w|}^A = \left\lfloor \frac{(1 - |S_{min}|) \cdot |S|}{\omega} \right\rfloor. \quad (1)$$

Здесь ω – частота удаления отстающих групп - число итераций, на протяжении которых группа является отстающей, после чего она удаляется из популяции; $\lfloor \cdot \rfloor$ – символ ближайшего меньшего целого.

- Число индивидов удаляемых из промежуточных групп определяем с помощью линейной аппроксимации:

$$p_k^A = \left\lfloor \frac{(k-1) \cdot (p_{|S^w|}^A - 1)}{|S^w| - 1} + 1 \right\rfloor, k \in [2:|S^w| - 1]. \quad (2)$$

- При уменьшении числа агентов ниже минимально допустимого числа, число агентов в данной группе принимаем равным $|S_{min}|$.
- Число индивидов всех лидирующих групп кроме победителя не изменяем.
- Группа-победитель получает в дополнение к своим агентам всех агентов, удаленных из отстающих групп: $\sum_{k=1}^{|S^w|} p_k^A$. Таким образом, общее число агентов во всей популяции остается неизменным в течение всего вычислительного процесса.

Модифицированный алгоритм получил название *CoMEC-A (Agents)*.

2 Программная реализация и сравнительное исследование эффективности

2.1 Классические тестовые функции

Алгоритмы *MEC*, *CoMEC-A* реализованы в среде *Wolfram Mathematica*. Поскольку эффективность алгоритмов существенно зависит от случайного начального расположения индивидов, во всех исследованиях каждый вычислительный эксперимент повторялся 100 раз. В качестве основных критериев качества алгоритма и его программной реализации использованы среднее число испытаний $\bar{n}_f$, средняя достигнутая точность $\bar{\xi}$ и оценка вероятности P_f локализации глобального минимума целевой функции [3]. Вычислительные эксперименты выполнены на персональном компьютере с двухъядерным процессором *Intel Core 2 Duo 2,53 ГГц* и оперативной памятью объемом 4 Гб.

Рассматриваем многомерные многоэкстремальные функции Растригина и Гриванка [1]. Исследование ограничено параллелепипедом

$$D = \{X | -5 \leq x_i \leq 5, i \in [1:|X|]\}, \quad (3)$$

в котором глобальные максимумы указанных функций достигаются в точке $X^* = (0,0, ..., 0)$ и равны нулю. Также рассматриваем многомерные овражные функции, обратные функциям Розенброка и Захарова [1] в параллелепипеде (4). Глобальные максимумы этих функций в указанном параллелепипеде достигаются в точках $X^* = (1,1, ..., 1)$ и $X^* = (0,0, ..., 0)$ соответственно и равны нулю.

2.2 Анализ чувствительности

Известно, что от значений некоторых свободных параметров алгоритма существенно зависит его эффективность [3]. Поэтому перед вычислительным экспериментом был проведен анализ чувствительности алгоритмов MEC, CoMEC-A к значениям их следующих параметров: среднее квадратичное отклонение σ ; частота удаления отстающих групп ω ; отношение числа отстающих $|S^w|$ и лидирующих $|S^b|$ групп в мультипопуляции. Для минимизации вычислительных затрат анализ проводился с использованием двумерных тестовых функций ($|X| = 2$), описанных в предыдущем разделе, при следующих значениях неисследуемых параметров: начальное число индивидов в группе $|S| = 40$; число групп $\gamma = 20$; число лидирующих групп $|S^b| = 10$. В качестве условия окончания итерационного процесса использовалась его стагнация в течение $\lambda_{stop} = 50$ итераций, когда лучшее достигнутое значение целевой функции изменялось на величину, не превышающую $\varepsilon = 10^{-5}$. Данное условие останова также использовалось далее в вычислительном эксперименте.

Значения варьируемых параметров выбирались из дискретных множеств: $\sigma = \{0,25; 0,5; 0,75; 1,0\}$; $\omega = \{5,10,15,20\}$; доля лидирующих групп в мультипопуляции составляла 25%, 50% и 75%. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Из представленных результатов видно, что среднее квадратичное отклонение σ имеет различные оптимальные значения в зависимости от решаемой задачи. Частоту ω следует принимать достаточно большой, для того чтобы отстающие группы имели время для полноценного исследования своей области поиска. Что касается соотношения числа лидирующих и отстающих групп, то здесь для алгоритма MEC наблюдается определенная закономерность – чем больше лидирующих групп, тем лучше результат. Это свидетельствует о высоких интенсификационных свойствах алгоритма. В то же время, для алгоритма CoMEC-A наблюдается отсутствие какой-либо четкой зависимости, что свидетельствует об уменьшении влияния соотношения лидирующих и отстающих групп на эффективность поиска глобального оптимума.

Таблица 1 – Результаты анализа чувствительности

Тестовая функция	Алгоритм	Параметр		
		Среднее квадратичное отклонение, σ	Частота удаления отстающих групп, ω	Соотношение числа групп, $ S^b : S^w $
Растригина	MEC	0,5	20	3:1
	CoMEC-A	0,5	20	3:1
Гриванка	MEC	0,25	15	1:1
	CoMEC-A	0,25	20	1:3
Розенброка	MEC	0,25	20	3:1
	CoMEC-A	0,25	20	1:3
Захарова	MEC	0,25	20	3:1
	CoMEC-A	0,25	15	3:1

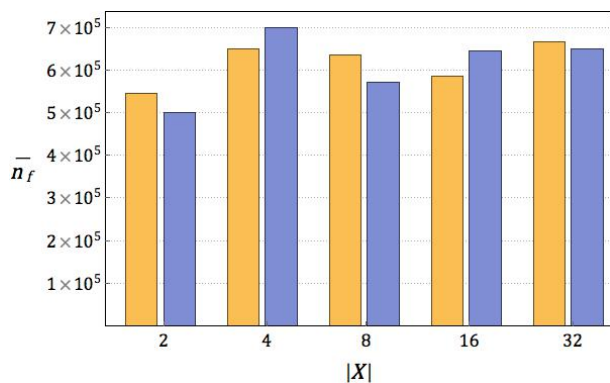
2.3 Вычислительный эксперимент

В рамках вычислительного эксперимента использовано большее число агентов: начальное число индивидов в каждой группе $|S| = 50$; число групп $\gamma = 100$. Таким образом, общее число испытаний на каждой итерации любого из исследуемых алгоритмов составило $n_f^* = |S| \cdot \gamma = 5000$. Это решение обусловлено опытом решения практически значимых оптимизационных задач высокой размерности [1]. Для всех остальных свободных параметров значения были определены по результатам анализа чувствительности (таблица 1). Результаты экспериментов представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

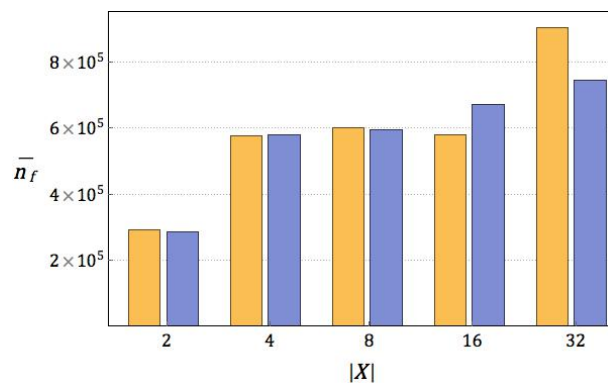
Таблица 2 – Средняя достигнутая точность $\bar{\xi}$ и оценка вероятности $P_f, \%$

Тестовая функция	Алгоритм	Размерность вектора x									
		2		4		8		16		32	
		$\bar{\xi}$	$P_f, \%$	$\bar{\xi}$	$P_f, \%$	$\bar{\xi}$	$P_f, \%$	$\bar{\xi}$	$P_f, \%$	$\bar{\xi}$	$P_f, \%$
Растргина	MEC	2,70E-4	100	9,26E-1	2	17,06E0	0	91,12E0	0	272,09E0	0
	CoMEC-A	2,69E-4	100	5,18E-1	7	14,94E0	0	77,17E0	0	255,63E0	0
Гриванка	MEC	3,48E-7	100	1,10E-4	100	2,89E-3	100	2,05E-2	100	4,56E-2	100
	CoMEC-A	2,55E-7	100	6,24E-5	100	1,81E-3	100	1,39E-2	100	3,81E-2	100
Розенброка	MEC	4,20E-6	100	6,08E-2	87	4,90E0	0	26,16E0	0	279,64E0	0
	CoMEC-A	4,03E-6	100	2,86E-2	99	4,16E0	0	24,75E0	0	100,03E0	0
Захарова	MEC	7,82E-7	100	4,91E-4	100	2,05E-2	100	2,32E-1	0	1,86E0	0
	CoMEC-A	8,60E-7	100	4,40E-4	100	1,94E-2	100	2,11E-1	0	1,34E0	0

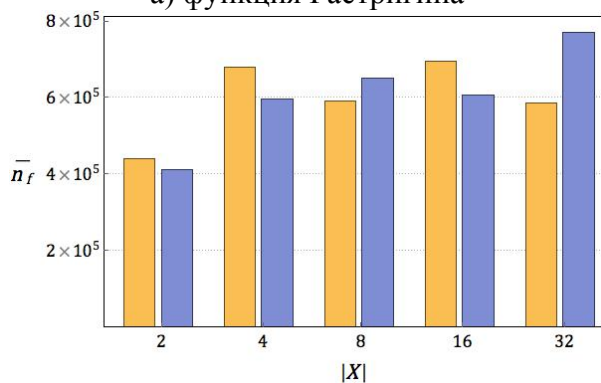
Как видно из таблицы 2 в подавляющем большинстве случаев ко-алгоритм показывает лучшую среднюю достигнутую точность $\bar{\xi}$, чем классический MEC. Однако, порядок точности не повышается. Механизм перераспределения агентов в процессе эволюции оказывает влияние на точность поиска в локальной области группы, но не на его диверсификацию. Вследствие этого оценка вероятности локализации глобального минимума у двух методов практически идентична (таблица 2).



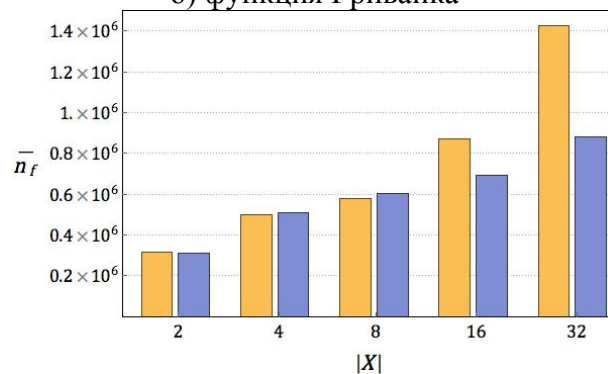
а) функция Растригина



б) функция Гриванка



в) функция Розенброка



г) функция Захарова

Рисунок 1 – Среднее число испытаний $\bar{n}_f$ в зависимости от величины $|X|$;
■ EC, ■ MEC-A.

Анализ среднего числа испытаний для каждой из тестовых функций при различных размерностях вектора варьируемых параметров X показывает отсутствие какой-либо определенной зависимости между двумя алгоритмами. Это свидетельствует о невысоком влиянии механизма коэволюции на сходимость алгоритма. Другими словами, при фиксированном числе испытаний на каждой итерации, общее число испытаний зависит от начальных значений компонентов вектора X .

Заключение

Представленные результаты сравнительного исследования эффективности предложенного алгоритма *CoMEC-A* и простого *MEC* демонстрируют их относительную эквивалентность с точки зрения вероятности локализации глобального оптимума. При высокой размерности вектора варьируемых параметров глобальный минимум тестовых функций Гриванка и Захарова был локализован с невысокой точностью, а для функций Растригина и Розенброка – не найден вовсе. Тем не менее, алгоритм *CoMEC-A* демонстрирует повышенную точность по сравнению с *MEC* при одинаковых вычислительных затратах, что делает его перспективным для дальнейших модификаций.

Полученные результаты, в частности, отсутствие какой-либо зависимости среднего числа испытаний от алгоритма и размерности вектора варьируемых параметров, подтверждают необходимость разработки для алгоритма *CoMEC-A* механизма предотвращения преждевременной сходимости вычислительного процесса. Также, в тех случаях, когда индивиды попадают в окрестность глобального оптимума для повышения точности локализации и скорости сходимости возникает необходимость в стадии локального уточнения решений.

Литература

1. Карпенко А.П., Сахаров М.К. Мультимемеевая глобальная оптимизация на основе алгоритма эволюции разума // "Информационные технологии" выпуск 7, 2014,. С. 23-30.
2. Воробьева Е.Ю., Карпенко А.П., Селиверстов Е.Ю. Ко-гибридизация алгоритмов роя частиц // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал. 2012. № 4. Режим доступа: <http://www.technomag.edu.ru/doc/355729.html> (дата обращения 24.01.2015).
3. Сахаров М. К. Исследование алгоритма эволюции разума // Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2014. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – С. 75-78.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА 3D МОДЕЛИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Шитик В.А.

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

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

REPRESENTATION OF OBJECTS ON THE 3D MODEL AT THE OPERATIONAL PHASE

Shitik V.A.

Supervisor: PhD, Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются различные решения для автоматизации этапа эксплуатации промышленного объекта. Подробно исследовано решение InterBridge ГК «НЕОЛАНТ». В заключении представлены возможные направления дальнейшего развития представленного программного решения.

Abstract

In article, various decisions for automation of an operational phase of an industrial facility are considered. The solution of InterBridge NEOLANT Group of companies is in detail investigated. In conclusion, the possible directions of further development of the presented software solution are presented.

Введение

На этапе эксплуатации любого промышленного объекта самым важным является поддержание его работоспособности. Для это необходимо обеспечить своевременное обслуживание, под которым подразумевается технический контроль, необходимый ремонт или даже замена оборудования.

Многие предприятия сегодня внедряют информационные технологии, позволяющие значительно повысить производительность их работы. Всё чаще организации обращаются к идее использования единой цифровой модели объекта, которая является информационным хранилищем всех данных о нем и обеспечивает эффективное управление процессами, происходящими на всех стадиях его функционирования — от проектирования до вывода из эксплуатации.

Формирование единой цифровой модели объекта — задача, которая сегодня стоит весьма остро. Сложность ее решения заключается в том, что зачастую к созданию отдельных частей большого проекта привлекаются разные субподрядные компании, которые используют различные САПР-платформы. Таким образом, актуальными становятся следующие задачи:

- объединение всех частей проекта, включая как графику, так и семантические структуры, создаваемые в исходных САПР;
- формирование модели объекта средствами одной платформы, адаптированной и интегрированной в корпоративную информационную систему (КИС) заказчика.

Данные задачи в настоящее время активно решаются различными компаниями-разработчиками интегрированных решений [1-3]. К сожалению, большинство подобных систем обладают недостаточно широким уровнем интеграции со сторонними продуктами, что затрудняет их внедрение на уже налаженные предприятия.

1 Этапы жизненного цикла

Жизненный цикл (ЖЦ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования. К ним относятся этапы маркетинговых исследований, проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, послепродажного обслуживания и эксплуатации

продукции, утилизации. На всех этапах жизненного цикла имеются свои целевые установки. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому продукту, при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС (автоматизированных систем). [4]

В эксплуатации технических устройств можно выделить два аспекта: технологический и организационный. Технологический аспект характерен для эксплуатации достаточно простых объектов (автомобиль, кондиционер, пульт управления и контроля и т.д.), управление которыми осуществляются одним человеком-оператором. Эксплуатация инженерных систем промышленных предприятий (в особенности, производственных зданий и сооружений), прежде всего, связана с:

- риском возникновения аварийных ситуаций, опасных как для здоровья и жизни людей, так и для окружающей среды;
- высокой вероятностью приостановки производства на время устранения неисправности, что влечет за собой весомые потери, как в отношении финансов, так и в отношении репутации предприятия.

Комплексное техническое обслуживание инженерных систем производственных зданий и сооружений, а также всего промышленного предприятия позволяет минимизировать вышеуказанные риски, фактически сводя к нулю возможность возникновения не только аварий, но и менее масштабных неполадок в работе инженерных систем [5].

Техническое обслуживание промышленных предприятий включает в себя:

- ряд систематических профилактических и регулировочных работ;
- замену и ремонт отдельных узлов, деталей систем и приборов, вышедших из строя в процессе функционирования;
- проведение плановых осмотров инженерных систем;
- подготовку и настройку инженерных систем для сезонной эксплуатации.

2 Информационные трёхмерные модели сложных технологических объектов

Под понятием информационной модели подразумевается трехмерная модель промышленного объекта с привязкой к ней необходимой информации, например, спецификаций, паспортов оборудования, графиков обслуживания. Информационные 3D модели позволяют:

1. Осуществлять контроль на всех стадиях жизненного цикла: проектирования, строительства, эксплуатации и капитального ремонта;
2. Упростить авторский надзор проектировщиков и технический надзор эксплуатирующей организации;
3. Упростить процесс технического обслуживания технических и технологических систем и подсистем объекта;
4. Производить анализ текущего состояния технологического объекта;
5. Использовать 3D модель в качестве основы для создания различных информационных систем при эксплуатации объекта.

Для интеграции 3D моделей, созданных в различных САПР ГК «НЕОЛАНТ», и их визуализации используется информационная система Interview.

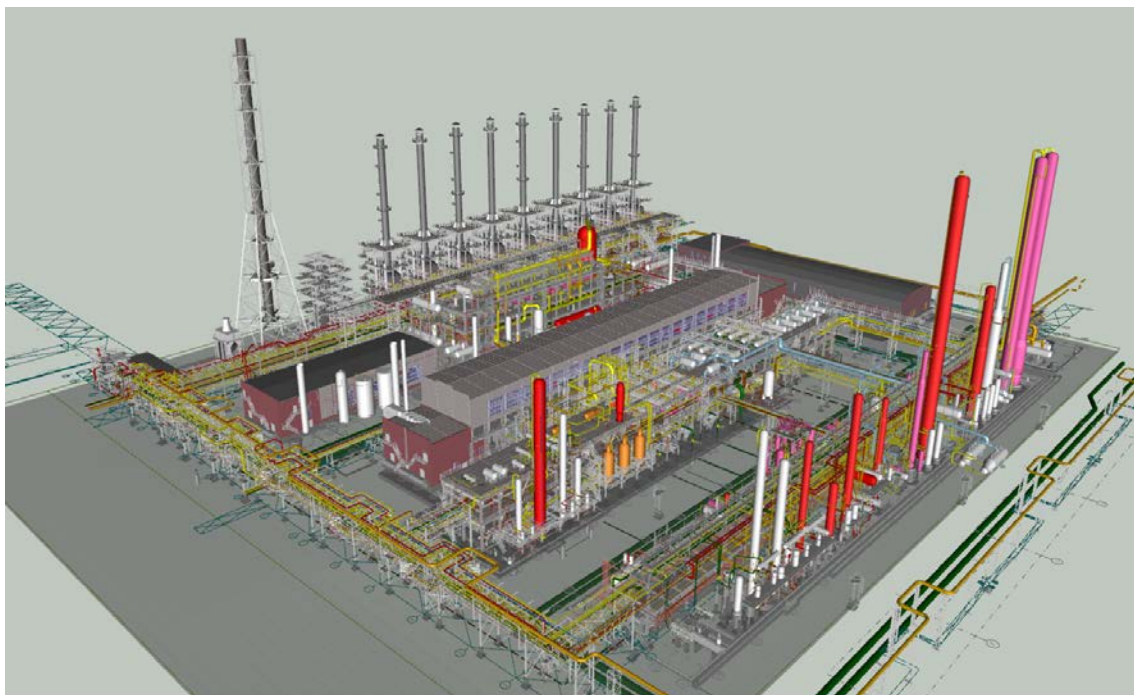


Рисунок 1 - Модель промышленного объекта в P3DB/Navigator

Interview — инструмент для визуализации и интерактивной навигации 3D моделей и 2D чертежей, в том числе больших пространственно-распределенных моделей технологических и линейных объектов. Является удобным инструментом для интерактивного просмотра проектов и изучения трехмерных моделей промышленных объектов в ходе проектирования, строительства и эксплуатации, пример модели показан на рисунке 1.

3 Сферические панорамы

Сферические панорамы создают эффект присутствия на объекте, представляя собой фотореалистичное изображение объекта.

Основными преимуществами сферических панорам перед обычными фотографиями являются:

1. возможность обзора на 360 градусов по горизонтали и на 180 по вертикали: ни один участок объекта вокруг не останется незамеченным;
 2. возможность создания на основе сферических панорам информационных систем со следующим функционалом:
 - осуществление мониторинга процесса строительства с любым интервалом от дневного до квартального;
 - переход из одной точки объекта в другую;
 - дополнение объектов панорамы атрибутивной информацией;
 - переход из сферической панорамы в соответствующую точку трёхмерной модели с сохранением параметров камеры: местоположение, угол наклона, увеличение.
- Данная возможность позволяет: оценивать реалистичность и точность модели (сравнение «как построено»), получать в 3D модели атрибутивную информацию об элементах модели и использовать другие функции информационной 3D модели объекта.

4 Визуализации диагностической информации

Трехмерная модель несет в себе полную и достоверную информацию об устройстве объекта и обеспечивает доступ к необходимой информации для быстрого и своевременного принятия необходимого решения. И поэтому является удобным инструментом при планировании различного рода работ по диагностике и ремонту. Сферические панорамы создают эффект присутствия на объекте, представляя собой фотореалистичное изображение объекта. Существует возможность визуального мониторинга через определенные временные промежутки.

Точка, в которой измеряется тот или иной параметр, отображается в трехмерной модели и несет в себе как атрибутивную информацию: дата измерений, значение измерения, максимально допустимые параметры, выводы; так и связь с электронной таблицей (отчетом по проведенным обследованиям), в которой предоставляется расширенная информация — марка измерительного прибора, инженер, выполняющий измерения и т.д.

Три режима отображения точек измерения позволяют визуально выделять в модели объекта значения измеряемых параметров:

- значение измеряемого параметра удовлетворяет допустимым значениям;
- значение превышает критическое (требует принятия решения о дальнейшей эксплуатации и методах решения проблемы);
- значение в заданной точке превышает максимально допустимое значение (дальнейшая эксплуатация запрещена).

Заключение

Для решения поставленных задач специалисты ЗАО «НЕОЛАНТ» разработали специализированную технологию InterBridge, позволяющую организовать межплатформенную трансляцию данных из различных САПР в единую цифровую модель.

InterBridge — это технология трансляции графических и семантических 2D и 3D-данных между САПР различных платформ, позволяющая формировать итоговую единую цифровую модель объекта средствами той платформы САПР, которая задана по условиям контракта — отечественного или зарубежного.

Программная реализация технологии InterBridge не предусматривает разработки собственного формата обмена данными, используются уже применяемые форматы данных (например, STEP, SAT и др.), что существенно упрощает ее реализацию.

Применение InterBridge наиболее эффективно в комплексе с созданными ЗАО «НЕОЛАНТ» технологиями визуализации находящихся в единой цифровой модели данных — InterView — и обеспечения хранения и доступа к графическим и семантическим данным в модели — InterStorage.

Использование технологии InterBridge в комплексе с InterView и InterStorage обеспечивает отображение в PLM-системе заказчика семантических данных всех внешних САПР, применяемых при формировании единой цифровой модели объекта. Такой подход позволяет передавать на стадии строительства и эксплуатации максимально полный объем проектных данных, повышая эффективность их использования и способствуя увеличению прибыли организации [6].

В дальнейшем планируется адаптировать описанный программный продукт для представления в трехмерной модели объектов с различной степенью детализации на этапе эксплуатации.

Литература

1. Жеребин М. SmartPlant: от концептуального проектирования до этапа вывода из эксплуатации. [Текст] /М. Жеребин// CADmaster. — 2011. — №3. — с.65-67.
2. Кузьмин Е., Попов К., Порфирьев Д., Рындин А. Новая версия среды визуализации компании Intergraph SmartPlant Review 2012. [Текст] /Е. Кузьмин// САПР и графика. — 2013. — №8. — с.12-16.
3. Проектная деятельность института ООО «СибНИИ НП-инжиниринг» на базе технологий AVEVA. [Текст]/Ю. Лихотин// САПР и графика. — 2011. — №6. — 6 с.
4. Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла. — Гудков Д. [Электронный ресурс]. 2009. URL: <http://www.emb.ustu.ru/kurs/ispu/download/1/gud.htm> (дата обращения: 18.11.2014).
5. Васильев Г.Г, Гульков А.Н., Земенков Ю.Д. Эксплуатация оборудования и объектов газовой промышленности. Учебное пособие. [Текст]: в 2-х т. / Г.Г. Васильев; Инфа-Инженерия — Москва, 2007. — 1216 с.
6. Юрченко М. InterBridge — мост между платформами и частями. [Текст]/М. Юрченко// САПР и графика. — 2011. — №10. — 8 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ СИГНАЛА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Сотников П.И.

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

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

SELECTION OF THE MOST INFORMATIVE EEG SIGNAL FEATURES BY GENETIC ALGORITHM

Sotnikov P.I.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье описывается подход к применению генетического алгоритма для отбора наиболее значимых признаков сигнала электроэнцефалограммы в интерфейсах мозг-компьютер. Для формирования полного набора характерных признаков используется непрерывное вейвлет-преобразование. Далее посредством генетического алгоритма создаются новые вектора признаков (выступающие в качестве особей популяции). Оценка функции приспособленности для особей выполняется с помощью классификатора на основе метода опорных векторов.

Abstract

This article describes the application of genetic algorithm for the obtaining a subset of the most significant EEG signal features in brain-computer interfaces. To form a full set of features we used the continuous wavelet transform. Next, new feature vectors (which act as individuals in population) were generated by genetic algorithm. Values of fitness function for individuals were assessed using support vector machine classifier.

Введение

В настоящее время наблюдается активное развитие технологий, реализующих непосредственное преобразование намерений человека, отраженных в регистрируемых сигналах мозга, в управляющие команды внешним техническим устройствам. В литературе такие технологии обозначаются как *интерфейсы мозг-компьютер* (ИМК) или *нейрокомпьютерные интерфейсы* [1].

Для регистрации биопотенциалов головного мозга человека в ИМК нашли широкое применение методы электроэнцефалографии. Например, по данным электроэнцефалограммы (ЭЭГ) можно определить наличие в электрической активности мозга сенсомоторных ритмов (*sensorimotor rhythms* - *SMR*), связанных с выполнением или мысленным представлением пользователем различных движений [1,2]. В состоянии покоя сенсомоторные ритмы имеют высокую амплитуду (наблюдается *синхронизация* ритма), в то время как при активации сенсорных или моторных участков коры, их интенсивность падает (наблюдается *десинхронизация* ритма).

Любой ИМК реализует следующие стадии обработки нейрофизиологических данных: регистрация и оцифровка сигнала ЭЭГ; предобработка (фильтрация от шумов, удаление артефактов); выделение характерных признаков; классификация полученных признаков.

Как правило, каждому каналу (отведению) в записи ЭЭГ сопоставляется несколько характерных признаков. При этом чем больше общее число признаков, тем больше примеров требуется для корректного обучения классификатора. Однако на практике получение больших выборок обучающих данных бывает затруднено.

В данной статье рассматривается возможность применения *генетического алгоритма* для выделения подмножества признаков, превосходящего по полезным свойствам полный набор признаков. Критерием полезности служит точность классификации, достижимая на данном подмножестве.

1 Формирование вектора характерных признаков

В работе для выделения характерных признаков исходного сигнала ЭЭГ, заданного в дискретной форме, применялась процедура, описываемая следующей последовательностью шагов.

На первом этапе выполняется пространственная фильтрация сигнала. Для этого осуществляется перерасчет значений сигнала ЭЭГ относительно *общего усредненного референта* [2]. Перерасчет производится по формуле:

$$\tilde{X}_i = X_i - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M X_i,$$

где X_i – строки матрицы $\mathbf{X}$ (размерности $M \times N$), M – общее число каналов (отведений) в записи ЭЭГ, N – число дискретных отсчетов в каждом из каналов.

На втором этапе с помощью *непрерывного вейвлет-преобразования* (НВП) осуществляется переход от представления сигнала ЭЭГ как функции времени, к представлению сигнала в частотной области.

В отличие от дискретного преобразования Фурье, рассматривающего сигнал, как стационарный, непрерывное вейвлет-преобразование позволяет отследить динамику изменения гармонических составляющих сигнала с течением времени, что удобно использовать при анализе сенсомоторных ритмов.

Пусть $\mathbf{W} = \{w_{ij}\}$ – матрица коэффициентов вейвлет-разложения для сигнала $x(n)$, представленного в виде последовательности отсчетов, взятых с частотой дискретизации F_S в моменты времени с номерами $n = 0, 1, \dots, N-1$. Тогда элементы матрицы $\mathbf{W}$ определяются, исходя из выражения

$$w_{ij} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \Psi^* \left(\frac{n\Delta t - \tau_i}{a_j} \right), \quad i = 0, 1, \dots, N_\tau - 1; j = 0, 1, \dots, N_a - 1,$$

где $x(n)$ – измеренное значение сигнала в момент времени с номером n ; $\Psi(t)$ – материнская вейвлет-функция; τ_i и a_j – значения временного сдвига и масштаба в узле сетки с номером (i, j) ; N_τ – разрешение матрицы $\mathbf{W}$ по времени; N_a – разрешение матрицы $\mathbf{W}$ по масштабу; Δt – интервал дискретизации ($\Delta t = \frac{1}{F_S}$).

Величина шага вдоль оси τ выбирается равномерной, а значения масштабов a_j – обратно пропорциональными исследуемым частотам.

В работе для оценки энергии сигнала $x(n)$ в различных частотных диапазонах использовалась матрица квадратов коэффициентов вейвлет-разложения ($\mathbf{E} = \{|w_{ij}|^2\}$). Каждый столбец такой матрицы отражает распределение энергии сигнала по частотам в фиксированный момент времени. Каждая строка отражает распределение энергии сигнала на фиксированной частоте во времени.

На завершающем этапе для каждого из каналов записи ЭЭГ в качестве характерных признаков выбираются *средние значения энергии* сигнала в следующих частотных диапазонах: 1-4 Гц (дельта-ритм); 4-8 Гц (тета-ритм); 8-14 Гц (альфа-ритм); 14-30 Гц (бета-ритм); 30-50 Гц (гамма-ритм).

Таким образом, итоговый вектор характерных признаков V имеет размерность $L=5 \cdot M$, где M – общее число каналов в исходной записи.

2 Построение классификатора

Поскольку в приложениях ИМК достаточно эффективными являются линейные методы классификации, в работе был выбран классификатор на основе *метода опорных векторов*.

Пусть имеется обучающая выборка $\{\mathbf{v}_q, y_q\}_{q=1}^Q$ объема Q , где $\mathbf{v}_q \in R^L$ - признаковое описание многоканального ЭЭГ сигнала, $y_q \in \{-1, +1\}$ - метка класса, принимающая одно из двух возможных значений. Метод опорных векторов выполняет в признаковом пространстве R^L поиск такой разделяющей гиперплоскости $f(\mathbf{v}) = 0$, чтобы расстояние между двумя ближайшими точками, лежащими по разные стороны гиперплоскости, было максимальным. При этом объект относится к первому классу, если он лежит с положительной стороны от гиперплоскости, и ко второму классу – в противном случае.

Следует отметить, что метод опорных векторов может быть расширен на решение задач с числом классов, большим двух. Для этого задача разбивается на несколько бинарных подзадач, в которых сравнение производится по схеме «каждый с каждым» или «один со всеми».

На практике классы часто бывают линейно неразделимы. Для решения данной проблемы используется ряд модификаций метода опорных векторов, допускающих ошибки на обучающей выборке. Одной из таких модификаций является метод «*nu-SVM*»[3]. В нем варьируемый параметр $\nu \in [0, 1]$ задает верхнюю границу доли ошибок обучения и нижнюю границу числа опорных векторов.

Точность «*nu-SVM*» классификатора зависит от параметра ν . В связи с этим в работе значение ν варьировалось в диапазоне от 0,1 до 0,95 с шагом 0,05. В качестве итоговой точности классификатора принималась максимальная из полученных.

3 Снижение размерности вектора характерных признаков с помощью генетического алгоритма

Применение *генетического алгоритма* (ГА) основывается на предположении о том, что среди полного набора характерных признаков можно выделить ряд признаков, обладающих, с точки зрения правильности распознавания классов, большей информативностью, чем остальные.

Пусть перед запуском генетического алгоритма имеется исходный набор данных $\{\mathbf{V}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=1}^P$ объема P , где $\mathbf{V}_i \in R^L$ – вектор характерных признаков для i -той записи сигнала ЭЭГ, а $\mathbf{k}_i \in \{1, 2, \dots, K\}$ – метка класса, соответствующая одному из K типов распознаваемых движений.

В качестве особей (хромосом) в ГА выступают вектора Z размерности L , элементы которых могут принимать значения «1» или «0». Значение «1» – указывает на то, что признак включается в выборку, а «0» – не включается.

Для каждой из особей значение функции приспособленности $F(Z)$ вычисляется следующим образом.

1) Из исходного набора данных $\{\mathbf{V}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=1}^P$ формируется новый набор данных $\{\mathbf{U}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=1}^P$. При этом в каждый вектор $\mathbf{U}_i$ включаются только те компоненты из $\mathbf{V}_i$, для которых в соответствующих позициях вектора Z стоит значение, равное «1». Размерность новых векторов $\mathbf{U}_i$, таким образом, равна сумме элементов вектора Z .

2) Полученный набор данных $\{\mathbf{U}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=1}^P$ разделяется на обучающую выборку $\{\mathbf{U}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=1}^r$, которая будет использоваться для построения классификатора, и тестовую выборку $\{\mathbf{U}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=r+1}^P$, применяемую для оценки точности полученного классификатора. Значение $r \in (1; P)$ выбирается заранее и является одинаковым для всех особей.

3) Точность классификации, достижимая на множестве пар $\{\mathbf{U}_i, \mathbf{k}_i\}_{i=r+1}^P$, выбирается в качестве значения функции приспособленности $F(Z)$.

На начальном шаге генетического алгоритма происходит создание исходной популяции особей, для которых компоненты векторов Z задаются случайным образом. Далее особи оцениваются и сортируются по значению функции приспособленности. Отбор родительских пар производится по методу «рулетки». На следующем шаге с равной вероятностью выполняется *одноточечный* или *двухточечный кроссовер* (скрещивание), для

каждой пары родителей формируются два потомка. Далее потомки с заданной при инициализации алгоритма вероятностью подвергается мутациям. После этого для них оценивается значение функции приспособленности. Новые особи включаются в популяцию на место наименее приспособленных.

После окончания алгоритма фиксируется итоговое значение точности классификации (наибольшая из величин $F(Z)$) и полученная размерность вектора характерных признаков.

В работе использовались следующие параметры генетического алгоритма:

- Размер популяции – 20 особей;
- Число поколений – 10;
- Вероятность мутации – 0,05;
- Кроссовер одноточечный или двухточечный с равной вероятностью.

4 Описание тестовых данных

Для оценки эффективности рассматриваемого алгоритма использовались тестовые данные *Dataset IIa*, предоставленные Технологическим университетом Граца для проведения соревнования «BCI Competition IV» [4]. В состав тестовых данных входят записи электроэнцефалограммы, снятые для девяти испытуемых (мужского и женского пола). Каждый из испытуемых (A01-A09) участвовал в двух сессиях, проводимых в разные дни. В течение сессии испытуемому предлагалось мысленно представлять движения следующих типов: левой рукой (класс 1); правой рукой (класс 2); ногами (класс 3); языком (класс 4).

Запись ЭЭГ осуществлялась с помощью 22 электродов, расположенных как показано на Рисунок 1а. В качестве референтного использовался электрод, закрепленный на левом мастоиде; в качестве заземления - электрод на правом мастоиде. Дополнительно с помощью трех электродов выполнялась регистрация электроокулограммы (Рисунок 1б). Запись ЭЭГ проводилась с частотой дискретизации 250 Гц; чувствительность усилителя была установлена равной 100 мкВ.

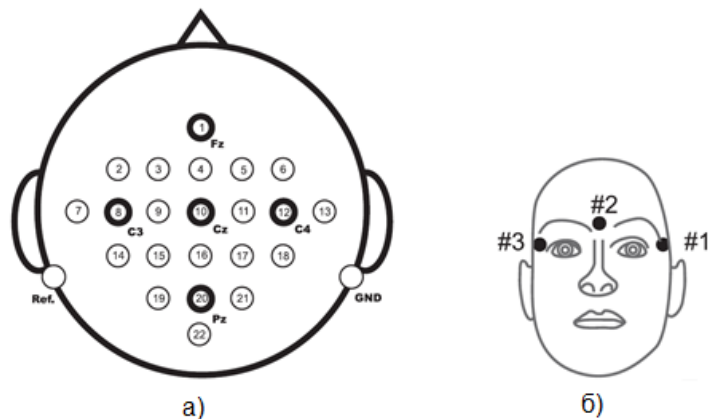


Рисунок 1 - Схемы расположения электродов: а) при регистрации ЭЭГ; б) для записи ЭОГ

Во время каждой сессии было записано по 288 проб (по 72 пробы каждого класса). В работе данные, полученные в ходе первой сессии, были использованы в качестве обучающей выборки, данные, полученные в ходе второй сессии, - в качестве тестовой выборки. При вычислении характерных признаков каналы, соответствующие электроокулограмме (каналы 23,24,25), не использовались.

5 Полученные результаты

Изменение точности классификации и размера вектора признаков с течением поколений генетического алгоритма показано на примере испытываемого A01 на рисунке 2.

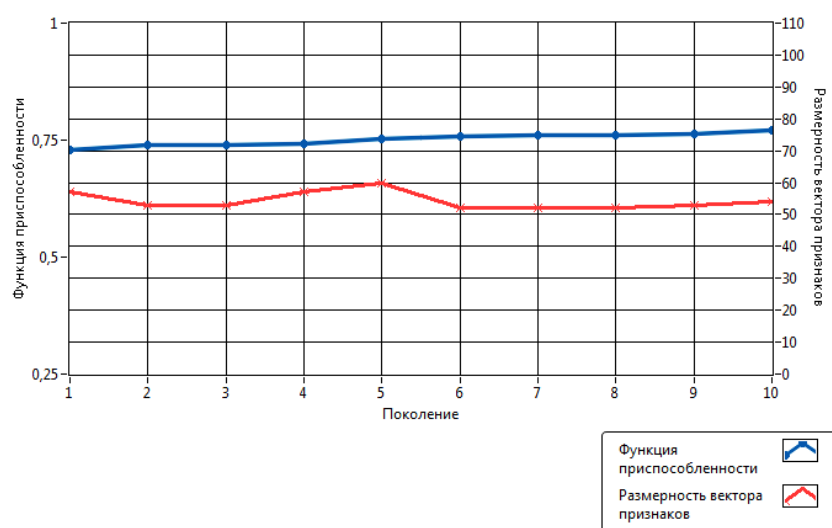


Рисунок 2 – Графики изменения функции приспособленности и размерности вектора характерных признаков с течением поколений ГА (на примере испытываемого A01)

В таблице 1 приведены рассчитанные значения вероятности правильного распознавания типов воображаемых движений. В первой строке таблицы указаны оценки точности классификации, полученные с помощью метода «*nu-SVM*» на исходных векторах признаков размерности $L = 5 \cdot 22 = 110$. Во второй строке - оценки точности классификации, определенные по завершении генетического алгоритма. В скобках приводятся итоговые значения размерности векторов признаков. В последней строке для сравнения представлены результаты, полученные победителем соревнования «*BCI Competition IV*». Следует отметить, что для четырех классов вероятность «случайной» классификации составляет 25%.

Таблица 1 - Оценки точности классификации

	Номер испытываемого									Среднее значение
	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	
Полный набор признаков	0,69	0,54	0,66	0,50	0,25	0,44	0,55	0,65	0,65	0,55
Генетический алгоритм	0,77 (54)	0,61 (58)	0,73 (53)	0,57 (55)	0,37 (55)	0,49 (54)	0,67 (58)	0,69 (65)	0,72 (57)	0,62
Победитель соревнования	0,68	0,42	0,75	0,48	0,40	0,27	0,77	0,75	0,61	0,57

Средняя точность классификации, достижимая на векторах, полученных с помощью генетического алгоритма, составляет 62% и является наибольшей.

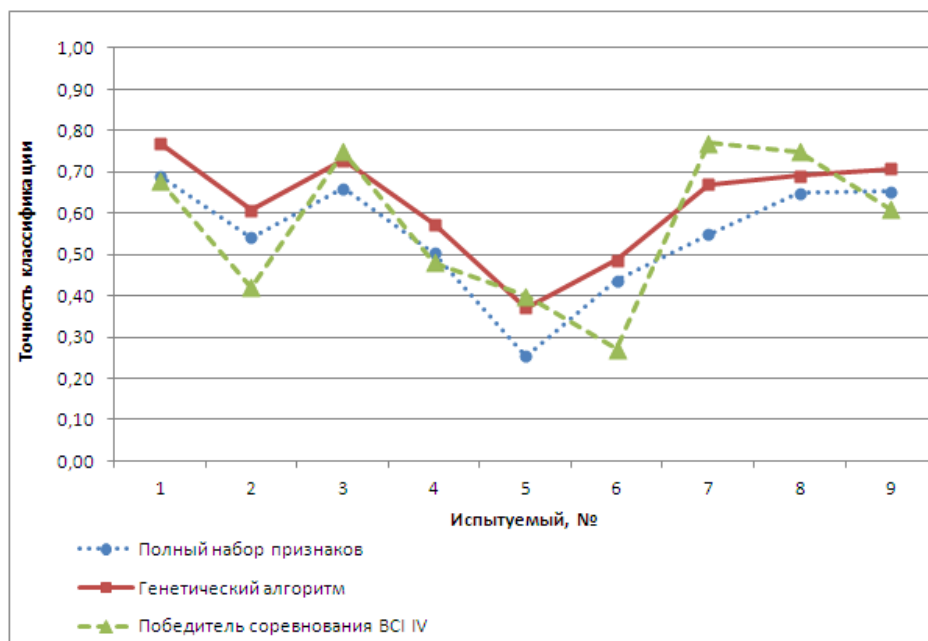


Рисунок 3 – Графики зависимости точности классификации от испытуемых

На рисунке 3 результаты экспериментов представлены в графическом виде, каждой строке таблицы 1 соответствует своя кривая.

Заключение

Как видно из полученных результатов, после применения генетического алгоритма наблюдается увеличение точности классификации для всех испытуемых. При этом почти в два раза сокращается общее количество используемых признаков. Данный факт свидетельствует как об эффективности применения генетического алгоритма в интерфейсах мозг-компьютер, так и о верности предположения о том, что часть признаков обладают большей информативностью по сравнению с остальными.

