

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



**ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА**

**2**

**Донецк – 2015**

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

**ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 2, – Донецк: ДонНТУ, 2015.**

Представлены материалы по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики и вычислительной техники.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

**Главный редактор:** Павлыш В.Н., д.т.н., проф.

**Зам. глав. ред.:** Андрияшин А.И., к.т.н., с.н.с.

**Ответственный секретарь:** Завадская Т.В., к.т.н., доц.

**Члены редакционной коллегии:** Аверин Г.В., д.т.н., проф. Аноприенко А.Я., к.т.н., проф.

Григорьев А.В., к.т.н., доц., Грунский И.С., к.т.н., проф., Зинченко Ю.Е., к.т.н., доц.

Звягинцева А.В., к.т.н., доц., Миненко А.С., д.т.н., проф., Скобцов Ю.А., д.т.н., проф.,

Шелепов В.Ю., д.т.н., проф., Карабчевский В.В., к.т.н., доц. Федяев О.И., к.т.н., доц.

Рекомендовано к печати ученым советом ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 9 от 18 декабря 2015 г.

Журнал зарегистрирован в Министерстве образования и науки ДНР № 307 от 06.08.2015

Контактный адрес редакции

ДонНТУ, ул. Артема, 58, Донецк, 83001

Тел.: +380 (62) 301-08-56. Эл.почта: infkybdonntu@gmail.com

Интернет: <http://infcyb.donntu.org>

© Донецкий национальный технический университет  
Министерство образования и науки ДНР, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Диагностирование цифровых схем: этапы развития и проблемы Андрюхин А.И. ....	3
Верификация Интернет-информации Анохина И.Ю. ....	15
Исследование влияния методов выравнивания яркости в задачах выделения геометрических примитивов на фотоизображении Бочаров Д.М., Сорокин. Р.А. ....	22
Анализ особенностей методов цифровой стеганографии для защиты информации, передаваемой по открытым каналам Губенко Н.Е., Сипаков Д.С. ....	28
Исследование сетевого трафика с помощью функции Херста Едемская Е.Н., Бельков Д.В. ....	39
Выбор и настройка параметров модели классификации спортсменов для формирования оптимальных по составу велокоманд Землянская С.Ю., Крайний Д.С. ....	47
Сравнительный анализ методов оценки качества покрытия, нанесенного вакуумно-дуговым методом Иванова И. И., Землянская С. Ю. ....	53
Объемное моделирование при решении задач в курсе «Компьютерная графика» Карабчевский В.В. ....	59
Реалистичная визуализация атмосферных осадков в приложениях реального времени Карабчевский В.В., Лунтовская А.А. ....	64
Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия Матях И. В., Савкова Е.О. ....	71
Разработка симуляторов транспортных средств с использованием операционной системы Android Мальчева Р.В., Кривошеев С.В., Завадская Т.В. ....	76
Алгоритм разделения челюстей при распознавании панорамных стоматологических изображений Привалов М. В., Сабо З., Базько. А. ....	82
Применение роботизированной системы на основе "Lego NXT" для автоматизации составления электронного каталога горно-геологического музея ДонНТУ Москалюк Т.Г., Харитонов А.Ю. ....	88
DSS-система распределения работ при запуске торговых точек Светличная В.А., Ченгарь О.В., Зуй К.Б. ....	93
Создание электронных книг Павлыш В.Н., Анохина И.Ю., Рощина Е.В. ....	98
Content. ....	103

УДК 004.942+338.2

## Диагностирование цифровых схем: этапы развития и проблемы

Андрюхин А.И.

Донецкий национальный технический университет  
alexandruckin@rambler.ru

*Андрюхин А.И. Диагностирование цифровых схем: этапы развития и проблемы. В статье представлены основные этапы развития и проблемы тестового диагноза цифровых схем. Основная модель в диагностике биполярных схем рассматривается. Ее свойства и недостатки описаны для диагностике современных МОП СБИС. Основные проблемы тестирования МОП структур рассмотрены. Обзор работ при проектировании тестопригодных схем представлен. Подчеркнута важность правильной оценки осцилляций при моделировании неисправных устройств. Результаты моделирования на переключательном уровне МОП-структур также представлены. Основные направления построения транзисторов нового поколения рассмотрены.*

**Ключевые слова:** тест, диагностика, КМОП, тестопригодная, IDDQ.

### Введение

Тестовое диагностирование цифровых схем зависит от технологии их изготовления и можно выделить два традиционных направления и одно формирующееся направления. Последнее разбивается на множество предлагаемых и исследуемых путей построения диагностируемого базового транзистора, которыми для традиционных технологий являются биполярный и полевой транзисторы с их многочисленными модификациями.