К недостаткам метода можно отнести его высокую вычислительную сложность, связанную с тем, что на каждой итерации алгоритма для всех потомков требуется производить оценку функции приспособленности. Также с увеличением числа поколений возрастает вероятность переобучения алгоритма, которое проявляется в чрезмерной подгонке множества признаков под конкретную тестовую выборку. Тем не менее, проблему переобучения можно решить, введя дополнительную валидационную выборку, которая будет использоваться для проверки обобщающих свойств метода.

Литература

1. Трофимов А.Г., Скругин В.И., "Системы нейрокомпьютерного интерфейса. Обзор" // Информационные технологии, № 2, - 2011. - С. 2-11.
2. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Донецк: Издатель Заславский А.Ю., 2010. 512 с.
3. Chen P.H., Lin C.J., Scholkopf B. A tutorial on v-support vector machines // Applied Stochastic Models in Business and Industry. 2005. Vol. 21, iss. 2. P. 111-136. DOI:10.1002/asmb.537
4. Brunner C., Leeb R., Müller-Putz G., Schlögl A., Pfurtscheller G. BCI Competition 2008 -Graz data set A // BBCI: Berlin Brain-Computer Interface: website. Режим доступа: <http://www.bbci.de/competition/iv/> (дата обращения 31.01.2015).

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЛЯ СОКРЫТИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЗВУКОВОМ ФАЙЛЕ НА ОСНОВЕ ЭХО-СИГНАЛА И ЧАСТОТНОГО МЕТОДА

Спасёнов А.Ю.

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

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

DEVELOPMENT PROGRAMME IMPLEMENTATION COMBINED METHOD FOR EMBEDDING INFORMATION IN AUDIO FILE, USING ECHO DATA HIDING AND FREQUENCY METHOD

Spasenov A. Y.

Supervisor: Ph.D. assistant professor Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются алгоритмы стеганографии. Подробно исследован комбинированный метод сокрытия информации на основе метода эхо-сигнала и частотного метода, представлена его программная реализация. В статье также приведены результаты работы созданного программного средства. На их основании проведено исследование возможности использования данного метода для защиты данных в САПР. В заключение представлены рекомендации по использованию данных алгоритмов.

Annotation

The algorithms of steganography are examined in the article. In it is in detail investigated the combined method of the concealment of information on the basis of the echo data hiding and frequency method. Its program realization is represented. Examples of software's output were also included into the article. The possibility of applying these techniques to data protection in CAD systems was analyzed on the basis of these examples. Recommendations on the use of the specified algorithms were given in the conclusion.

Введение

Целью работы является разработка графического приложения для сокрытия информации в звуковом файле на основе метода эхо-сигнала и частотного метода. В основе комбинированного метода лежит двойное внедрение данных в один и тот же звуковой файл.

В рамках работы выполнены исследование методов стеганографии и их программная реализация. Разработано программное приложение с графическим интерфейсом, позволяющее пользователю скрывать и извлекать данные из выбранного звукового файла с использованием композиции двух методов: частотного и метода эхо-сигнала. Получены результаты тестирования разработанного ПО, их анализ представлен в данной работе.

1 Постановка задачи

Стеганография - это процесс организации связи, который собственно скрывает само наличие связи. При этом используется расширяемая совокупность методов и средств передачи (хранения) скрытой информации, при которых скрытый канал организуется на базе и внутри открытого канала с использованием особенностей восприятия информации.

При проведении анализа принято считать, что основными стеганографическими понятиями являются сообщение и контейнер.

Контейнером называются несекретные данные, используемые для сокрытия сообщений. Сообщением считаются секретные данные, наличие которых в контейнере необходимо скрыть. Ключом будем называть секретную информацию, известную только законному пользователю.

В данной работе сообщением будет являться произвольный файл. Ключом будут являться параметры, с помощью которых возможно извлечь данные из звукового файла.

Контейнером при решении данной задачи является звуковой файл, в который будет встроено сообщение, используя частотный метод и метод эхо-сигнала.

2 Метод эхо-сигнала

Метод внедрения информации с использованием эхо-сигнала позволяет внедрять данные в сигнал прикрытия, изменяя параметры эхо-сигнала. К параметрам эхо-сигнала, несущим внедряемую информацию, относятся: начальная амплитуда, время спада и сдвиг (время задержки между исходным сигналом и его эхо). При уменьшении сдвига два сигнала смешиваются. В определённой точке человеческое ухо перестаёт различать два сигнала, и эхо воспринимается, как добавочный резонанс. Эту точку трудно определить точно, так как она зависит от исходной записи, типа звука и слушателя. В общем случае для большинства типов сигналов и для большинства слушателей слияние двух сигналов происходит при расстоянии между ними около 0,001 секунды. На рисунке 1 представлены параметры эхо-сигнала.

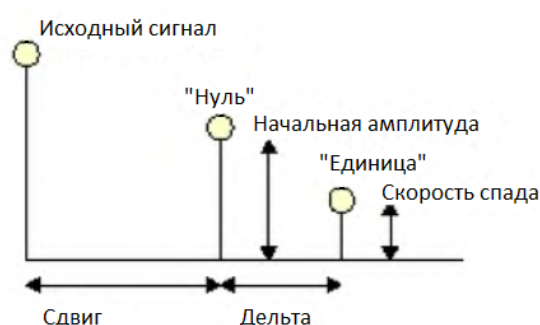


Рисунок 1 - Параметры эхо-сигнала

Кодер использует два времени задержки: одно для кодирования нуля, другое для кодирования единицы. И то, и другое время задержки меньше того, на котором человеческое ухо может распознать эхо. Чтобы внедренная информация не могла быть воспринята системой слуха человека, необходимо добиться кроме уменьшения времени задержки и времени спада путем установления начальной амплитуды.

3 Частотный метод

Частотный метод встраивания данных в звуковой файл основан на спектральных перестановках звукового файла в соответствии с управляющей последовательностью бит. Для получения частотного представления звукового файла используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Алгоритм кодирования данных состоит из следующих шагов.

- 1) Осуществляется преобразование Фурье по алгоритму БПФ.
- 2) Проводится разбиение на группу из N частотных интервалов с центральной частотой $\nu_{\pi i}$ и шириной $\Delta \nu_i, i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm N$.
- 3) Выполняются спектральные перестановки в соответствии со значениями $\nu_{\pi i} = k \Delta \nu_i, k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm N$.
- 4) Проводится суммирование «перемешанных» интервалов (формирование «выходного» спектра).
- 5) Осуществляется обратное преобразование Фурье по алгоритму обратного БПФ.

Различие между кодированием данных и декодированием состоит в этапе преобразования частот, остальные шаги – аналогичны.

Алгоритм декодирования состоит из следующих шагов.

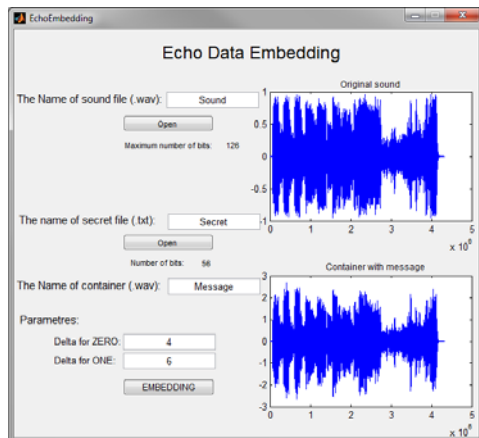
- 1) Осуществляется БПФ.
- 2) Проводится разбиение на группу из N частотных интервалов

$$\tilde{U}_i^o = \tilde{U}_i(v_r + v_{ri}), i = l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm N.$$

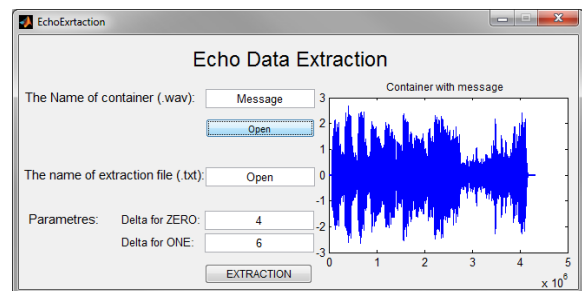
- 3) Спектральные перестановки по ключу в соответствии со значениями $v_{ri} = l\Delta v_i, l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm N.$
- 4) Суммирование «перемешанных» интервалов.
- 5) Осуществляется обратное БПФ.

4 Описание программной реализации

Программы реализованы в среде Matlab. На рисунке 2 представлен графический интерфейс системы, позволяющей пользователю встраивать данные в звуковой файл с использованием метода эхо-сигнала.



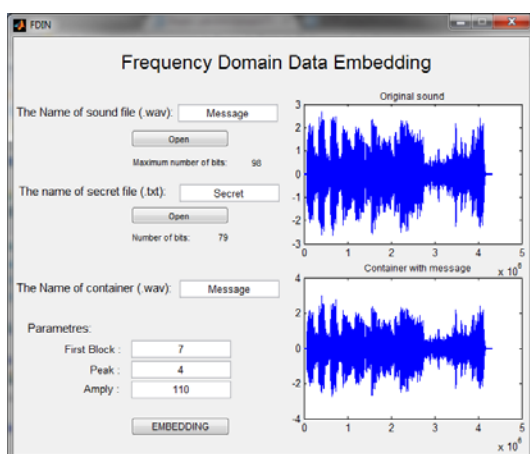
а) Интерфейс программы встраивания данных



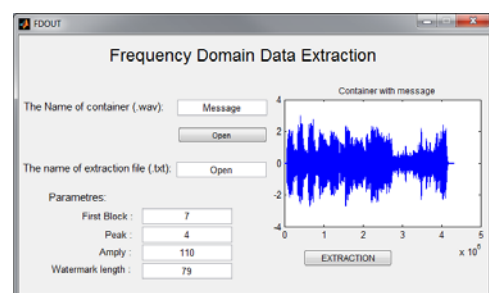
б) Интерфейс программы извлечения данных

Рисунок 2 – Графический интерфейс программы, реализующей метод эхо-сигнала

С помощью данных программы пользователь может выбрать файл, в который будет встраиваться информации, а также параметры встраивания, такие как временные интервалы, соответствующее задержке эхо-сигнала δ_1 и δ_0 .



а) Интерфейс программы встраивания данных



б) Интерфейс программы извлечения данных

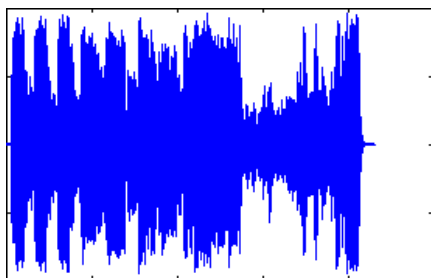
Рисунок 3 – Графический интерфейс программы, реализующей частотный метод

На Рисунок 3 представлен графический интерфейс программы, позволяющей пользователю сокрыть данные в звуковом файле. Для встраивания данных пользователь

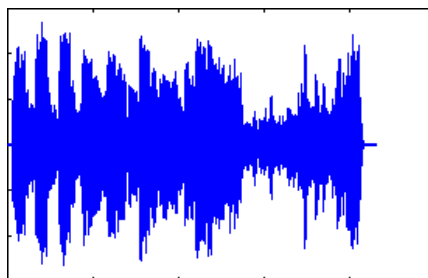
должен выбрать звуковой файл и файл с данными, а также указать параметры встраивания в звуковой файл.

5 Сравнение результатов

Из приведённых (Рисунок 4) изображений видно, что алгоритм сокрытия данных, основанный на методе эхо-сигнала, приводит к изменению звукового файла. Однако, при непосредственном прослушивании исходного звукового файла и файла с внедрёнными данными, невозможно определить, было ли произведено встраивание данных или нет, за счёт того, что время задержки эхо-сигнала не ощутимо для органов восприятия человека.



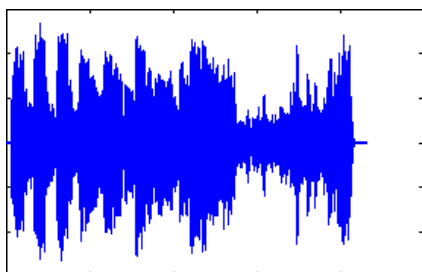
а) Исходный звуковой файл



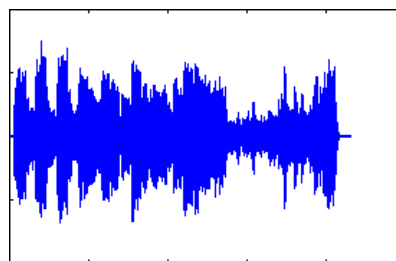
б) Звуковой файл со встроенными данными

Рисунок 4 – Визуализация звукового файла, до и после внедрения данных с использованием метода эхо-сигнала.

Также было установлено, что метод эхо-сигнала зависит от звукового файла, в который происходит встраивание данных.



а) Исходный звуковой файл



б) Звуковой файл со встроенными данными

Рисунок 5 – Визуализация звукового файла, до и после внедрения данных с использованием частотного метода.

На рисунке 5 представлены результаты работы программы встраивания данных в звуковой файл на основе частотного метода. На основе результатов можно убедиться, что при использовании частотного метода, как в методе эхо-сигнала, при встраивании информации происходит изменение звукового файла, которые, практически, невозможно определить на слух.

В рассматриваемых методах исходные данные полностью совпадают с данными после их последовательного внедрения в звуковой файл с использованием метода эхо-сигнала и частотного метода.

Заключение

В рамках данной работы было создано программное приложение для преобразования и внедрения информации на основе комбинированного метода стеганографии. Преимуществом данной реализации является возможность скрытой передачи большого объема информации. Если при передаче данных будет обнаружено наличие встроенного сообщения в звуковой файл, понадобятся параметры, с помощью которых будет возможно восстановить данные встроенные в звуковой файл. Это потребует дополнительных вычислительных и интеллектуальных ресурсов. К недостаткам можно отнести зависимость качества встраивания рассматриваемых методов от выбранного звукового файла.

Литература

1. Волосатова Т. М., Денисов А. В., Чичварин Н. В. // Ж. Комбинированные методы защиты данных в САПР. - М.: Новые технологии, 2012. 31с
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
3. Бадриев И. Б., Бандеров В. В., Задворнов О. А. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MATLAB. К.: Изд-во Казанский государственный университет, 2010. 113 с.
4. Poon T-Ch. Optical scanning holography with MATLAB. Virginia: Virginia Tech, 2007. 153 p.
5. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. 698 с.
6. Смоленцев Н. К. Создание Windows-приложений с использованием математических процедур MATLAB. - М.: ДКМ, 2008. 453 с.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАТЬЮ “ABIUS МАСТЕР ПЕЧАТИ”

Целовальникова О.А.

Научный руководитель: к.т.н. Еремин О.Ю.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ6, Москва, Россия

SOFTWARE-HARDWARE PRINTING CONTROL COMPLEX “ABIUS PRINT MASTER”

Tselovalnikova O.A.

Supervisor: Cand. of Sc. Eremin O.Y.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются программно-аппаратные комплексы управления печатью, как эффективное средство снижения затрат на печать. Представлена концепция разрабатываемого российского продукта “Abius мастер печати”. Исследована область применения подобных комплексов и целесообразность их внедрения на предприятиях.

Abstract

The paper studies software-hardware printing control complexes as an effective instrument to reduce printing costs. The concept of currently developing russian product “Abius print master” is described. Possible applications of software-hardware printing control complexes and practicability of introduction them to the enterprise are considered.

Введение

В настоящее время сложно представить себе предприятие, не располагающее печатающей техникой. При развивающейся эволюционно ИТ-инфраструктуре затраты компании на печать становятся непрозрачны и непрогнозируемы. Немногие знают, что по статистическим данным до 17% отпечатанных страниц являются не востребованными и выбрасываются без прочтения, использование экономичного режима печати приводит к экономии до 45% тонера, а стоимость отпечатка на высокопроизводительном принтере значительно ниже, чем на низкопроизводительном.

Для оптимизации процессов, связанных с печатью, и, как следствие, для сокращения затрат на печать на предприятиях внедряются специальные программно-аппаратные комплексы управления печатью.

В экономических условиях современной России актуальна проблема отсутствия качественных и недорогих отечественных решений по управлению печатью. Российская компания Abius в настоящий момент занимается разработкой собственного доступного решения для управления печатью «Abius мастер печати», возможности которого не уступают существующим зарубежным разработкам.

Цель данной работы – изучить структуру затрат на печать, выявить задачи, которые возможно решить путем внедрения на предприятие программно-аппаратного комплекса управления печатью, провести анализ существующих программно-аппаратных комплексов от различных производителей и дать обоснование разработки собственного продукта «Abius мастер печати».

В процессе исследования были использованы рекламные материалы компаний-поставщиков программно-аппаратных комплексов управления печатью, результаты аудита парка печатающей техники реальных российских предприятий, выводы, сделанные в результате личного пользования программно-аппаратными комплексами управления печатью.

1 Проблемы, возникающие в следствие отсутствия контроля за печатью

В настоящее время наблюдается рост числа предприятий, руководство которых стремится контролировать процессы, связанные с корпоративной печатью. Это оправдано, так как существующая в большинстве российских офисов инфраструктура печати является неоптимальной и влечет за собой:

- Высокие, неконтролируемые и непрогнозируемые затраты
- Уязвимости в безопасности документооборота
- Сбои и простои в рабочих процессах в случае неисправности печатающего оборудования
- Конфликтные ситуации среди персонала

Затраты предприятия на печать складываются из прямых и косвенных составляющих.

К прямым затратам можно отнести следующие стоимости:

- Собственно оборудования (принтеров и МФУ)
- Расходных материалов
- Запчастей
- Обслуживания
- Ремонта

Косвенные затраты, зачастую превышающие прямые, включают в себя:

- Время сотрудников-пользователей печатающей техники в случае неисправности устройства
- Время сотрудников, обслуживающих печатающую технику
- Электроэнергия, потребляемая устройствами
- Аренда площадей под размещение оборудования

В отсутствие какой-либо статистики по вопросам печати, руководство не может верно спрогнозировать затраты на печать, а также пресекать попытки сотрудников к излишней печати или воровству расходных материалов. Наиболее распространенные причины завышенных затрат на печать, полученные в результате аудитов печати, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Узкие места в организации печати и затраты, связанные с ними

Проблема	Затраты
Наличие в парке множества устройств от разных производителей	Простой оборудования в следствие отсутствия нужных расходных материалов Затраты времени сотрудников на поиск необходимых запчастей у разных поставщиков Затраты времени сотрудников на размещение заказов и ожидание доставки от разных поставщиков Дополнительная нагрузка на бухгалтерию
Использование устаревших устройств	Повышенное энергопотребление, многие модели не имеют режима сохранения электроэнергии Частые сбои и необходимость в обслуживании
Слишком большой парк печатающей техники и неоптимальное размещение	Потребление энергии простаивающим оборудованием, устройствами с отключенным режимом сохранения электроэнергии Аренда лишних площадей Неравномерная нагрузка на устройства

Отсутствие контроля за персоналом	Печать личных документов Печать лишних документов и копий Необоснованная печать в цвете Необоснованная печать в высоком качестве Неиспользование двусторонней и мультипликативной печати Печать без использования режима экономии тонера Печать на неэкономичных устройствах
-----------------------------------	--

Проблема безопасности документооборота возникает в результате использования локально расположенных устройств. Во-первых, процесс печати начинается до того, как пользователь-инициатор успеет подойти к устройству. Во-вторых, пользователь может ошибиться при выборе устройства и не найти распечатанный документ. В-третьих, пользователь может забыть забрать документ, отправленный на печать. Все это может привести к прочтению или краже документов третьими лицами.

Использование нецентрализованной системы печати, кроме того, приводит к необходимости ручной перенастройки печатающих устройств и рабочих станций сотрудников в случае поломки оборудования и его замены, а также в случае перенаправления очереди печати на альтернативное устройство во время вынужденного простоя основного. Все это может стать причиной конфликтов между перегруженными работой сотрудниками технической поддержки и работниками других подразделений.

2 Программно-аппаратные комплексы управления печатью

Для решения возникающих в результате отсутствия контроля за процессами печати проблем существуют так называемые программно-аппаратные комплексы управления печатью. Идея создания таких систем состоит в том, чтобы изменить всю инфраструктуру печати на предприятии.

Вместо множества локальных устройств, расположенных по кабинетам, в офисе создаются так называемые принт-зоны, то есть специально отведенные для печатающей техники места, доступ к которым имеют все сотрудники компании. Вся печатающая техника входит в локальную сеть предприятия и оборудована специальными терминалами для авторизации пользователей и управления их задачами. Каждый пользователь отправляет свои документы для печати не на какое-либо определенное устройство, а на сервер печати, и получает возможность забрать распечатки на любом из доступных устройств. Для того чтобы инициировать процесс печати, пользователь должен пройти авторизацию на конкретном принтере или МФУ. Таким образом, программно-аппаратные комплексы объединяют в себе возможности специализированного программного обеспечения по контролю за печатью с функцией «Follow me», подразумевающей непривязанность пользователя к конкретному устройству.

3 Abius мастер печати

Разработка программно-аппаратного комплекса управления печатью «Abius мастер печати» преследует своей целью создание дешевого отечественного аналога зарубежным разработкам, доступного широкому кругу предприятий и не зависящего от бренда печатающей техники.

Программно-аппаратный комплекс состоит из следующих компонент:

- Android-терминалы для каждого из печатающих устройств;
- Средства идентификации сотрудников;
- Считывающие устройства для каждого из печатающих устройств;
- Сервер печати;

Терминалы, которыми должны быть оснащены все печатающие устройства, представляют собой обыкновенные планшетные компьютеры под управлением ОС Android версий 4.2 и выше. Все они должны иметь wi-fi модуль для подключения к сети предприятия.

В качестве средств идентификации могут быть использованы бесконтактные ID карты, QR-коды или персональные пин-коды для каждого из сотрудников. В зависимости от выбранного способа идентификации личности сотрудника могут быть предъявлены дополнительные требования к терминалу, например, наличие фронтальной камеры для считывания QR-кода или дополнительного USB-разъема для подключения карт-ридера.

Серверная часть может быть реализована на базе операционных систем Windows или Linux.

Стоимость такого комплекса складывается из стоимостей планшетов, при необходимости, устройств считывания (карт-ридера), сопутствующих конструкций (креплений), а также по большей части стоимости лицензий.

На рисунке 1 изображена диаграмма последовательности действий, происходящих в системе, в случае если пользователю потребовалось распечатать документ. Под принтером следует понимать любой из доступных на момент печати принтеров на усмотрение пользователя. Считыватель и терминал – конкретные устройства, относящиеся к выбранному принтеру. С точки зрения пользователя при отправке документов на печать сервер выглядит, как обычный сетевой принтер.

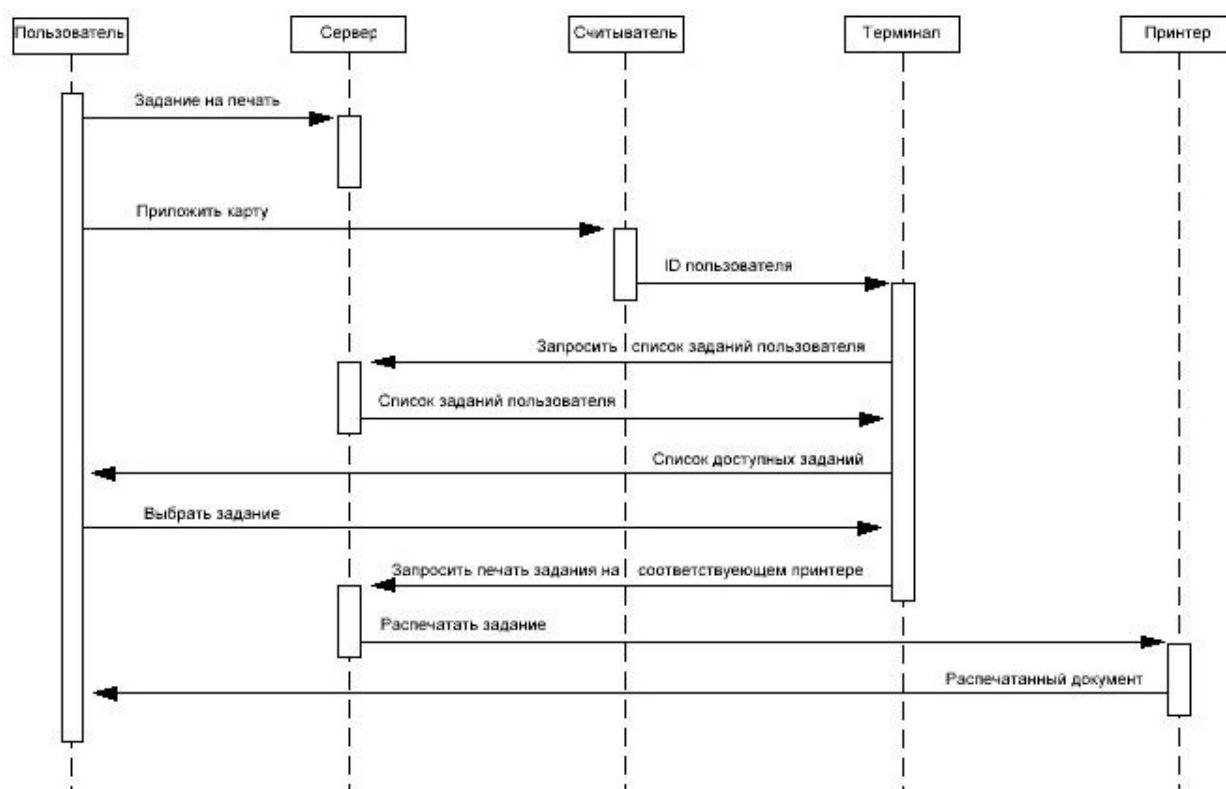


Рисунок 1 – Диаграмма последовательности действий при печати

Аналогично могут быть осуществлены операции копирования и сканирования документов. Сканирование производится в личную сетевую папку пользователя.

Такая организация опосредованного взаимодействия пользователя с печатающей техникой позволяет осуществлять полный контроль над тем, кто, что и сколько печатает. Также появляется возможность устанавливать принудительные правила печати для отдельных групп пользователей. Например, можно запретить бухгалтерии цветную печать, а при попытке печати на слишком неэкономичном устройстве на терминал может быть выведено предупреждающее сообщение.

Программно-аппаратный комплекс «Abius мастер печати» решает следующие задачи:

- Экономия средств предприятия;
- Повышение безопасности документооборота;
- Возможность прозрачного финансового анализа и планирования;
- Увеличение свободного времени сотрудников.

Экономия достигается уже на этапе подготовительных работ. В первую очередь на сокращение затрат влияет вывод из эксплуатации высокочатратных локальных принтеров и МФУ. Снижается стоимость сервисного обслуживания за счет сокращения общего количества устройств и повышения процента надежных. В результате ведения подробной отчетности по каждому пользователю снижается печать личных материалов, сотрудники внимательнее относятся к процессу печати и это позволяет избежать печати повторных и ошибочных документов. Использование политик печати, таких как принудительная черно-белая и двусторонняя печать, печать в низком качестве на экономичных устройствах, также позволяет значительно снизить затраты.

Благодаря системе авторизации непосредственно на устройстве исключается доступ к печатающей технике посторонних лиц. Пользователь видит на экране терминала только свои задачи. Печать не начинается, пока пользователь не подошел к устройству и не авторизовался, поэтому документы сразу попадают в руки пользователя, а не лежат на устройстве. Сотрудники могут произвести печать на устройстве, которое расположено ближе всего к месту востребования документов. Это снижает вероятность того, что важный документ может быть забыт или утерян сотрудником. Все напечатанные, откопированные и отсканированные документы могут быть автоматически архивированы сервером.

Подробная отчетность позволяет определить, на каких устройствах печатается наибольшее количество документов. При этом есть возможность принудительно перераспределить потоки на наиболее экономичные устройства. По статистике, эта мера позволяет сократить затраты на печать в среднем на 30 %.

С внедрением «Abius мастер печати» изменяется подход к процессам печати среди пользователей. Сбои в работе небольшого количества устройств не влекут за собой простоев сотрудников. Пользователь может распечатать материалы на любом свободном в данный момент устройстве. Ему также нет необходимости стоять в очереди к определенному принтеру, если тот занят другим сотрудником. Служба технической поддержки не тратит время на срочные аварийные работы по замене картриджей, переустановке драйверов и прочим случаям остановки печатающей техники.

4 Аналогичные решения

Большинство производителей печатающей техники предлагают своим клиентам программно-аппаратные комплексы собственной или партнерской разработок. Все они имеют схожие возможности, но большинство жестко привязаны к марке устройств, на которых могут быть реализованы. Так, решение HP Access Control интегрируется только с техникой HP, продукт UniFlow от Canon специфичен для устройств Canon. Такие производители как Konica Minolta, Ricoh и Xerox предлагают партнерскую систему Ysoft SafeQ, в состав которой входят терминалы, различные для устройств каждого из них. Компания Kyocera использует стороннее решение MyQ, которое, как заявляет разработчик, является мультибрендовым.

Главный недостаток всех перечисленных систем, тем не менее, заключается в очень высокой стоимости внедрения. Самое дешевое из решений, MyQ, в настоящее время обойдется покупателю в 700 евро за одно устройство без учета лицензии.

Заключение

Внедрение программно-аппаратных комплексов управления печатью позволяет существенно снизить затраты предприятия, а также повысить безопасность внутреннего документооборота.

Находящийся в разработке комплекс «Abius мастер печати» имеет следующие конкурентные преимущества:

- не зависим от бренда печатающей техники;
- не привязан от внутреннего ПО печатающих устройств;
- не требует специализированного дорогостоящего оборудования;
- не отправляет никакие данные в Интернет;
- является дешевым доступным решением.

Литература

1. «Print Audit – полный контроль и оптимизация затрат на печать» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://softline.ru/uploads/Presentations/konfa/prezentatsiya-print-audit.pdf> – Проверено 05.02.2015.
2. «Оптимизация печати» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.abius.ru/solutions/print-optimization.phtml> – Проверено 05.02.2015.
3. «MyQ printing solutions» – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.myq-solution.com/myq-products/myq-hardware/> – Проверено 05.02.2015.

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОРСТВА ТЕКСТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Валиуллин А.М.

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

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

A STATISTICAL METHOD FOR DETERMINING AUTHORSHIP

Valiullin A.M.

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

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрена одна из задач классификации – задача определения авторства текста. Задача решается на основе статистических данных, полученных по каждому тексту. В ходе работы разработаны алгоритмы сбора характеристик данных и нахождения ближайших авторов по этим характеристикам, создано веб-приложение для хранения эталонных текстов авторов и добавления текста для последующего статистического анализа и определения авторства. В конце работы описаны основные проблемы, возникающие при решении этой классификационной задачи: объем текста, выбор параметров классификации, выбор эталонных произведений для авторов.

Abstract

This paper introduces the statistical method for determining authorship - one of the classification problems. Problem solving is based on statistical analysis with collecting data for each text. There are presented algorithms of data collecting, finding nearest author and created web application for storing author's basic texts and adding texts for statistical analysis and authorship attribution. At the end of the work you can see some frequently encountered problems such as the amount of text, the selection of classification parameters, the choice of basic texts for authors.

Введение

С развитием вычислительной мощности компьютеров и увеличением объемов хранимой в электронном виде текстовой информации начали развиваться формальные методы определения авторства текста. Формальные методы основаны на сравнении вычислимых статистических данных текстов, характеризующие текст с различных сторон. Оказывается, у каждого автора есть свои стилистические, пунктуационные, синтаксические и морфологические закономерности. На основе этих закономерностей можно решить задачу определения авторства текста с некоторой точностью.

Задача определения авторства текста формулируется следующим образом:

$T = \{t_1, \dots, t_k\}$ – множество всех текстов,

$A = \{a_1, \dots, a_l\}$ – множество всех авторов.

Для некоторого подмножества текстов $T' = \{t_1, \dots, t_m\} \subseteq T$ авторство известно, то есть существует множество пар «текст–автор» $D = \{(t_i, a_j)\}_{i=1}^m$. Необходимо установить соответствие, кто из множества авторов A является автором оставшихся текстов $T'' = \{t_{m+1}, \dots, t_k\} \subseteq T$.

1 Методы анализа

История развития вопроса определения авторства текста насчитывает более ста лет. Первым использование математического аппарата для определения авторства предложил английский логик А. Морган в 1851 году в письме своему другу [1]. Дальше гипотезу развил американский физик Т. Мандельхолл, опубликовав результаты своих исследований текстов Бэкона и Шекспира в 1887 году, положив начало количественным методам анализа [2]. К настоящему времени зарубежными и отечественными исследователями предложено

множество методов от простого подсчета определенных слов в текстах до методов с применением искусственного интеллекта. Методы, используемые отечественными учеными, собраны в книге [3] и [4]. В работе исследуются тексты древнерусских авторов и авторов до XVIII века. Большой обзор зарубежных работ собран в работе [5]. Стоит заметить, что работоспособность метода определения авторства для одного языка не говорит о применимости этого метода для других в силу различных особенностей строения отдельного языка.

Существует множество методов анализа стиля текстов. Их можно разделить на группы экспертных и формальных методов. Экспертные методы предполагают анализ текста профессиональным экспертом-лингвистом. Формальные основаны на сравнении выбранных параметров текстов. В общем случае каждый текст отображается в точку n -мерного пространства, размерность которого определяется количеством вычислимых параметров текстов. В основе формальных методов могут лежать различные алгоритмы классификации, такие как: метод ближайшего соседа, дерево решений, линейная регрессия, нейронные сети, генетические алгоритмы и различные статистические методы. В работе задача решается статистическим методом на основе авторского инварианта.

2 Алгоритм определения авторства текста

Для решения задачи используются следующие характеристики: средние длины слов, предложений, абзацев; дисперсии длин предложений; частота употребления служебных частей речи и наиболее часто употребляемые слова. Сначала текст разбивается на абзацы. Далее каждый абзац разбивается на предложения. После этого каждое предложение разбивается на слова. Далее каждое слово обрабатывается морфологическим анализатором, в результате чего становятся известны его начальная форма и часть речи, к которой оно относится. Также подсчитываются средние длины слов, предложений (в словах) и абзацев (в предложениях), а также дисперсии длин предложений.

Сначала происходит сравнение характеристик исследуемого текста с характеристиками текстов, хранящихся в базе данных. В результате формируется список, каждый элемент которого содержит имя автора текста и величину, характеризующую корреляцию стилей текстов (далее в тексте – коррелятор). Коррелятор представляет из себя совокупность численных характеристик текстов. Чем больше значение коррелятора, тем больше коррелируют стили текстов. Далее производится сортировка списка по значению коррелятора по убыванию. После этого производится выборка 5 элементов списка с наибольшими значениями коррелятора и проверкой на то, что значение коррелятора больше нижнего порогового значения. Нижнее пороговое значение коррелятора выбиралось эмпирически.

Если выборка не пуста, то происходит сравнение значения коррелятора первого элемента выборки с верхним пороговым значением. Если значение коррелятора не меньше, то имя автора, которое содержится в элементе, добавляется в список авторов. Иначе происходит группировка элементов по имени автора и нахождение значения коррелятора для каждого автора с учетом количества элементов в каждой группе. Затем происходит повторная сортировка по значению коррелятора по убыванию. Если после этого оказывается, что выборка содержит более одного элемента и значение коррелятора первого элемента и второго отличаются не меньше, чем на некоторое пороговое значение, то имя автора, которое содержится в первом элементе выборки, добавляется в список авторов. Иначе выбираются имена авторов, которые содержатся в первых $\text{Min}(3, \text{длина выборки})$ элементах выборки, и добавляются в список авторов.

3 Программная реализация

В результате была создана система, решающая задачу определения авторства текста и пользовательский программный компонент. Программа была создана на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2010 на платформе .NET с использованием СУБД MS SQL Server 2005. Кроме того, для написания скриптов использовался язык Javascript.

Пользовательский интерфейс системы состоит из 4 веб-страниц (Main, AddAuthor, AddTale, AddText):

Веб-страница Main.

Main является стартовой страницей приложения. Она предоставляет возможности перехода к другим веб-страницам приложения для добавления сущностей в таблицы базы данных приложения или ввода текста для определения его авторства. Веб-страница Main изображена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Веб-страница Main

Веб-страница AddAuthor.

AddAuthor предоставляет возможность добавления экземпляра сущности «Автор» в таблицу БД.

Веб-страница AddTale.

AddTale предоставляет возможность добавления экземпляра сущности «Произведение» в таблицу БД.

Веб-страница AddText.

AddText предоставляет возможность добавления экземпляра сущности «Text» в таблицу БД, а также для анализа текста на его авторство.

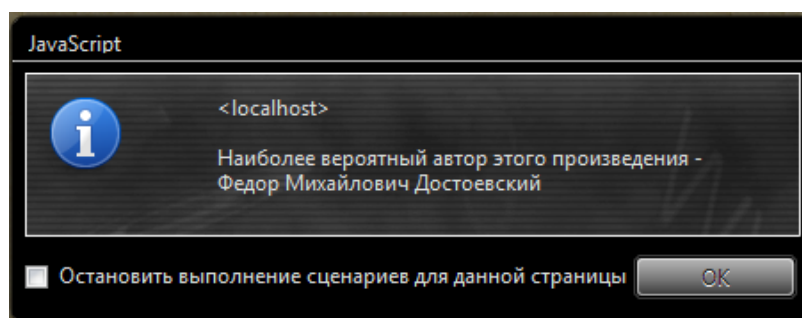


Рисунок 2 - Сообщение о результате анализа текста на веб-странице AddText

При нажатии на кнопку «Добавить» происходит анализ текста и запись его характеристик в БД. В случае если данная кнопка имеет название «Анализировать», то после анализа текста осуществляется сравнение характеристик введенного текста с характеристиками текстов, уже добавленных в БД. На основе этого сравнения формируется результат. По завершении операций появляется сообщение о добавлении текста или же о результате (см. рисунок 2), а затем появляется диалоговое окно, предлагающее пользователю добавить/анализировать еще один текст.

Заключение

В работе показан алгоритм сбора характеристик текстов и определения авторства текста на основе статистических данных. Более высокое качество классификации достигается для текстов большого объема, для небольших текстов качество классификации хуже. Такая закономерность вполне логична, так как с увеличением объема текста статистические параметры, характеризующие текст, становятся более устойчивыми.

Одной из главных проблем в задачах классификации является выбор параметров классификации и отброс параметров, создающих шум. Задача определения авторства не является исключением. Во многом от этого выбора будет зависеть качество классификации текстов. Также к проблемам, затрудняющим классификацию, относится выбор эталонных произведений для авторов. Желательно, чтобы эти тексты были подобраны следующим образом: произведения одного автора были максимально близки друг к другу по выбранным параметрам классификации, а тексты разных писателей максимально различались. На практике это условие практически недостижимо.

Литература

1. S.E. De Morgan, Memoir of Augustus De Morgan, Longmans, Green, and Co., London, 1882.
2. Mendenhall, T. S. The Characteristics Curves of Composition // Science, 1887. Vol.11.-P. 237-249.
3. От Нестора до Фонвизина. Новые методы определения авторства. М.: Издат. группа "Прогресс", 1994.
4. М. А. Марусенко, Б. А. Бессонов, Л. М. Богданова, М. А. Аникин, Н. Е. Мясоедова. В поисках потерянного автора. Под ред. М.А. Марусенко. – СПб.: Филологический ф-т СПбГУ, 2001.
5. Holmes D.I. The Evolution of Stylometry in Humanities Scholarship // Literary and Linguistic Computing. 1998. V. 13. N03. P.111-117.

ПОДСИСТЕМА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИИ МНОГОСЕКЦИОННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ТИПА ХОБОТ

Волкоморов С.В.

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

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

SUBSYSTEM OF STRUCTURAL SYNTHESIS FOR THE DECISION SUPPORT SYSTEM PROVIDING GEOMETRY OPTIMIZATION OF MULTISECTION ARM ROBOT MANIPULATORS

S.V. Volkomarov

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Описана структура системы поддержки принятия решений при оптимизации геометрии многосекционного робота-манипулятора типа хобот. Рассмотрена подсистема структурного синтеза и подходы к решению задачи получения оптимальной формы и размеров секций манипулятора. Представлены результаты применения описанных подходов.

Abstract

Decision support system providing geometry optimization of multisection arm robot manipulators is described. Its structural synthesis subsystem is reviewed. Approaches to solving a problem of finding optimal manipulator geometry are suggested. Results of application of said approaches are given.

В настоящее время основным типом манипуляционных систем роботов являются механические манипуляторы, которые представляют собой пространственные механизмы в виде разомкнутых или замкнутых кинематических цепей [1]. Работа посвящена многосекционным параллельным роботам-манипуляторам типа хобот (MTX) [2], формулировке и решению некоторых ключевых задач для этого класса устройств

К наиболее важным преимуществам MTX относятся высокая точность исполнения движений, высокие скорости и ускорения рабочего органа (схвата) и высокая степень унификации мехатронных узлов. Основные недостатки заключаются в анизотропии и неоднородности динамических, упругих и скоростных свойств манипулятора и в необходимости учета возможной интерференции отдельных кинематических цепей манипулятора. Общим выводом является то, что такие манипуляторы позволяют в значительной степени избежать недостатков, присущих многосекционным рычажным либо гибким манипуляторам [3].

Можно выделить следующие особенности задачи проектирования MTX: многообразие типов секций; многообразие конструкций шарниров, штанг в рамках каждого типа секций; большое число варьируемых параметров конструкции; избыточность движения манипулятора; комплексность и плохая формализуемость задачи. В этой связи актуальной является разработка системы поддержки принятия решений (СППР) для структурного синтеза и структурно-параметрической оптимизации таких манипуляторов.

В предлагаемой СППР (рисунок 1) подсистема структурного синтеза многосекционных механизмов параллельной структуры, взаимодействуя с внешними системами, при участии лица принимающего решение (ЛПР) выполняет следующие функции: синтез структуры механизма, учитывая требования к кинематике; анализ синтезированной структуры на соответствие геометрическим требованиям; формирование компоновочной 3D-модели механизма в CAD-системе; формирование модели механизма в системе имитационного моделирования, связанной с 3D-моделью.

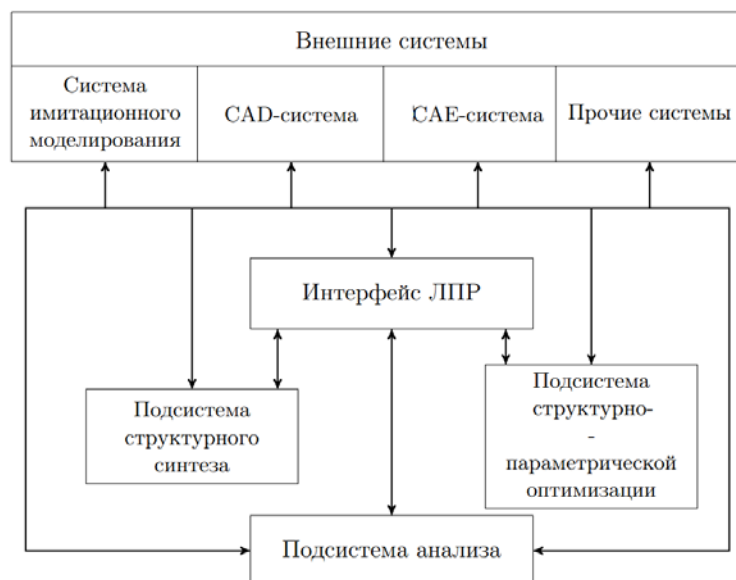


Рисунок 1 – Структура СППР

Синтез структуры манипулятора осуществляется посредством постепенного повышения детализации его модели, начиная с грубой оценки геометрических параметров [4]. При этом манипулятор представлен в виде консольной балки сплошного круглого сечения (рисунок 2), плотность материала которой постоянна и равна ρ . Касательными напряжениями пренебрегаем. Под геометрией манипулятора понимается форма его продольного сечения, задающаяся законом изменения радиуса манипулятора по длине $r(X)$ и законом изменения длин секций манипулятора.

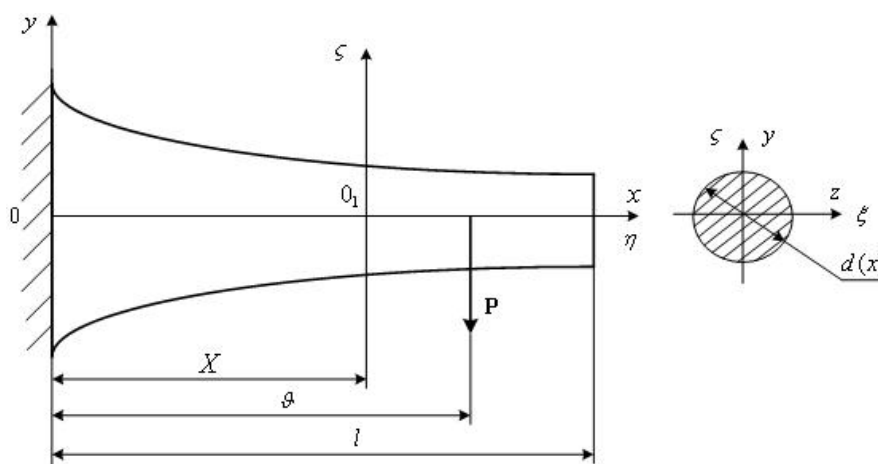


Рисунок 2 – К определению консольной балки равного сопротивления изгибу

Поставлены следующие задачи: найти оптимальную форму секций манипулятора; найти их оптимальные размеры.

При решении первой из указанных задач используется подход на основе трех критериев оптимальности [5]: критерий равного сопротивления изгибу, использующий теорию балок равного сопротивления [6]; критерий равной удельной мощности; критерий равной удельной энергии.

Эти критерии использованы для оптимизации формы манипулятора при следующих видах нагружения: статическая нагрузка, вызванная внешними силами и моментами; статическая нагрузка, обусловленная весом манипулятора; динамическая нагрузка, возникающая при ускоренном движении частей манипулятора; динамическая нагрузка,

вызванная наличием лобового сопротивления внешней среды при движении в ней манипулятора.

В таблице 1 приведены полученные интегральные уравнения относительно $r(X)$ для основных комбинаций критериев оптимальности и видов нагружения. Поскольку аналитическое решение уравнений не удастся, предложен численный метод решения, основанный на ее сведении к задаче вариационного исчисления, которая, в свою очередь, сводится к задаче многомерной глобальной безусловной оптимизации с помощью метода штрафных функций. Для решения этой задачи используется метод Нелдера-Мида в комбинации с методом мултистарта. Некоторые полученные оптимальные формы образующей консольной балки, представляющей манипулятор, показаны на рисунке 3.

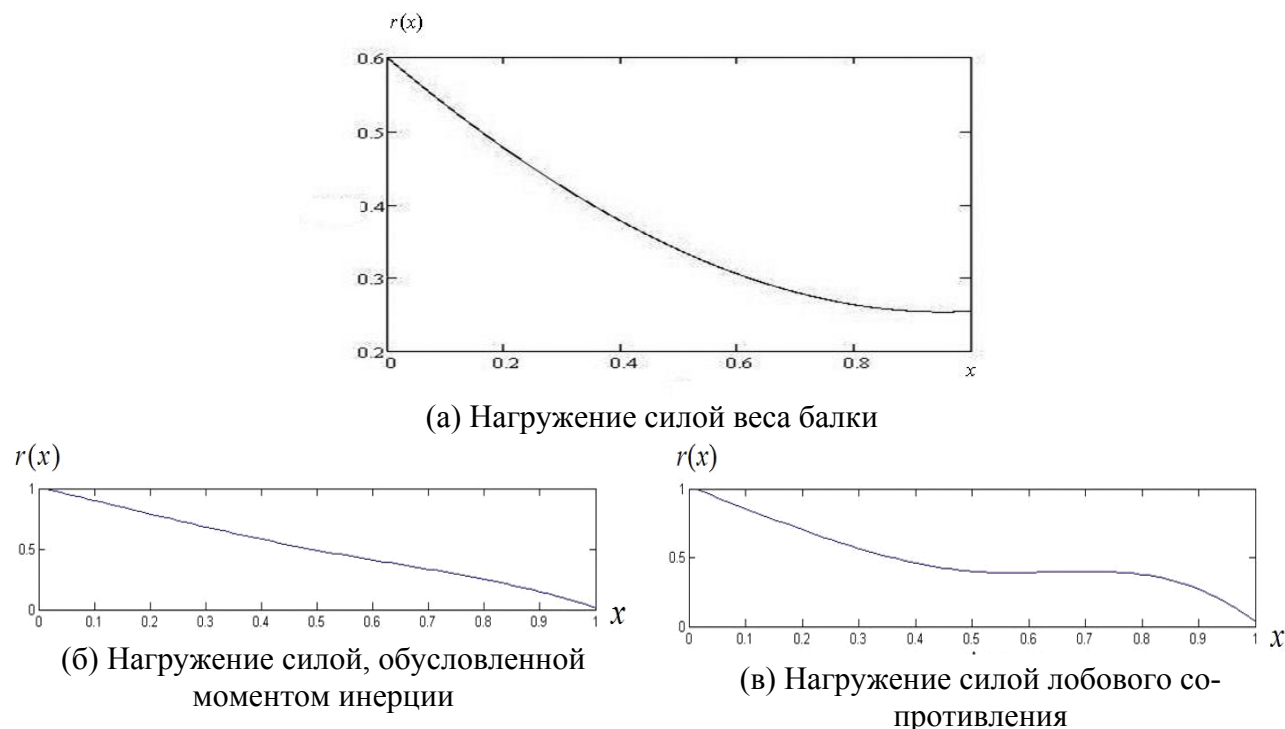


Рисунок 3 – Оптимальная форма образующей манипулятора

При решении задачи оптимизации размера секций манипулятора интервал $[0, l]$ покрывается сеткой с узлами $x_0 = 0, x_1, \dots, x_N = l$ где $(N + 1)$ – число узлов сетки. Консольная балка разбивается сечениями, проходящими через узлы указанной сетки, и перпендикулярными оси Ox на N секций. Обозначим l_i длину i -ой секции, левая граница которой проходит через узел x_{i-1} , а правая – через узел x_i . Введем критерий оптимальности

$$F(L) = \sum_{i=2}^N \left(\frac{l_i}{r^2(l_1, l_2, \dots, l_{i-1})} - \frac{l_{i-1}}{r^2(l_1, l_2, \dots, l_{i-2})} \right)^2,$$

где $L = (N \times 1)$ -вектор с компонентами $l_1, l_2, \dots, l_N$. Поставим задачу многомерной глобальной условной оптимизации

$$\min F(L) = 0, L \in D_L,$$

$$\text{где } D_L = \{L \mid l_i > 0, i \in [1: N]; \sum_{i=1}^N l_i = L\}.$$

Таблица 1 – Интегральные уравнения относительно $r(X)$ для основных комбинаций оптимизационных критериев и видов нагружения

	Равное сопротивление изгибу, $\frac{M_{\xi}(X)}{W_z(X)} = a_1$	Равная удельная мощность, $\frac{M_{\xi}(X)\omega}{\pi r^2(X)} = a_2$
Сосредоточенный момент	$r(X) = \sqrt[3]{\frac{4M}{\pi a_1}}$	$r = \sqrt{\frac{M\omega}{\pi a_2}}$
Сосредоточенная сила	$r(X) \approx \sqrt[3]{\frac{4P(l-X)}{\pi a_1}}$	$r(X) = \sqrt{\frac{P(l-X)\omega}{\pi a_2}}$
Сила веса балки	$\frac{r^3(X)}{4} a_1 =$ $= \int_X^l x r^2(x) dx - g\rho X \int_X^l r^2(x) dx$	$\frac{r^2(X)}{\omega} a_2 =$ $= \int_X^l x r^2(x) dx - g\rho X \int_X^l r^2(x) dx$
Сила, обусловленная моментом инерции	$\frac{\pi r^3(X)}{4} a_1 =$ $= 4g\rho\dot{\omega} \int_X^l \left((x-X)^2 r(x) + \frac{1}{3} r^2(x) \right) dx$	$\frac{\pi r^2(X)}{\omega} a_2 =$ $= 4g\rho\dot{\omega} \int_X^l \left((x-X)^2 r(x) + \frac{1}{3} r^2(x) \right) dx$
Сила лобового сопротивления	$\frac{\pi r^3(X)}{4} a_1 =$ $= C_Q \omega^2 \int_X^l (x-X)^3 r(x) dx$	$\frac{\pi r^2(X)}{\omega} a_2 =$ $= C_Q \omega^2 \int_X^l (x-X)^3 r(x) dx$

Литература

1. Манипуляционные системы роботов / Под ред. Корендясева А.И. — М.: Машиностроение, 1989. — С. 471.
2. J.P.Merlet. Parallel Robots (Solid Mechanics and Its Applications). — 2nd Edition. — Springer, 2006. — P. 394.
3. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение. — М.: Машиностроение, 2007. — С. 256.
4. Волкоморов С. В., Карпенко А. П. Геометрия многосекционного манипулятора типа хобот // Наука и образование. — 2010. — № 12.
5. Волкоморов С. В., Карпенко А. П. Оптимизация геометрии многосекционного манипулятора типа хобот // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2012. — № 3. — С. 23–27.
6. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. Учебник для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — С. 591.
7. Волкоморов С. В., Каганов Ю. Т., Карпенко А. П. Моделирование и оптимизация некоторых параллельных механизмов // Информационные технологии. Приложение. — 2010. — № 5. — С. 1–32.

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА НА ЭТАПЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Яночкина М.В.

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

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

LIFECYCLE MANAGEMENT OF AN INDUSTRIAL FACILITY DURING THE CONSTRUCTION PHASE

Yanochkina M.V.

Supervisor: Candidate of Engineering Sciences, A.P. Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается информационная модель строящегося промышленного объекта, применяемая для авторского надзора за строительством и повышения финансовой эффективности проекта. Подробно исследованы структура трехмерной модели объекта «как спроектировано» и интегрированный с ней план-график строительства указанного промышленного объекта (модель, созданная в программе-планировщике). Кратко представлена техническая реализация интеграции моделей. В заключении представлены рекомендации по дальнейшему возможному расширению функционала информационной модели.

Abstract

This article reviews the information model of an under construction industrial facility. It's used for supervision and improving the financial efficiency of the project. The structure of 3D construction site's model "as designed" and integrated with it building schedule (model, which is created in a programme for project planning) are discussed in details. Presented overview for implementation of model's integration. Conclusion presents recommendations for further adding new features to information model.

Введение

Одним из главных средств модернизации промышленности является автоматизация промышленных объектов на протяжении всего их жизненного цикла. Как следствие – возникает необходимость создания различных информационных моделей. Информационная модель [1] - это база данных, в которой консолидируется и интегрируется информация об объекте реального мира. Информационная модель содержит 3D модели, паспорта объектов, архив документации и другую информацию по объектам в структурированном и взаимосвязанном виде.

Информационные модели обеспечивают повышение эффективности на всем протяжении жизненного цикла объекта, а именно: сокращение временных ресурсов, сокращение финансовых затрат, как следствие увеличение отдачи от инвестиций.

В качестве главной задачи работы была определена разработка трехмерной модели (на примере установки производства водорода – УПВ), которая позволит обеспечить эксплуатирующие службы фактической информацией о конструкции, параметрах и характеристиках технологического объекта. Детально рассмотрена интеграция трехмерной модели с графиком строительства, что позволяет: детально отрабатывать график строительства объекта; наглядно отображать последовательность производства строительно-монтажных работ; избегать коллизий по времени и месту производства работ; осуществлять ежедневный мониторинг процесса строительства; получать всем участникам проекта наглядную информацию о состоянии работ по графику, что позволяет в режиме реального времени принимать соответствующие корректирующие воздействия на ход строительства. Задача сводится к интеграции двух информационных моделей, имеющих различные структуры: 1) WBS (Work Breakdown Structure, Структура Декомпозиции Работ – СДР). Данную структуру имеет информационная модель план-графика проекта, созданная в программе планировщике (в данном случае – Microsoft Project). 2) PBS (Plant Breakdown

Structure, Структура Модели Объекта, СМО). Данную структуру имеет 3D модель объекта, созданная с помощью различного программного обеспечения и собранная воедино (в данном случае просмотр модели осуществляется с помощью программного обеспечения InterView).

1 Структуры информационных моделей

Структуры трехмерных моделей объекта и план-графика проекта представлены на рисунках 1 и 2.

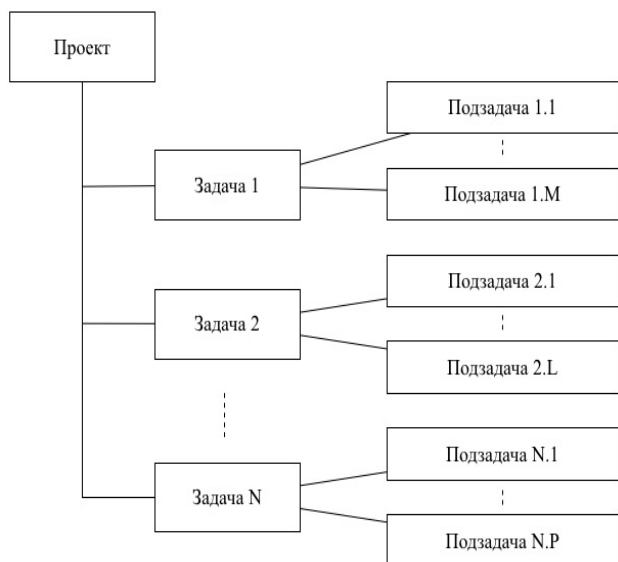


Рисунок 1 – Структура модели WBS

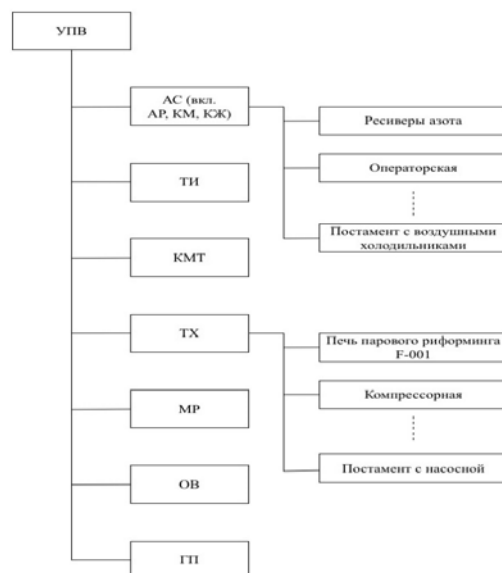


Рисунок 2 – Структура модели PBS

2 Функционал программного обеспечения InterView

Программное обеспечение InterView – инструмент для просмотра цифровой трехмерной модели объекта. Данная технология предназначена для интерактивной навигации по единой цифровой модели объекта, интегрирующей информацию о нем из различных источников и платформ.

Основные функции:

- 1) Визуализация комплексных 2D/3D моделей, 2D чертежей, данных ГИС распределенных в пространстве технологических и линейных объектов.
- 2) Формирование графических и атрибутивных данных в заданном формате.
- 3) Формирование базы задач проекта, импорт задач из программ планирования (Microsoft Project, Primavera), отслеживание состояния их выполнения и отображение на 3D модели состояния хода работ на выбранную дату.

На рисунке 3 представлена комплексная 3D модель атомной электростанции, состоящая более, чем из 780 000 элементов: промплощадка создана с помощью AutoCAD 2010, модель 3D архитектурно-строительной части, подробные модели реакторных установок РБМК-1000 и контур многократной принудительной циркуляции создан с помощью Bentley Microstation; модель 3D технологической части деаэрационной: трубопроводы диаметром от 150 мм., оборудование, арматура созданы с помощью Intergraph SmartPlant 3D; модель 3D технологической части машинного зала создана с помощью Aveva PDMS.

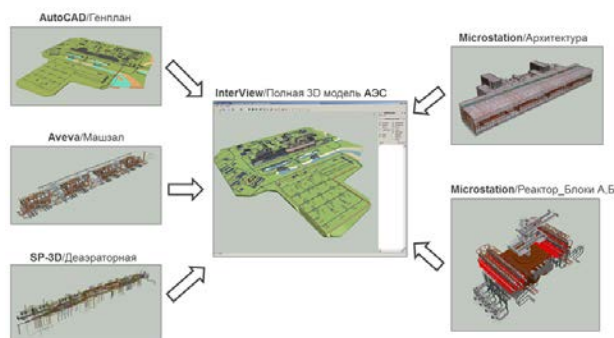


Рисунок 3 – Комплексная трехмерная модель атомной электростанции

3 Требования к моделям

Требования к составу и детализации графика проекта определяются в зависимости от уровня графика по документированной классификации. В данном случае используется график второго уровня стандарта организации ОАО «РусГидро» [2]. Состав работ рассматриваемого план-графика: график СМР (строительно-монтажных работ), детализация до видов работ/техопераций в разбивке по объектам. Параметры работ: дата начала работы, дата окончания работы, взаимосвязи с работами графика выдачи ПСД, графиком поставки основного оборудования, основные физобъемы, технологические зависимости, стоимость в текущих ценах (контракты, сметные расчеты).

Требования к электронной трехмерной модели. Электронная трехмерная модель должна включать в себя трехмерные модели технологических объектов, его систем, оборудования и конструкций, коммуникаций, созданные на основе проектной документации по следующим разделам: АС (архитектурно-строительная часть), КТМ (конструкции металлические технологические), ТХ (технологическая часть), ТИ (технологическая изоляция), ОВ (отопление и вентиляция), МР (механизация ремонтных работ), ГП (генеральный план). Масштаб модели принять 1:1.

Трехмерная модель каждого объекта должна быть структурирована и включать следующие субмодели: технологические трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой (ЗРА), оборудование, фундаменты и металлоконструкции (без детализации конструктивных элементов), здания, входящие в состав объекта (без детализации конструктивных элементов).

Также определяется степень детализации модели. В данном случае применяется средний уровень детализации.

Опишем средний уровень детализации части ТХ. Оборудование – общий вид, отражающий основные габаритные размеры, внешнее сходство с оригиналом, основные патрубки. Крупногабаритное оборудование, состоящее из отдельных модулей, узлов в 3D модели отображается отдельными узлами (в соответствии с монтажными чертежами). Трубопроводы – трубы, детали трубопроводов (отводы, тройники, переходы). Минимальный диаметр отображаемых трубопроводов 50 мм, детализация до сварных стыков. Отображаются также штуцеры, опоры трубопроводов, прокладки на фланцевых соединениях. Арматура – общий вид, отражающий основные габаритные размеры, внешнее сходство с оригиналом.

Описание среднего уровня детализации части АС: основные несущие конструкции (ригели, колонны, фермы) с частичной детализацией, в которую будут входить укрупненные второстепенные элементы конструкций (если хотя бы одна сторона превышает 500мм).

4 Интегрированная информационная модель

Интеграция моделей происходит по следующей схеме

- 1) Экспорт данных графиков работ из программы планировщика в виде текстовой информации.
- 2) Загрузка данных в 3D модель с помощью Interview.

Интегрированная модель представлена на рисунке 4.

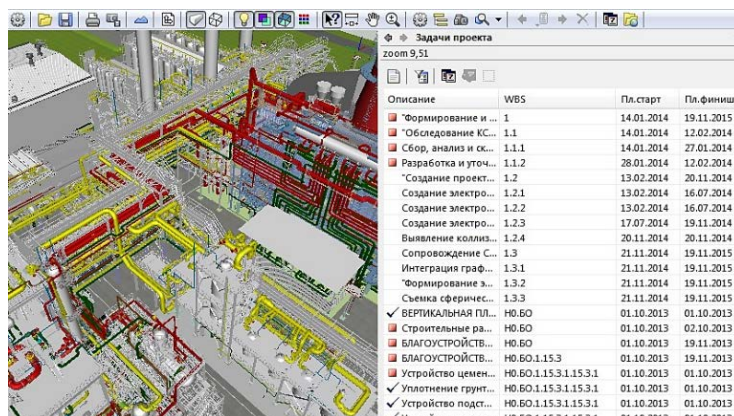


Рисунок 4 – Интегрированная информационная модель установки производства водорода

Возможности InterView при работе с данными план-графика работ: связь работ с соответствующими элементами 3D-модели, поиск и отображение работ (производится по различным критериям - отображение связанных работ для выделенных элементов, отображение элементов, связанных с конкретной работой), мониторинг процесса строительства (фиксирование выполнения работ, просмотр состояния работ на любую выбранную дату, электронное подтверждение выполнения работы техническим надзором).

Заключение

В работе детально рассмотрена интеграция графика строительства промышленного объекта, созданного в программе-планировщике (здесь – Microsoft Project) с 3D моделью объекта, отображаемой в программном обеспечении InterView. Решена задача осуществления авторского надзора за строительством, а также информирования всех участников проекта о его ходе в режиме реального времени.

Дальнейшим направлением усовершенствования информационной модели может стать интеграция документов и спецификаций с 3D моделью – привязка к отдельным элементам модели относящихся к ним документов, что позволит получать спецификации выбранных элементов (технологических линий, подобъектов, объектов) и формировать проектную и исполнительную документацию с привязкой к конкретным элементам 3D модели, площадкам, объектам.

Литература

1. Информационные модели [Электронный ресурс]. — М., 2014. URL: http://neolant.ru/technologies/info_model/#wim (дата обращения: 26.01.2015).
2. Гидроэнергетическое строительство. Календарно-сетевое планирование проектов сооружения объектов гидроэнергетики. Нормы и требования. Утвержден и введен в действие ОАО «РусГидро» — М., 2013. 86 с.
3. НЕОЛАНТ. Инжиниринг, IT, инновации: [Электронный ресурс]. М., 2014. URL: <http://neolant.ru/>. (дата обращения: 10.12.2014).
4. Управление проектами [Электронный ресурс]. — М., 2013. URL: <http://www.microsoftproject.ru/> (дата обращения: 14.11.2013).
5. Управление проектами – выбор, внедрение и использование ПО в России [Электронный ресурс]. — М., 2013. URL: <http://www.md-management.ru/articles/html/article32639.html> (дата обращения: 07.12.2013).

КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАДАЧИ О ТРЕХМЕРНОЙ УПАКОВКЕ В КОНТЕЙНЕР

Юдаков П.В.

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

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

A BRIEF OVERVIEW OF 3D CONTAINER LOADING PROBLEM

Yudakov P.V.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются различные подходы для решения задачи трехмерной упаковки. Целью данной работы является краткий обзор наиболее перспективных существующих методов и оценка их эффективности. В заключении представлены выводы и направления развития существующих методов.

Abstract (Die Inhaltsangabe)

The article discusses various approaches to solving the problem of three-dimensional packaging. The aim of this paper is a brief overview of the most promising existing methods and an evaluation of their performance. Finally, conclusions and directions of development of existing methods

Введение

Задача трехмерной упаковки представляет из себя естественную эволюцию классической одномерной и двумерной задачи. Наиболее часто используемое практическое применение данной задачи – транспортировка груза, который будет упакован в контейнеры, кузова транспортных средств или упаковка груза на паллеты. Кроме редких исключений большинство статей, посвященных этой задаче, рассматривают размещение товара в трехмерные ящики. Но, даже с учетом этого ограничения, масштаб и разброс приложений очень велик. Упаковка коробок в контейнер, кузов транспортного средства или на паллету является одной из самых сложных проблем упаковки из-за ограничений, которые возникают в реальном мире.

В данной работе будем рассматривать в качестве грузов лишь трехмерные объекты формы параллелепипеда. Груз будем называть коробками, а пространство, в которое он упаковывается – контейнером. Коробки будем называть однородными, если число различных типов коробок в наборе мало, а число коробок велико.

1 Ограничения задачи упаковки

Во всех рассматриваемых задачах присутствуют стандартные, общие ограничения:

- коробки могут размещаться только таким образом, чтобы их грани были параллельны стенам контейнера;
- все коробки должны быть упакованы внутрь контейнера;
- коробки не должны пересекаться друг с другом.

В одних задачах коробки должны плотно прилегать друг к другу, в других допустим небольшой свес. Если необходимо учитывать центр тяжести объектов, то предполагается, что он совпадает с геометрическим центром объекта.

В зависимости от конкретной задачи также возникают различные дополнительные ограничения, связанные с ориентированностью коробок, стабильностью, плотностью, распределением веса, максимально возможным весом коробок, помещаемых в контейнер, приоритетом коробок, их несущей способностью, разделением грузов в составе одной партии и необходимостью выгрузки товара в нескольких пунктах.

2 Последовательность упаковки

Упорядочивание коробок перед упаковкой сильно влияет на эффективность той или иной эвристики упаковки. Модификации эвристик зачастую включают в себя изменения касательно построения очереди коробок. Рассмотрим наиболее часто используемые подходы, описанные в литературе. Разобьем все упорядочивания на две группы:

- 1) статические – использование фиксированного ранжирования коробок или типов коробок перед непосредственно упаковкой;
- 2) динамические – использование критериев, определяющих следующую коробку или место для упаковки во время самого процесса упаковки.

Существует много различных способов создания последовательности коробок для упаковки в контейнер при соблюдении правил статического и динамического упорядочивания. Хотя до сих пор не придумано наилучшего подхода, удовлетворяющего всем задачам, наиболее часто используется сортировка по объему.

3 Эвристики расположения

В любом приближенном решении поставленной задачи должен присутствовать механизм, который бы позволил определить, как именно располагать коробки в контейнерах, необходимо ли заново генерировать начальное приближение, или текущая установка все же входит в приближенное оптимальное решение. Такой механизм в этой работе называется эвристикой расположения. Для загрузки контейнера существует множество подобных эвристик:

- Базовые:
 - построение стены;
 - построение слоя (Рисунок 1);
- Продвинутые:
 - методы с многократными прогонами методов оптимизации;
 - использование оценки максимального свободного пространства;
 - упаковка однородными блоками из коробок одинакового типа;
 - использование различных комбинированных критериев сортировки коробок;
 - упаковка определенными шаблонами (например, L-форма);
 - разработка новых ограничений снизу;
 - расчет экстремальных точек (кандидатов для размещения неупакованных коробок);
 - представление упаковки в виде графа с использованием соответствующих методов поиска (Рисунок 2);

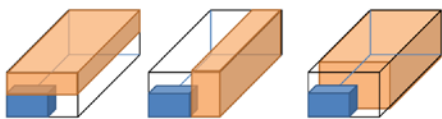


Рисунок 1 – построение слоя

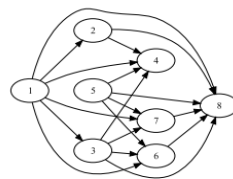
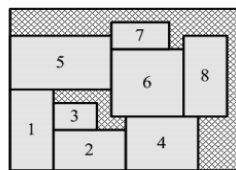


Рисунок 2 – использование теории графов

- Улучшенные – объединение эвристик с методами оптимизации (табуированный поиск, генетический алгоритм, жадный случайный адаптивный поиск, управляемый поиск и другие) в основном для наискорейшей перестановки коробок или использование нестандартных подходов.

4 Точные методы

По сравнению с числом всевозможных эвристик, количество точных алгоритмов решения трехмерной задачи упаковки в контейнер ограничено. Одна из причин этого заключается в сложности представления вероятной упаковки и введения ограничений из реальных задач. Даже если такой метод решения найден, остается сложность в формулировке решения, зачастую являющимся большим из-за числа коробок и контейнеров.

Зачастую в таких подходах используется дискретная задача с соответствующими ограничениями.

Однако большинство точных методов не дают необходимой эффективности и их применение нецелесообразно в рамках поставленной задачи.

5 Оценка эффективности

Для оценки эффективности работы методов упаковки разработаны специальные наборы тестовых данных в зависимости от разновидности решаемой задачи. В данной работе использовались три канонических набора.

1. Набор из 47 примеров, состоящих из однородных коробок разного числа и заполнением единичного контейнера постоянных размеров, но различных среди примеров [1]. Оценивается суммарное среднее время работы алгоритма. Лучшие результаты у алгоритмов (Рисунок 4): 12 – построение колонн без учета ограничения стабильности [2], 13 – построение колонн с учетом ограничения стабильности [2].

2. Набор из 15 примеров, состоящих из однородных коробок и одного контейнера, который необходимо заполнить [3]. При этом могут остаться неупакованные коробки. Оценивается плотность полученной упаковки в процентах (Рисунок 3). Наиболее эффективными оказались алгоритмы: 14 – приближение, основанное на оценке уровня пещерности [4], 16 – алгоритм на основе поиска на дереве [5], 17 – итеративное приближение на основе динамических приоритетов коробок [6].

3. Набор из 8 классов примеров, состоящих из разнородных коробок, которыми необходимо заполнить минимальное число одинаковых контейнеров [7]. Оценивается время работы алгоритма.

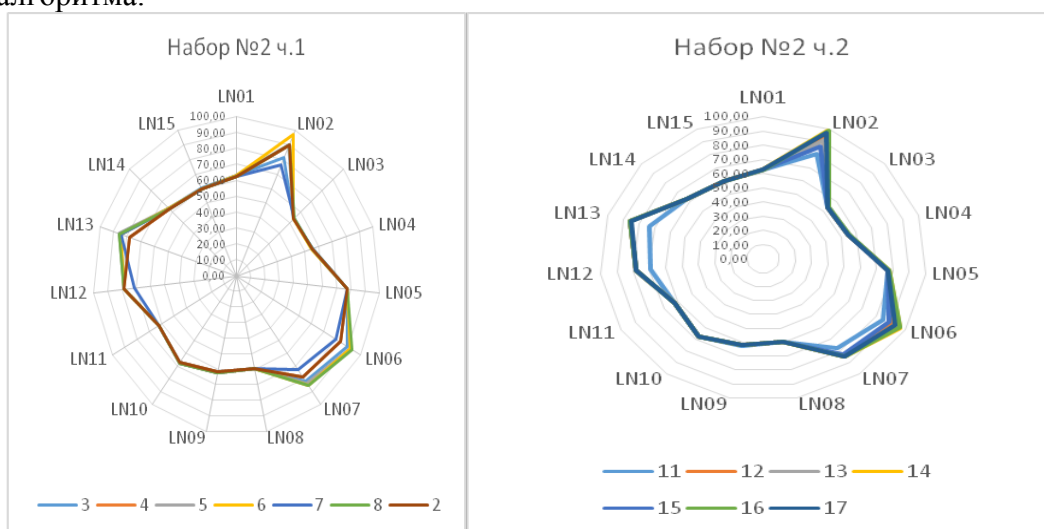


Рисунок 3 – Результаты на тестовом наборе №2

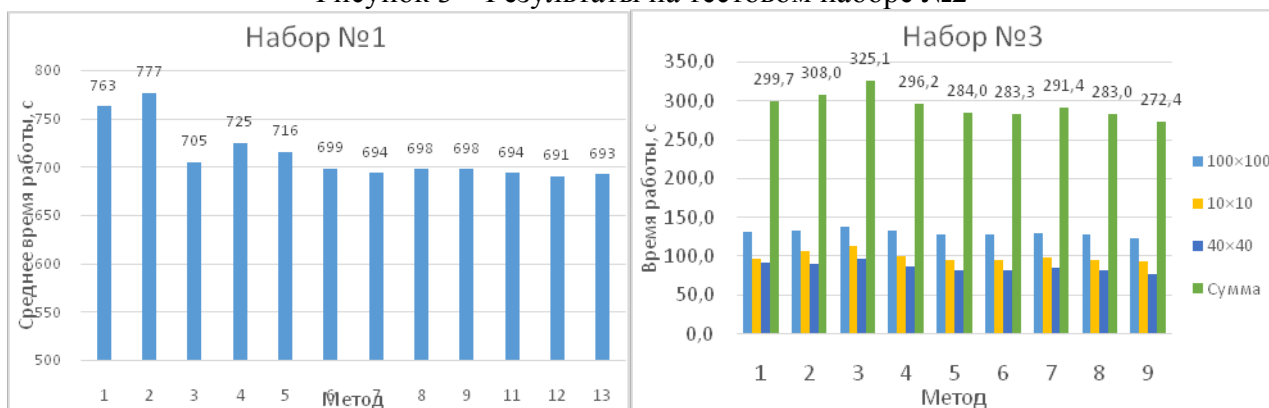


Рисунок 4 – Результаты на тест наборе №1

Рисунок 5 – Результаты на тест наборе №3

На рисунке 5 представлены результаты работы алгоритмов – среднее время работы по классам с различными габаритами коробок и суммарное время работы по всем классам. Наиболее эффективными оказались алгоритмы: 8 – двухуровневый табуированный поиск [8], 6 – экстремальные точки [9].

Заключение

На основании проведенной работы сделаем несколько выводов. Намного меньше работ посвящены загрузке нескольких контейнеров по сравнению с загрузкой одного контейнера, причем большинство из них лишь проецируют модель упаковки одного контейнера на несколько. Но даже среди этого небольшого набора еще меньше исследований решают вариант задачи с разнородными контейнерами.

Среди всех работ чаще всего не учитываются ограничения реальных задач. Лишь в нескольких статьях эти ограничения охватываются всесторонне, большинство работ фокусируется на нескольких определенных ограничениях.

Несмотря на активное развитие задачи трехмерной упаковки, до сих пор не придуман уникальный алгоритм или эвристика, подходящий под все типы задачи и учитывающий большинство реальных ограничений даже в задаче с кубическим грузом и контейнером. Проблема и в отсутствии новых более качественных тестовых данных с учетом этих ограничений, разработка которых поможет исследователям и научному сообществу продвинуться в преодолении возникших проблем.

Литература

1. Ivancic, N., Mathur, K., Mohanty, B., 1989. An integer programming based heuristic approach to the three-dimensional packing problem. *Journal of Manufacturing and Operations Management* 2, 268–298.
2. Zhu, W., Huang, W., Lim, A., 2012a. A prototype column generation strategy for the multiple container loading problem. *European Journal of Operational Research* 223, 27–39.
3. Loh, T., Nee, A., 1992. A packing algorithm for hexahedral boxes. *Proceedings of the Conference of Industrial Automation, Singapore*, pp. 115–126.
4. He, K., Huang, W., 2010. A caving degree based flake arrangement approach for the container loading problem. *Computers & Industrial Engineering* 59, 344–351.
5. Ren, J., Tian, Y., Sawaragi, T., 2011. A tree search method for the container loading problem with shipment priority. *European Journal of Operational Research* 214, 526–535.
6. Lim, A., Ma, H., Xu, J., Zhang, X., 2012. An iterated construction approach with dynamic prioritization for solving the container loading problems. *Expert Systems with Applications* 39, 4292–4305.
7. Lodi, A., Martello, S., Vigo, D., 2002. Heuristic algorithms for the three-dimensional bin packing problem. *European Journal of Operational Research* 141, 410–420.
8. Crainic, T.G., Perboli, G., Tadei, R., 2009. TS2PACK: a two-level tabu search for the three-dimensional bin packing problem. *European Journal of Operational Research* 195, 744–760.
9. Farøe, O., Pisinger, D., Zachariasen, M., 2003. Guided local search for the three-dimensional bin-packing problem. *INFORMS Journal on Computing* 15, 267–283.

ПОЛИНОМИАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Захаров А.В.

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

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

MULTIPHYSICS TRANSFORMATION IN MULTISCALE MODELLING OF MOEMS

Zakharov A.V.

Supervisor: Docent Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается полиномиальное преобразование. Кратко представлена одна из ошибок, возникающая при преобразовании. Подробно исследованы алгоритмы борьбы. В заключении представлены рекомендации к исследованной теме.

Abstract

The article considers the polynomial transformation. Briefly presents one of the errors that occur during the transformation. A detailed analysis of the algorithms struggle. In conclusion, the paper presents rekomendatsii on the studied topic.

Введение

На сегодняшний день в отечественной литературе практически не описаны алгоритмы геометрических преобразований плоских изображений. Однако они играют важную роль в решении многих прикладных задач. Одним из ярких примеров применения данных алгоритмов служит такая область применения, как обработка аэрокосмических снимков. Также примером является развитие дистанционных методов контроля природных ресурсов и динамики экосистем (так называемого мониторинга) [1]. Здесь решение задачи сводится к сопоставлению снимков одной и той же территории, но полученных с помощью различных регистрирующих устройств (по-другому датчиков) и/или в разное время съемки. При совместном использовании датчиков различных физических полей (оптические, магнитные, радиолокационные, радиотепловые и другие) необходима предварительная обработка изображений, соответствующих им, например, для получения изображений в одной спектральной области. Многие визуализирующие системы вносят геометрические искажения. Рисунок 1 наглядно демонстрирует, часто возникающие бочкообразные или подушкообразные дисторсии в видеоконных телекамерах.

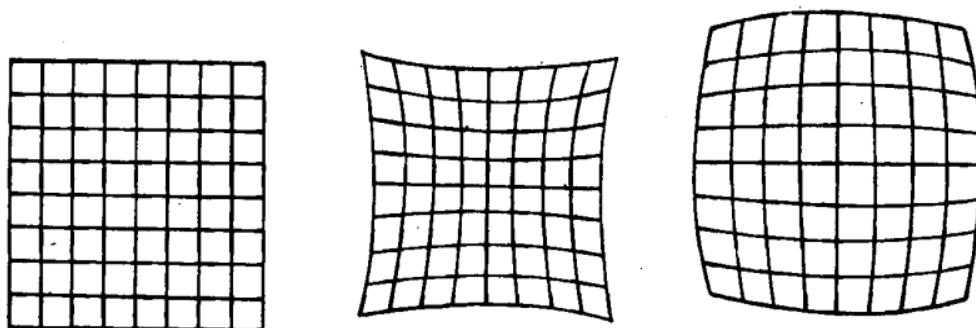


Рисунок 1 – Примеры геометрического искажения изображений

На практике, полученные с помощью различных регистрирующих устройств и/или в разное время съемки, изображения одного и того же предмета или участка местности имеют значительные отличия. Становится необходимым целый ряд задач привязки изображений, а также точной взаимной геометрической коррекции в целях восстановления в

преобразованных координатах для последующего совместного анализа. Для этого требуется установление соответствия между элементами исходных изображений. Данная процедура представляет собой нахождение или выделение опорных (по-другому, реперных) точек на приводимых изображениях, по которым происходит координатная привязка с геометрической коррекцией одновременно. Точки на двух изображениях называются сопряженными, если они являются образами одной точки сцены [1]. Возьмем, к примеру, аэрокосмический компьютерный мониторинг. Он предполагает существование дискретного по времени наблюдения с коротким интервалом времени, а, следовательно, когда движущиеся регистрирующее устройство фиксирует яркостный образ объекта наблюдения в виде последовательности изображений (кадров), то происходит деформация этого образа от снимка к снимку вследствие перспективных искажений и изменения расположения самого регистрирующего устройства (например, камеры). Описывается геометрия данных искажений проективными преобразованиями, то есть взаимно однозначное отображение проективной плоскости или проективного пространства в себя, при котором точки, лежащие на прямой, переходят в точки, также лежащие на прямой. В отличие от тех же широко известных преобразованиях евклидовой геометрии, в проективной не сохраняются длины отрезков, а также углы между прямыми. Более того, параллельные линии могут пересекаться.

Восстановление по стереоснимкам пространственных данных неизбежно ведет к проблеме идентификации: задание с высокой точностью поточечного соответствия между элементами полученных изображений. Добиться решения новой задачи можно с помощью выделения пар реперных фрагментов с дальнейшей оценкой параметров «несоответствия» заданных точек. По этим реперам восстанавливается функция геометрических преобразований.

1 Полиномиальные преобразования

Ранее демонстрировалось применение к геометрическим преобразованиям идеализированной модели регистрирующего устройства. На самом деле, формирование реальных изображений сопровождается разного рода нелинейными искажениями. Ярким примером служит оптическая дисторсия линзы.

Для нахождения параметров нелинейных преобразований устанавливают по парам реперные точки, так что каждой точке (x, y) эталонного снимка ставится в соответствие точка (x', y') преобразуемого изображения. На основе расставленных k реперов формируют векторы координат реперных точек преобразуемого изображения:

$$X_p = (x'_1, x'_2, \dots, x'_k)^t, Y_p = (y'_1, y'_2, \dots, y'_k)^t,$$

и специальная регрессионная матрица реперных точек опорного изображения:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & \dots & y_1^m \\ 1 & x_2 & y_2 & \dots & y_2^m \\ 1 & x_3 & y_3 & \dots & y_3^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_k & y_k & \dots & y_k^m \end{pmatrix},$$

где m – степень полинома.

Далее вычисляют параметры преобразования (коэффициенты полиномов)

$$A = (a_0, a_1, \dots, a_r)^t, B = (b_0, b_1, \dots, b_r)^t,$$

как:

$$B = (H^t \cdot H)^{-1} \cdot H^t \cdot Y_p. \quad (1)$$

(2)

Далее перебором происходит расчет соответствующей точки преобразуемого изображения для каждого экранного пикселя по формулам:

$$\begin{cases} \hat{x} = a_0 + a_1 \cdot x' + a_2 \cdot y' + a_3 \cdot x'^2 + a_4 \cdot x' \cdot y' + a_5 \cdot y'^2 + \dots \\ \hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x' + b_2 \cdot y' + b_3 \cdot x'^2 + b_4 \cdot x' \cdot y' + b_5 \cdot y'^2 + \dots \end{cases} \quad (3)$$

где x', y' – координаты формируемого изображения, а $\hat{x}, \hat{y}$ – соответствующие им координаты исходного изображения. Если $\hat{x}, \hat{y}$ выпадают за пределы исходного преобразуемого изображения, то присваивается значение по умолчанию (чёрное или белое).