### **Биполярный транзистор и модель ОКН-одиночных константных неисправностей**

Так как физические дефекты биполярного транзистора хорошо укладывались в теорию ОКН, то использование логической модели в роли базовой для биполярных структур для целей диагностирования было неофициальным стандартом [1-5]. В настоящее время только небольшая часть исследований используют доминировавшую многие годы модель ОКН в чистом виде, так как главенствующий ныне физический метод проверки современных СБИС (реализация по КМОП и МОП технологиям) IDDQ и его модификации в 1990-2000 годах революционизировал проверку СБИС []. Он выполняет оценку силы тока в исправной и дефектной схемах на небольшом количестве входных наборов (пару десятков), которые должны просто поменять значения на линии схемы хотя бы один раз. Эти наборы позволяют обнаружить не только класс одиночных

константных неисправностей (ОКН), но и массу других.

Тем самым старая задача построения тестов для класса одиночных константных неисправностей, которые мы обнаруживаем измерением по напряжению, теряет свою приоритетность для современных СБИС. Она была важна для ТТЛ-технологии. Для современных СБИС (МОП, КМОП-реализация) это не так и контрольные тесты, построенные по модели ОКН плохо обнаруживают дефекты современных СБИС.

Сама модель ОКН совершенно непригодна для построения диагностических тестов для современных МОП СБИС.

Самый простой и известный пример-дефект «обрыв затвора транзистора» превращает комбинационный вентиль И-НЕ в последовательностную схему.

Сейчас основным дефектом современных СБИС является утечка тока, которую нельзя определить, используя только измерения по напряжению и естественно модель ОКН невозможно применять в чистом виде.

Использование для целей тестирования современных СБИС их представление на логическом уровне и моделирование на вентильном уровне является неадекватным и архаичным.

Эти методы и средства, которые характерны для ТТЛ-технологии и используют измерение только напряжения, являются старыми моделями, отражающими взгляды 25-30 летней давности.

Этого недостаточно для современных МОП СБИС и в настоящее время в современных стандартах описания цифровых устройств (например, VerilogHDL IEEE P1364.1 почти 15 летней давности) используют помимо напряжения и атрибут Strength (сила тока). Тем

самым необходимо моделировать современные МОП-СБИС и их неисправности на переключательном уровне.

**МОП и КМОП технологии**

Выше было указано, что для построения тестов для современных КМОП и n-МОП СБИС использование моделей только вентиляного уровня и использование логического моделирования (измерения напряжения) является недостаточным[1-6].

Например, известные дефекты “обрыв затвора” или “обрыв транзистора” можно пытаться обнаружить временными тестами, что и выполняется на практике. Они часто демонстрируют (в зависимости от различных условий) только ухудшение временных характеристик работы устройства.

Рассматривая неисправности SOP для КМОП-вентиль ИЛИ-НЕ на рис.1 и таблицу 1 обнаружения неисправностей, можно сказать, что эти дефекты меняют структуру самого комбинационного вентиля, так как согласно таблице они определяют динамическое поведение последовательностного устройства в определенных частотных диапазонах.

Значения выходов вентиля при определенных частотах можно определить в терминах логического нуля и единицы по напряжению.

Некоторые из неисправностей (SON) можно обнаружить только с помощью физического метода IDDQ (измерение тока в установившемся режиме), что и отражено в таблице 1 для вентиля на рис.1..

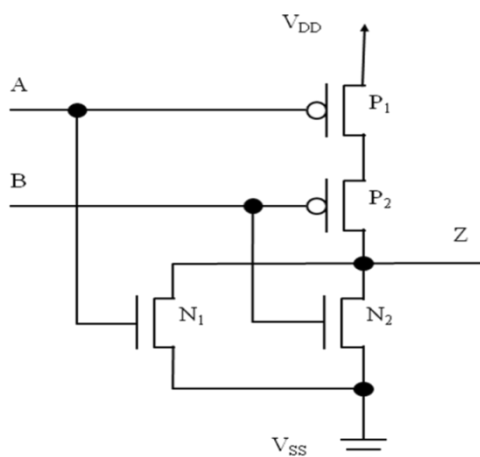


Рисунок –1.КМОП-вентиль ИЛИ-НЕ.

Большинство реальных Open-дефектов не представляются наиболее популярной моделью залипания SOP и вообще трудны для исследования. Так существующие модели

игнорируют эффекты опасных состязаний и обмена емкостями.

Многие физические дефекты современных СБИС при определенных частотных диапазонах их функционирования имеют поведение, которое можно описывать моделью неисправности временная задержка пути.

Таблица 1.Обнаружение неисправностей.

Входы АВ	00	01	10	11
Выход Z	1	0	0	0
SOP N1	1	0	Z(t-1)	0
SON N1	IDDQ	0	0	0
SOP N2	1	Z(t-1)	0	0
SON N2	IDDQ	0	0	0
SOP P1	Z(t-1)	0	0	0
SON P1	1	0	IDDQ	0
SOP P2	Z(t-1)	0	0	0
SON P2	1	IDDQ	0	0

Примером этого являются внешние обрывы, которые могут вызвать колебания или последовательное поведение схемы вследствие образования обратной емкостной связи. Их проявление зависит от многих факторов.

Так известно, что при пониженном уровне напряжения или уменьшении частоты они имеют различные уровни обнаружения[.]