2 Ошибки и способы их устранения

В ходе изучения проблемной области и результатов многочисленных экспериментов были обнаружены ошибки преобразования, получающие своё отражение в искажение полученного преобразованного изображения. Одной из таких ошибок является смещение координат (реперов) на полученном изображении по отношению к истинному положению. На Рисунк 2 отмечено синим цветом истинное положение репера, а красным полученные после преобразования (координат несколько в силу масштабируемости).

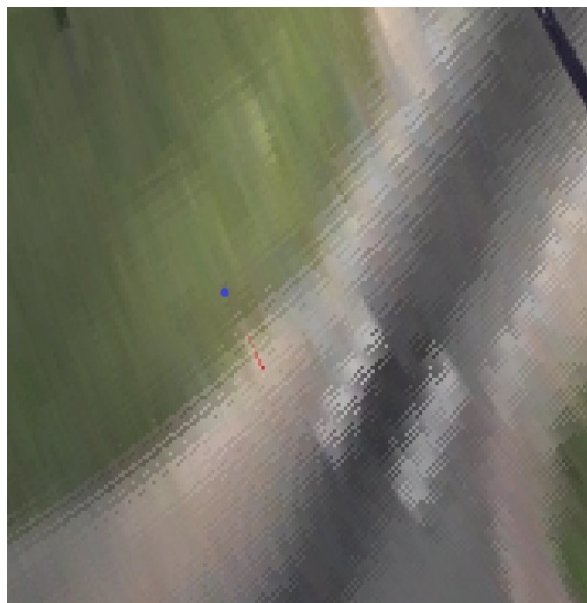


Рисунок 2 – Пример ошибки смещения

Предложено два способа борьбы: использование корреляционного алгоритма или применение обратного полиномиального преобразования.

Первый способ состоит в том, что после расстановки реперов, вокруг них (что относятся к преобразуемому изображению) наносят поле точек. Его размеры выбираются из расчета размеров изображения и расстояний между реперами. Далее всевозможными комбинациями реперных точек ведут расчет коэффициентов преобразования, и вычисляют смещения каждого репера относительно своего истинного положения $d = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)}$, где Δx и Δy – смещения по оси абсцисс и ординат соответственно. Оценка эффективности каждой комбинации производят с помощью коэффициента корреляции по формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n f_0(d_i)}{\sum_{i=1}^n f(d_i)}, \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^n f_0(d_i) = 0,001 \dots 2$; $f(d_i)$ – это величина отклонения для полученного изображения у i -ого репера. Числитель стремится к 0, так как при идеальном преобразовании не должно получиться никаких отклонений положения реперов. Но достичь такого результата практически не возможно, поэтому для изображения размером 1300 на 1800 отклонение в 2 пикселя незначительно и его можно принять.

Однако, если взять поле точек размером M на M , количество реперов принять равным n , а шаг дискретизации по данному полю принять за единицу, то получится $(M \cdot M)^n$ комбинаций. Например, при $M = 20$ и $n = 14$ эта величина составит $2,68435456e + 36$. Осуществление перебора по всевозможным комбинациям реперов нецелесообразно.

Второй метод позволяет избежать огромного числа математических расчётов. Применяв прямое полиномиальное преобразование, находят смещения реперов относительно их истинных координат. Если применить обратное полиномиальное преобразование, то можно найти направление смещения, а также всевозможные отображения репера преобразуемого изображения на результирующем. Делая поправку на смещение, получается необходимая комбинация. В ходе проведения эксперимента получились удовлетворительные результаты: после одной итерации максимальные смещения реперов относительно своих положений не превышали двух пикселей при первоначальной ошибке в двадцать.

Заключение

На сегодняшний день усилиями огромного числа выдающихся математиков получено огромное число методов преобразования плоскости и пространства. В данной статье было рассмотрено один из них – полиномиальное преобразование. Описана одна из возможных ошибок, которую можно получить при неточной расстановке реперных точек, а также методы ее устранения. Следует отметить, что в статье приведены не все способы борьбы и разработка новых способов продолжается.

Литература

1. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. 168 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. 1974. 832 с.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. М.: Мир. 1982. Кн. 2 – 480 с., ил.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ, ПРИМЕНЯЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАФА И МЕТОД SPEEDED UP ROBUST FEATURES (SURF)

Логунова А.О.

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

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

DEVELOPMENT PROGRAMME IMPLEMENTATION COMBINED METHOD FOR THE DETECTION OF OBJECTS ON THE IMAGE, USING HOUGH TRANSFORM AND THE SPEEDED UP ROBUST FEATURES (SURF) METHOD

Logunova A. O.

Supervisor: Ph.D. assistant professor Volosatova T.M.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются алгоритмы распознавания объектов. Подробно исследован комбинированный метод для обнаружения объектов на изображении, применяющий преобразование Хафа и метод SURF, представлена его программная реализация. В статье также приведены результаты работы созданного программного средства. На их основании проведено исследование возможности применения данного метода. В заключение представлены рекомендации по использованию данных алгоритмов.

Annotation

The algorithms of recognition of objects are examined in the article. In it is in detail investigated the combined method for the detection of objects on the image, applying Hough transform and SURF method. Its program realization is represented. Examples of software's output were also included into the article. The possibility of applying these techniques was analyzed on the basis of these examples. Recommendations on the use of the specified algorithms were given in the conclusion.

Введение

Целью работы является разработка приложения для обнаружения объектов на изображении, реализующего синтез преобразования Хафа и метода SURF. В основе комбинированного метода заложено два этапа – оконтуривание изображения при помощи преобразования Хафа, а затем нахождение нужного объекта методом SURF (Speeded Up Robust Features) [1].

В рамках работы выполнено исследование методов распознавания объектов и их программная реализация. Разработано программное средство с графическим интерфейсом, позволяющее преобразовать изображение с помощью алгоритма Хафа, а также распознавать объекты методом SURF. Результаты тестирования разработанного ПО представлены в данной статье.

1 Постановка задачи

В настоящее время большой круг задач связан с представлением информации в виде изображений. Изображения являются одновременно результатом и объектом исследований в различных областях науки.

Алгоритмы оконтуривания границ объектов является необходимым инструментом для решения различных прикладных задач, связанных с редактированием, анализом, синтезом или восстановлением изображений, а также поиском и распознаванием объектов. Хотя в настоящий момент уже разработано большое число таких алгоритмов, возникают вопросы выбора и оптимизации, подбора параметров и адаптации алгоритмов к определённой предметной области.

В данной работе рассмотрены вопросы оценки качества получения контура изображения на основе преобразования Хафа. Описана методика нахождения соответствия

между главным и вспомогательным изображением, являющимся фрагментом главного, при помощи алгоритма SURF (Speeded Up Robust Features).

2 Теоретические основы алгоритма Хафа

При автоматизированном анализе цифровых изображений очень часто возникает проблема идентификации простых фигур, таких как прямые, круги или эллипсы. Во многих случаях используется алгоритм поиска границ в качестве предобработки для получения точек, находящихся на кривой в изображении. Однако, либо из-за зашумлённости изображения, либо из-за несовершенства алгоритма обнаружения границ, могут появиться «потерянные» точки на кривой, также как и небольшие отклонения от идеальной формы прямой, круга или эллипса. По этим причинам часто довольно сложно приписать найденные границы соответствующим прямым, кругам и эллипсам в изображении. Назначение преобразования Хафа — разрешить проблему группировки граничных точек путём применения определённой процедуры голосования к набору параметризованных объектов изображения.

В простейшем случае преобразование Хафа является линейным преобразованием для обнаружения прямых [1]. Прямая может быть задана уравнением $y = mx + b$ и может быть вычислена по любой паре точек (x, y) на изображении. Главная идея преобразования Хафа — учесть характеристики прямой не как уравнение, построенное по паре точек изображения, а в терминах её параметров, то есть m — коэффициента наклона и b — точки пересечения с осью ординат. Исходя из этого прямая, заданная уравнением $y = mx + b$, может быть представлена в виде точки с координатами (b, m) в пространстве параметров.

Однако прямые, параллельные осям координат, имеют бесконечные значения для параметров m и b . Поэтому удобнее представить прямую с помощью других параметров, известных, как r и θ . Параметр r — это длина радиус-вектора ближайшей к началу координат точки на прямой (т.е. нормали к прямой, проведенной из начала координат), а θ — это угол между этим вектором и осью абсцисс. При таком описании прямых не возникают бесконечные параметры.

Таким образом, уравнение прямой можно записать как

$$y = \left(\frac{-\cos \theta}{\sin \theta} \right) \cdot x + \left(\frac{r}{\sin \theta} \right),$$
$$r = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta.$$

Поэтому возможно связать с каждой прямой на исходном изображении (в плоскости XY) точку с координатами r, θ в плоскости параметров, которая является уникальной при условии, что

$$\theta \in [0; 2\pi] \text{ и } r \geq 0.$$

Через каждую точку плоскости может проходить бесконечно много прямых. Если эта точка имеет координаты $(x_0; y_0)$, то все прямые, проходящие через неё, соответствуют уравнению:

$$r = x_0 \cdot \cos \theta + y_0 \cdot \sin \theta.$$

Это соответствует синусоидальной линии в пространстве Хафа (r, θ) , которая, в свою очередь, уникальна для данной точки и однозначно её определяет. Если эти линии (кривые), соответствующие двум точкам, накладываются друг на друга, то точка (в пространстве Хафа), где они пересекаются, соответствует прямой (в оригинальном месте изображения), которые проходят через обе точки. В общем случае, ряд точек, которые формируют прямую линию, определяют синусоиды, которые пересекаются в точке параметров для той линии. Таким образом, проблема обнаружения коллинеарных точек может быть сведена к проблеме обнаружения пересекающихся кривых.

Алгоритм преобразования Хафа использует массив, называемый аккумулятором, для определения присутствия прямой $y = mx + b$. Размерность аккумулятора равна количеству

неизвестных в уравнении семейства искомых кривых. Например, при обнаружении прямых, описываемых уравнением $y = mx + b$, для каждой прямой необходимо вычислить значения двух параметров m и b . При этом в массиве в элементах $A[M, B]$ накапливаются значения, указывающие на вероятность наличия на изображении прямой $y = mx + b$, где M и B соответствуют дискретным значениям m и b . Массив A используется в алгоритме Хафа для проверки каждого пикселя изображения и его окрестности. Определяется присутствует ли в данном пикселе выраженный край. Если присутствует, то вычисляются параметры искомой кривой, проходящей через данный пиксель. После оценки параметров прямой в данном пикселе они дискретизируются для получения соответствующих значений M и B , и значение массива $A[M, B]$ увеличивается.

После обработки всех пикселей выполняется поиск локальных максимумов в аккумуляторном массиве. Точки локальных максимумов соответствуют параметрам наиболее вероятных прямых на изображении.

Эффективность алгоритма в большой степени обусловлена качеством входных данных: границы фигур на этапе предобработки изображения должны быть четко определены. Использование преобразования Хафа на зашумленных изображениях затруднено. Для зашумленных изображений необходим этап предобработки с целью подавления шума.

3 Обнаружение объектов при помощи алгоритма SURF

Данный метод основывается на нахождении ключевых точек изображения и позволяет определять соответствие между вспомогательным и главным изображением [1].

Ключевая точка изображения – точка, которая имеет некие признаки, существенно отличающие ее от основной массы точек (резкие перепады освещенности, углы и т.д.). Ключевые точки изображения ищутся путем анализа определителя матрицы Гессе для каждого пикселя изображения:

$$H(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix}$$

$$\det(H) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2$$

Если значение определителя превысило специально установленный порог, то считается, что найдена ключевая точка. Такая операция выполняется для каждого пикселя изображения.

Лучше всего данный метод подходит для обнаружения неповторяющихся объектов, то есть таких, которые представлены на изображении в единичном экземпляре. Наиболее подробно рассмотрим его в главе 4.

4 План реализации комбинированного метода

В реализуемом методе, основанном на преобразовании Хафа, заложено два этапа – применение алгоритма Хафа к обоим изображениям, а затем нахождение соответствия между вспомогательным и главным изображением.

Этап 1

- Выполнение преобразования Хафа с шагом угловой дискретизации 0,1
- 1. проверяется каждый пиксель изображения и его окрестность на наличие вырожденного края;
- 2. если вырожденный край присутствует, то вычисляются параметры искомой кривой (r, θ) , проходящей через данный пиксель;
- 3. параметры дискретизируются и увеличивается значение аккумуляторного массива.
- Нахождение максимумов преобразования Хафа

1. определяется ячейка преобразования Хафа, в которой находится наибольшая величина, и записывается ее местоположение;
 2. обнуляются ячейки в ближайшей окрестности положения, найденного на предыдущем шаге;
 3. повторение шагов 1 и 2 до тех пор, пока желаемое число максимумов не будет найдено, или до достижения заданного порога.
- Нахождение и связывание сегментов линий.

Этап 2

- Определение ключевых точек обоих изображений
 1. выполняется анализ определителя матрицы Гессе для каждого пикселя изображения;
 2. проверка полученных результатов: если значение превысило специально установленный порог, то считается, что найдена ключевая точка.
- Определение параметров ключевых точек
 1. определяются дескрипторы (n-мерные векторы) ключевых точек по градиентам яркости в их окрестности (см. Рисунок 1).

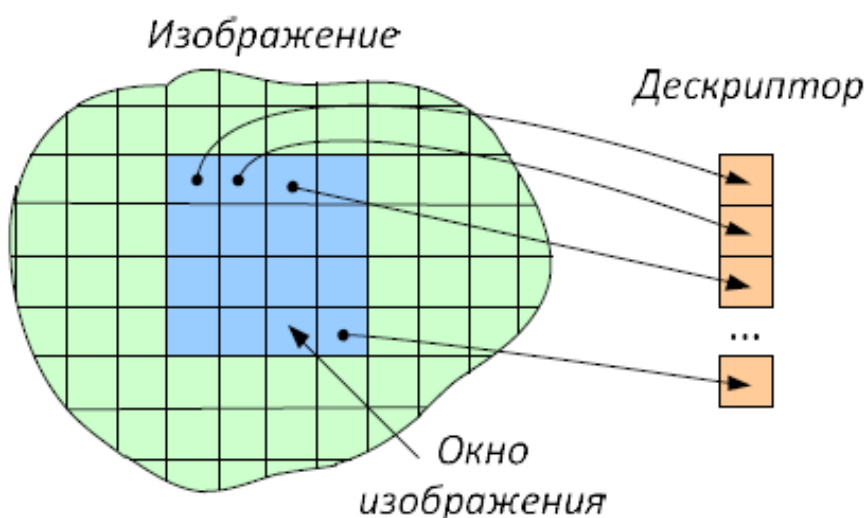


Рисунок 1 - Дескриптор ключевой точки

- Сопоставление ключевых точек и отображение их связи
 1. точки считаются парой соответствия, если Евклидово расстояние между их дескрипторами меньше 0,5.

5 Программная реализация

Программа реализована в среде Matlab [2]. На Рисунок 2 и Рисунок 3 представлен графический интерфейс системы, позволяющей пользователю обнаружить объект на изображении. Для этого необходимо выбрать главное и вспомогательное изображения.

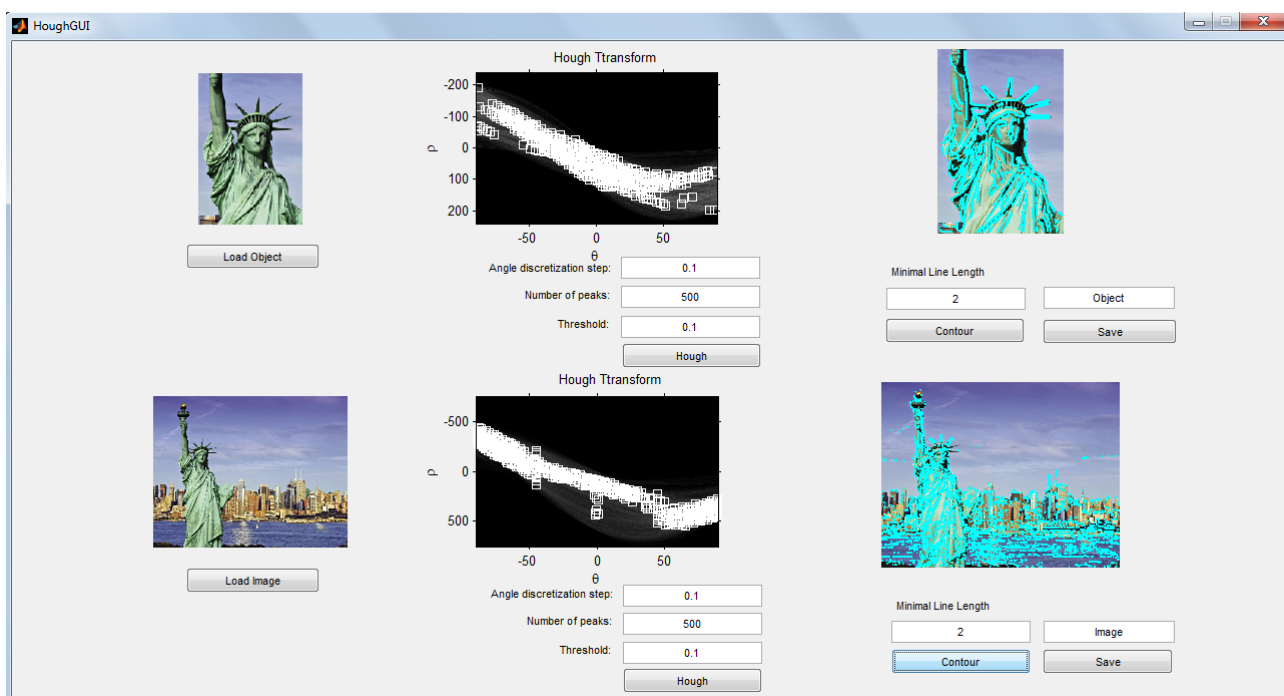


Рисунок 2 – Графический интерфейс программы, реализующей преобразование Хафа

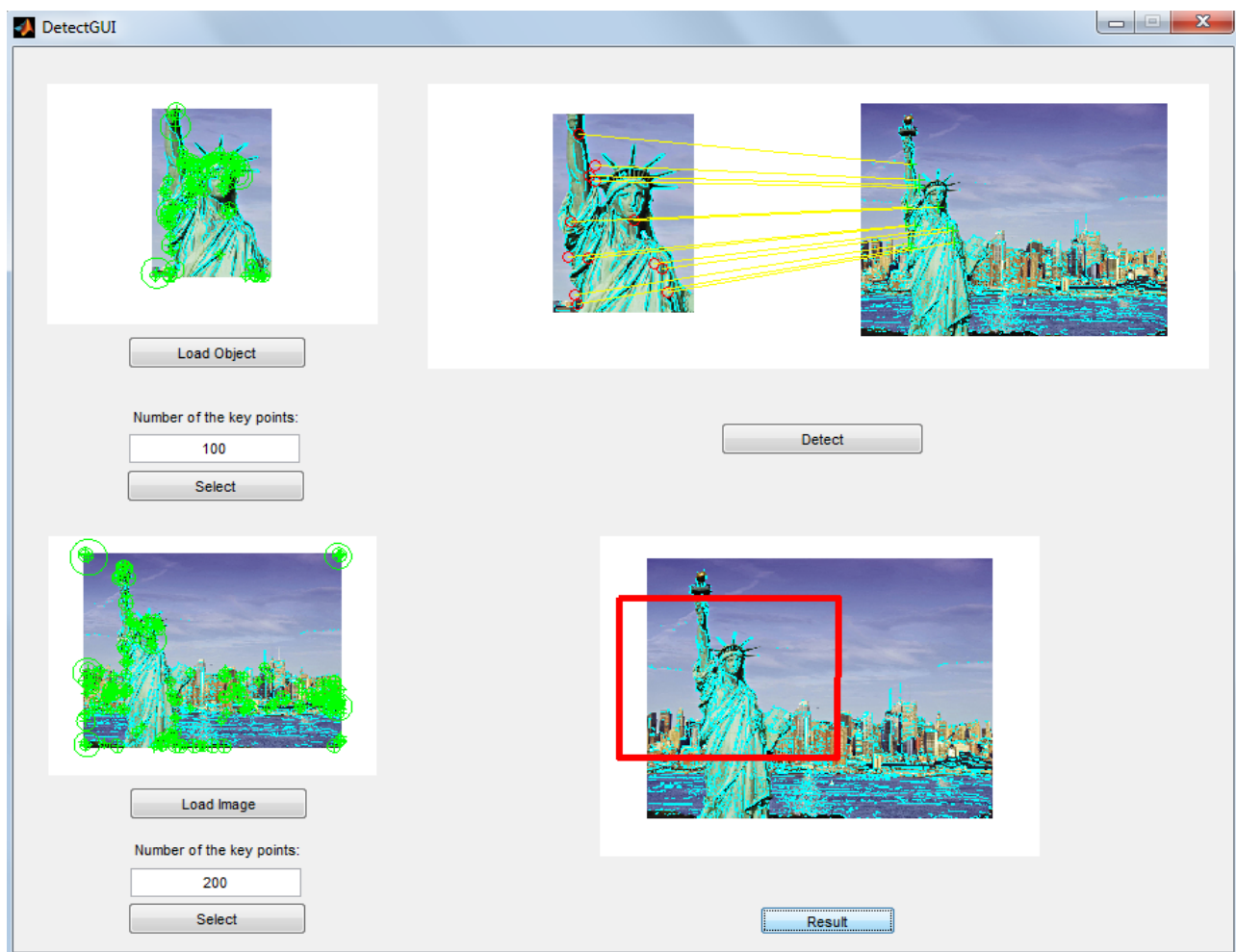


Рисунок 3 – Графический интерфейс программы, реализующей метод SURF

6 Сравнение результатов



Рисунок 4 – Этапы оконтуривания главного и вспомогательного изображений при помощи преобразования Хафа

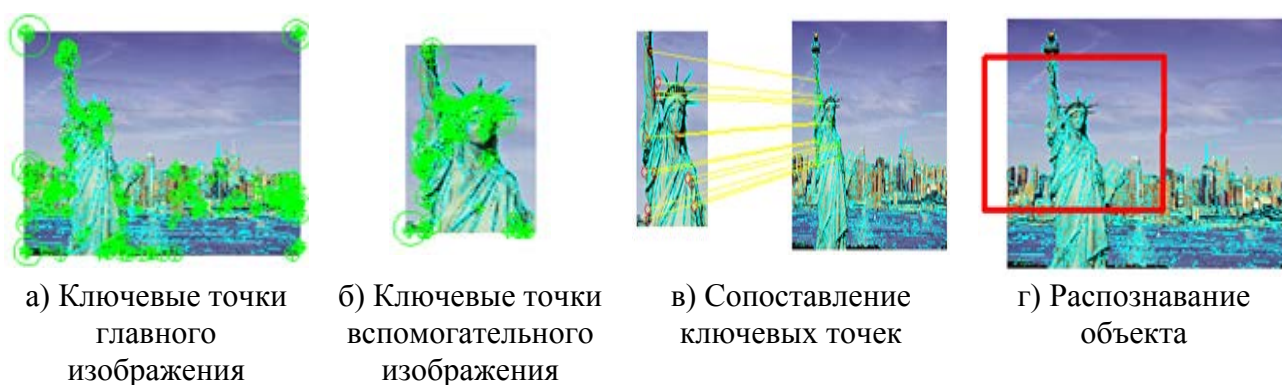


Рисунок 5 – Этапы распознавания объекта на изображении при помощи метода SURF

На Рисунок 4 и Рисунок 5 представлены результаты работы программы по распознаванию объектов на изображении.

Из приведённых изображений видно, что комбинированный метод для распознавания объектов на изображении даёт результат с погрешностью (выделенная область больше, нежели объект интереса). Данный недостаток возникает в результате несовершенного взаимодействия двух частей программы (преобразования Хафа и метода SURF).

Заключение

В результате проведения данной работы была разработана программа для оконтуривания и обнаружения объектов на изображении, в основе, которой лежит комбинированный метод для распознавания объектов. Достоинством данной реализации является то, что она инвариантна к размеру и типу изображений, а также, если имеется несколько идентичных объектов, то программа распознает их все. К недостаткам можно отнести нечеткость полученного результата (размер выделенной области), поэтому непосредственное использование этого метода для обнаружения объектов на изображении при сокрытии чертежей, продуцируемых с помощью аCAD, приведет к неточному результату, который впоследствии необходимо будет обрабатывать другими программными средствами для достижения 100% успеха. В рамках данного проекта поставленные задачи были выполнены.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MatLab. М.: Техносфера, 2006. 621 с.
2. Центр компетенции MathWorks: [Электронный ресурс]. 2001-2014. URL: <http://matlab.exponenta.ru/statist/book2/>. (Дата обращения 13.12.2014).
3. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: Салон-пресс, 2009. 272 с.
4. Poon T-Ch. Optical Scanning Holography with MATLAB. Virginia: Virginia Tech, 2007. 153 p.
5. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Задворнов О.А. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MatLab. Казань: Казанский государственный университет, 2010. 113 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПУТАННОСТИ СИСТЕМ ДВУХ СВЯЗАННЫХ КВАНТОВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Афонькина Н.А., Юсипов И.Р.

Научный руководитель: к.т.н. Жук Д.М.

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

MODELLING OF ENTANGLEMENT IN SYSTEMS OF TWO COUPLED QUANTUM OSCILLATORS

Afonkina N., Usipov I.

Supervisor: Prof. Zhuk D.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается вопрос моделирования систем двух связанных квантовых осцилляторов. Подробно представлено получение расчетной модели. Дано краткое описание ПО (программного обеспечения), разрабатываемого для расчета выбранного класса систем. Получены и проанализированы результаты работы ПО для тестовой задачи. В заключении представлены направления дальнейшего исследования.

Abstract

The question of modelling systems of two coupled quantum oscillators is considered. Main principles of forming the mathematical model are shown. Description of developed software is given in brief. Results of software test is analyzed. Direction of further research is concluded.

Введение

Квантовая запутанность – это явление, присущее исключительно квантово-механическим системам, которое обычно ассоциируется с поведением микроскопических объектов [1]. Однако в последнее время большой интерес представляет собой запутанность в гауссовых состояниях, которые с одной стороны являются ближайшим аналогом соответствующих макроскопических объектов, а с другой стороны также могут проявлять квантовые свойства [2]. Данный интерес связан с применением новых методов манипуляции квантовыми состояниями, а также с потенциально большей устойчивостью квантовых состояний по отношению к деструктивному действию окружающей среды, что особенно важно при создании устройств квантовой памяти.

В большинстве случаев найти аналитическое решение уравнения, описывающее такие системы, представимое в явном виде, невозможно. Поэтому в таких случаях применяются различные приближенные методы, как численные, так и аналитические.

Разработка новых аналитически-численных методов является актуальной проблемой математического моделирования динамических систем.

Это послужило мотивацией для разработки ПО по высокоточному численному моделированию динамики макроскопических квантовых осцилляторов, которое может являться первым этапом по реализации фундаментальных и практически значимых экспериментов в данной области.

1 Постановка задачи

В настоящей работе мы рассматриваем простейшую систему, состоящую из двух связанных осцилляторов (см. рис.1), описываемую гамильтонианом

$$H = \frac{p_1^2}{2m} + \frac{\omega_1^2 m_1 x_1^2}{2} + \frac{p_2^2}{2m} + \frac{\omega_2^2 m_2 x_2^2}{2} + \frac{k_3 (x_1 - x_2)}{2},$$

где m_i , x_i и p_i соответственно массы, координаты и импульсы осцилляторов ($i = 1, 2$), $\omega_i = k_i^{1/2} m_i^{-1/2}$ – частоты невзаимодействующих осцилляторов, k_3 – жесткость пружины, связывающей осцилляторы.

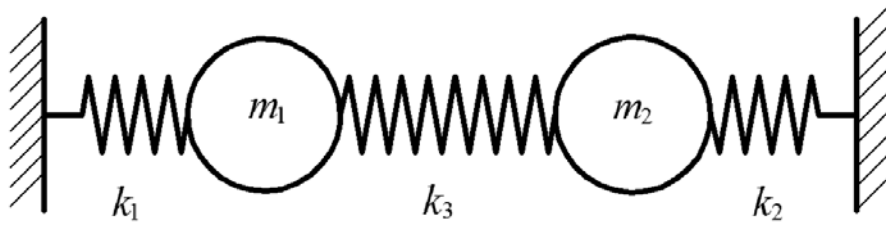


Рисунок 1 - Схема исследуемой системы

Динамику системы удобно записать в векторном виде

$$\frac{d}{dt} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}},$$

где

$$\hat{\mathbf{x}} = [\hat{X}_1 \quad \hat{P}_1 \quad \hat{X}_2 \quad \hat{P}_2]^T$$

вектор состояния, а $\mathbf{A}$ – матрица динамики системы имеет вид

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\omega_1}{2} & 0 & 0 \\ -\frac{\omega_1}{2} - \frac{\omega_3^2 m_2}{2\omega_1(m_1 + m_2)} & 0 & \frac{\omega_3^2 \sqrt{m_1 m_2}}{2\sqrt{\omega_1 \omega_2}(m_1 + m_2)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\omega_2}{2} \\ \frac{\omega_3^2 \sqrt{m_1 m_2}}{2\sqrt{\omega_1 \omega_2}(m_1 + m_2)} & 0 & -\frac{\omega_2}{2} - \frac{\omega_3^2 m_1}{2\omega_2(m_1 + m_2)} & 0 \end{bmatrix}$$

Динамика ковариационной матрицы, описывающей квантовое гауссово состояние (состояние с гауссовой функцией Вигнера)

$$\mathbf{V}_{i,j} = \langle \hat{\mathbf{x}}_i \circ \hat{\mathbf{x}}_j \rangle - \langle \hat{\mathbf{x}}_i \rangle \langle \hat{\mathbf{x}}_j \rangle,$$

будет подчиняться уравнению

$$\frac{d}{dt} \mathbf{V} = \mathbf{A} \mathbf{V} + \mathbf{V} \mathbf{A}^T.$$

Используя критерий Саймона [3], являющийся для гауссовых состояний необходимым и достаточным условием запутанности, можно получить логарифмическую негативность, которая используется в работе, как мера запутанности

$$E_N = \max \left[-\ln \sqrt{\frac{\sum - \sqrt{\sum^2 - 4 \text{Det}(V)}}{2}}, 0 \right],$$

где $\sum = \text{Det}(\alpha) + \text{Det}(\beta) - 2\text{Det}(\gamma)$, а α , β и γ матрицы 2×2 разбиения ковариационной матрицы в виде

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma \\ \gamma^T & \beta \end{bmatrix}.$$

2 Реализация и тестирование ПО

Для решения класса задач, описанного в предыдущей главе, разрабатывается программный комплекс с удобным интерфейсом для ввода/вывода и анализа данных (с использованием библиотеки Qt 4.8). Математический модуль программы разработан на основе программы manzhuk из библиотеки SADEL (Sets of Algebraic and Differential Equations solvers Library) – библиотеки языка Си для решения систем ОДУ (обыкновенных дифференциальных уравнений)[3]. Основная среда разработки - Microsoft Visual Studio 2008.

В качестве тестируемой задачи возьмем систему двух связанных осцилляторов со следующими входными данными.

Начальное состояние системы – термальные сепарабельные состояния с диагональной ковариационной матрицей

$$\mathbf{V}(t=0) = \begin{pmatrix} 2n_1 + 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2n_1 + 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2n_2 + 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2n_2 + 1 \end{pmatrix},$$

$$n_i = (\exp(\hbar\omega_i/k_B T_i) - 1)^{-1},$$

где n_i – среднее число квантов в состоянии термодинамического равновесия с термостатом температуры T_i (мы подразумеваем, что осцилляторы могут изначально находиться в равновесии с термостатами разных температур). Во всех дальнейших расчетах мы будем пользоваться безразмерными величинами, положив $\hbar = k_B = 1$. Кроме того, мы положим массы осцилляторов равными $m_1 = m_2 = 1$.

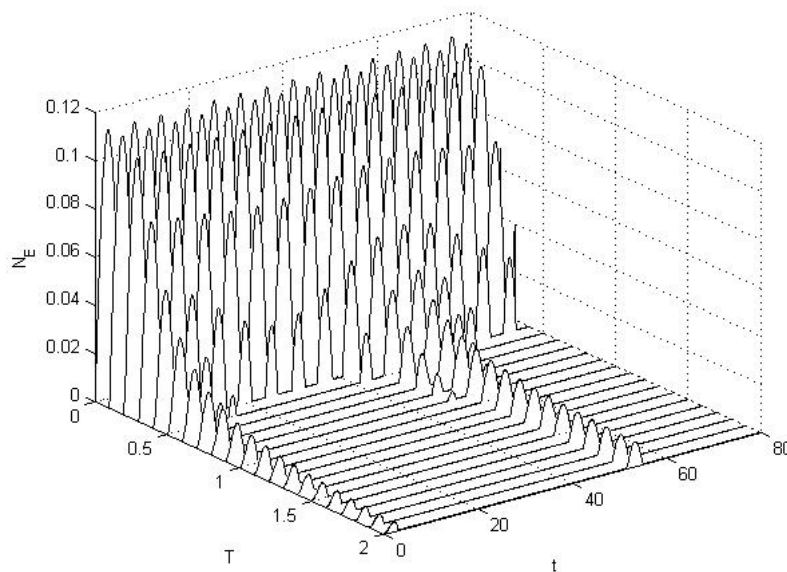


Рисунок 2 - Динамика запутанности системы двух связанных квантовых осцилляторов

На рис. 2 представлено поведение запутанности для осцилляторов, находящихся в резонансе ($\omega_1 = \omega_2 = 1$) при значении $\omega_3 = 0.5$. Одна из подсистем находится при

$n_1 = 0$ (чистое вакуумное состояние) , а другая при $n_2 > 0$ (смешанное термальное состояние). Такие начальные условия, как мы видим, благоприятны для сохранения запутанности.

Так же можно увидеть интересное явление внезапного разрушения и возрождения запутанности, известного для систем с дискретным спектром [4, 5].

Заключение

Разработка данного ПО позволит сократить времени анализа за счет отсутствия необходимости создания и отладки индивидуальных программ под каждую конкретную задачу, а именно за счет создания оптимального и универсального кода, а так же избежать проблем и рисков, связанных с этими факторами.

Дальнейшее направление исследований предполагает следующие действия.

- 1) Усовершенствование расчетной модели (добавление шумов, моделирование квантовых измерений).
- 2) Оптимизация результатов измерения запутанности.
- 3) Проектирование эксперимента по результатам исследования.

Литература

1. И.В. Баргатин, Б.А. Гришанин, В.Н. Задков Запутанные квантовые состояния атомных систем. — М: УФН 171, 2001. — С.625-647.
2. N.J. Cerf, Gerd Leuchs, E.S. Polzik Quantum Information With Continuous Variables of Atoms and Light. Imperial College Press, 2007. — P.1-61.
3. Жук Д.М., Маничев В.Б. и пр. SADEL – библиотека «сверхточных» решателей для программного комплекса ПА10 (SADEL–ПА10) // Сборник научных трудов МЭС. М.: ИППМ РАН, 2012. С. 202–219.
4. P. Kanti, B. Kleihaus and J. Kunz Stable Lorentzian Wormholes in Dilatonic Einstein-Gauss-Bonnet Theory. Phys. Rev. D 85, 2012. — P. 044007.
5. Z. Ficek, R. Tanas Dark periods and revivals of entanglement in a two-qubit system. Phys. Rev. A. vol. 74, 2006. — P. 024304.

AUTOFIXTURE, КАК ИНСТРУМЕНТ БЫСТРОГО СОЗДАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ UNIT ТЕСТОВ

Зайков С.А.

научный руководитель: д-р техн. наук, проф. В.М.Черненко
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ5, Москва, Россия

AUTOFIXTURE AS AN INSTRUMENT OF FAST CREATION AND SUPPORT OF UNIT TESTS

Zaykov S.A.

Supervisor:: Dr., prof. V.M.Chernenkiy
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается библиотека AutoFixture для работы с unit тестами. Подробно исследованы возможности данной библиотеки. Кратко представлены примеры использования данной библиотеки. В заключении представлены рекомендации по области применения данной библиотеки.

Annotation

The article discusses AutoFixture library for working with unit tests. The capabilities of the library are studied in details. The examples of the use of this library are briefly presented. In conclusion recommendations on the scope of this library are presented.

Введение

Основной проблемой unit тестирования является поддерживаемость написанных тестов. Unit тесты – это тесты, предназначенные для тестирования отодельно взятого метода или конструктора класса. Часто бывает, что после приведения некоторых изменений в коде, приходится полностью менять написанные тесты, так как изменяется набор параметров конструктора, метода, изменяется реализация методов и, в следствие этого большая часть тестов, которые исправно работали на предыдущей версии кода, не выполняются в новых условиях. Кроме того, еще одной проблемой, с которой сталкивается практически каждый, кто пишет unit тесты, является минимизация количества кода, которое необходимо писать, чтобы задать тестирование той или иной части кода.

При создании тестов присутствует 3 основные фазы, которые необходимо обозначить для правильного осмысления компилятором теста. Эти фазы: Arrange, где происходит инициализация данных, с которыми работает тест, Act, где производится непосредственно взаимодействие с тестируемым методом, и Assert, где проверяется правильность результатов.

Написание тестов, зачастую является делом скучным и очень долгим, для каждого из тестируемых методов приходится создавать свои данные, а, зачастую, пропускается какое-либо значение и все тесты проваливаются.

Для решения всех вышеперечисленных проблем может использоваться открытая библиотека AutoFixture, которая предоставляет огромный набор инструментов для написания и поддержки тестов.

Основная задача данной статьи – ознакомление с наиболее востребованными инструментами библиотеки, в результате использования которой тесты становятся более понятными, занимают меньше места и времени, а также их не приходится переписывать каждый раз, когда меняется реализация того или иного тестируемого элемента.

1 Сравнение объема кода тестов без и с библиотекой AutoFixture

Для примера возьмем тест, написанный без применения данной библиотеки:

[Fact]

```
public void Studen_Always_ShouldGetExcelentMark()
{
    var student = new Student(
        new FIO("Zaykov S.A."),
        new AverageMark(5),
        new Character("HardWorking"));
    var teacher = new Teacher(
        new FIO("Petrov V.A."),
        new Subject("ECM"),
        new Characteristic("Strange"));
    var sut = new Exam(student, teacher);
    sut.Execute();
    Assert.Equal(Mark.Excelent, sut.Mark);
}
```

Как видно в данном примере, тестирование одного только метода занимает немало места, кроме того, большая часть информации, присутствующая в тесте, просто не нужна, так как мы вводим данные для создания определенного класса, метод которого мы тестируем. Как было бы хорошо сократить выполняемый код до нескольких строк! Именно для этого и нужна библиотека AutoFixture.

Рассмотрим тот же самый тест при использовании вышеуказанной библиотеки:

[Theory, AutoData]

```
public void Studen_Always_ShouldGetExcelentMark_WithAutoFixture(Exam sut)
{
    sut.Execute();
    Assert.Equal(Mark.Excelent, sut.Mark);
}
```

Сразу же видно, что объем кода стал гораздо меньше. Причиной тому служит следующее:

Обозначая тесту атрибут AutoData мы даем понять, что при обработке теста данные должны быть автоматически переданы в метод. Для этого мы указываем параметр теста. В данном случае систем, которую мы тестируем, является класс Exam и поэтому нам необходимо, чтобы экзамен был сгенерирован с какими-либо данными, чтобы проверить работоспособность метода Execute. Из первого отрывка кода видно, что класс Exam принимает в себя студента и преподавателя, однако во второй отрывок кода передается только сам экзамен! При использовании AutoFixture не стоит волноваться об этом. Когда мы указываем атрибут AutoData и задаем входным параметром определенные данные, то библиотека создаст объект класса Exam, предварительно пройдясь по все зависимостям класса. Это означает, что первоначально создастся объект класса Student, после этого – класса Teacher, а потом эти объекты используются в качестве базы для класса Exam.

Подобный функционал позволяет избежать больших частей кода, отвечающих за создание данных, с которыми должен работать тест.

Таким образом, мы на примере разобрались, как AutoFixture позволяет сократить код тестов при помощи удаления из кода шага создания рабочих объектов.

2 Разработка тестов для работы с изменяемым классом

Попробуем разобраться с написанием тестов для изменяемого класса.

Тест для некоторого класса Subject будет выглядеть следующим образом:

[Fact]

```
public void Subject_Always_ShouldBeRuled()
```

```
{
var teacher = new Teacher(
new FIO("Petrov V.A."),
new Characteristic("Strange"));
var sut = new Subject(
new Name("System of automatic devices"),
new HoursPerWeek(4));
sut.SetTeacher(teacher);
Assert.Equal(sut.HasTeacher, true);
}
```

При верной реализации классов данный тест пройдет, однако, если один из классов, например, Teacher будет изменен и к нему будет добавлено новое поле, то тест завалится, чтобы он опять работал верно, необходимо изменять сам тест.

Данная проблема исчезает в случае использования AutoFixture. Перепишем данный тест с использованием этой библиотеки:

```
[Theory, AutoData]
public void Subject_Always_ShouldBeRuled_WithAutoFixture(Teacher teacher, Subject sut)
{
sut.SetTeacher(teacher);
Assert.Equal(sut.HasTeacher, true);
}
```

В данном случае объекты классов Teacher и Subject генерируются, основываясь на полях классов. Таким образом, если будет произведено изменение какого-либо из классов, при запуске тестов будут созданы верные объекты и тест пройдет.

Из этого можно сделать вывод, что при использовании AutoFixture поддержка написанных тестов становится проще, нет необходимости каждый раз переписывать тест под новые данные, достаточно единожды создать тест, чтобы он работал.

Заключение

Разобранная библиотека является на данный момент наиболее актуальной разработкой. Как видно из предложенной выше статьи, AutoFixture справляется с основными задачами, которые перед ней ставились. Все проблемы, освещенные выше, решаются при помощи небольшого количества действий.

Основной проблемой при написании тестов является сложность поддержки кода. Их написание при помощи библиотеки AutoFixture позволяет минимизировать количество необходимых изменений в коде теста после изменения класса, который тестируется.

Ранее данная проблема решалась путем создания параметризованных тестов, что было не особо удобно, по той причине, что в случае изменения класса, тесты необходимо было переписывать, к тому же, необходимо было придумывать данные, с которыми работает класс. Все эти проблемы теперь могут быть решены.

Кроме того, данная библиотека позволяет значительно уменьшить количество кода, что позволяет не только сократить время при написании теста, но и обеспечивает простоту чтения и разбора тестов.

Литература

1. <https://github.com/AutoFixture> - официальный сайт библиотеки
2. The Art of Unit Testing. Roy Oshero, 2009. 320 с.
3. Шаблоны тестирования xUnit. Джерард Месарош, 2009. 832
4. AutoFixture documentation.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

Чернышов Н.С.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Трудоношин В.А.

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

MATHEMATICAL MODEL OF WALKING ROBOT

Chernishov N.S.

Supervisor: PhD., Trudonoshin V.A.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается математическое моделирование динамики шагающего робота. Представлены разработанные математические модели элементов сервопривода. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Abstract

This article is about mathematical modeling of the walking robot's dynamics. It is dealt with developed mathematical models of the actuator elements. The results of numerical experiments are presented at the end of the article.

Введение

Моделирования поведения шагающего робота с точки зрения динамических нагрузок на элементы необходимо на этапе его эскизного проектирования. Оценка результатов моделирования позволит обоснованно подойти к выбору и проектированию конструктивных элементов робота. Кроме того, на динамической модели возможна отработка управляющих воздействий на привода, для обеспечения того или иного вида движения. В рамках комплекса моделирования динамических систем ПА9 имеются математические модели элементов трехмерной механики, которыми возможно воспользоваться при построении модели шагающего робота. Но выяснилось, что элементов привода в комплексе нет. Такие модели были разработаны, проведено их тестирования и выполнено моделирование четырехногого робота с учетом сервоприводов.

1 Строение робота

Сведения о структуре робота можно получить из 3D модели в программе Inventor (рис.1).

Каждая нога робота состоит из 3 сервоприводов и 2 элементов ноги.

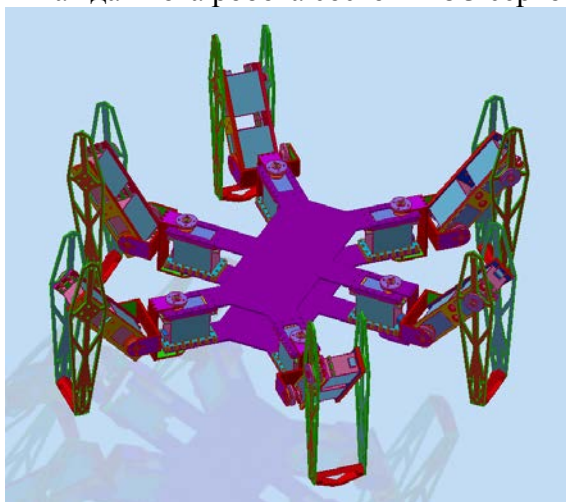


Рисунок 1 – 3D модель робота

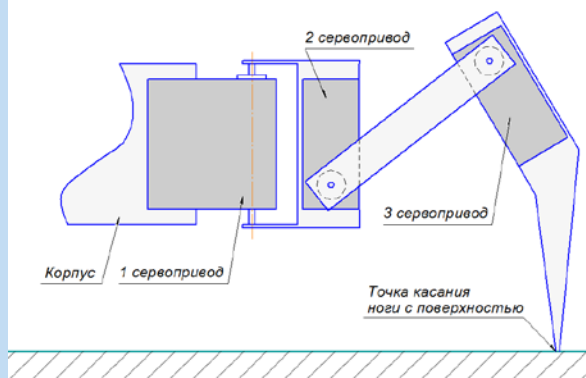


Рисунок 2 – Строение ноги робота

2 Математическая модель расчета угла между двумя элементами

Для корректной работы математической модели сервопривода необходимо вычислять угол в шарнирном соединении между двумя соединяемыми элементами. Рассогласование между этим углом и задаваемым извне, в качестве возмущающего воздействия, является аргументом для зависимого источника момента, о котором идет речь в следующем разделе. Для этого создана математическая модель элемента, подсоединяемого параллельно к математической модели привода. Входом модели является угол, который должен быть обеспечен, выходом – рассогласование, умноженное на задаваемый коэффициент k . Данный коэффициент служит для усиления или уменьшения сигнала.

3 Математическая модель привода

Математическая модель привода основана на математической модели цилиндрического шарнира из программы ПА9. В нее был добавлен управляемый источник момента относительно оси шарнира. На вход математической модели задается момент, который вычисляется ранее описанной моделью. Затем полученный момент прикладывается к элементам, которые соединены данным приводом. Математическую модель привода образует следующая система уравнений:

Формулы расчета скоростей:

$$V_{x1x2} = r_{z1} * \omega_{y1} - r_{z2} * \omega_{y2} - r_{y1} * \omega_{z1} + r_{y2} * \omega_{z2},$$

где V_{x1x2} – скорость центра тяжести 1 тела относительно 2 по оси X ,

$\omega_{y1} \omega_{y2} \omega_{z1} \omega_{z2}$ – угловые скорости 1 и 2 тела по осям $Y Z$,

$r_{y1} r_{y2} r_{z1} r_{z2}$ – координаты 1 и 2 тела по осям $Y Z$ в глобальной системе координат,

I_{e1} – проекция реакции одного тела на другое в шарнире по оси X .

$$V_{y1y2} = -r_{z1} * \omega_{x1} + r_{z2} * \omega_{x2} - r_{x1} * \omega_{z1} + r_{x2} * \omega_{z2};$$

$$V_{z1z2} = r_{y1} * \omega_{x1} - r_{y2} * \omega_{x2} - r_{x1} * \omega_{y1} + r_{x2} * \omega_{y2}.$$

Формулы расчета моментов:

$$M_{x1x2} = -(c_{yx} * M_{\omega y1y2} + c_{zx} * M_{\omega z1z2});$$

$$M_{x1} = -r_{z1} * I_{e2} + r_{y1} * I_{e3} + M_{xUp1};$$

$$M_{x2} = r_{z2} * I_{e2} - r_{y2} * I_{e3} - M_{xUp2},$$

где $r_{y1} r_{y2} r_{z1} r_{z2}$ – координаты 1 и 2 тела по осям $Y Z$ в глобальной системе координат, $I_{e2} I_{e3}$ – момент силы между 1 и 2 телом,

$M_{\omega y1y2} M_{\omega z1z2}$ – момент реакции 1 и 2 тела относительно оси X ,

M_{x1x2} – момент 1 тела относительно 2 тела по оси X ,

$M_{xUp1} M_{xUp2}$ – моменты от входного сигнала для 1 и 2 тела по оси X .

Расчет угловых скоростей по другим осям:

$$\omega_{y1y2} = -c_{yx} * (\omega_{x1} - \omega_{x2});$$

$$M_{y1} = r_{z1} * I_{e1} - r_{x1} * I_{e3} + M_{yUp1};$$

$$M_{y2} = -r_{z2} * I_{e1} + r_{x2} * I_{e3} - M_{yUp1},$$

где $r_{x1} r_{x2} r_{z1} r_{z2}$ – координаты 1 и 2 тела по осям $X Z$ в глобальной системе координат, $I_{e1} I_{e3}$ – момент силы между 1 и 2 телом,

$M_{y1} M_{y2}$ – момент реакции 1 и 2 тела относительно оси Y ,

ω_{y1y2} – угловая скорость 1 тела относительно 2 тела по оси Y ,

$\omega_{x1} \omega_{x2}$ – угловые скорости 1 и 2 тела относительно оси X ,

$M_{yUp1} M_{yUp2}$ – моменты от управляемого источника для 1 и 2 тела по оси Y .

$$\begin{aligned}\omega_{z1z2} &= -c_{zx} * (\omega_{x1} - \omega_{x2}); \\ M_{z1} &= -r_{y1} * I_{e1} + r_{x1} * I_{e2} + M_{zUpr1}; \\ M_{z2} &= r_{y2} * I_{e1} - r_{x2} * I_{e2} - M_{zUpr1},\end{aligned}$$

где $r_{x1} r_{x2} r_{y1} r_{y2}$ – координаты 1 и 2 тела по осям $X Y$ в глобальной системе координат, $I_{e1} I_{e2}$ – момент силы между 1 и 2 телом,

$M_{z1} M_{z2}$ – момент реакции 1 и 2 тела относительно оси Z ,

$\omega_{x1} \omega_{x2}$ – угловые скорости 1 и 2 тела относительно оси X ,

ω_{z1z2} – угловая скорость 1 тела относительно 2 тела по оси Z ,

$M_{zUpr1} M_{zUpr2}$ – моменты от управляемого источника для 1 и 2 тела по оси Z .

$$M_x * c_x + M_y * c_y + M_z * c_z = 0;$$

$$M_x = -(M_y * c_y + M_z * c_z) / c_x,$$

где M_x – проекция момента реакции на ось X ,

$c_x c_y c_z$ – направляющие косинусы оси вращения цилиндрического шарнира в глобальной система координат.

Если направляющие косинусы определены в локальной системе, то формула расчета M_x будет рассчитываться следующим образом:

$$\begin{aligned}M_x &= -(M_y * c_{yx} + M_z * c_{zx}); \\ c_{yx} &= \frac{m[y] * c_x + m[y] * c_y + m[y] * c_z}{m[x] * c_x + m[x] * c_y + m[x] * c_z}; \\ c_{zx} &= \frac{m[z] * c_x + m[z] * c_y + m[z] * c_z}{m[x] * c_x + m[x] * c_y + m[x] * c_z},\end{aligned}$$

где $m[]$ – матрица перехода из локальной системы координат в глобальную, $m[x]$ – первая строка матрицы перехода, $m[y]$ – вторая строка матрицы перехода, $m[z]$ – третья строка матрицы перехода.

4 Результаты моделирования

Для проверки работы разработанных математических моделей создан пример, который состоит из математической модели расчета угла, математической модели привода и 2 тел, которые соединены между собой посредством привода. Начальное расположение тел и привода образуют заданный угол. Затем подается возмущающий сигнал, который должен быть отработан. Результаты моделирования показали корректность работы сервопривода (рис. 3).

На основе разработанных моделей была собрана модель четырехногого робота, составными частями которого являются корпус и четыре ноги. Графики зависимости центра масс математической модели робота от времени показаны на рисунках 4 и 5.

Голубым цветом изображено высота центра масс от нулевой плоскости (плоскость на которую опираются ноги робота). Из графиков видно, что в начале точка центра масс робота поднимается на определенную высоту. Это связано с тем, что начальное положение элементов в математической модели не соответствует углам, которые подаются на модели расчета угла. После выставления заданных углов, модель удерживает заданную высоту центра масс.

Синим, зеленым и фиолетовым цветами изображены сигналы, подающиеся на входы трех математических моделей приводов одной из ног робота.

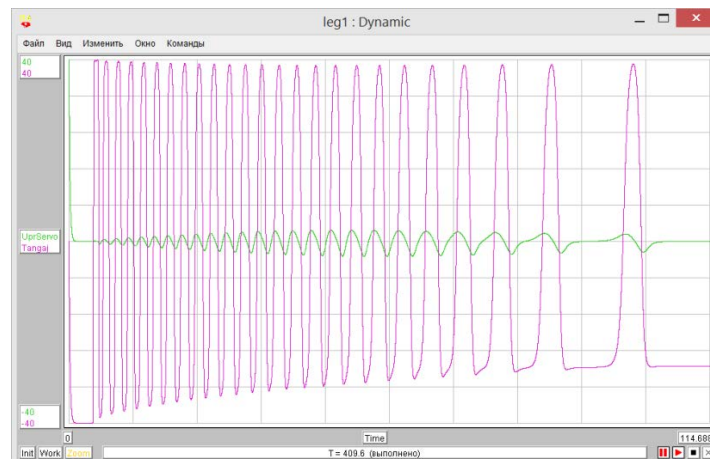


Рисунок 3 – График зависимости угла от времени между двумя элементами цилиндрического шарнира и математической модели расчета угла.

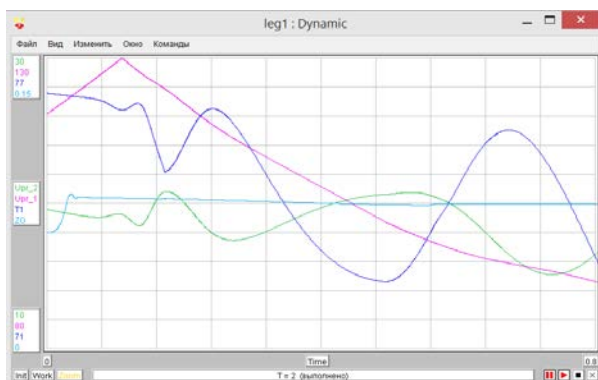


Рисунок 4 – График зависимости положения центра масс робота от времени, время работы 2 сек

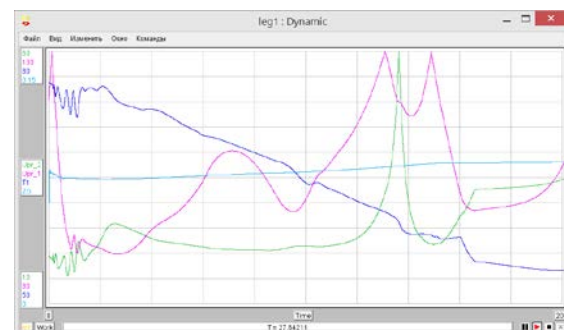


Рисунок 5 – График зависимости положения центра масс робота от времени, время работы 27 сек

Заключение

Разработано 2 математических модели для программного комплекса ПА9. Математическая модель цилиндрического шарнира и математическая модель расчета угла между двумя соединенными элементами. Проведены испытания работоспособности данных моделей. Из данных моделей собран четырехногий робот.

В дальнейшей работе предполагается разработка модели шестиногого робота, на которой будет отрабатываться необходимый набор сигналов для передвижения. Предполагается физическая реализация смоделированного робота.

Литература

1. Амелькин Н.И. Кинематика и динамика твердого тела. — М.: МФТИ (ГУ), 2000. 64 с.
2. Амелькин Н.И. Динамика твердого тела: учеб. пособие. — М.: МФТИ, 2010. 79 с.
3. <http://bigor.bmstu.ru/> Моделирование систем с сосредоточенными параметрами.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИРОДЫ ШУМА И ОЦЕНКА ЕГО СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Горев Д.М., Кателкин В.О.

Научный руководитель: доцент, канд. техн. наук А.И.Власов

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

IDENTIFICATION OF THE NATURE OF NOISE AND EVALUATION OF ITS STATISTICAL PARAMETERS IN IMAGE PROCESSING

Gorev D.M., Katelkin V.O.

Supervisor: Ph.D. Vlasov A.I.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В первой части анализа рассмотрены методы статистических оценок шума на изображении, вторая часть посвящена обзору алгоритма по шумоподавлению на изображениях с площадью значимых деталей на изображении сравнимым или не сильно меньшим, чем площадь фона.

Abstract

In the first part of the analysis reviews the methods of statistical estimates of the noise in the image, the second part provides an overview of the algorithm for noise reduction in images with an area of significant parts of the image comparable to or slightly smaller than the area of the background.

1 Методы статистических оценок параметров изображений

В редком случае на практике можно получить незашумленный сигнал, поэтому идентификация природы шума и оценка его статистических параметров играет ключевую роль в обработке изображений.

Существуют различные способы для идентификации природы шума и оценки статистических параметров, которые будут рассмотрены в дальнейшем.

Ниже будет рассмотрен метод идентификации шума и оценки его статистических параметров, основанный на рассмотрении небольших участков изображения примерно постоянной яркости.

Также будет рассмотрен метод автоматической оценки шума на изображении с использованием локальной статистики (в случае аддитивных и мультипликативных помех). Конкретно будет показано, что если изображение, с которым мы имеем дело, содержит в себе большое количество низко изменчивых областей (с близкими значениями яркости), то дисперсию шума (если он аддитивный) можно оценить как моду от распределения локальных дисперсий на изображении. Если же помеха мультипликативная, то коэффициент изменения шума может быть оценен как мода от распределения локальных оценок коэффициента отклонения.

Еще одним интересным предположением была идея об оценке статистических параметров, методом накопления значений яркости на изображении. В статье будет рассмотрен вопрос об использовании различных методов накопления: среднеарифметического, среднегеометрического, среднегармонического, медианы, моды, полусуммы максимального и минимального значения яркостей.

2 Метод идентификации и оценки статистических параметров шума

Суть метода состоит в том, что для оценки плотности распределения значений пикселей изображения, соответствующих шумовой компоненте, применяется анализ локальных статистик в соответствующих областях изображения [1].

На изображении выбирается фрагмент, например полоса. Строится гистограмма (ось абсцисс - значения яркости, ось ординат - количество пикселей данной яркости фрагменте. На основе данных гистограммы можем вычислить приближенные значения математического ожидания и дисперсии по простым формулам:

$$\mu = \sum_{z_i} z_i p(z_i) \quad (1)$$

$$\sigma = \sum_{z_i \in S} (z_i - \mu)^2 p(z_i) \quad (2)$$

где z_i – значения яркости элементов части изображения S (фрагмент), а $p(z_i)$ – количество пикселей этой яркости на фрагменте. Вид гистограммы позволяет примерно определить тип статистического распределения, соответствующего наблюдаемой в данном случае шумовой компоненте[1]. Ниже представлены типы возможных плотностей распределения (рисунок 1).

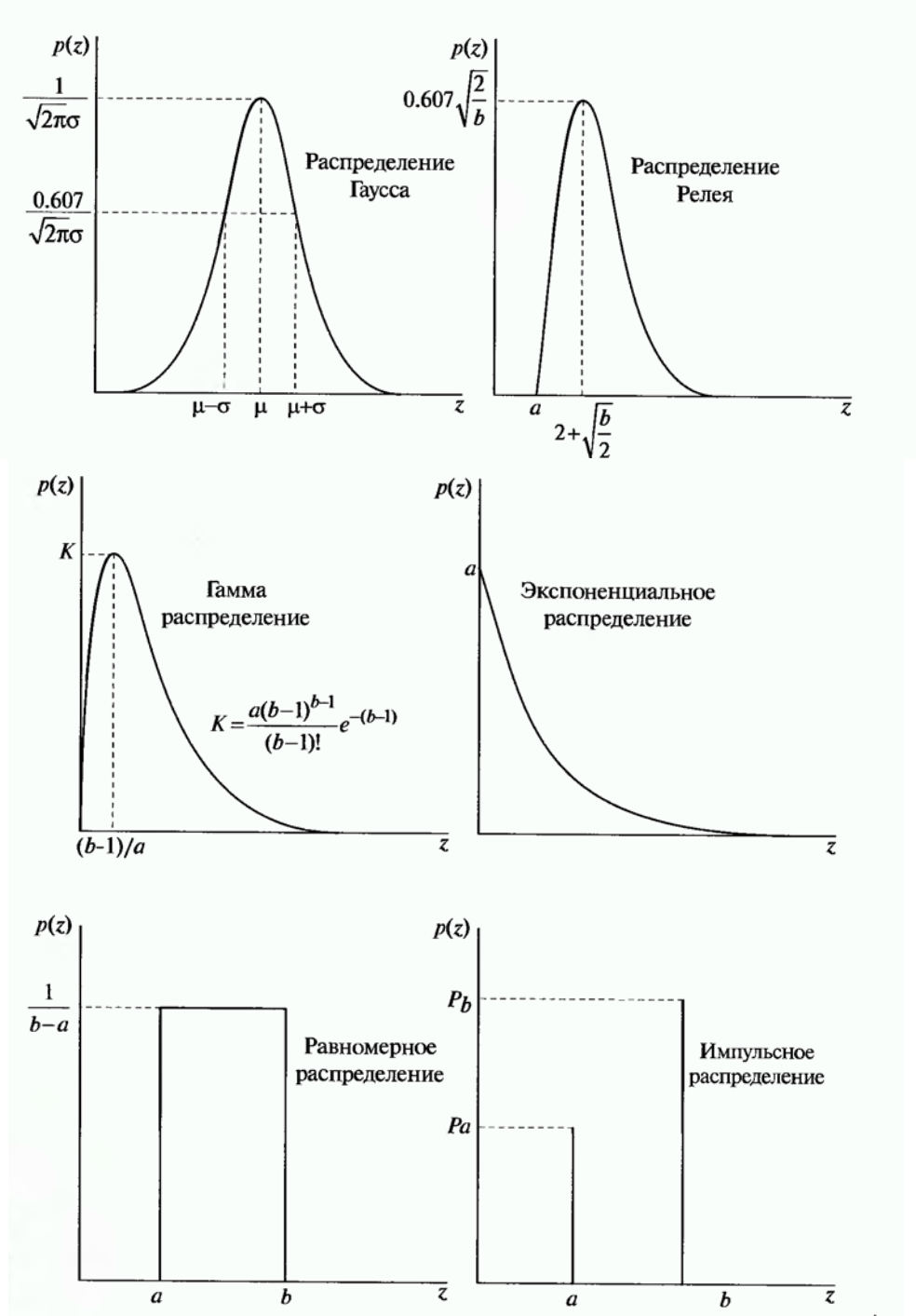


Рисунок 1 - Основные виды плотностей распределения

Проанализируем основные типы распределений [1].

Гауссов шум - также называемый **Нормальный шум**. Функция плотности распределения:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z - \mu)^2 / 2\sigma^2} \quad (3)$$

z, Где z представляет собой значение яркости, μ -среднее значение случайной величины

σ -среднеквадратичное отклонение.

Шум Релея

$$\begin{cases} \frac{2}{b} (z - a) e^{\frac{-(z-a)^2}{b}} & \text{при } z \geq a; \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

Среднее и дисперсия для данного распределения имеют вид:

$$\mu = a + \sqrt{\pi b / 4}; \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{b(4 - \pi)}{4} \quad (6)$$

Шум Эрланга (гамма шум)

$$\begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az}; \\ 0 \end{cases} \quad (7)$$

где $a > 0$, b – положительное целое число.

Среднее и дисперсия:

$$\mu = \frac{b}{a}; \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \frac{b}{a^2} \quad (9)$$

Экспоненциальный шум

$$p(z) = \begin{cases} a e^{-az} & \text{при } z \geq 0, \\ 0 & \text{при } z < 0 \end{cases} \quad (10)$$

где $a > 0$. Среднее и дисперсия для этого распределения имеют вид:

$$\mu = \frac{1}{a} \quad (11)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{a^2} \quad (12)$$

Равномерный шум

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{при } a \leq z \leq b \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (13)$$

Среднее значение для этого распределения равно:

$$\mu = \frac{a+b}{2}, \quad (14)$$

а дисперсия

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}, \quad (15)$$

Импульсный шум(соль перец)

$$p(z) = \begin{cases} P_a \text{ при } z = a; \\ P_b \text{ при } z = b; \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases} \quad (16)$$

Если форма гистограммы примерно повторяет Гауссово плотность распределения - все что нужно определить среднее и дисперсию, так как она полностью описывается этими параметрами. Если шум описывается другой функцией распределения, рассматриваются выражения для среднего и дисперсии как уравнения для параметров a и b , разрешаем уравнения, находим параметры распределения.

Если имеется случай импульсного шума, то поступают несколько другим способом. На изображении нужно выбрать такой фрагмент, в которой яркости лежат в средней части диапазона и постоянны, так как необходимо, чтобы были видны и черные и белые пики. Высоты пиков, соответствующие черным и белым точкам, и есть оценка вероятностей P_a и P_b .

3 Метод автоматической оценки шума на изображении с использованием локальной статистики

В этом методе показан новый подход, основанный на локальных статистиках, особенно на распределении таких статистик [2]. Наглядно будет показано, как параметры шума могут быть точно вычислены с использованием моды от всех локальных оценок. Мода является достаточно хорошим способом для оценки дисперсии (в случае аддитивного шума) или для коэффициента отклонения (в случае мультипликативной помехи), если изображение, которое подвергается обработке содержит достаточно большое количество низко – изменчивых областей яркости. В рамках данной работы ограничимся случаем аддитивного шума.

Модели шума и оценка

В этой части рассматриваются изображения, искаженные любым аддитивным шумом или мультипликативной помехой. Для начала рассмотрим следующую модель:

$$g_{i,j} = f_{i,j} + n_{i,j}, \quad (17)$$

Где $f_{i,j}$ - яркость пикселей (i,j) на оригинальном изображении, $g_{i,j}$ - яркость пикселей (i,j) на искаженном изображении, и $n_{i,j}$ - Гауссова шумовая последовательность с нулевым средним и дисперсией $Var(n_{i,j}) = \sigma_n^2$, постоянной по всему изображению. Предполагая, что шум и оригинальное изображение некоррелированы, дисперсия искаженного изображения может быть записана как:

$$\sigma_{g_{i,j}}^2 = \sigma_{f_{i,j}}^2 + \sigma_n^2, \quad (18)$$

где $\sigma_{g_{i,j}}^2$ и $\sigma_{f_{i,j}}^2$ – является одновременно локальными дисперсиями

Для мультипликативной помехи будет рассматриваться следующая модель:

В соответствии с формулой (18), если в какой-либо области равенство $\sigma_{f_{i,j}}^2 = 0$ сохраняется, то есть изображение постоянно, значит, очевидно:

$$\sigma_{g_{i,j}}^2 = \sigma_n^2, \quad (19)$$

Поэтому внутри однородной области (в условиях содержания сигнала) дисперсия искаженного изображения равна дисперсии шума.

Этот метод имеет недостаток - требуется автоматическая процедура или вручную выбирать такие однородные области. Также метод очень чувствителен к ошибкам, выбросам и неоднородностям.

Кроме того, если оценка была абсолютно точной и в соответствии с (18)

$$\sigma_n^2 = \sigma_{min}^2 = \min_{i,j} \{\sigma_{g_{i,j}}^2\} \quad (20)$$

Однако эта оценка на практике смещена в сторону нуля из-за чувствительности оператора $\min$ к выбросам. В результате, реальное значение σ_n^2 часто недооценивается. Некоторые авторы используют среднее:

$$\sigma_n^2 = \sigma_{ave}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \sigma_{g_{i,j}}^2 \quad (21)$$

(N-количество суммируемых элементов), но этот метод, наоборот, как правило, переоценивает.

В обход этого, было предложено другой путь [6], где значение дисперсии вычислялось с помощью введения свободного параметра λ , лежащего в интервале (0,1). Оценка таким образом:

$$\sigma_n^2 = \lambda \sigma_{min}^2 + (1 - \lambda) \sigma_{ave}^2 \quad (22)$$

Однако и эта оценка не является точной.

Оценка шума

Наша задача найти быстрый простой и надежный метод оценки σ_n^2 , в случае аддитивного Гауссова шума. Рассмотрим практически проблему оценки.

В соответствии с (18) теоретический эффект от добавления гауссова шума к изображению - увеличение локальной дисперсии на значение σ_n^2 .

На рисунке 2 изображение, взятое для эксперимента и то же изображение с аддитивным Гауссовым шумом с нулевым средним и (для изображения с динамическим диапазоном яркости [0, 255]).



Рисунок 2 - Тестируемое изображение и искаженное изображение

Нормализованное распределение локальной дисперсии изображения оценено и показано на рисунке 3а. В соответствии с (18), как и ожидалось, распределение шума на изображении есть то же самое распределение, но смещенное вправо на значение σ_n^2 , как показано на рисунке 3б. Как отмечалось ранее, простой оценщик будет минимумом распределения, как в (20). Однако, как показала используемая оценка локальной дисперсии, этот оценщик будет также иметь и собственную дисперсию и его распределение отличается от той, которая показана в 3б. Используя окно 7×7 , для более точного приближения распределения локальной дисперсии в зашумленном изображении, как показано на рисунке 3с. Как ясно показано на рисунке, мода распределения [3] отражает количество шума. В следующем пункте рассмотрим это распределение, предполагая две различные модели. Эти предположения покажут, что мода - хороший способ оценки σ_n^2 .

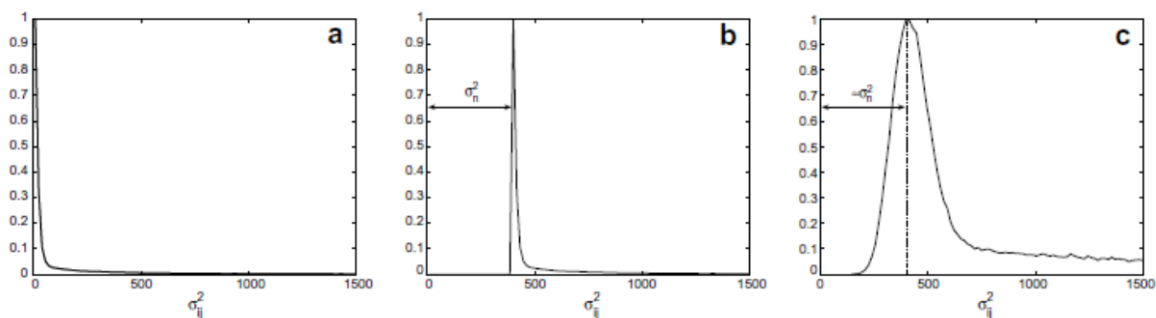


Рисунок 3 - Нормализованное, по отношению к максимальной, распределение локальной дисперсии на изображении

(а) Локальное распределение дисперсии на оригинальном изображении; (б) Теоритическое распределение дисперсии на изображении, зашумленном Гауссовым шумом; (с) Типовое распределение локальных дисперсий на изображении с Гауссовым шумом

Выборочная дисперсия в Гауссовой модели

Пусть $X_i, i=\{1, \dots, N\}$ набор случайных переменных. Если мы соглашаемся, что эти переменные соответствуют модели «константа плюс шум», то есть $X_i = a + W_i$, где $W_i, i=\{1, \dots, N\}$ набор независимых и одинаково распределённых (ИОД) Гауссовых случайных переменных с нулевым средним и стандартным отклонением σ , то несмещенная оценка дисперсии:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2, \quad (23)$$

где

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (24)$$

выборочное среднее.

Другой возможной оценкой этой модели может быть мода, которая для умеренно большого N довольно близко к значению σ^2 . Более подробно математические выкладки изложены по ссылке [2]. Таким образом, оценка дисперсии шума будет:

$$\sigma_n^2 = \frac{N-1}{N-3} \text{mode}\{\sigma_{gij}^2\}. \quad (25)$$

Проведем эксперимент, предварительно тестируя возможностей оценки моды. Гауссово изображение 256x256 было случайно сгенерировано со средним 100 и дисперсией 400. Можно посчитать локальную дисперсию окон размером 3x3, 7x7, 11x11 и 31x31.

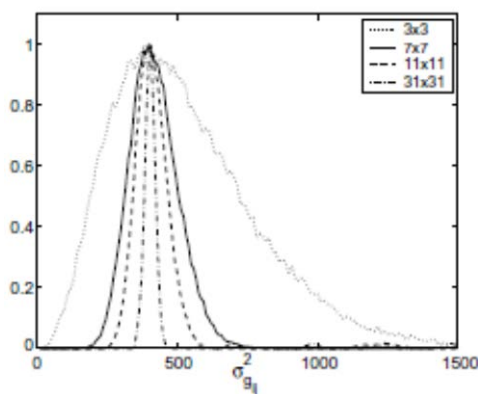


Рисунок 4 - Распределение выборочной дисперсии для окна различного размера, нормализованного $\frac{N-1}{N-3}$, где N –размер окна

Распределение переменных показано на рисунке 3. Коррекция $\frac{N-1}{N-3}$ была применена, N-размер окна. Эффект от изменения окна изменяет ширину форму гамма - распределения, но максимумы этих распределений лежат в $\frac{N-1}{N-3} \sigma^2$. Таким образом, максимум может быть использован для оценки дисперсии, независимо от размера использованного окна.

Выборочная дисперсия на изображении плюс шумовая модель

Предположения предыдущего раздела не учитывают распределение локальной дисперсии (сигнал) в оригинальном изображении. Большинство изображений, с которыми мы обычно работаем, имеют огромное количество однородных областей. Под однородной областью подразумевается область изображения без границ и с мягкими переходами. Это означает, что если никакой текстуры не представлено, распределение локальных дисперсий имеют свои максимальные значения около 0.

Проиллюстрируем это утверждение, распределение локальных дисперсий на портретном изображении (рисунок 5) со значениями яркости между 0 и 255 было вычислено используя окна 5x5.



Рисунок 5 - Портрет

Результат изображен на рисунке 5, где, как можно видеть, большинство значений лежат около нуля, как и ожидалось. Эту экспоненциально убывающую гистограмму можно увидеть для широкого диапазона изображений. Очевидное исключение из этого, случай комплексных текстур, для которых яркостная изменчивость содержится в самом сигнале.

Здесь также как и в предыдущем разделе опущены математические выкладки, ознакомьтесь с которыми можно по ссылке[2].

Приведем утверждение без вывода:

$$mode(\sigma_{g_{ij}}^2) \approx \frac{N-3}{N-1} \sigma_n^2 \approx \sigma_n^2, \quad (26)$$

4 Интуитивная точка зрения

Основываясь на предыдущих частях - большинство изображений с которыми обычно имеем дело содержат огромное количество равномерных областей, таким образом распределение локальных дисперсий имеет свой максимум около 0. Максимум таких распределений находится в начале координат, показывая экспоненциальную форму гистограмму, которая может быть найдена во многих изображениях. Распределение на портретном изображении с аддитивных Гауссовым шумом $\sigma_n^2 = 2000$ как показано на рисунке 6a и с $\sigma_n^2 = 700$ на рисунке 6b. Так как дисперсия шума постоянно по всему изображению, она влияет на каждую локальную дисперсию в равной степени. В результате максимум колоколообразного распределения будет отображать локальную дисперсию искаженного изображения g_{ij} внутри однородных областей. Это значение и есть мода

распределения, оно очень близко к $\sigma_n^2, mode(\sigma_{g_{i,j}}^2) \approx \sigma_n^2$, таким образом мы можем использовать моду для оценки дисперсии:

$$\sigma_n^2 = mode(\sigma_{g_{i,j}}^2).$$

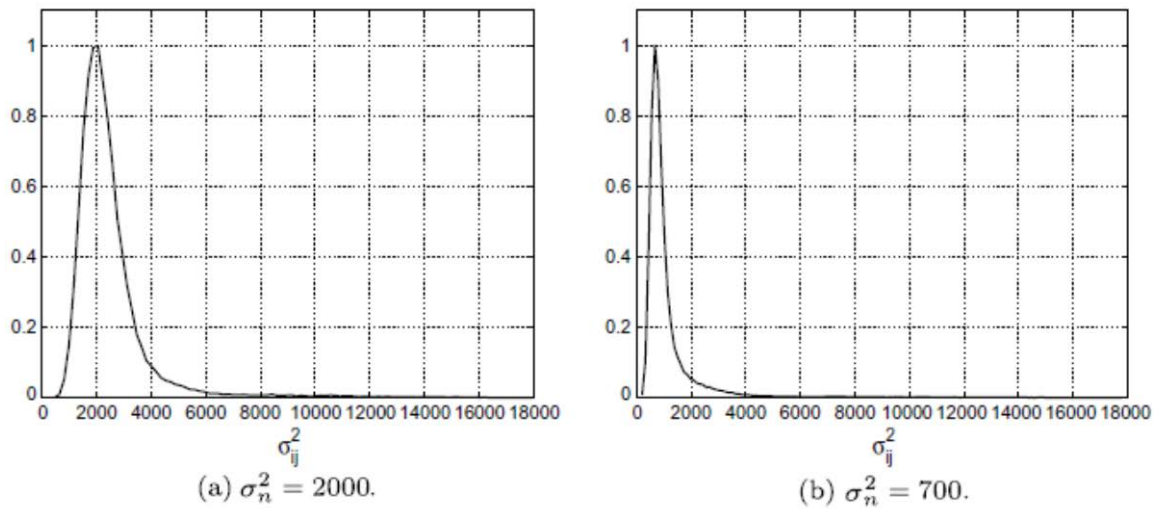


Рисунок 6 - Нормализованная гистограмма значений локальной дисперсии на портретном изображении с аддитивным Гауссовым шумом

Проблема оценки моды для дискретной совокупности - хорошо известная проблема в области статистики, и должна рассматриваться глубже в литературе, смотрите, например [22,23]. Это выходит за рамки рассматриваемой проблемы. Если возникает практическая сложность в хорошей оценке моды, возможно использования вместо моды медианного оператора, из-за его простоты, по факту оба параметра разные, практически, не сильно отличаются. Таким образом, альтернативной оценочной процедурой может быть:

$$\sigma_n^2 = median(\sigma_{g_{i,j}}^2) \quad (26)$$

5 Метод накопления

Идея возникла на основе парадокса оценок математического ожидания, описанного Каганом, Линником и Рао [4].

Пусть $F(x)$ -произвольная функция распределения с нулевым средним и конечным стандартным отклонением и пусть $F_\theta(x) = F(x - \theta)$, где параметр θ может принимать произвольные действительные значения. Если элементы выборки $X_1, X_2, \dots, X_n$ являются случайными величинами с распределением F_θ , то выборочное среднее $\bar{X}$ дает состоятельную и несмещенную оценку неизвестного параметра θ (который, очевидно, равен математическому ожиданию распределения F_θ). Однако оценка $\bar{X}$ не очень эффективна (за исключением случая нормального распределения): для любого $n > 2$ существует несмещенная оценка, стандартное отклонение которой меньше стандартного отклонения величины $\bar{X}$ (точнее для всех θ ее стандартное отклонение, по крайней мере, столь же мало, как и у $\bar{X}$, и для одного θ оно строго меньше).

Объяснение парадокса. Изложение метода построения асимптотически оптимальных оценок. Прежде всего, рассмотрим в качестве примера функцию равномерного распределения $F(x)$ на интервале $(-c, c)$ (где c -произвольное положительное число) и пусть $F_\theta(x) = F(x - \theta)$. Тогда $D^2(\bar{X}) = c^2/3n$. Если $X_1^* = \min X_i^*$ и $X_n^* = \max X_i^*$, т.е. X_1^*

- наименьший и X_n^* - наибольший элементы выборки (они оба определяются однозначно с вероятностью 1, так как распределение непрерывно), то

$$D^2\left(\frac{X_1^* + X_n^*}{2}\right) = \frac{2c^2}{(n+1)(n+2)}.$$

При больших n намного меньше, чем $D^2(\bar{X})$. Поскольку полусумма

$\frac{X_1^* + X_n^*}{2}$ также является несмещенной и состоятельной оценкой параметра θ , она

предпочтительнее по сравнению с “обычной оценкой” $\bar{X}$.

В среде Matlab в матрицу были сгенерированы псевдослучайные числа по следующим законам распределения:

- 1) Нормальное распределение (Гауссово);
- 2) Экспоненциальное распределение;
- 3) Гамма распределение;
- 4) Распределение Пуассона;
- 5) Непрерывное нормальное распределение;
- 6) Распределение Релея;

Математическое ожидание рассчитывалось для каждой плотности распределения как:

- 1) Среднее арифметическое;
- 2) Среднее гармоническое;
- 3) Среднее геометрическое;
- 4) Медиана;
- 5) Мода;
- 6) Полусумма максимума и минимума;

Рассматривалась выборка 20-300 зашумленных матриц. И для всех типов шумов получилось, что дисперсия, рассчитанная для математического ожидания как среднего арифметического получается меньше, чем для остальных методов расчета математического ожидания.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что если мы рассчитываем дисперсию методом накопления, то эффективное значение дисперсии получается при расчете математического ожидания методом среднего арифметического.

Если нам нужно оценить дисперсию шума имея выборку дисперсий искаженного изображения, то эффективным оценщиком может являться мода, если же моду затруднительно применить, можно использовать такой оценщик как медиана.

6 Алгоритм шумоподавления

Задачей настоящей работы является разработка алгоритма по улучшению качества изображений. Изображения представляют собой фотографии слоев микросхемы, характерными признаками которых являются:

- наличие неоднородного фона;
- прерывистых вертикальных и горизонтальных проводников.

В результате использования представленного алгоритма, достигается улучшение качества изображения за счет обеспечения равномерности фона и устранения прерывистости проводников.

В рамках рассматриваемой задачи был разработан алгоритм, который можно разделить на следующие операции:

- а) к исходному изображению применяется операция размыкания [1];
- б) из исходного изображения вычитается изображение, полученное в результате размыкания;
- в) к полученному по п. 2 изображению применяется операция гамма-коррекции изображения [5];
- г) к полученному в п. 3 изображению применяется операция Лапласиана [1];

В начальные этапы алгоритма входят операции, обозначенные выше пунктами а) и б). В технической литературе этот этап принято называть “Tophat” [1].

Исходное изображение, предложенное для улучшения качества, представляло собой цифровой массив размером 433 килобайта, в формате рисунка типа JPEG, рис. 7.

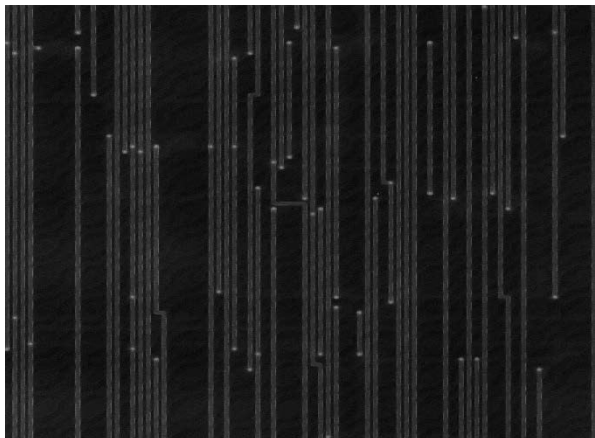


Рисунок 7 - Исходное изображение

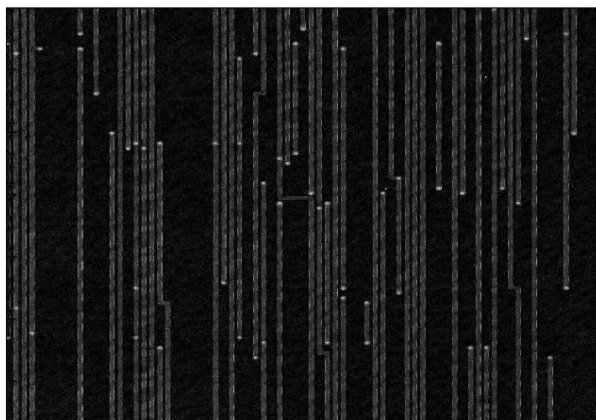


Рисунок 8 - Изображение после Tophat

Для дальнейшей обработки использовался программный пакет “Mathlab”.

В качестве примитива использовался прямоугольник из единиц, размером 15×15 пикселей.

Фрагмент программы, реализующий пункты а) и б) алгоритма, рис. 8.

```
k=strel('rectangle',[15 15]); %определение примитива
img1=imtophat(img,k);%tophat
```

Рисунок 9 - Фрагмент программы Matlab

Изображение, полученное в результате применения этой операции, представлено на рис.8. После этапа Tophat проводники получили большую яркость и четкость, неравномерность фона уменьшилась.

7 Применение гамма - коррекции изображения

Для дальнейшего устранения неравномерности фона была использована операция гамма – коррекции. Гамма-коррекция представляет собой возведение яркости пикселей исходного изображения в некоторую степень γ , с последующим умножением на некоторый постоянный коэффициент c .

$$V_{out} = A \times V_{in}^{\gamma}, \quad (27)$$

где V_{out} – выходное изображение, V_{in} – входное изображение, A - константа, влияющая на яркость изображения, γ – значение коэффициента гамма.

В результате подбора, было установлено, что наилучшее качество достигается при $A = 1.5$, $\gamma = 1.5$. Полученное изображение представлено на рис. 10.

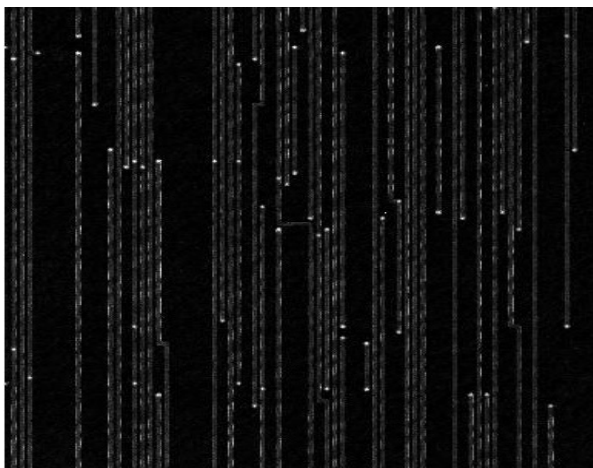


Рисунок 10 - Изображение после гамма-коррекции

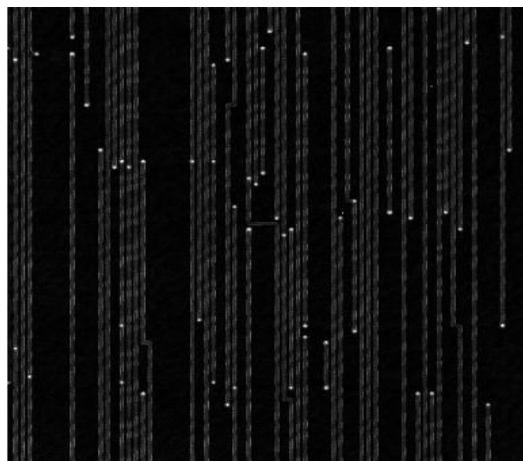


Рисунок 11 - Сумма изображения и лапласиана

Однако на полученном изображении недостаточно четко прослеживаются некоторые проводники, поэтому для улучшения визуального качества было использована операция Лапласиан.

8 Улучшение изображения путем использования операции Лапласиан

Для увеличения четкости и яркости проводников, суммировались два изображения. Первое – полученное в результате операции Лапласиана на изображении, после операции гамма - коррекции. Второе – непосредственно само изображение, после выполнения операции гамма – коррекции, рис. 10.

Результирующее изображение представлено на рис. 11.

В результате проделанной операции достигнуто качество изображения статочное для дальнейшего использования.

Данный алгоритм был использован для обработки изображения, отличающегося от первичного горизонтальным расположением проводников. Рассматриваемое изображение представлено на рис. 12.

К данному изображению применен разработанный алгоритм, однако в гамма – коррекции есть некоторые изменения, а именно – осуществлен подбор коэффициентов $A=2$, $\gamma=1.4$, рис. 13.

Из представленных результатов следует, что фон изображения стал равномерным, при удовлетворительном качестве изображений проводников.

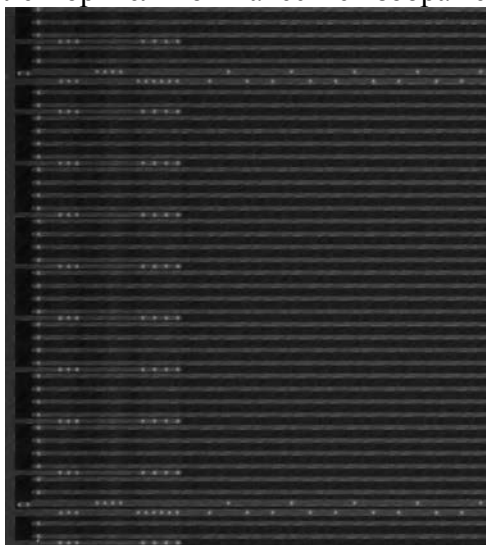


Рисунок 12 - Изображение с горизонтальными проводниками

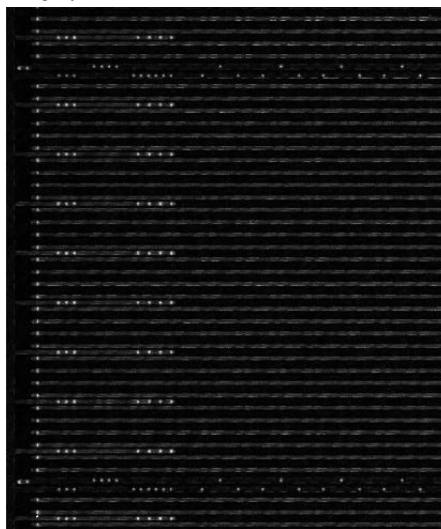


Рисунок 13 - Результат применения алгоритма

Следующее рассматриваемое изображение отличается от исходного большим количеством проводников рис. 14.

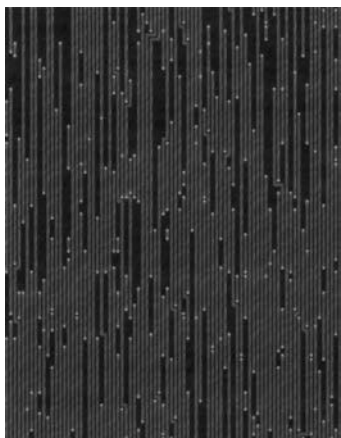


Рисунок 14 - Изображение с большим количеством проводников

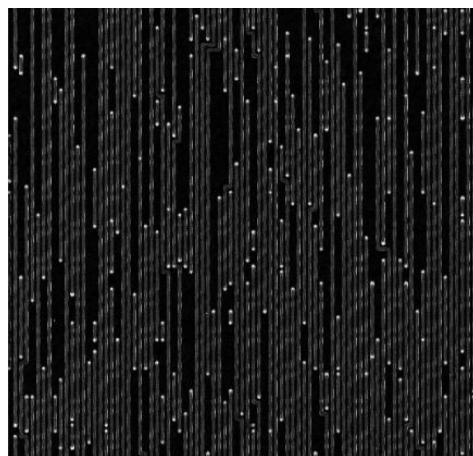


Рисунок 15 - Результат применения алгоритма

К данному изображению применен разработанный алгоритм, однако в гамма – коррекции есть некоторые изменения, а именно – осуществлен подбор коэффициентов $A=1.5$, $\gamma=1.4$, рис. 15.

Из представленных результатов следует, что фон изображения стал равномерным, при хорошем качестве изображения проводников.

Заключение

В результате проделанной работы, был разработан алгоритм, улучшения качества изображений путем последовательного применения морфологических операций, степенного преобразования (гамма – коррекция) и операции Лапласиана, реализованный в среде Matlab. Также, для улучшения качеств и визуального сглаживания изображений можно применять к изображениям фильтр Гаусса.

Алгоритм разработан для улучшения качества изображений с площадью значимых деталей на изображении сравнимым или не сильно меньшим, чем площадь фона. Для автоматизации процесса необходимо определять этот тип изображений, посредством определения вертикальных и горизонтальных составляющих на изображении и сравнением с общей площадью изображения.

Литература

1. Р. Гонзалез, Р. Вудс: Цифровая обработка изображений. Техносфера, Москва, 2005.
2. Santiago Aja-Fernandez *, Gonzalo Vegas-Sanchez-Ferrero, Marcos Martn-Fernandez, Carlos Alberola-Lopez: Automatic noise estimation in images using local statistics. Additive and multiplicative cases. LPI, E.T.S. Ingenieros de Telecomunicaciyn, Universidad de Valladolid, 47011 Valladolid, Spain, 2007.
3. Mode(statistics). From Wikipedia, the free encyclopedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Mode_\(statistics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mode_(statistics)).
4. Г. Секей. Парадоксы в теории вероятностей и математической статистике. Мир, Москва, 1990.
5. Gamma correction. From Wikipedia, the free encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_correction.
6. K. Konstantinides, B. Natarajan, G.S. Yovanof, Noise estimation and filtering using block-based singular value decomposition, IEEE Trans. Image Process. 6 (3) (1997) 479–483.

ПРИМЕНЕНИЕ АФФИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАМОРФИРОВАНИЯ

Канев А.И.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Терехов В.И.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ5, Москва, Россия

APPLICATION OF AFFINE TRANSFORMATION TO DISPLAY THE RESULTS OF ANAMORPHIC TRANSFORMATION

Kanev A.I.

Supervisor: Ph.D. Terehov V.I.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается задача отображения результатов анаморфирования некоторого изображения. Приводится формулировка задачи преобразования изображения по заданным параметрам. Предложен метод, использующий аффинное преобразование, для решения этой задачи. Разработана программа, реализующая данный метод. В заключении приведены перспективы развития и использования данного метода.

Abstract

The paper describes the problem of displaying the results of Anamorphic transformation of some image. The formulation of the problem converting the image on the set parameters is introduced. The method that uses affine transformation to solve this problem is presented. A program that implements the method has been designed. In conclusion given the prospects for the development and using of this method.

Введение

Известно, что одним из способов быстрого анализа и принятия обоснованного варианта решения для широкого спектра практических задач является визуальное представление лицу, принимающему решение (ЛПР) необходимой для этого информации. Эта информация должна учитывать различные факторы и характеристики исследуемого процесса или явления и носить, в основном, визуальный характер - в виде визуальных информационных образов с тем, чтобы ее восприятие и обработка привела к резкому сокращению времени ее анализа и, соответственно, времени принятия обоснованного варианта решения [1].

В качестве одного из методов анализа исходных данных и принятия обоснованного варианта решения на основе визуализации актуальной информации, используется метод анаморфирования [2], относящийся к когнитивной компьютерной графике.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество численных методов построения анаморфоз, каждый из которых обладает рядом достоинств и недостатков.

Но при большом разнообразии этих методов не уделяется должного внимания проблеме отображения результатов анаморфирования изображения.

1 Анаморфирование изображений

В основе метода анаморфирования лежит понятие анаморфозы, которая определяется как переход от одного визуального образа, построенного на основе евклидовой метрики, к другому визуальному образу, в основе которого лежит метрика рассматриваемого процесса или явления на основе выбранного показателя. При этом важным преимуществом метода анаморфирования является то, что он позволяет визуализировать сложные и неочевидные распределения показателей, которые необходимо учитывать при принятии решения.

Сущность метода анаморфирования состоит в том, что исходный визуальный образ, преобразуется (анаморфируется) на основе выбранных показателей в двумерный визуальный образ. При этом внутренняя структура визуального образа изменяется таким образом, что

распределение выбранных показателей становится равномерным, при сохранении топологического подобия с исходным визуальным образом. Пример анаморфирования приведен на рисунке 1.

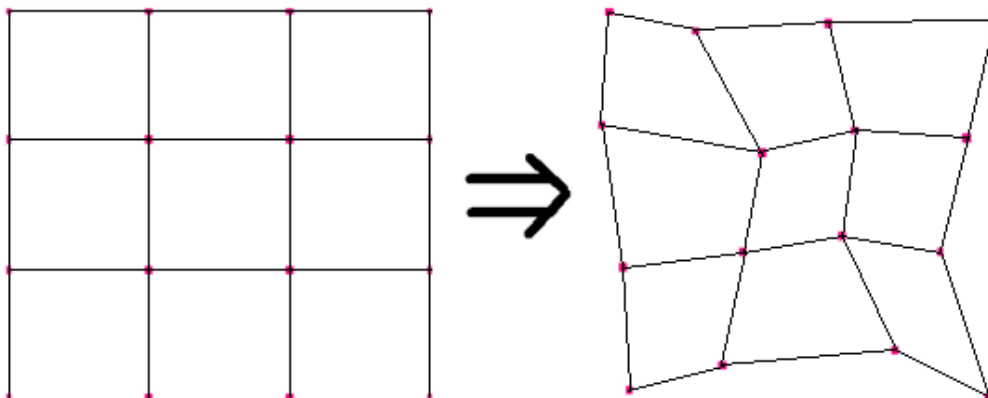


Рисунок 1 - Пример анаморфирования. В результате некоторого преобразования вершины ячеек, упорядоченных в виде прямоугольной сетки (слева), изменили свое положение (справа)

В методе, предложенном У. Тоблером [2], методе треугольников, разработанном в Московском государственном университете им. Ломоносова [3], алгоритме лаборатории Лоуренс Беркли [2] изображение разбивается на геометрические фигуры - ячейки. В ходе работы алгоритмов положение вершин ячеек меняется так, чтобы каждая ячейка приобрела определенную площадь. Каждый из этих методов описывает способы определения нового положения вершин, но не содержит пояснений, как отразить эти изменения на самом изображении.

2 Постановка задачи

Вершины ячеек далее будут именоваться ключевыми точками. В качестве исходных данных поступают начальные и конечные координаты ключевых точек изображения. Также имеется некоторое растровое изображение. Необходимо получить изображение, преобразованное в соответствии с перемещением ключевых точек.

3 Метод отображения результатов анаморфирования с помощью аффинного преобразования

Суть метода заключается в том, что для преобразования изображения используются аффинные преобразования [4]. Формула для данного преобразования на плоскости следующая:

$$f' = M * f + v,$$

где f - начальные координаты точки изображения, f' - конечные координаты этой точки, $M = \begin{pmatrix} A & C \\ B & D \end{pmatrix}$ - матрица второго порядка, $v = \begin{pmatrix} M \\ N \end{pmatrix}$ - вектор-столбец. Зная коэффициенты матрицы и вектора, а также начальные координаты точки, можно вычислить ее конечные координаты.

Но для разных частей изображения матрицы этого преобразования будут различными. Чтобы определить, какая матрица будет соответствовать какой точке, изображение разбивается на треугольники. Для каждого треугольника преобразование будет однозначным. Один из вариантов разбиения предложен на рисунке 2. Для наглядности треугольники пронумерованы.

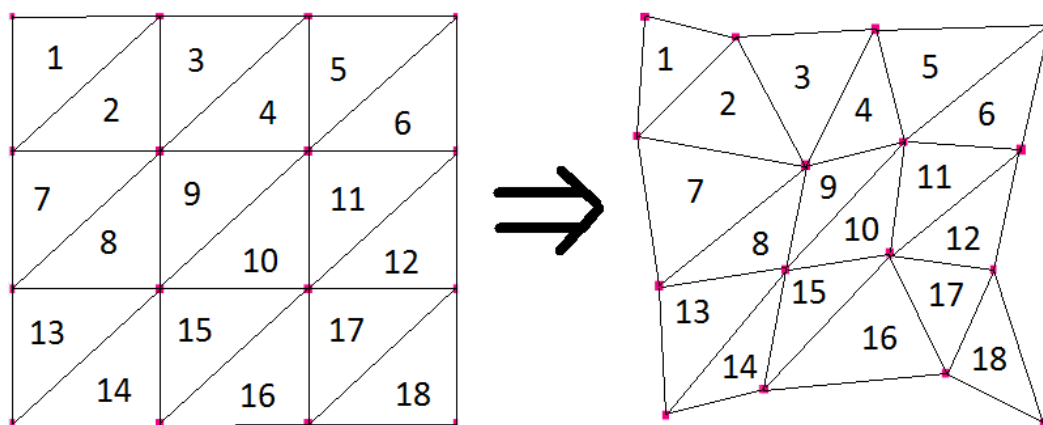


Рисунок 2 - Пример разбиения изображения на треугольники

Вершины каждого треугольника - это ключевые точки, они известны. Теперь необходимо вычислить матрицу и вектор. Вычислить их можно, составив систему из шести уравнений (по количеству неизвестных) и решив ее. Для каждой из трех вершин можно составить два уравнения: одно для координаты x и одно для координаты y .

$$Xa' = (A * Xa + Ya * C + M)$$

$$Xb' = (A * Xb + Yb * C + M)$$

$$Xc' = (A * Xc + Yc * C + M)$$

$$Ya' = (B * Xa + D * Ya + N)$$

$$Yb' = (B * Xb + D * Yb + N)$$

$$Yc' = (B * Xc + D * Yc + N)$$

Данная система уравнений имеет единственное решение, если треугольник не вырождается в отрезок или точку. Но последнее противоречит задаче анаморфирования.

Основная часть алгоритма заключается в просмотре всех точек исходного изображения, определения, к какому треугольнику относится каждая точка. По матрице и вектору аффинного преобразования найденного треугольника вычисляются новые координаты точки.

На основе данного алгоритма было разработано приложение. Результаты его работы приведены на рисунке 3.

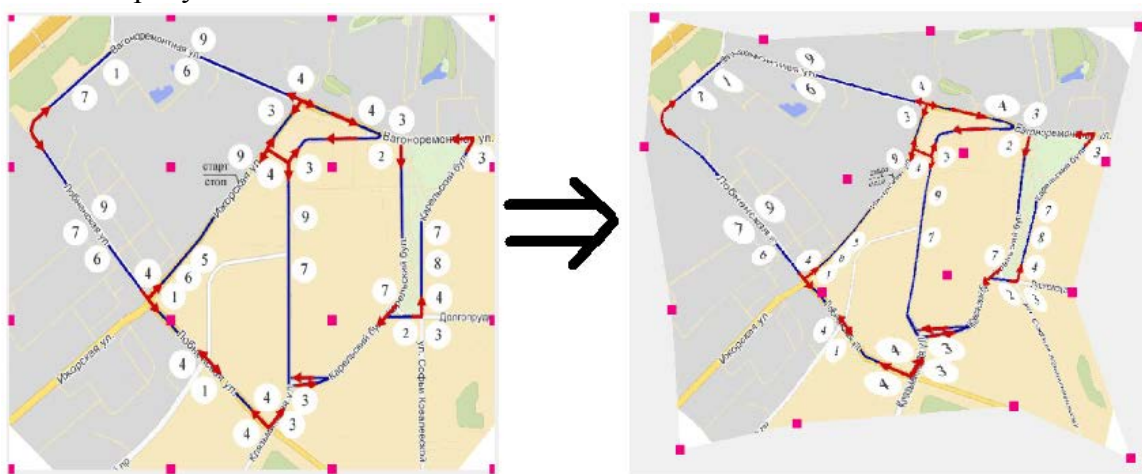


Рисунок 3 - Результат работы приложения. Слева - исходное изображение, справа - полученное в ходе выполнения алгоритма

Заключение

Разработанное приложение позволяет автоматизировать задачу отображения результатов анаморфирования. Его можно использовать для всех методов построения анаморфоз. Для повышения удобства работы с программой в приложение можно добавить проверки на корректность введенных данных, увеличить количество поддерживаемых форматов изображений, интегрировать данное приложение в конкретные реализации различных методов анаморфирования.

Литература

1. Глезер В.Д., Цукерман И.И. Информация и зрение. М.: АН СССР, 1961. 347 с.
2. Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Анаморфозы: что это такое? М.: Эдиториал УРСС, 1999. 168 с.
3. Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Создание анаморфированных изображений для географических исследований // Вестник Московского университета, серия география. 1992. № 4. С. 43-52.
4. Заславский А.А. Геометрические преобразования. М.: МЦНМО, 2004. 86 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ НА ГРАФАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Ватулин А.М., Котович М.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Гапанюк Ю.Е.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ5, Москва, Россия

SOLVING APPLIED PROBLEMS BY USING ALGORITHM ON GRAPHS

Vatulin A.M., Kotovich M.A.

Supervisor: Gapanuk U.E.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

На сегодняшний день во многих типах задач для их решения актуально использовать алгоритмы на графах. Это связано и с удобством представления условий задачи в виде графа, и с быстротой и эффективностью получения правильного решения. Уделяется особое внимание задачам, для решения которых используются алгоритмы на графах, и описанию самих алгоритмов. В заключение приведена связь одних алгоритмов с другими.

Abstract

Nowadays many tasks may be solve by using algorithms on graphs. It is more efficient way than using standard algorithms because operator spends less time to solve task. In article attention is drawn to tasks that have to be solved by algorithms on graphs. Also attention is drawn to solving algorithms. There are links between algorithms on graphs in conclusion of article. In conclusion, the article shows the relationship between the considered algorithms on graphs.

Введение

Неформально граф можно представить как множество точек и линий, соединяющих эти точки. Линии могут быть со стрелками, что характерно для ориентированных графов (см. рис.1) , и без стрелок, что характерно для неориентированных (см. рис.2).

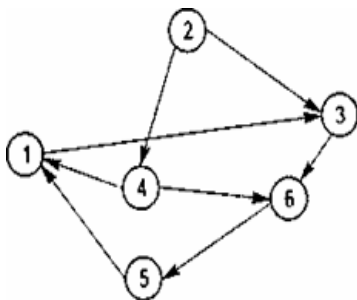


Рисунок 1 - Ориентированный граф

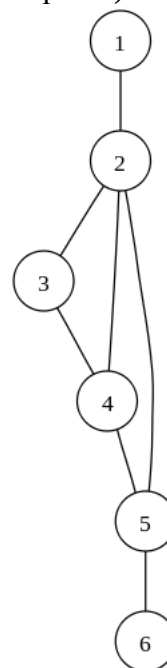


Рисунок 2 - Неориентированный граф

В нашей жизни мы сталкиваемся с графами постоянно. Например, графом является схема линий метрополитена, родословная, возводимая от потомков к предкам, называемая иначе генеалогическим деревом.

Графы отнюдь не всегда используют только как иллюстрации. Например, рассматривая граф, изображающий сеть дорог между населёнными пунктами, можно определить маршрут проезда из пункта *A* до пункта *B*. Если таких маршрутов окажется несколько, хотелось бы выбрать оптимальный: самый короткий или самый безопасный.

Без методов теории графов невозможно обойтись при анализе и синтезе различных дискретных преобразователей: функциональных блоков компьютеров, комплексов программ и т.д.

Задачи и алгоритмы на графах для их решения.

Одной из задач, в которых удобно применять алгоритмы на графах, является **задача Штейнера**: на плоскости заданы n точек; нужно соединить их отрезками прямых таким образом, чтобы суммарная длина отрезков была наименьшей.

Эффективных алгоритмов, дающих точное решение этой задачи, не существует. Алгоритмы Крускала и Прима, однако, находят некоторые приближения точного решения. Алгоритм Крускала вычисляет для заданного взвешенного неориентированного графа дерево с наименьшей суммой весов рёбер: множество рёбер представляет собой лес, состоящий из нескольких связанных компонент (деревьев); добавляется ребро минимального веса среди всех рёбер, концы которых лежат в разных компонентах. Существенное отличие только что сформулированной задачи от задачи Штейнера состоит в том, что в новой задаче множество вершин при поиске дерева наименьшего веса не меняется.

Алгоритм Прима не предполагает использования связанных компонент. В нём к строящемуся дереву на каждом шаге добавляется ребро наименьшего веса среди рёбер, соединяющих вершины этого дерева с вершинами не из дерева.

С помощью поиска в глубину и в ширину в графах решаются **задачи глобального анализа** как неориентированных, так и ориентированных графов. К этим задачам относятся задачи поиска циклов или контуров, вычисление длин путей между парами вершин, перечисление путей с теми или иными свойствами.

Алгоритм поиска в ширину перечисляет все достижимые из корня дерева s (если идти по рёбрам) вершины в порядке возрастания расстояния от s . Расстоянием считается длина (число рёбер) кратчайшего пути. В процессе поиска просматриваются все соседние вершины, затем соседи соседей и т.д. В процессе поиска из графа выделяется часть, для каждой вершины которой путь из корня в дереве поиска будет одним из кратчайших путей в графе. Алгоритм применим и к ориентированным, и к неориентированным графам.

Стратегия поиска в глубину такова: идти «вглубь», пока это возможно (есть непройденные исходящие рёбра), и возвращаться и искать другой путь, когда таких рёбер нет. Так делается, пока не обнаружены все вершины, достижимые из исходной (если после этого остаются необнаруженные вершины, можно выбрать одну из них и повторять процесс и делать так до тех пор, пока мы не обнаружим все вершины графа).

Сам по себе поиск в глубину начал использоваться незадолго до 1960 года, в первую очередь в программах, связанных с так называемым «искусственным интеллектом».

Во многих прикладных задачах возникает проблема такого упорядочения вершин сети, при котором вершины, принадлежащие одному уровню, располагаются друг под другом, а души ориентированного графа ведут в его изображении на плоскости от вершин с меньшим уровнем к вершинам с большим уровнем слева направо. Подобного рода проблема называется **проблемой топологической сортировки**, поскольку необходимо расположить вершины графа на плоскости так, чтобы отчётливо было видно распределение вершин по уровням (см. рис.3). Само расположение при этом может быть разным, лишь бы оно имело «слоистую» структуру, в которой каждый слой составляют вершины одного уровня.

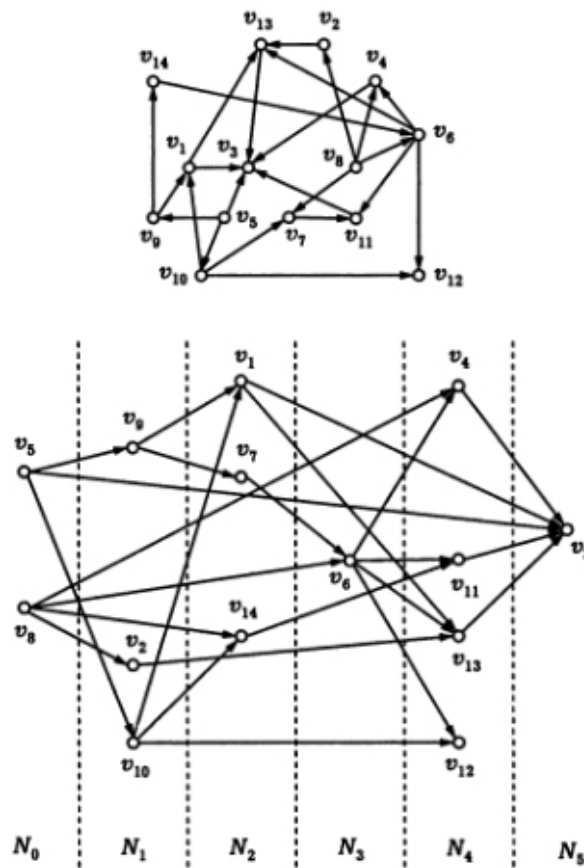


Рисунок 3 - Топологическая сортировка: сверху показано обычное представление графа, снизу – представление графа после топологической сортировки. $N_0, N_1, \dots, N_5$ – уровни.

Топологическая сортировка применяется в самых разных ситуациях. Например, при распараллеливании алгоритмов, когда по некоторому описанию алгоритма нужно составить граф зависимостей его операций и, отсортировав его топологически, определить, какие из операций являются независимыми и могут выполняться параллельно (одновременно).

Топологическую сортировку можно организовать с помощью поиска в глубину. Это популярный, наглядный и простой в реализации способ. Алгоритм Демукрона также позволяет осуществить топологическую сортировку, используя матрицу смежности вершин, в которой, если между вершинами есть ребро, то на соответствующем (пересечении строки и столбца) месте стоит единица, а в противном случае – ноль. Данный алгоритм использует дополнительный массив, в котором хранятся суммы элементов по всем столбцам. В нём на каждой итерации определяются нулевые элементы, которые и являются вершинами вычисляемого уровня. Затем строки матрицы, соответствующие этим вершинам, вычитаются из массива.

В жизни часто можно повстречать **задачи о кратчайших путях из одной вершины**.

Алгоритм Беллмана-Форда решает задачу о кратчайших путях из одной вершины для случая, когда весам рёбер разрешено быть отрицательными. Этот алгоритм возвращает значение *True*, если в графе нет циклов отрицательного веса, достижимого из исходной вершины, и *False*, если таковой цикл имеется. В первом случае алгоритм находит кратчайшие пути и из веса; во втором – кратчайших путей (по крайней мере, для некоторых вершин) не существует.

Для **построения кратчайших расстояний для всех пар вершин** удобно использовать алгоритм Флойда-Уоршелла, суть которого в том, чтобы найти минимальный среди двух возможных путей: проходящего и не проходящего через промежуточную вершину.

В разреженных графах для решения данной задачи удобно использовать алгоритм Джонсона. В этом случае он эффективнее алгоритма Флойда-Уоршола. Алгоритм Джонсона основан на идее изменения весов. Если веса всех рёбер неотрицательны, то можно найти кратчайшие пути между всеми парами вершин, применив алгоритм Дейкстры в каждой вершине. Если же в графе имеются рёбра с отрицательным весом, то можно попытаться свести задачу к случаю неотрицательных весов, путём замены весовой функции. В этом алгоритме используется также алгоритм Беллмана-Форда. Данный алгоритм либо возвращает матрицу весов кратчайших путей, либо сообщает, что в графе имеется цикл отрицательного веса.

Если для графа требуется определить, существует ли в графе путь из вершины i в вершину j , т.е. решить **задачу построения транзитивного замыкания ориентированного графа**, то для этого удобно использовать алгоритм Флойда-Уоршола, в котором арифметические операции заменены логическими, так как компьютер их выполняет быстрее.

Часто требуется найти, по каким трубам в сети труб нужно пропустить поток вещества, чтобы этот поток был максимальным. Вместо сети труб можно рассматривать также провода, конвейеры, линии связи и т.д.

Поиск **максимального потока** методом Форда-Фалкерсона проводится по шагам: вначале поток нулевой (и величина его равна нулю). На каждом шаге значение потока увеличивается. Для этого находится «дополняющий путь», по которому можно пропустить ещё немного вещества. «Дополняющий путь» используется для увеличения потока. Этот шаг повторяется, пока есть дополняющие пути.

Реализаций метода Форда-Фалкерсона в алгоритмах существует много. Одним из них является алгоритм Эдмондса-Карпа, который использует поиск в ширину.

Самые быстрые из известных алгоритмов для задачи о максимальном потоке используют алгоритм проталкивания предпотока. Он применим и к другим задачам, например, к задаче о потоке наименьшей стоимости. В отличие от алгоритма Эдмондса-Карпа, мы не просматриваем всю остаточную сеть на каждом шаге, а действуем локально в окрестности одной вершины. В алгоритме Форда-Фалкерсона требовалось выполнение закона сохранения потока, так как жидкость по дороге никуда не сливалась. В алгоритмах проталкивания предпотока избыток жидкости в каждой вершине (месте соединения труб) сливается. Здесь также важен параметр, обозначающий высоту вершины, которая определяет, куда мы стараемся направить избыток жидкости. Высота истока всегда равна количеству вершин, а стока – нулю. Изначально все остальные вершины находятся на высоте 0, и со временем поднимаются. Для начала мы отправляем из истока вниз столько жидкости, сколько нам позволяют пропускные способности выходящих из истока труб. Возникающий (в соседних с истоком вершинах) избыток жидкости сперва просто выливается, но затем он будет направлен дальше. Может оказаться, что в какой-либо вершине есть избыток жидкости, но все трубы, по которым ещё можно отправить жидкость из неё куда-то, ведут в вершины той же или большей высоты. В этом случае мы можем выполнить подъём этой вершины. После этого она становится на единицу выше самого низкого соседа, и есть труба, ведущая вниз. В конце концов, мы добьёмся того, что в сток приходит максимально возможное количество жидкости (для данных пропускных способностей труб).

Алгоритм «поднять-в-начало» улучшает алгоритм проталкивания предпотока и уменьшает время его работы. Данный алгоритм хранит все вершины в виде списка. Алгоритм просматривает этот список, начиная с головы, и находит в нём переполненную вершину. Затем алгоритм обслуживает эту вершину, применяя к ней операции подъёма и проталкивания до тех пор, пока избыток не станет равным нулю. Если для этого вершину пришлось поднять, её перемещают в начало списка, и просмотр списка начинается вновь.

Заключение

Очень часто одни алгоритмы на графах используются в других. Это имеет место быть, так как более простые алгоритмы целесообразно использовать для решения сложных задач. Это может значительно ускорить время работы алгоритма и повысить его эффективность.

Например, алгоритм Эдмондса-Карпа использует поиск в ширину. А алгоритм Джонсона для разреженных графов использует сразу два алгоритма: Дейкстры и Беллмана-Форда.

Литература

1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО, 2002. – 960 с.: 263 ил.
2. Белоусов А.И., Ткачёв С.Б. Дискретная математика: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XIX).
3. Дудов М.Х. Эффективные алгоритмы на кодированных графах и их применение: Дис. канд. физ.-мат. наук. Черкесск, 1999. 134 с.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ВЕБ-СЕРВЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА GRAPHITE

Дунин И. В., Ларионов В. С.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ5, Москва, Россия

HIGHLOAD WEB SERVERS OPERATION ANALYSIS USING GRAPHITE PACKAGE

Dunin I. V., Larionov V. S.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается вопрос анализа работы веб-серверов с большой нагрузкой, описываются задачи и методы анализа. Подробно описана структура пакета Graphite и его функционал, также указываются его возможные аналоги, рассмотрены практические примеры использования.

Abstract

This article considers problem of highload web server operation analysis. Tasks and methods of analysis are mentioned. Article also describes structure of Graphite package, its functionality and currently existing analogues. Practical ways of usage are also considered.

Введение

В настоящее время в связи с расширением сети Интернет увеличивается количество пользователей. Как следствие, увеличивается нагрузка на веб-сервера. Это приводит к необходимости масштабирования веб-серверов, эффективного устранения неисправностей, прогнозирования динамики нагрузки и поиска слабых мест конфигурации. Решение этих задач требует сбора статистических данных с аппаратных средств, таких как центральный процессор, оперативная память, используемой внешней памяти и т. п. Веб-сервера имеют возможность вести журналирование работы. Журналы позволяют обнаруживать ошибки в работе веб-сервера, но не позволяют находить сложные зависимости и отслеживать динамику работы.

К примеру, пусть произошёл сбой в работе сервера базы данных. В журнале можно обнаружить время и тип ошибки. Если была обнаружена ошибка OOM (out of memory), ясно, что причиной стало чрезмерное использование памяти, но причина повышения использования памяти системой, как правило, не очевидна.

В связи с этим необходимо производить анализ полученных данных. Одним из основных средств анализа данных является визуализация, которая представляет численные статистические данные в наглядном виде путём построения графиков, диаграмм, гистограмм. Для визуализации данных применяются специализированные пакеты.

Примером средства для визуализации статистических данных веб-серверов является пакет Graphite. Ниже будут рассмотрены его основные функциональные возможности и применение для описанных задач.

1 Структура и функционирование пакета Graphite

Пакет Graphite представляет собой графическую библиотеку, применяемую для хранения и визуализации данных. Graphite состоит из модулей, имеющих различную область применения.

Основным компонентом Graphite является веб-приложение, позволяющее создавать графики для отображения данных. Источниками данных для Graphite являются базы данных, указываемые в конфигурационном файле.

Основной особенностью веб-приложения Graphite является возможность совмещения данных из различных источников. График, отображаемый приложением, не является статическим изображением и связан с данными, на основе которых он строится. Благодаря

этому возможно совмещение на одном графике нескольких зависимостей, что позволяет отслеживать взаимосвязь выбранных процессов, например, динамику работы ЦПУ и памяти на сервере.

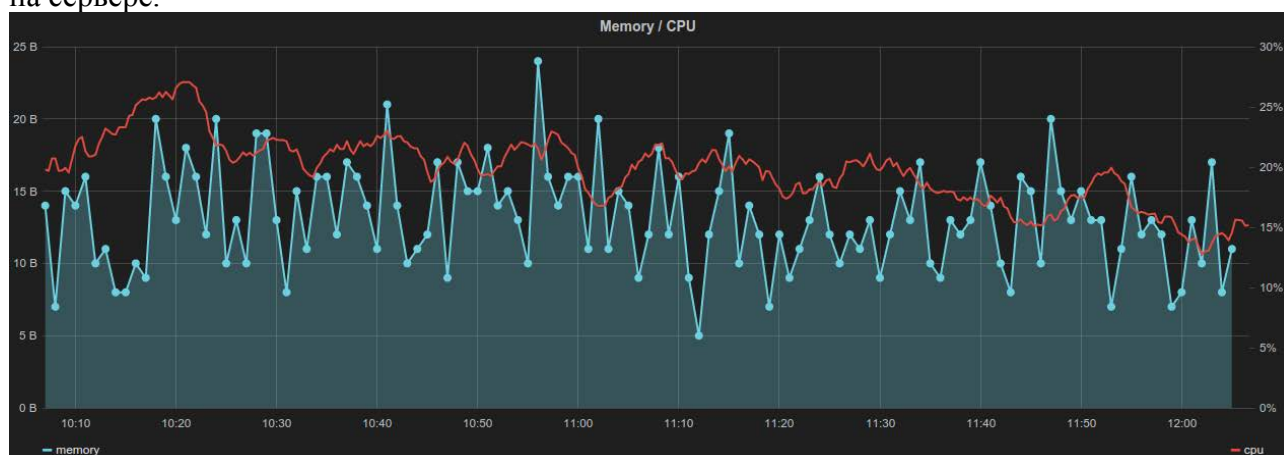


Рисунок 1 — Графики зависимостей нагрузки на ЦПУ и память от времени

Гибкий интерфейс Graphite позволяет создавать графическое представление исследуемых данных в наиболее наглядном виде. Для построения графиков предоставляется большое количество готовых шаблонов.

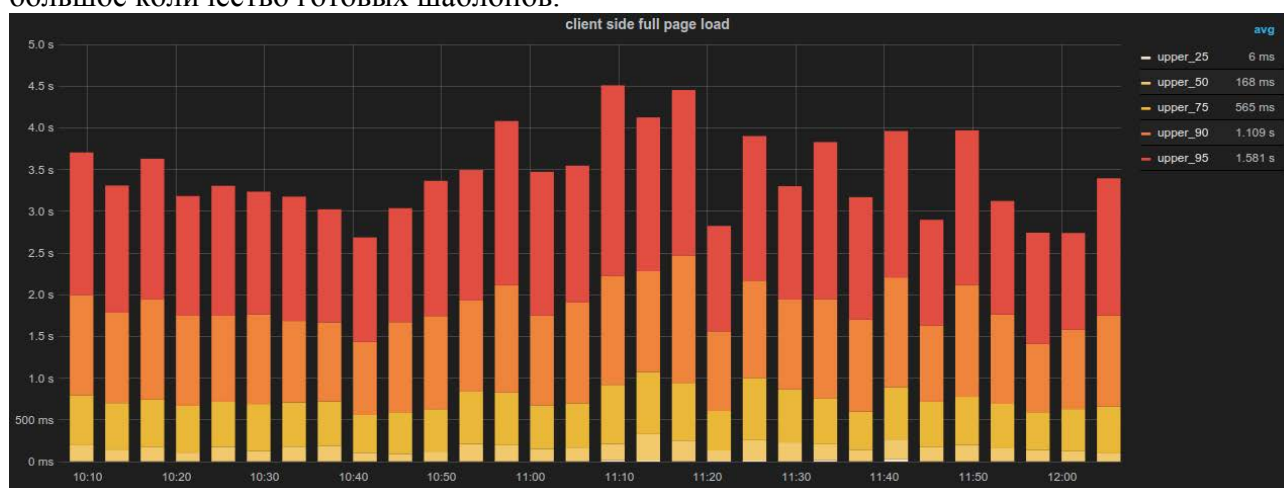


Рисунок 2 — Динамика времени загрузки страницы на стороне пользователей

Также Graphite осуществляет экспорт данных в неграфические форматы представления, например, JSON или SVG.

Компонент, отвечающий за взаимодействие источников данных с веб-приложением, носит название Carbon. Carbon представляет собой backend-составляющую Graphite, работающую в режиме демона. Полученные через установленные соединения данные Carbon кеширует и записывает на диск в определённом формате. Кеширование позволяет веб-приложению работать в реальном времени и использовать данные, еще не сохранённые на диск. Данные из кеша Carbon и данные с жёсткого диска отображаются совместно.

Помимо Carbon, Graphite-приложения использует демоны StatsD и CollectD. StatsD — простой демон, использующий для передачи данных UDP-пакеты, благодаря чему можно осуществлять передачу большого количества данных без предварительного установления соединения. Один UDP-пакет соответствует одной точке данных и содержит метрику, ее значение и временную метку. Демон CollectD используется для получения информации о среде сервера (загрузка процессора, памяти, трафик) и для получения регламентированных сведений от установленного на сервере программного обеспечения, например, от серверов Nginx или Apache. Разница CollectD и StatsD заключается в том, что CollectD запрашивает информацию, а StatsD принимает входящие запросы.

Информация, используемая в приложении Graphite, записывается демонами в базу данных Whisper. Данные хранятся в архивах разной степени детализации. Степень детализации сохраненных данных зависит от времени, к которому они относятся. Чем новее данные, тем выше их подробность, т. е. частота записи. База данных Whisper имеет фиксированный размер, и если истекает определенный срок хранения, информация удаляется из базы, что приводит к понижению степени детализации в архиве. При понижении детализации может быть рассчитано среднее арифметическое значение, которое будет храниться вместо всего диапазона. Для построения графиков используются архивы наибольшего разрешения.

2 Применение Graphite

В первую очередь Graphite предназначается для системных администраторов. Учёт трафика, нагрузки на ЦПУ и память делает возможным планирование мощностей. Если эта нагрузка превышает некоторое контрольное значение, то администратору системы следует задуматься о масштабировании системы. Это может быть увеличение мощности имеющихся серверов путём добавления новых компонентов, так называемое вертикальное масштабирование, или покупка увеличения количества серверов — горизонтальное масштабирование. На практике чаще всего применяется так называемое диагональное масштабирование, которое объединяет оба перечисленных подхода.



Рисунок 3 – Количество ошибок сервера в минуту

Graphite – это продукт, который способен помочь не только системным администраторам, но и отделу аналитики. Используя информацию о посещаемости определённых веб-страниц можно подсчитывать количество показанной пользователю рекламы, понимать, какая реклама в большей степени интересует клиентов, если они переходят по ссылкам с рекламой. Учёт посещаемости и времени посещения страницы позволит найти изъяны в интерфейсе сайта. Например, если пользователь длительное время не может найти нужный ему ресурс либо долго изучая страницу, либо вовсе переходя по ссылкам на сайте, возвращается на главную страницу, потерпев неудачу.



Рисунок 4 – Количество новых посетителей в минуту

Помимо Graphite в этой же программной области используются такие пакеты, как Cacti, Munin, MRTG, Ganglia. Cacti – система построения графиков на основе кольцевых (RRD) баз данных, Munin и MRTG – системы мониторинга сетей, также использующие RRD базы данных для построения графиков, Ganglia – система мониторинга параллельных вычислений. По сравнению с аналогами Graphite обладает наиболее гибким и функциональным интерфейсом построения графиков, а также собственным форматом для базы данных, поддерживающим хранение исторической информации с переменной детализацией.

Заключение

Средства мониторинга и визуализации являются необходимым инструментом для поддержки функционирования высоконагруженных веб-серверов. Они позволяют своевременно отслеживать возникающие в системе ошибки и неисправности и при необходимости модифицировать аппаратные средства веб-сервера. Одним из наиболее перспективных средств мониторинга и визуализации является пакет Graphite. Он обладает дружелюбным интерфейсом, развитой системой сбора и хранения информации.

Литература

1. Паклин Н. Б., Орешков В. И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: Учебное пособие. 2е изд., испр. – СПб.: Питер, 2013. – 704 с.
2. Amy Brown, Greg Wilson. The Architecture Of Open Source Applications. – Raleigh, North Carolina: lulu.com, 2012. -- 432 с.
3. Киллелиа П. Тюнинг веб-серверов. 2-е изд. – СПб.: Питер 2003. – 528 с.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АЛГОРИТМ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Спасёнов А.Ю.

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

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

GPU ELECTROMAGNETISM-LIKE ALGORITHM FOR GLOBAL OPTIMIZATION

Spasenov A. Y.

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

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье описывается параллельный электромагнитный алгоритм глобальной оптимизации. Подробно исследовано применение графических процессорных устройств (GPU) в рассматриваемом методе глобальной оптимизации. В статье также приведены результаты исследования эффективности и проанализирована целесообразность использования анализируемого алгоритма.

Annotation

GPU Electromagnetism-like algorithm for Global Optimization are examined in the article. In it is in detail investigated the applying of graphics processing units (GPU) in this method of global optimization. The possibility of applying and the efficiency of the algorithm were analyzed on the basis of these examples in the article.

Введение

Многие задачи, возникающие в таких фундаментальных науках, как физика, химия и молекулярная биология, а также во многих прикладных науках, сводятся к задачам непрерывной глобальной оптимизации. Особенности таких задач часто являются нелинейность, недифференцируемость, многоэкстремальность, овражность, отсутствие аналитического выражения и высокая вычислительная сложность оптимизируемых функций, высокая размерность пространства поиска, сложная топология области допустимых значений [1].

В данной статье рассматривается параллельный электромагнитный метод (an Electromagnetism-like algorithm - EM algorithm) глобальной оптимизации. Обзор последовательного варианта метода EM приведён в работе [2]. Предложенный в данной работе параллельный метод GEM (от GPU Electromagnetism-like algorithm) ориентирован на использовании графических процессорных устройств (GPU).

Современные графические процессорные устройства являются мощными специализированными вычислительными устройствами, которые могут быть использованы для решения целого ряда сложных вычислительных задач. В настоящее время существуют два основных производителя GPU для высокопроизводительных вычислений – компании AMD и NVidia. Архитектуры этих производителей существенно отличаются. Работа ориентирована на графические процессоры производства компании NVidia.

1 Постановка задачи и схема метода EM

Рассмотрим задачу глобальной условной минимизации целевой функции $f(X)$, определённой в $|X|$ -мерном арифметическом пространстве $R^{|X|}$ (пространстве поиска):

$$\min_{X \in D \in R^{|X|}} f(X) = f(X^{opt}). \quad (1)$$

Здесь $D \in \{X | L \leq X \leq U\}$; L и U являются верхней и нижней границей области поиска соответственно.

Общая схема канонического алгоритма ЕМ состоит из следующих шагов [1]:

- 1) инициализация популяции;
- 2) выполнение локального поиска;
- 3) вычисление суммарной силы, действующей на каждую частицу;
- 4) перемещение частиц вдоль направления действия силы;
- 5) проверка условия окончания итераций, если условие не выполнено, то переход

к шагу 2.

Инициализация популяции используется для отбора $|S|$ случайных точек из допустимой области, которая представляет собой $|X|$ -мерный гиперкуб. Каждая из координат точки находится между верхней и нижней границей области. После того, как каждая точка будет выбрана, определяется значение функции приспособленности $\varphi(x)$ для каждой точки.

Локальный поиск применяется для каждой частицы s_i , $i \in [1 : |S|]$ в целях сбора локальной информации о её окружении. Поиск может быть реализован с помощью любого из детерминированных или стохастических алгоритмов локальной оптимизации.

Вычисление суммарных сил. На каждой итерации вычисляются изменения значений заряда для каждой частицы в соответствии со значениями функции φ_i . В данном алгоритме заряд каждой частицы изменяется от итерации к итерации. Заряд для каждой частицы s_i на данной итерации её заряд определяется формулой

$$q_i = \exp\left(-|X| \frac{\varphi_i - \varphi^{best}}{\sum_j (\varphi_i - \varphi^{best})}\right), i, j \in [1 : |S|], i \neq j. \quad (2)$$

На той же итерации находится суммарная сила $\vec{F}_i$, действующая на частицу s_i , $i \in [1 : |S|]$, как $(|X| \times 1)$ -вектор $F_i = (F_{i,j}, j \in [1 : |X|])$, компоненты которого определяет формула

$$F_i = \sum_{j=1, j \neq i}^{|S|} F_{i,j} = \sum_{j=1, j \neq i}^{|S|} \begin{cases} (X_j - X_i) \frac{q_i q_j}{\|X_j - X_i\|^2}, & \varphi(X_j) < \varphi(X_i), \\ (X_i - X_j) \frac{q_i q_j}{\|X_j - X_i\|^2}, & \varphi(X_i) \geq \varphi(X_j). \end{cases} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что частица с лучшим значением фитнес-функции притягивает частицы с худшим значением функции, и наоборот, частица с худшим значением функции отталкивает первую частицу. Следовательно, частица, имеющая на данной итерации лучшее значение фитнес-функции, притягивает на этой итерации все частицы популяции.

Перемещение частиц выполняем по правилу

$$X_i(t+1) = X_i + \lambda(0;1) \frac{F_i}{\|F_i\|} V_i, \quad (4)$$

$$i \in [1 : |S|], X_i \neq X^{best}, X^{best}(t+1) = X^{best}.$$

Вектор V имеет компоненты

$$V_{i,j} = \begin{cases} (U_k - X_{i,j}), & F_{i,j} > 0, \\ (X_{i,j} - L_k), & F_{i,j} \leq 0, \end{cases} \quad j \in [1 : |S|], j \neq i. \quad (5)$$

Формулы (4, 5) означают, что частица s_i перемещается из X_i в положение $X_i(t+1)$ в направлении нормированной силы. По каждому из измерений вектора $\vec{X}$ перемещение выполняется с шагом случайной длины в направлении U_k или L_k , т.е. в направлении верхней или нижней границе соответственно. Перемещение частицы, которая имеет наилучшее значение функции φ , не происходит.

2 Отображение алгоритма GEM на архитектуру GPU

Поскольку частицы S_i в пределах одной итерации независимы друг от друга (вычисление значений силы, заряда и перемещения для каждой частицы не зависит от других частиц) и только в конце каждой итерации выбирается лучшая частица, в алгоритме GEM каждому из агентов популяции ставится в соответствие свой CUDA - поток.

3 Программная реализация алгоритма GEM

Основу программы составляют четыре вычислительных блока, называемые вычислительными ядрами. Каждое ядро реализует одну из операций цикла оптимизации.

Структура программы GEM имеет следующий вид.

- a) Инициализация популяции (с использованием библиотеки cuRand) – задание начальных положений частиц.
- b) Выполнение на GPU цикла оптимизации:
 - b1) вычисление значений фитнесс-функции;
 - b2) определение частицы с наилучшим значением фитнесс-функции;
 - b3) расчёт суммарных сил, действующих на каждую частицу;
 - b4) перемещение частиц.
- c) Копирование элемента массива, содержащего наилучшее значения фитнесс-функции.
- d) Проверка host-процессором условий окончания поиска. Если условия поиска не выполнены, то переходим шагу b.

Заметим, что все действия, реализуемые в рассматриваемом алгоритме глобальной оптимизации, за исключением проверки условий окончания поиска, выполняются на GPU. Данный факт позволяет достичь более высокой производительности за счёт уменьшения числа взаимодействий между host-процессором и GPU.

4 Вычислительный эксперимент и анализ результатов

При экспериментальном исследовании алгоритма GEM в качестве тестовых функций использованы функции известного набора CEC[4], который широко используется для анализа эффективности методов глобальной оптимизации. Рассмотрена функция Растригина (Rastrigin) и сферическая функция (Sphere).

В качестве области поиска рассмотрен гиперкуб $-20 \leq X_i \leq 20, i \in [1 : |X|]$.

В работе исследовано влияние на характеристики алгоритма следующих его свободных параметров: размер популяции $|S|$, коэффициент λ .

Результаты исследования скорости сходимости алгоритма GEM в зависимости от размера популяции $|S|$ для четырёхмерного пространства поиска приведены на рисунке 1.

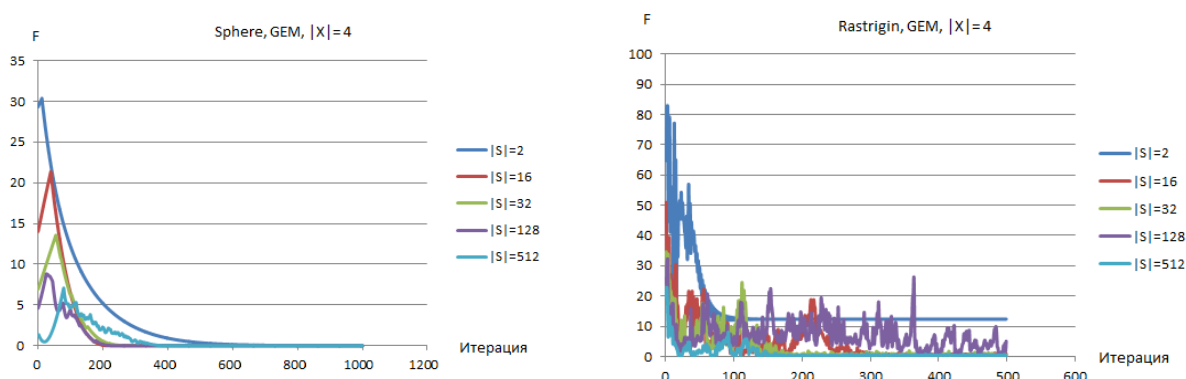


Рисунок 1 - Зависимость скорости сходимости алгоритма от числа частиц

Из полученных данных видно, что скорость сходимости существенно зависит от числа агентов популяции. При определении минимума одноэкстремальной функции

приемлемые результаты по скорости сходимости дают популяции уже из 16 частиц. Для многоэкстремальных функций оказывается, что небольшие популяции неспособны вывести процесс поиска из локального минимума. Минимальное число частиц, способных отыскать глобальный минимум рассматриваемой тестовой функции, составляет 512.

Результаты исследования скорости сходимости алгоритма GEM в зависимости от коэффициента λ для четырёхмерного пространства поиска приведены на рисунке 2.

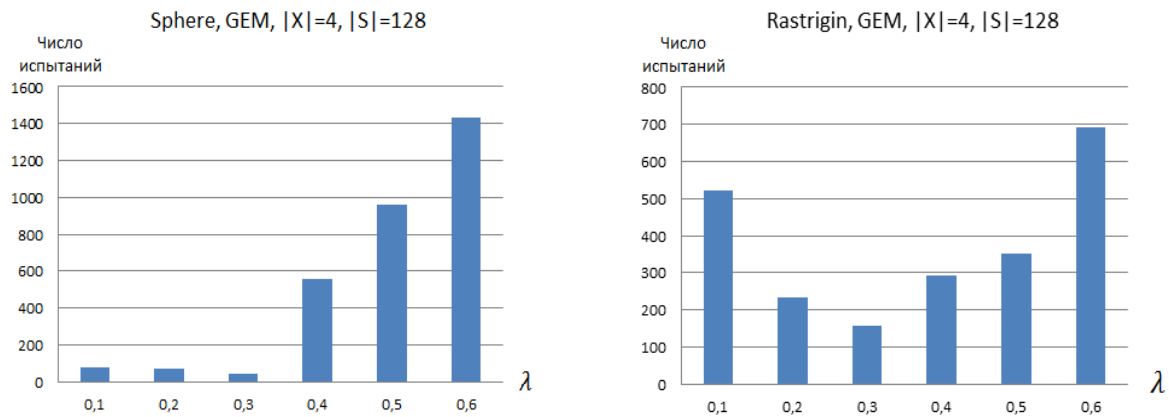


Рисунок 2 - Зависимость скорости сходимости алгоритма от коэффициента λ

На основе экспериментальных данных можно утверждать, что оптимальное значение коэффициента $\lambda = 0,3$, так как именно при этом значении требуется произвести наименьшее число испытаний, необходимых для определения минимального значения функции с требуемой точностью.

В работе также выполнено сравнительное исследование скорости сходимости алгоритмов GEM и EM. Обозначим τ_{GEM} время решения задачи с указанной точностью алгоритмом GEM, а τ_{EM} – то же время, но при использовании алгоритма EM. В качестве критерия оценки алгоритма GEM использовано ускорение

$$E = \frac{\tau_{EM}}{\tau_{GEM}}.$$

Результаты исследования показаны на рисунке 3.

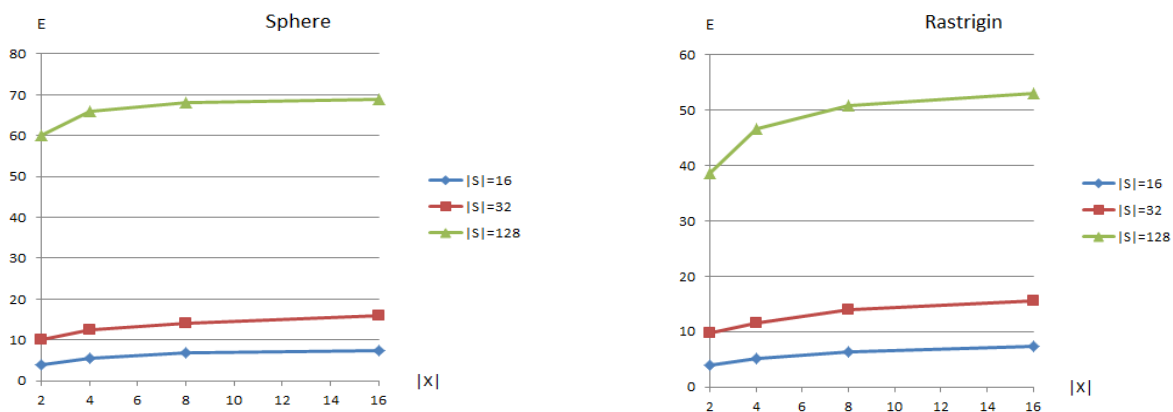


Рисунок 3 - Ускорение алгоритма GEM

Рисунок 3 показывает, что в рассмотренном диапазоне изменения размерности пространства $|X|$ ускорение логарифмически растёт с ростом этой величины. Важно, что увеличение размера популяции с $|S| = 32$ до $|S| = 128$ увеличивает ускорение почти в 4 раза. Этот эффект объясняется ростом загрузки мультипроцессоров с ростом числа частиц.

Заключение

В работе рассмотрен параллельный метод GEM глобальной оптимизации для GPU, а также его программная реализация с использованием технологии CUDA. Выполнено экспериментальное исследование различных аспектов эффективности метода. На представленном классе тестовых функций показано, что, по сравнению с классическим последовательным электромагнитным методом (ЕМ), метод GEM обеспечивает более высокую скорость сходимости за счёт значительного ускорения по сравнению с последовательным аналогом.

На основе полученных результатов работы можно утверждать, что многие задачи глобальной оптимизации можно эффективно решать с использованием графических процессоров методом GEM.

Литература

1. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов // Информационные технологии, 2012, 7, с. 19-21.
2. Birbil S.I., Fang S. An electromagnetism-like mechanism for global optimization // Journal of Global Optimization, 2003, no. 25, pp. 263-282.
3. NVIDIA. — Nvidia CUDA Programming Guide Version 6.0, 2014.
4. Benchmark functions for the cec'2010 special session and competition on large scale global optimization: Tech. rep. / K. Tang, X. Li, P. N. Suganthan et al.: Nature Inspired Computation and Applications Laboratory, USTC, China, 2009.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕЕЗДАМИ

Тишина Е. М., Хабрат М. Д.

Научный руководитель: старший преподаватель кафедры ИУЗ, Тихомирова Е. А.

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

RAILWAY CROSSING AUTOMATED CONTROL SYSTEM

Tishina E. M., Khabrat M. D.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается проблема длительного простоя транспорта на железнодорожных переездах. Подробно исследован существующий алгоритм управления переездом. Предложен усовершенствованный метод управления. В заключении рассмотрены преимущества нового метода.

Abstract

This article describes the issue of transport stoppage on railway crossing. The existing control system algorithm is briefly described. An improved automated control system is given. In conclusion the advantages of new method are considered.

Введение

Железные дороги и железнодорожные переезды – места повышенной опасности, оставить их полностью без человеческого контроля нельзя, поэтому сделать процесс закрытия и открытия железнодорожных переездов автоматическим небезопасно. Нужна именно автоматизированная система управления (АСУ), подчёркивается необходимость участия человека в отдельных операциях с целью сохранения контроля над процессом.

Традиционные методы построения систем управления и обеспечения безопасности транспортных пересечений исчерпали свои резервы, так как они функционируют, используя только информацию о состоянии рельсовых линий участка приближения. Длина участка приближения зависит от времени извещения и скорости движения поезда и может достигать 2000 метров и более, соответственно время ожидания автомобиля у закрытого шлагбаума занимает длительное время. [1-3].

Поэтому исследование и разработка усовершенствованной АСУ железнодорожными переездами – вопрос актуальный. Её разработка и исследование предполагают повышение безопасности, улучшение экологической обстановки, а также минимизацию времени простоя автотранспорта в зоне переездов и, как следствие, улучшение психологического состояния водителей автотранспорта.

1 Усовершенствованная автоматизированная система управления железнодорожными переездами

В статье предлагается АСУ железнодорожными переездами, в которой будут задействованы современные информационные технологии.

Основные элементы системы (рис. 1.):

- центральный диспетчерский пункт (ЦДП) – компьютеризированный центр управления движением на направлении или большом количестве перегонов;
- локальные участки системы, которые обслуживают каждый отдельный переезд, либо железнодорожный перегон, нуждающийся в мониторинге, либо регулировке движения составов;
- система передачи данных между локальными участками и ЦДП;
- система подвижного состава (непосредственно на локомотиве устанавливается бортовой информационно-управляющий навигационный комплекс, в состав которого

входят: навигационный приемник (ГЛОНАСС, GPS), бортовой компьютер, диагностический блок, радиостанция, датчики и речевой информатор);

- дублирующая система (устройство определения координаты и скорости подвижного состава, которое работает по дискретному принципу).

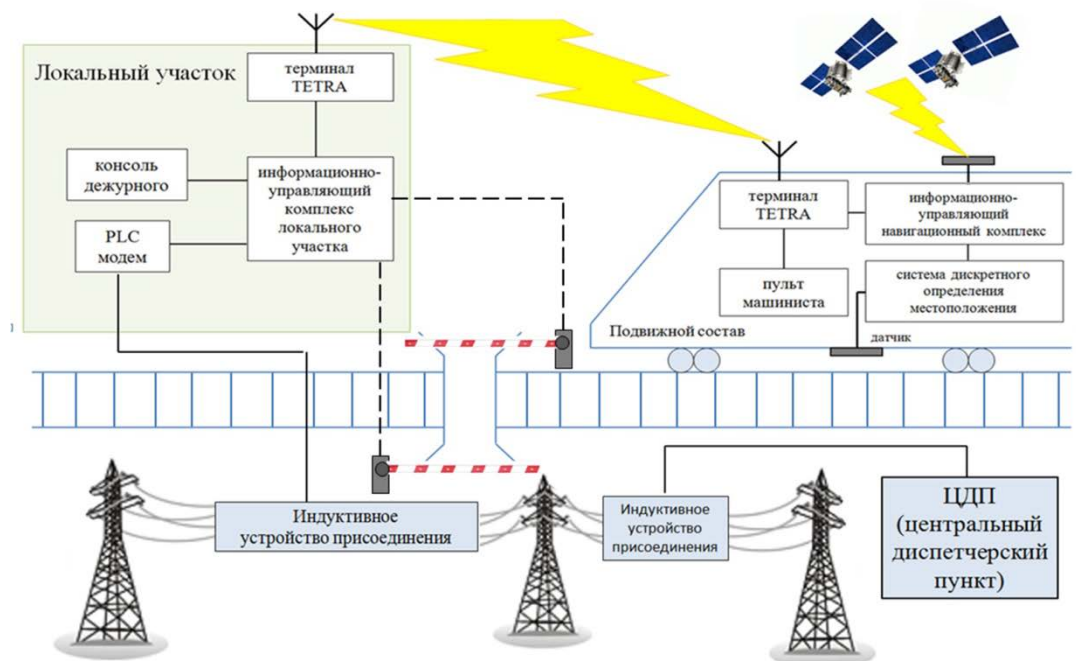


Рисунок 1 - Основные элементы системы

Алгоритм работы системы состоит в том, что оборудование, установленное непосредственно на подвижном составе, осуществляет непрерывное определение координат с помощью приёма сигнала от спутников ГЛОНАСС (и/или GPS). Также, параллельно с непрерывным определением координат и времени следования, используется дискретный метод, основанный на определении момента прохождения составом контрольных точек с заранее известными координатами, внесёнными в базу данных. Этот метод является дублём непрерывного метода, так как он основан совершенно на других принципах работы, а это нужно для того, чтобы АСУ соответствовала повышенным требованиям надёжности.

Полученные данные, а также информация о самотестировании состава на предмет неисправности основных систем с помощью радиоканала передачи данных, основанного на стандарте TETRA, передаётся на локальный участок системы, оборудование которого установлено непосредственно на железнодорожном переезде или ином участке пути, нуждающемся в управлении движением (например, сортировочная станция и т.п.). Здесь осуществляется обработка полученной телеметрии и передача обработанной информации по линии электропередачи (ЛЭП) в ЦДП.

Окончательное решение о закрытии переезда принимается на основе верификации результатов контроля двух устройств: непрерывного и дискретного. Если значения скорости поезда, измеренное с помощью двух устройств, совпадают с погрешностью, не превышающей 10 %, то система управления переездной сигнализацией работает по усовершенствованному алгоритму. Если же различие измеренных скоростей больше 10 %, то система управления принимает решение о закрытии переезда сразу после вступления поезда на участок приближения, т.е. в этом случае работает старая система, основными элементами которой являются электрические рельсовые цепи.

2 Техническая реализация устройства дискретного контроля скорости и координат

Устройство дискретного контроля координаты и скорости подвижного состава можно создать за счет использования кластера из дискретных датчиков, например, бесконтактных магнитных педалей, установленных на известном удалении от переезда x и с известным фиксированным расстоянием между ними (500 метров). По времени реакции датчиков на прохождение над ними колеса вагона можно определить координату x , скорость движения состава и его ускорение. Наиболее просто измерение скорости реализуется при использовании кластера из двух датчиков, установленных на фиксированном расстоянии h друг от друга. При этом скорость движения состава:

$$V = \frac{h}{T_x}, \quad (1)$$

где T_x – время последовательного прохождения состава над датчиками. Изменение скорости:

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (2)$$

за некоторый промежуток времени Δt определит ускорение:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3)$$

На основе полученных значений V и a создается модель движения состава и рассчитывается момент принятия решения о включении звуковой сигнализации, запрещающего светофора, закрытии шлагбаума.

3 Техническая реализация устройства непрерывного контроля скорости и координат

Данные, получаемые навигационным приёмником (с помощью GPS или ГЛОНАСС), обрабатываются бортовым компьютером. Затем их нужно передать на локальный участок, где принимается решение о закрытии переезда, а уже с этого участка произвести трансляцию данных в ЦДП.

Для передачи необходимых данных на локальный участок можно использовать стандарт радиосвязи TETRA. Пакет с данными, передаваемый от состава должен содержать следующие основные сведения о поезде: номер маршрута, местоположение состава, оценка состояния бортового оборудования и состояния машинистов, параметры движения. Общий объем такой информации не превышает 125 бит на один состав. То есть пропускной способности в 7 Кбит/с для системы достаточно. Стандарт TETRA выбран, так как он имеет ряд преимуществ по сравнению с другими стандартами (GSM-R или CDMAone) [4]. TETRA удовлетворяет всем предъявляемым требованиям: высокая вероятность успешной передачи, достаточная скорость передачи информации, быстрая установка соединения, высокая максимально допустимая скорость подвижного абонента при сохранении качества обслуживания. Не менее важно то, что такая связь имеет высокую степень защиты и обладает высокой помехоустойчивостью.

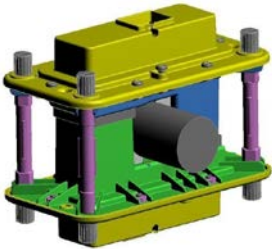
Для последующей передачи данных с переезда в ЦДП можно использовать различные способы передачи данных, но выгоднее и удобнее всего будет использовать существующие воздушные ЛЭП. Следует это из того, что требования к скорости канала не высоки и этот метод не предполагает глобальных затрат на установку нового оборудования, что удовлетворяет целям данной работы.

Связь через ЛЭП включает в себя:

- Broadband over Power Lines — широкополосная передача через линии электропередачи, которая обеспечивает передачу данных со скоростью более 1 Мбит/с, но на маленькое расстояние.
- Narrowband over Power — узкополосная передача через линии электропередачи со значительно меньшими скоростями передачи данных, но на большую дальность.

Данные нужно передавать на значительное расстояние, поэтому следует воспользоваться узкополосной передачей. Рассмотрим оборудование узкополосного доступа, которое можно использовать (табл. 1) [5]:

Таблица 1 - Оборудование узкополосного доступа

Название	Краткое описание	Изображение
PLC модем TL-100MV	Магистральный модем для передачи данных телеметрии. Скорость передачи данных: 270 кбит/с, полезная – 115 кбит/с. Дальность (средняя): 10 – 100 км. Интерфейс: RS232, RS 485, Ethernet. Режимы: ведущий, ведомый, ретранслятор.	
УП-і-500NB Индуктивное Устройство присоединения	Номинальное напряжение: 10 кВ -35 кВ Полоса пропускания: 10 кГц – 550 кГц Температура: от -40 до +60 °С Габаритные размеры: 100×50×100 мм Масса: 1,5 кг	

Заключение

Разработана эффективная АСУ железнодорожными переездами, которая, в отличие от устаревшей системы управления, использует координаты поезда, его скорость для определения того, в какой момент времени переезд должен быть закрыт, а в какой открыт. Время закрытого состояния переезда сократится, а следовательно, произойдёт увеличение пропускной способности переезда. Например при прохождении участка с переездом скоростным поездом «Сапсан», нет необходимости закрывать переезд перед прохождением этого состава на длительное время, что происходит сейчас, так как существующая автоматика не реагирует на прохождение участков скоростными поездами.

Полученная система обладает высокой надёжностью, т. к. все основные процессы дублируются и при этом используются совершенно разные, высокотехнологичные и современные методы и технологии.

Литература

1. Электрические рельсовые цепи. Режим доступа: <http://72-26-226-178.meganetserve.net/spravka/railcircuits.html> (Дата обращения: 12.02.2015).
2. Устройства СЦБ на перегонах. Режим доступа: http://scbist.com/zheldor/okzd/okzd_17.html (Дата обращения: 12.02.2015).
3. Калинин В.К., Сологуб Н.К., Казаков А.А. Общий курс железных дорог. М.: Высшая Школа, 1986, 70 с.
4. Цифровые стандарты радиосвязи в свете требований информационных технологий железнодорожного транспорта Режим доступа: <http://www.rit.informost.ru/rit/4-2002/45.pdf> (Дата обращения: 14.02.2015).
5. Оборудование узкополосного доступа http://www.tellink.ru/files/cat/catalog_uzpd.pdf (Дата обращения: 14.02.2015).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ЭКВАЛАЙЗЕРА В СРЕДЕ MATLAB

Яковенко М.А., Саневич Е.Г.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Павлов Ю.Н.

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

MODELING OF THE DIGITAL EQUALIZER IN THE ENVIRONMENT OF MATLAB

Yakovenko M.A., Sanevich E.G.

Supervisor: Dr., Prof., Pavlov U.N.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается процесс моделирования эквалайзера в среде Matlab. Спроектированы цифровые фильтры для работы эквалайзера. Изучен спектр звуковых сигналов. В итоге получена модель восьмиполостного цифрового эквалайзера.

Abstract

In article process of modeling of an equalizer in the environment of Matlab is considered. Digital filters for work of an equalizer are designed. The range of sound signals is studied. As a result the model of a 8-band digital equalizer is received.

Введение

Эквалайзер — радиоэлектронное устройство или компьютерная программа, позволяющие избирательно корректировать амплитуду (то есть громкость) сигнала в зависимости от частотных характеристик (высоты, тембра звука). В настоящее время эквалайзер является мощным средством для получения разнообразных тембров звука (то есть разных оттенков звучания).

Процесс обработки звукового сигнала посредством эквалайзера называется «эквализацией» (Equalization).

Эквализация позволяет устранить частотный конфликт между инструментами, связано это не с линейностью человеческого уха, а именно с эффектом слуховой маскировки, проблема частотного конфликта в том, что если мы имеем 2 источника звука с похожими перекрывающимися спектрами и один звук громче чем другой, то мы перестаем слышать более тихий звук.

Классически звуковой спектр делится на три части: низкие, средние и высокие частоты. Границы частот можно обозначить следующим образом: низкие от 10 Гц до 200 Гц, средние от 200 Гц до 5 кГц, а от 5 кГц - высокие. Для более точного определения, разделим эти три части на более мелкие и рассмотрим их по отдельности.

1) Низкие басы (от 10 Гц до 80 Гц) - это самые низкие ноты, от которых резонирует комната, а провода начинают гудеть.

2) Верхние басы (от 80 Гц до 200 Гц) - это верхние ноты басовых инструментов и самые низкие ноты таких инструментов, как гитара.

3) Низкие средние (от 200 Гц до 500 Гц) - здесь размещается почти весь ритм и аккомпанемент, это регистр гитары.

4) Средние средние (от 500 Гц до 2.500 Гц) - соло скрипок, соло гитар, фортепиано, вокал.

5) Верхние средние (от 2.500 Гц до 5 кГц). Хотя в этом диапазоне мало нот, только самые верхние ноты фортепиано и некоторых других инструментов, здесь много гармоник и обертонов.

6) Низкие высокие (около 5 кГц до 10 кГц), где мы встречаемся с самым сильным искажением высоких частот и где шипение пленки (для любителей кассетной записи) становится самым заметным, так как здесь очень мало других звуков, способных скрыть это.

7) **Верхние высокие (около 10 кГц до 20 кГц)** наша последняя октава, это самые тонкие и нежные высокие частоты. Если этот диапазон частот будет неполноценен, то вы ощутите некий дискомфорт при прослушивании записей.

Фильтры

Задача фильтров заключается в том, чтобы пропускать без искажения сигналы в определенной полосе частот и не пропускать сигналы в остальной области частот. Различают фильтры следующих назначений:

- фильтры низких частот — пропускают низкие частоты сигнала. Их идеальный вид представлен на рис. 1;
- фильтры высоких частот — пропускают высокие частоты сигнала. Их идеальный вид представлен на рис. 2;
- полосовые фильтры — пропускают ограниченную полосу частот сигнала. Их идеальный вид представлен на рис. 3.

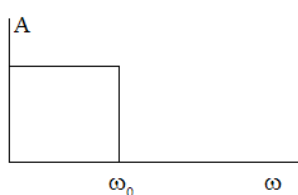


Рисунок 1 - Фильтр низких частот

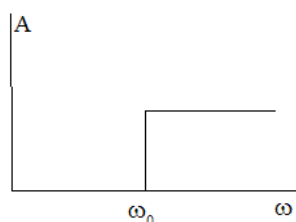


Рисунок 2 - Фильтр высоких частот

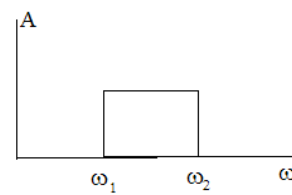


Рисунок 3 - Полосовой фильтр

Постановка задачи

Целью нашей работы была разработка модели графического эквалайзера звуковых частот при помощи Matlab и интерактивного инструмента для моделирования Simulink.

1. Разработка эквалайзера

1.1 Схема эквалайзера

Для начала разобьем весь спектр частот, воспринимаемых нашим ухом (от 16 Гц до 20кГц) на несколько диапазонов (это нам потребуется для проектирования фильтров):

До 80 Гц, 80 Гц -200 Гц, 200 Гц -500 Гц, 500 Гц – 1000 Гц, 1000 Гц – 2500 Гц, 2500 Гц – 5000 Гц, 5000 Гц – 10000 Гц, 10000 Гц и выше.

Всего у нас получилось 8 диапазонов, а следовательно наш эквалайзер будет состоять из 6-ти полосовых фильтров, а первый и последний фильтры можно сделать «ступенчатыми» (ФНЧ и ФВЧ соответственно), поскольку наше ухо физически не может услышать колебания частотой меньше 16 Гц и больше 20 кГц. Это целесообразно, так как физически реализовать «ступенчатые» фильтры проще полосовых. В пакете Simulink создадим схему эквалайзера:

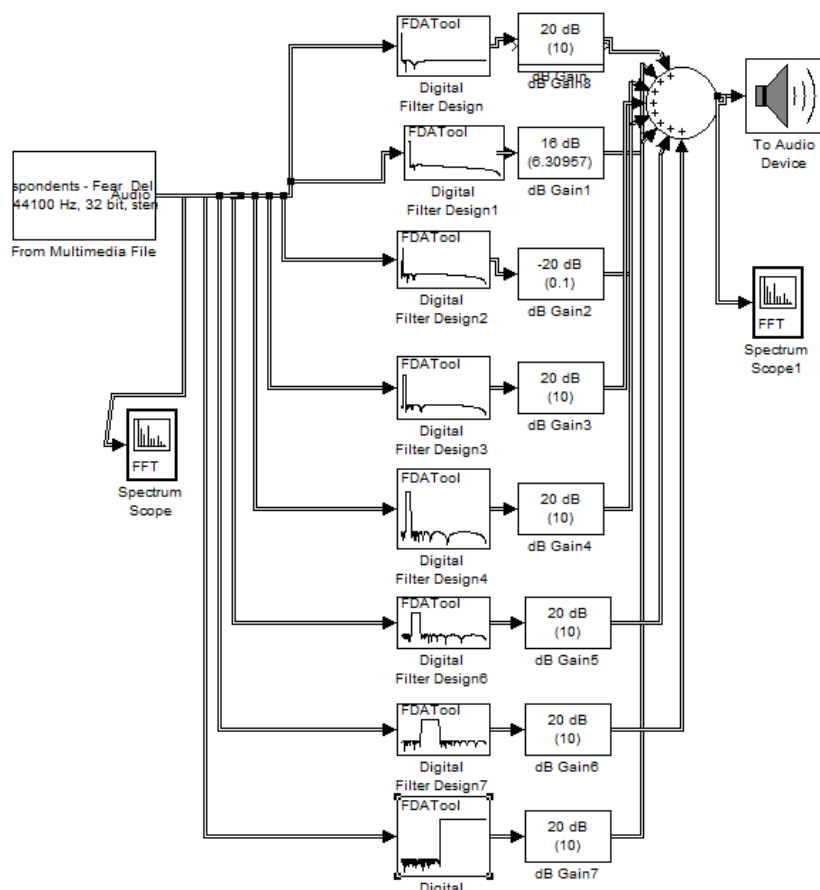


Рисунок 4 - Схема 8-полосного эквалайзера в Simulink

В качестве источника аудио сигнала у нас будет музыкальный аудио файл (элемент на схеме –FromMultimediaFile).). Для воспроизведения звука используются встроенные в ПК динамики (элемент на схеме –ToAudioDevice).

Фильтрация отдельной полосы входного сигнала осуществляется соответствующим каждому фильтру элементом DigitalFilterDesign. Усиление или ослабление каждой полосы входного сигнала (выход каждого фильтра) регулируется элементом Gain и задается в дБ.

Выходной сигнал формируется, как сумма сигналов каждой полосы, с помощью сумматора с требуемым количеством входов.

Для чтобы увидеть спектры входного и выходного сигналов используются элементы SpectrumScope (InputSpectrumи OutputSpectrum).

1.2 Проектирование фильтров

С использованием инструмента fdatool спроектируем восемь БИХ фильтров методом Чебышева 2 рода, так как он является наиболее оптимальным для нашей задачи. Для каждого фильтра рассчитывается порядок, а так как во время работы каждое звено фильтра вносит некоторую вычислительную задержку, то для синхронной работы эквалайзера будем использовать фильтры одинакового порядка (наибольший из рассчитанных).

1.3 Пользовательский интерфейс

Для наиболее удобного использования эквалайзера мы сделали графический интерфейс с помощью MATLABGUIDE. Интерфейс позволяет изменять коэффициент усиления каждой полосы эквалайзера в интервале от -20 дБ до +20 дБ с шагом 1 дБ.

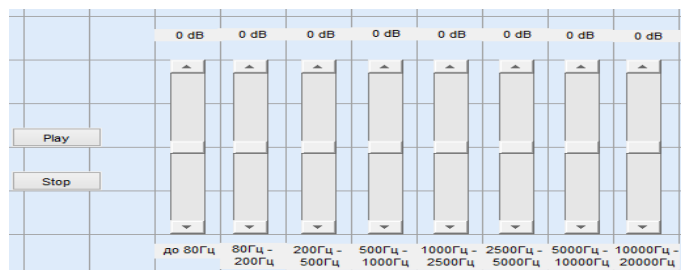


Рисунок 5 - Графический пользовательский интерфейс

2. Анализ работы эквалайзера спектрам входного и выходного сигналов:

Работу эквалайзера можно легко проанализировать по спектру входного и выходного сигналов. Для этого сначала посмотрим на оба спектра, когда для каждого диапазона ползунок находится в начальном состоянии:

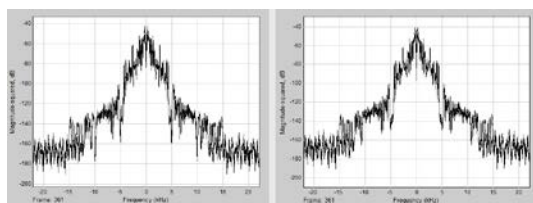


Рисунок 6 - Сравнение спектров входного и выходного сигналов

Как мы видим спектры входного и выходного сигнала почти идентичны. Теперь переместим первые четыре ползунка вниз, а остальные вверх.

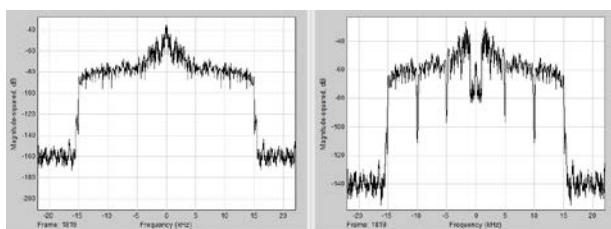


Рисунок 7 - Сравнение спектров входного и выходного сигналов с 4 поднятыми ползунками

Легко заметить понижение низких частот и повышение высоких, как и было задано нашим эквалайзером.

Заключение

В ходе работы была построена компьютерная модель звукового эквалайзера возможностями среды Matlab (Simulink). Такой подход значительно упрощает процесс технической реализации эквалайзера. В ходе анализа было установлено, что данная модель довольно точно удовлетворяет поставленной задаче.

Литература

1. Звуковой спектр http://fdstart.com/2008/09/01/pamyatka_muzykantu_chastoty.html Дата посещения 25.01.15.
2. Эквалайзер <https://ru.wikipedia.org/wiki/Эквалайзер> Дата посещения 24.01.2015 .
3. Боевкин В.И., Недашковский В.М. Лекции по курсу ОТУ и ЦОС.
4. Недашковский В.М. Методические указания по курсу «Основы теории управления и цифровая обработка сигналов» - МГТУ им Баумана, 2012. 12 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СБОРА ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРИЕВ

Будюкина Е.Н., Козов А.В., Нейман К.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Пивоварова Н.В., к.т.н. Белоус В.В.

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

APPLICATION OF THE METHOD OF COLLECTING REQUIREMENTS AT DESIGN OF INFORMATION SYSTEM ON THE BASIS OF SCENARIOS

Budyukina E.N., Kozov A.V., Neyman K.A.

Supervisor: Ph.D., Docent Pivovarova N.V., Ph.D. Belous V.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются различные подходы к процессу сбора и анализа требований к информационной системе, описаны главные особенности метода на основе пользовательских сценариев, а также его применение при проектировании и реализации системы.

Abstract

The article discusses various approaches to the process of collecting and analyzing system requirements, describes the main features of the method based on user scenarios, as well as its application in the design and implementation of the system.

Введение

Информационные системы предназначены для своевременного обеспечения людей необходимой информацией, и на сегодняшний день они применяются практически во всех областях деятельности современного человека. Известны несколько подходов к процессу разработки информационных систем: структурный, когда проектирование системы идет по структурным подразделениям, процессный, ориентированный на бизнес-процессы. Они могут реализованы по водопадной, иначе называемой каскадной, или по итерационной модели. При водопадной модели этапы разработки и внедрения выполняются последовательно в строго фиксированном порядке друг за другом, что ограничивает применение этой модели только небольшими проектами. При итерационном проектировании вся работа разбивается на отдельные фазы: начальную, фазу развития и фазу внедрения. Целью каждой из этих фаз является получение работающей версии системы, которая будет являться основой для выполнения следующей фазы. При любом подходе первые этапы являются определяющими для всего проекта в целом.

При применении итерационной модели разработки в первую фазу входят формирование начального видения системы, сбор требований, инфологическое и логическое моделирование, прототипирование. Результатом успешного завершения этой фазы является работающий прототип, соответствующий базовым функциональным требованиям к системе. Сбор, анализ и формализация функциональных и нефункциональных требований к проектируемой системе является одной из самых сложных задач на начальной фазе, поскольку разработчику необходимо составить как можно более полное представление о системе, которой еще не существует в природе. Для решения этой задачи используют различные методы, одним из которых является метод сбора требований на основе пользовательских сценариев.

1 Подходы к сбору и формализации требований к проектируемой информационной системе

В литературе по проектированию информационных систем [1] описывается предельно формальный подход к составлению требований к проектируемой информационной системе.

Процесс начинается с анализа проблемы и предметной области, выявления функций, интервьюирования, классификации, распределения приоритетов, выявления категорий и т. д. На основании этого выделяют и ранжируют по важности группы требований, которые могут быть положены в основу технического задания согласно ГОСТу. Однако существует другой подход, подробно описанный в [2], который был использован авторами при разработке проекта и реализации прототипа информационной системы в рамках курсового проекта. Это метод прецедентов, он базируется на определении типовых сценариев использования предполагаемой системы пользователем. Такой подход является менее формализованным, но более практичным, его результатом будет не строгий набор требований ко всей системе в целом, а описание взаимодействия пользователя и системы.

Метод прецедентов - это способ сбора функциональных требований к системе на основе коротких историй, которые описывают действия пользователя в системе и реакцию системы на эти действия. Несколько прецедентов одного пользователя объединяются в сценарии, которые, в свою очередь, образуют модель вариантов использования информационной системы. Среди сценариев выделяют главные успешные, то есть такие, в которых предполагается, что ни пользователь, ни система не допускают ошибок. Именно такие сценарии становятся основой для реализации прототипа будущей системы. Другие прецеденты в этом сценарии становятся его расширениями. Поскольку внедрение сложных систем - это процесс, который требует больших затрат времени и ресурсов, его необходимо разбивать на части, и применение сценариев позволяет удобно это сделать. Разработанный на раннем этапе работающий прототип с реализованными главными успешными сценариями внедряется в первую очередь, что позволяет системе выполнять базовые функции. Расширения сценариев добавляют в систему постепенно по мере их реализации в виде патчей.

Пример применения такого подхода - это случай, когда сотрудников просят описать или изобразить в виде диаграммы те его действия, что будут выполняться при участии информационной системы. Или, например, в случае, если похожие сценарии уже реализованы, предлагают рассказать об отличиях и особенностях того или иного рабочего процесса. В результате получится некое описание действий, максимально ориентированное на пользователя, которое легко переводится в формальное описание и достаточно гибкое для дальнейшей модификации. Последнее является важным преимуществом описываемого подхода. Внедрение системы по частям и наращивание ее функциональности небольшими патчами позволяет оперативно реагировать на изменения в бизнес-процессе и на развитие информационных технологий.

2 Формирование функциональных требований в виде сценариев

Существуют рекомендации по составлению сценариев и вариантов использования системы [2]. Их можно сформулировать в виде следующих пунктов:

- определить с рамками системы;
- определить основные группы пользователей;
- определить цели и задачи пользователей в системе;
- на основании задач сформировать состав прецедентов.

Кроме этого, важным является вопрос распределения обязанностей и определения ответственности за функционирование системы в целом. Для этого предполагается получить ответы на следующие вопросы:

- кто и как будет запускать и выключать систему;
- кто будет являть администратором системы;
- кто будет осуществлять управление пользователями и безопасностью в системе;
- кто будет контролировать производительность системы;
- кого уведомлять об ошибках в системе.

Полученная информация представляет общее функциональное назначение систем и представляется в виде UML-диаграмм использования. UML (Unified Modeling Language) - графический язык моделирования общего назначения, предназначенный для спецификации,

визуализации, проектирования и документирования всех артефактов, создаваемых при разработке программных систем [3].

Одним из вариантов реализации описанного выше подхода является разработка информационной системы службы технической поддержки интернет-провайдера, выполненную авторами. Результаты выделения групп пользователей и выявления основных вариантов использования системы приведены на рис. 1.

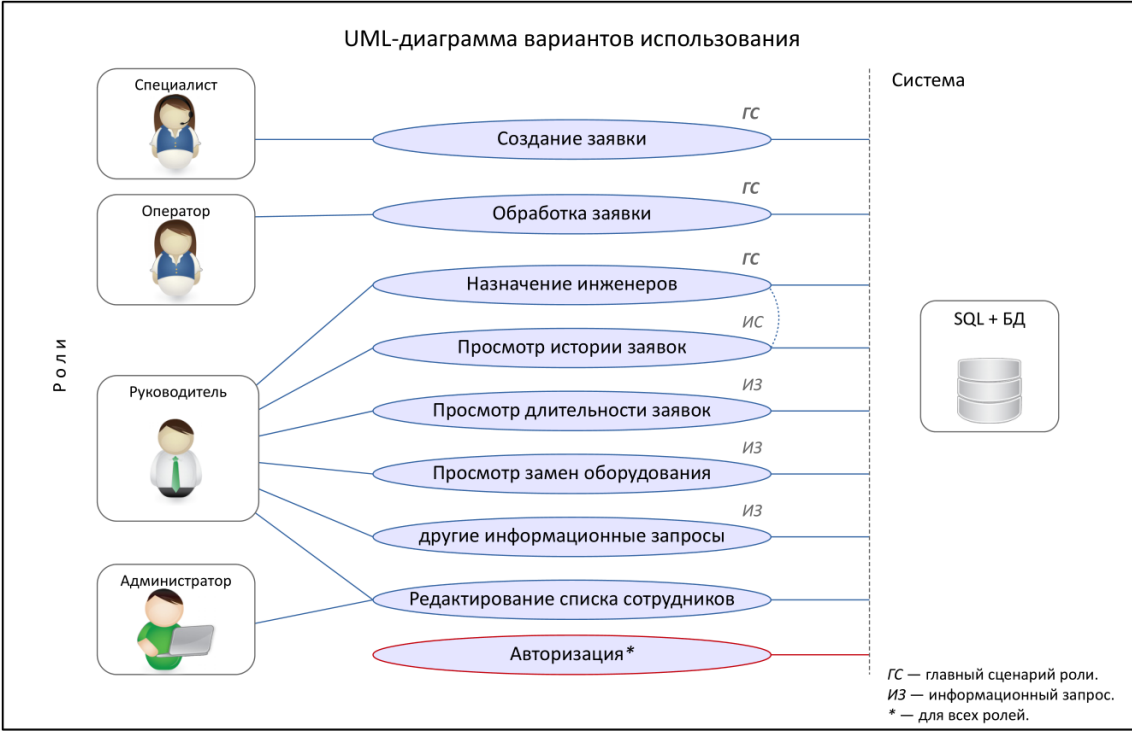


Рисунок 1 - Пример UML-диаграммы вариантов использования с перечисление основных сценариев



Рисунок 2 - Пример системной UML-диаграммы последовательности для сценария

После определения ролей, или акторов, и составления перечня возможных сценариев приступают к формированию самих сценариев. Далее сценарии представляются в виде системной временной диаграммы последовательности, которая изображает отношение отдельных прецедентов роли во времени. Пример временной диаграммы для главного успешного сценария одной из ролей показан на рис. 2. Такое графическое представление, отображающее последовательность действий пользователя и реакций системы, является удобным основанием для реализации в прототипе. Несколько реализованных таким образом сценариев будут представлять собой уже функционирующую информационную систему, что и будет являться итогом выполнения первой фазы разработки при итерационном подходе. Однако, следует учесть, что сценарии не описывают внутренней структуры будущей системы, и для ее выявления требуется составить инфологическую и логическую модели.

Заключение

В результате применения метода сбора требований на основе пользовательских сценариев образуется комплект артефактов, представляющий удобную основу для создания прототипа информационной системы. Такой подход хорошо укладывается в концепцию итерационной модели проектирования, поскольку уже на ранних этапах позволяет получить работающий прототип. Кроме того, он соответствует одному из главных принципов разработки базы данных: предсказание. Применение пользовательских сценариев позволяет учесть возможные изменения в бизнес-процессе или предметной области в целом. Недостатком метода может являться то, что полученные требования ориентированы преимущественно на описание поведения системы, но слабо описывают ее внутреннюю структуру.

Литература

1. Леффингуелл Д., Уидриг Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. — М.: Вильямс, 2002. — 448 с.: ил.
2. Кобёрн А. Современные методы описания функциональных требований к системам. — М.: Лори, 2002. — 264 с.
3. Мюллер Р. Дж. Базы данных и UML. Проектирование. — М.: Лори, 2002. — 420 с.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДАТА ЦЕНТРОВ

Кайзер Г.О.

Научный руководитель: доцент Власов А.И.

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

SYSTEM ANALYSIS OF DESIGN DATA CENTERS

Kayzer G.O.

Supervisor: Ph.D. Vlasov A.I.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются функции дата-центров, предоставлены классификации по назначению, размерам и техническим особенностям, приведен обзор инженерных коммуникаций, используемых в каждом типе дата-центров.

Abstract

The article deals with the functions of data centers, provided the classification by purpose, size and technical features, provides an overview of utilities used in each type of data centers.

Введение

Дата-центр (от англ. data center), или центр хранения и обработки данных (ЦОД/ЦХОД) — это специализированное здание для размещения серверного и сетевого оборудования и подключения абонентов к каналам передачи данных.

Дата-центр выполняет функции обработки, хранения и распространения информации, как правило, в интересах корпоративных клиентов — он ориентирован на решение бизнес-задач путём предоставления информационных услуг. Консолидация вычислительных ресурсов и средств хранения данных в ЦОД позволяет сократить совокупную стоимость владения IT-инфраструктурой за счёт возможности эффективного использования технических средств, например, перераспределения нагрузок, а также за счёт сокращения расходов на администрирование.

По размеру занимаемой территории и количеству оборудования различают следующие типы ЦОДов.

Крупные дата-центры имеют своё здание, специально сконструированное для обеспечения наилучших условий размещения. Обычно они имеют свои каналы связи, к которым подключают серверы [1].

Модульные дата-центры [2] собираются из модульных блоков, имеют разные конструктивные особенности, масштабируются от минимальной площади серверного зала одного модуля, увеличиваются до бесконечности путём постепенного наращивания модулей. Имеют повышенные уровни безопасности работы автономных систем дата-центра.

Средние дата-центры обычно арендуют площадку определённого размера и каналы определённой пропускной способности (обычно измеряется в Гбит/с).

Малые дата-центры размещаются в малоприспособленных помещениях. Часто ими используется оборудование плохого качества, а также предоставляется самый минимум услуг [1].

Контейнерные (модульные) дата-центры [3]. Стойки с оборудованием размещаются в стандартных ISO контейнерах размером 20 и 40 футов. Имеют преимущества, так как могут перевозиться автомобильным и железнодорожным транспортом.

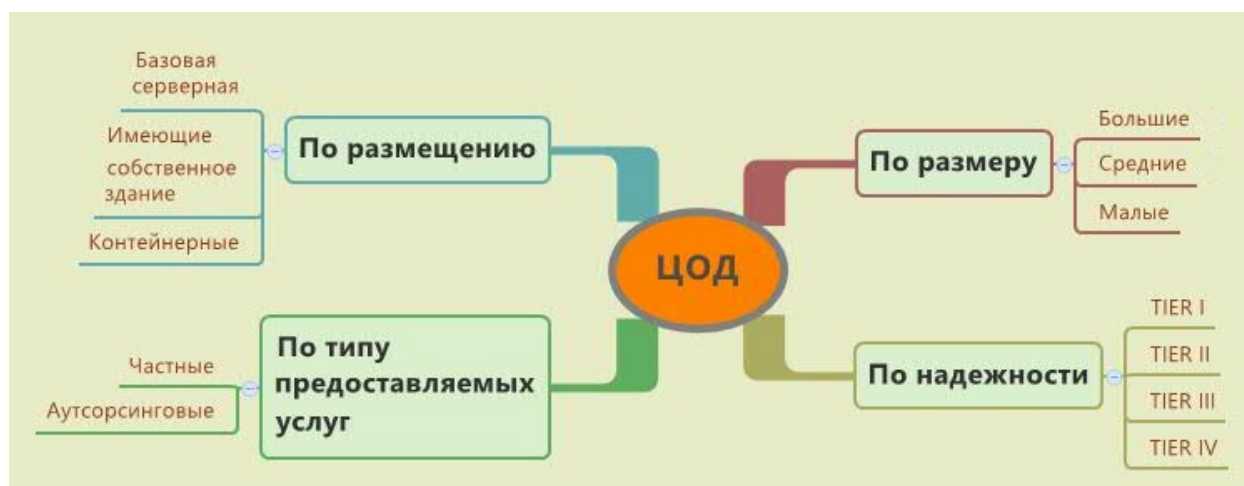


Рисунок 1 – Классификация дата-центров по основным признакам

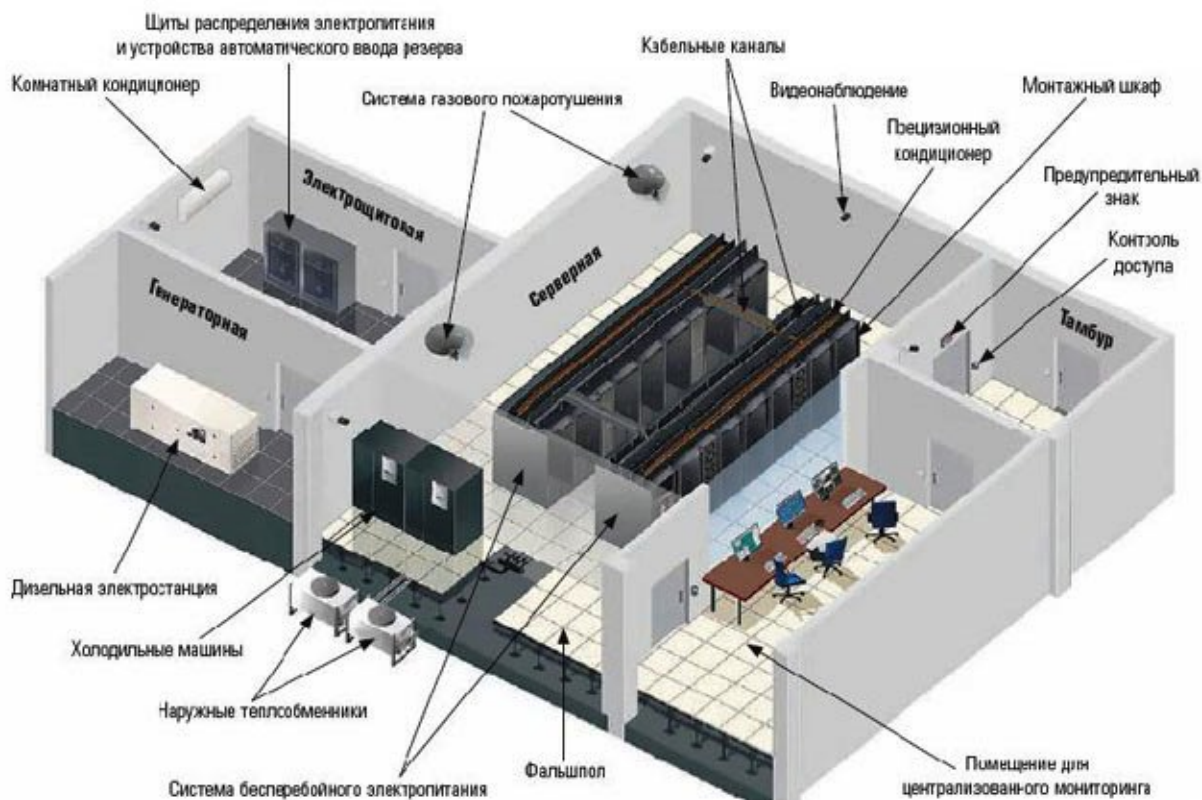


Рисунок 2 – Типичная структура ЦОДа [4]



Рисунок 3 – Модульный дата-центр [5]

Дата-центры по виду использования подразделяют на корпоративные, предназначенные для обслуживания конкретной компании, и коммерческие (аутсорсинговые), предоставляющие услуги всем желающим. Также разделяют провайдерозависимые и провайдеронезависимые дата-центры. Первые служат для обеспечения деятельности телекоммуникационных операторов, вторые могут использоваться разными компаниями в соответствии с их нуждами.

Инфраструктура ЦОДов. Типичный дата-центр состоит из:

- информационной инфраструктуры, включающей в себя серверное оборудование и обеспечивающей основные функции датацентра — обработку и хранение информации;
- телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей взаимосвязь элементов датацентра, а также передачу данных между датацентром и пользователями;
- инженерной инфраструктуры, обеспечивающей нормальное функционирование основных систем датацентра.

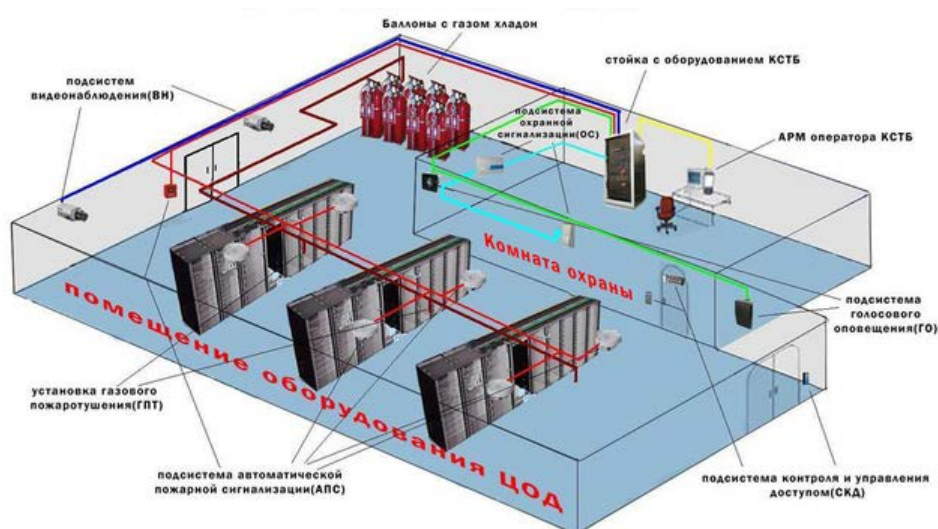


Рисунок 3 – КСТБ ЦОДа [6]

Инженерная инфраструктура включает в себя: кондиционирование для поддержания температуры и уровня влажности в заданных параметрах; бесперебойное электроснабжение

для автономной работы дата-центра в случаях отключения центральных источников электроэнергии; охранно-пожарную сигнализацию и система газового пожаротушения; системы удаленного IP контроля, управления питанием и контроля доступа.

Центры обработки данных (ЦОД) распределяются по 4 категориям – TIER I, TIER II, TIER III и TIER IV (TIER IV – наивысшая категория). Соответствие той или иной категории описывает уровень установленной технологии резервации, решения физической безопасности, особенности здания и территории. Официальное соответствие категории подтверждает Uptime Institute или TIA.

Таблица 1 – Сравнение уровней надежности

	Tier 1	Tier2	Tier 3	Tier 4
Активное оборудование	N	N+1	N+1	2N
Распределенных потоков	1	1	2	2
Возможность обслуживания ЦОД без остановки	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА
Годовой простой, час.	28,8	22	1,6	0,4
Пригодность инфраструктуры, %	99,671	99,749	99,982	99,995
Вероятность остановки в течении 5 лет, %	37,17	31,37	25,91	2,14

TIER I: базовая серверная. ЦОД, соответствующий уровню TIER I, не имеет никаких дублирующих активных компонентов и распределения потоков. Плановые работы возможны только при остановке ЦОД.

TIER II: дублирование активного оборудования N+1. У ЦОД есть дополнительные компоненты (N+1 резервация) активного оборудования (UPS, кондиционеры, сетевое оборудование) и только один поток распределения. Во время проведения профилактических работ ЦОД должен быть отключен.

TIER III: возможность обслуживания ЦОД без остановки. Активное оборудование дублируется по принципу N+1. Дублируется распределение потоков: трубопроводы охлаждения, каналы связи в здание, система электрические системы. Выполняя профилактические работы нет необходимости отключения ЦОД. Центр находится в отдельном выделенном здании, территория – огорожена.

TIER IV: двойная инфраструктура. Как активное оборудование, так и распределение потоков дублируются. ЦОД выдерживает непланированный отказ. Активное оборудование (UPS, кондиционеры, сетевое оборудование). Выделенное здание. ЦОД TIER IV коммерческой направленности в странах Балтии нет. Чаще всего он строится как выделенный ЦОД для большой корпорации или государственный ЦОД.

Таблица 2 – Сравнение уровней TIER II и TIER III

	TIER II	TIER III
Дублированные, не менее 20 м друг от друга отдельные телекоммуникационные помещения	НЕТ	ДА
Дублированный каналов связи и IT оборудования клиента	НЕТ	ДА
Минимальное расстояние от железной дороги или автостреды – 0,8 км, до аэропорта, водной среды – 0,4 км	НЕТ	ДА
Минимальное расстояние до общественной зоны – 9,8 м	НЕТ	ДА
Отдельная автомобильная стоянка для работников и гостей на минимальном расстоянии 9,1 м	НЕТ	ДА
Отдельный заезд на территорию для работников и гостей	НЕТ	ДА
Выделенное здание	НЕТ	ДА
Отдельные физические зоны для распаковки оборудования, настройки, охраны	НЕТ	ДА
Серверные комнаты от других помещений отделены стенами, выдерживающими огонь не менее 1 ч	НЕТ	ДА

Самые популярные ЦОД коммерческой направленности – это TIER II и TIER III. У TIER I отсутствуют уровни резервирования, а TIER IV чаще всего является частным ЦОДом. Помимо уровней резервирования и пригодности, ЦОДы TIER II TIER III уровня различаются еще и наличием собственной территории, здания, других особенностей.

Заключение

Рассмотрены различные ЦОДы с точки зрения размеров, назначения, мест размещения и предоставляемых сервисов. Показаны сходства и отличия типовых дата-центров (класс надежности TIERII и TIERIII). Проанализированы преимущества и недостатки в каждой из классификаций, что дает понять, какой тип ЦОД наиболее подходит для конкретной задачи.

Литература

1. Классификация ЦОД. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://compress.ru/article.aspx?id=20687>. – Проверено 03.02.2015.
 2. Классификация дата-центров. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.russika.ru/t.php?t=5254>. – Проверено 23.02.2015.
 3. Контейнерные дата-центры. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.modularcon.com/mobilnyy-data-centr-na-baze-40-ft-konteyn>. – Проверено 25.02.2015.
 4. Дата-центры. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://emiconac.ru/news/cod-2013>. – Проверено 1.03.2015.
 5. Модульные дата-центры. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://xn--m1abbbibd.su/tag/tsod/>. – Проверено 1.03.2015.
- КСТБ ЦОДов. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.securitys.ru/>. – Проверено 1.03.2015.

ПРИЕМОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ МАТЕРИНСКОЙ ПЛАТЫ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА “A-class”

Минаев М.И.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Маничев В.Б.

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

ACCEPTANCE TESTING MOTHERBOARD OF "A-CLASS" SUPERCOMPUTER

Minaev M.I.

Supervisor: Dr., Prof., Manichev V.B.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается процедура приемочного тестирования материнской платы для суперкомпьютера “A-class”, создаваемого компанией “T-Platforms”. Основная часть приемочного тестирования – написание автоматических тестов, которые должны выявить программные и аппаратные дефекты.

Annotation

The article discusses the procedure for acceptance testing motherboard supercomputer "A-class", created by "T-Platforms". The main part of acceptance testing - writing automated tests that must be identified and hardware and software problems.

Введение

Проведение приемочного тестирования является важной составляющей успешного внедрения нового оборудования в эксплуатацию. Была поставлена задача проверки прошивки новой материнской платы на соответствие техническому заданию. Данное оборудование будет установлено в новом поколении суперкомпьютеров “A-class”.

Необходимость внедрения нового оборудования в эксплуатацию обусловлена потребностью в увеличении производительности. Несмотря на возросшую производительность, новое оборудование обладает меньшим электропотреблением.

На рынке отсутствуют готовые материнские платы с необходимыми характеристиками, поэтому специалисты разработали развернутое техническое задание.

Основная часть технических требований не подлежит раскрытию, но некоторые из них:

- поддержка нового типа оперативной памяти *DDR4*;
- поддержка нового типа процессоров *Intel Xeon*;
- поддержка графических карт *Nvidia Tesla*;
- поддержка стандарта управления *IPMI*.

Стоит отметить, что приемочное тестирование оборудования осложняется частичным отсутствием сопроводительной документации.

Постановка задачи

По имеющемуся техническому заданию необходимо вычлнить аппаратные и программные требования, предъявляемые к материнской плате. После этого необходимо написать набор тестов, который бы проверял на соответствие программной и аппаратной начинки материнской платы заявленным требованиям. Данный набор тестов должен быть легко дополняем, запускаться без предварительной настройки окружения, и выдавать удобочитаемый отчет о результате проверки.

1 Обзор суперкомпьютеров “A-class”

“A-class” [3] является системой уровня стойки с высочайшей вычислительной плотностью, масштабируемостью, энергоэффективностью и надёжностью. Уникальное шасси объединяет в единый вычислительный ресурс два головных узла, 256 вычислительных узлов и 60 коммутаторов *InfiniBand* и *Ethernet*.

InfiniBand является коммутируемой последовательной шиной. Он применяется в основном для внутрисистемных соединений. Каждая линия связи представляет собой четырехпроводное двунаправленное соединение. Стандартные пропускные способности интерфейса *InfiniBand* приведены в таблице 1. Отличительной особенностью является возможность параллельной передачи данных по каждой линии с их последующим объединением на физическом уровне в один канал.

Таблица 1 – Стандартные пропускные способности интерфейса *InfiniBand*

Количество линий	Типы скоростей передачи данных				
	<i>SDR</i>	<i>DDR</i>	<i>QDR</i>	<i>FDR</i>	<i>EDR</i>
1	2 ГБ/с	4 ГБ/с	8 ГБ/с	13.64 ГБ/с	25 ГБ/с
4	8 ГБ/с	16 ГБ/с	32 ГБ/с	54.54 ГБ/с	100 ГБ/с
12	24 ГБ/с	48 ГБ/с	96 ГБ/с	163.64 ГБ/с	300 ГБ/с

Начальная пиковая производительность “A-class” составляет более 420 терафлопс на одну систему и масштабируется до 54 петафлопс за счет объединения 128 шасси. Производительность процессоров и ускорителей в системе “A-class” сбалансирована с доступной пропускной способностью интерфейсов *InfiniBand* на уровне 3,3 ГБ/с на Тфлопс.

Система обладает сбалансированной и производительной сетевой инфраструктурой, состоящей из двух сетей *Ethernet* и двух сетей *InfiniBand*. “A-class” позволяет реализовать различные топологии коммутации вычислительных узлов, для достижения эффективного взаимодействия десятков тысяч вычислительных узлов суперкомпьютера.

Управляющие, вычислительные и коммутационные модули “A-class” охлаждаются горячей водой с входной температурой до 45 градусов Цельсия и более 50 градусов на выходе из модулей. Электронные платы крепятся непосредственно на специальный радиатор, плотно прилегающий к компонентам плат для отвода выделяемого тепла.

В “A-class” реализованы как аппаратные, так и перспективные программные средства повышения отказоустойчивости суперкомпьютера. Два независимых модуля управления с выделенными сетевыми фабриками *Ethernet* поддерживают горячую замену, обеспечивая функции отказоустойчивого управления и мониторинга системы.

Независимые серверы управления “A-class” позволяют отслеживать состояние компонентов системы и управлять нагрузкой и конфигурациями установленного ПО.

2 Описание структуры материнской платы

На материнской плате находится *Baseboard Management Controller (BMC)*. Он занимается контролем работы вычислительного лезвия. По своей сути он является отдельным компьютером. На нем установлена своя операционная система, которая и должна реализовывать интерфейс *IPMI*. Ниже представлены основные функции *BMC*.

- 1) Настройка сети лезвия.
- 2) Управление питанием лезвия.
- 3) Наблюдение за показаниями различных сенсоров (например, температура центрального процессора, ток на видеокарте и т.д.).

- 4) Оповещение администратора лезвия в случае возникновения экстренной ситуации (например, посредством посылки *e-mail*).
- 5) Удаленный доступ к лезвию.
- 6) Получение журнала событий.
- 7) Обновление операционной системы лезвия.
- 8) Обновление встроенного программного обеспечения (например, *BIOS*).

На лезвии установлены интерфейсы для подключения центрального процессора, модулей оперативной памяти, видеокарты и других периферийных устройств.

3 Анализ программы

В качестве инструмента для тестирования был выбран язык *Python* [1]. Он обладает высокой гибкостью, а большое количество библиотек позволяет быстро и эффективно разрабатывать тестирующую систему. В качестве библиотеки для тестирования была выбрана библиотека *unittest* [2]. Она позволяет в изящной и понятной форме оформлять результаты тестов. Ниже представлены основные функции библиотеки *unittest*:

- 1) Автоматизация тестов.
- 2) Объединение тестов в коллекции.
- 3) Создание информативного отчета с результатами тестов.

Пример использования библиотеки *unittest* представлен на рисунке 1.

```
import unittest
class Test(unittest.TestCase):
    def test_run_once(self):
        @run_once
        def inc(n):
            return n + 1
        self.assertEqual(7 + 1, 8, 'Not equal')
if __name__ == "__main__":
    unittest.main()
```

Рисунок 1 – Пример использования библиотеки *unittest*

Заключение

Приемочной тестирование материнской платы для суперкомпьютера “*A-class*” долгий и ресурсоемкий процесс, однако он необходим. Задачи, которые могут быть решены на данном оборудовании имеют большую экономическую и научную ценность. В данный момент, с уверенностью можно сказать, что прошивка не готова к введению в эксплуатацию, т.к. часть требований из технического задания не были реализованы.

Литература

1. Python [HTML] (<https://www.python.org/>) (Дата просмотра 25.12.2014).
2. Harry J.W. Percival. Test-Driven Development with Python. CA.: O'Reilly Media, 2014 -478с.
3. Т-Платформы [HTML] (<http://www.t-platforms.ru/>) (Дата просмотра 25.12.2014).

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЛИТОГРАФИИ В БЫСТРОМ ПРОТОТИПИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В ЛАБОРАТОРИИ FABLAB

Евдокимов Г.М.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Гриднев В.Н.

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

THE USE OF PHOTOLITHOGRAPHY IN SOLVING THE PROBLEM OF RAPID PROTOTYPING IN FABLAB LABORATORY

Evdokimov G.E.

Supervisor: Ph.D. Gridnev V.N.

MSTU named after N.E. Bauman, IU4 department, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрено применение фотолитографии в решении задачи быстрого прототипирования в рамках лаборатории FabLab. Описан технологический процесс. Описаны технологические режимы.

Abstract

The use of photolithography in solving the problem of rapid prototyping in FabLab laboratory is examined. The technological process is described. The description of technological modes is given.

Введение

Цель данной работы – описание метода изготовления односторонних и двухсторонних печатных плат без металлизации переходных отверстий в рамках лаборатории FabLab кафедры ИУ4 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приоритетная задача, на которую ориентирована лаборатория – реализация этапов сквозного проектирования электронных модулей, мехатронных и роботизированных систем, систем комплексной автоматизации и т.д., на которых требуется изготовление функционирующих прототипов и стендов электрического и функционального контроля.

Первая сеть проектных лабораторий (FabLab) запущена в 1998 в Массачусетском технологическом университете [1], как лаборатория для создания единичных высокотехнологичных устройств в учебных целях. На сегодняшний день лаборатории FabLab функционируют по всему миру и ориентированы не только на студентов, но и на любых творческих людей. Сеть лабораторий поддерживает политику свободного использования современного оборудования для самостоятельного создания какого-либо устройства. Кроме современных 3D-принтеров и фрезерных станков, лаборатории FabLab'a оснащены рабочими местами для пайки устройств, измерительными приборами для их наладки и отладки, а так же имеют компонентную базу для прототипирования устройств любой сложности. Ключевым моментом реализации опытного образца устройства в железе можно считать сборку ячейки на печатной плате и ее наладку.

Технология печатных плат – одна из основ современного производства ЭА и её узлов [2]. В серийном производстве отлажены методы, которые позволяют производить печатные платы высокой точности с металлизированными переходными отверстиями, в том числе многослойные. Устройства, использующие передовые HDI платы, выпускаются миллионными тиражами (например, смартфон Samsung Galaxy Note произведён в количестве около 10млн экземпляров). Однако штучное изготовление даже самых простых печатных плат в заводских условиях является весьма дорогостоящим.

Существует целый ряд задач, требующих изготовления уникальных печатных плат, например:

- 1) Изготовление оснастки для тестирования электронных компонентов, узлов изготавливаемой ЭА, особенно при мелкосерийном и опытном производстве.
- 2) Макетирование и прототипирование ЭА и её узлов на различных этапах проектирования.

3) Изготовление плат в радиокружках, высших учебных заведениях в учебных, научно-исследовательских и других целях.

4) Изготовление штучной неответственной аппаратуры по частным заказам частным или непрофильным подрядчиком, не имеющим собственного производства ПП.

5) Изготовление узлов ЭА при ремонте в ситуациях, когда замена на штатные узлы заводского производства затруднена или невозможна.

В вышеперечисленных ситуациях решением могут стать различные технологии изготовления ПП, используемых в кустарных и лабораторных условиях. **Актуальность** работы состоит в широких возможностях применения описанной технологии для реализации задач быстрого прототипирования электронных средств.

1 Технологический цикл маскирования заготовки

1.1 Подготовка поверхности

Подготовка поверхности производится механически, при помощи чистящих средств. Цель подготовки поверхности – обезжиривание и придание шероховатости поверхности. Для применения в лаборатории FabLab подходят бытовые чистящие средства.

1.2 Накатка фоторезиста

Накатка фоторезиста – один из самых ответственных этапов технологического цикла, так как от качества накатки зависит качество маскирования, от которого, в свою очередь, зависит качество полученного проводящего рисунка [2]. Сухой плёночный фоторезист предназначен для накатки при помощи ламинаторов, что и происходит в серийном производстве. В лабораторных условиях высокое качество накатки авторами получено при помощи ламинатора FellowesMarsA4. Бытовые ламинаторы не имеют специальных приспособлений для натяжения фоторезиста и снятия защитной плёнки с одной из сторон. Предложенный в статье способ накатки позволяет обойти данные ограничения и выполнять при помощи бытовых ламинаторов качественную накатку фоторезиста.

Для накатки требуется лист бумаги формата А4, заготовка фоторезиста, вырезанная с запасом 30-40мм по направлению накатки, скотч бумажный малярный и заготовка фольгированного диэлектрика с подготовленной поверхностью. Схема процесса накатки показана на рисунках 1.1-1.2.

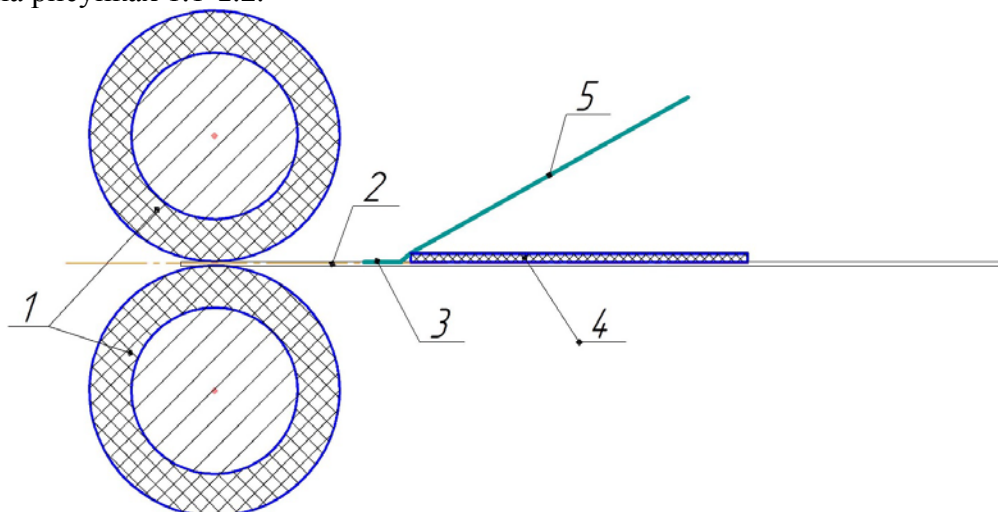


Рисунок 1.1 – Пакет, заправленный в ламинатор до начала накатки

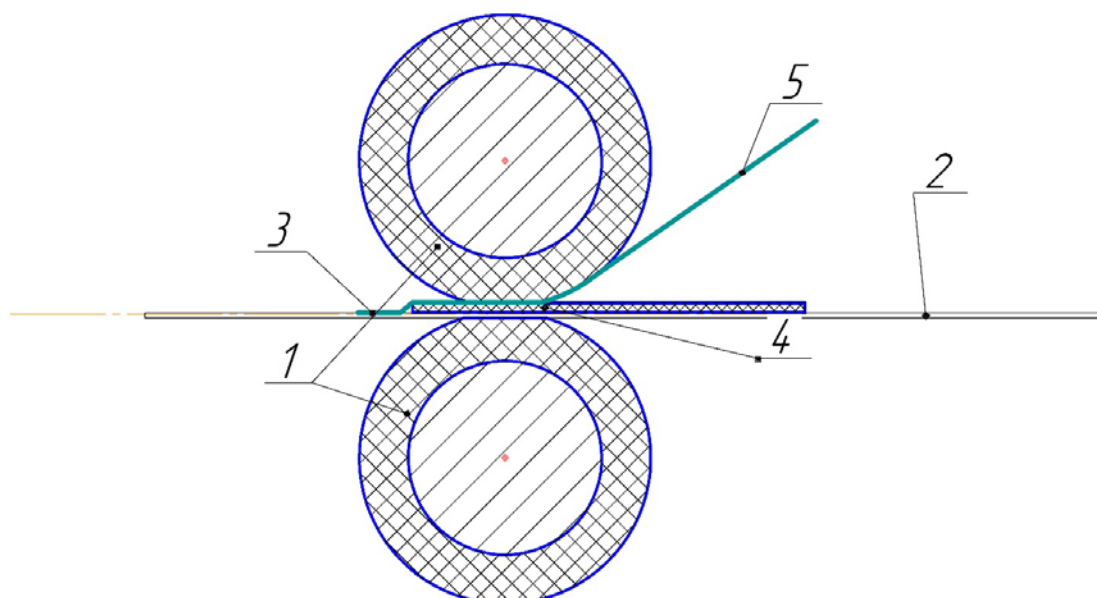


Рисунок 1.2 – Непосредственно процесс накатки

Рассмотрим схему установки на рисунке 3.2. Прогретые валы (1) вращаются: верхний по часовой стрелки, нижний против часовой стрелки с одинаковой угловой скоростью. Носитель (2) с закрепленной за ближний к валам край заготовкой СПФ (5) затягивается вращением валов. СПФ способен фиксироваться на бумаге, что используется для фиксации заготовки СПФ на носителе. Для надежного закрепления требуется приклеить к носителю примерно 40мм от заготовки СПФ в направлении прокатки. После того, как носитель затянут валами на 10-30мм, валы останавливают, натягивают заготовку СПФ как показано на схеме на рисунке 3.2, снимают с нижней стороны защитную плёнку (на схеме не указано), вкладывают заготовку фольгированного диэлектрика (4), как указано на схеме, подготовленной к накатке стороной вверх, после чего ламинатор вновь запускается. Заготовка при этом удерживается оператором или опорой (зависит от конструктивных особенностей используемого ламинатора) в горизонтальном положении. Протягивая носитель далее, валы ламинатора достигают заготовки фольгированного диэлектрика и начинается процесс накатки. Перейдем к рассмотрению схемы накатки на рисунке 3.3. Валы с усилием, равномерно по ширине заготовки фольгированного диэлектрика, прижимают заготовку СПФ к поверхности фольги и прогревают заготовку. После протягивания всей длины заготовки ПП носитель фиксируется на излишке заготовки СПФ. Для удаления носителя и излишков СПФ следует использовать острый нож, не допуская отсоединения верхней защитной плёнки.

1.3 Дубление

Дубление – термическая обработка фоторезиста с целью придания закреплённым участкам повышенной механической прочности и устойчивости к травильным и проявочным растворам. В заводских условиях дубление выполняют в печах при температуре 100-200С. Время дубления зависит от конкретных условий, таких как марка фоторезиста, используемая для дубления температура, неравномерность прогрева печи с заготовками и т.д. Подбор технологического режима выполняет технолог предприятия. В лабораторных условиях дубление можно проводить при помощи бытового утюга. Авторский коллектив в ходе отладки описанного технологического цикла установил, что температура подошвы утюга для используемого авторами СПФ должна составлять 90-120. Обычно данная температура соответствует режиму для глажки нейлоновых и капроновых изделий. Дубление проводится в течение 120 секунд на каждой стороне заготовки, где будет проводящий рисунок, через лист офисной бумаги.

1.4 Экспонирование

Экспонирование – процесс облучения покрытой фоторезистом заготовки через фотошаблон с целью переноса изображения на заготовку. Авторский коллектив использует негативный фоторезист.

Фотошаблон изготавливается путем печати негативного изображения проводящего рисунка будущей ПП на прозрачной полиэфирной плёнке производства компании «LOMOND TRADING Ltd.». Параметры, определяющие качество фотошаблона, т.е. светопропускание и толщина, зависят от настроек печати принтера, его качества, качества тонера, адгезии используемого тонера к используемой плёнке и других, менее значимых параметров.

1.5 Проявка

Проявка – процесс, при котором происходит снятие незакреплённых областей фоторезиста. В случае негативного фоторезиста происходит растворение незасвеченных областей. Таким образом, закреплённые засвеченные области образуют маску на поверхности заготовки, которую можно использовать в различных технологических операциях, таких как химическое и иное травление, гальваническое или иное наращивание и т.д., для защиты областей, в которых воздействие технологических сред не предусмотрено. Проявку используемого авторами СПФ выполняют в 1-2% растворе соды кальцинированной. В ходе отладки технологического процесса корреляции между концентрацией раствора проявителя и качеством получаемой маски не обнаружено. Существует корреляция концентрации раствора и времени экспонирования со скоростью проявки. В рамках поставленной задачи, по мнению авторов, оптимизация проявочного процесса не является актуальной задачей, так как проявка происходит в течение 1-3 минут и контролируется оператором визуально. В случае, если предыдущие технологические этапы (подготовка поверхности, накатка, экспонирование и дублирование) выполнены верно, закреплённый фоторезист остается устойчив к воздействию проявочного раствора в течение 4-6 часов, следовательно превышение времени проявки не критично.

1.6 Сверление отверстий

Сверление отверстий производится для получения конструктивных, неметаллизированных переходных и монтажных отверстий. Металлизация отверстий – технологически сложный процесс, который нерентабелен при решении задачи быстрого прототипирования. Электрическое соединение проводящего рисунка двух сторон ДПП производится путём припаивания проводников с двух сторон платы.

Заключение

Описанный в работе метод актуален для использования в инструментальных лабораториях при решении задач быстрого прототипирования изделий электронной техники. Метод применяется в лаборатории цифрового инструментального производства (FabLab) кафедры ИУ4 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Литература

1. Официальный сайт массачусетского технологического института, электронный ресурс. Режим доступа: <http://fab.cba.mit.edu/> - Проверено 16.02.2015
2. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. — 560 с.