Если мы рассматриваем схему с 1,2,3 и более SOP-неисправностями, которые в определенном частотном диапазоне проявляются как временная задержка, то это эквивалентно тому что мы имеем последовательностное устройство с 1, 2, 3 и более единицами памяти. Ясно, что построение теста и проверка такого устройства, а также сама организация подачи входных тестовых воздействий (их число и частота подачи) зависят от количества SOP-неисправностей чрезвычайно затруднительны.

**Проблема осцилляций при моделировании неисправных схем**

Моделирование неисправностей является одним из основных инструментов построения контрольных (проверочных) и диагностических тестов для цифровых систем. Известно, что при моделировании дискретных устройств возможна осцилляция значений сигналов на линиях устройства, т.е. схема не переходит в устойчивое состояние. При построении тестов такие неисправности считаются обнаруженными условно. Это является серьезной проблемой при моделировании СБИС. Необходимо при построении тестов обеспечить отсутствие состязаний как для исправного устройства, так и

для его неисправных модификаций, которые определяются рассматриваемым классом неисправностей [7]. Известно, что для различных итерационных алгоритмов теоретический максимум числа итераций для обнаружения осцилляций на вентильном или переключательном уровнях моделирования является линейной функцией числа базовых элементов [8]. На практике ограничивают число итераций при моделировании на основе анализа структуры схемы, учета характеристик обратных связей и т.п. При достижении предельного числа итераций обычно обрывают процесс моделирования присвоением неопределенного значения  $X$  осциллирующим линиям моделируемой схемы. Эти действия могут приводить к ошибочным результатам при неправильном определении предельного числа итераций. Состязания элементов памяти приводят к тому, что автомат при изменении состояния не сразу оказывается в том состоянии, которое запланировано требованиями проекта, а переходит в него через несколько непредусмотренных транзитных состояний. Если в результате такого перехода, независимо от соотношений задержек элементов памяти, автомат достигает того состояния, в которое он должен перейти, то такие состязания считаются некритическими. Если же существует хотя бы одна комбинация значений задержек элементов памяти, при которой автомат не достигает требуемого состояния, то такие состязания являются существенными или критическими.

Согласно [9] существование существенных состязаний можно определить по таблице переходов на уровне абстрактного автомата. Рассмотрим соседнее изменение входов  $X_K \rightarrow X_L$  на рис. 1.

	$X_K$	$X_L$
$S_I$	$S_I$	$S_J$
$S_J$	$S_M$	$S_J$
$S_M$	$S_M$	$S_P$

Рисунок –2.Фрагмент таблицы переходов.

Автомат должен перейти в устойчивое состояние  $S_J$ . Однако структурная реализация может привести к тому, что новое состояние  $S_J$  воспринимается частью схемы при старых входных воздействиях  $X_K$ . Поэтому возможен переход схемы в состояние  $S_J$ . Полностью завершившийся переход  $X_K \rightarrow X_L$  может

привести к переходу всей схемы из состояния  $S_M$  в состояние  $S_P$ .

Некритические состязания могут существенно изменять время, затрачиваемое автоматом на переход в нужное состояние, поскольку автомат может совершать различное число транзитных переходов в зависимости от соотношения между задержками. Считаем, что при проектировании учитывается условие поглощения  $\sigma(S,X) = \sigma(\sigma(S,X),X)$ [10].

Необходимо отметить важность практической задачи определения предельного числа итераций для осциллирующих схем при моделировании ОКН на вентильном уровне. Известно, что исправные проекты ЦУ должны удовлетворять условию поглощения, но внесение неисправностей при моделировании нарушает это требование, что может привести к осцилляции значений на линиях или узлах устройства. Если СБИС содержит счетчики, то определение максимального числа итераций и прекращение моделирования представляет собой нетривиальную задачу и неправильное ее решение естественно даст недостоверные результаты.

К тому же это существенно замедляет параллельное моделирование неисправностей.

Этот вопрос важен при моделировании и на переключательном уровне.

Вышеизложенное указывает, что использование нейронных самообучающихся сетей, ГА (генетических алгоритмов), GPS (всеобщий решатель проблем), которые основываются на логической модели СБИС для задачи построения тестов для них, вызывает сомнения в адекватности полученных результатов для реальных СБИС.

### **Анализ методов тестопригодного проектирования МОП схем**

Необходимость построения тестопригодных устройств была давно осознана проектировщиками и интересны попытки их реализации в господствующей сейчас КМОП-технологии. Анализ причин дефектов схем, выполненных по МОП-технологии, показывает, что большая их часть может моделироваться неисправностями типа "устойчивый обрыв транзистора" ( $SOP$ ) и "устойчивое замыкание транзистора" ( $SON$ ). Первые переводят схему из класса комбинационных в класс последовательностных, вторые обуславливают выходные неустойчивые сигналы. Рассмотрим пионерские решения предлагаемые в [11-12] для обнаружения этих неисправностей..

Обнаружение  $SOP$ -неисправностей в КМОП-вентильях требует двухнаборного теста. Первый набор прилагается для сброса или

образования емкости на выходе вентиля. С помощью второго набора мы пытаемся изменить выходное значение вентиля. Этот двухнаборный тест должен быть робастным, т.е. временные задержки в схеме не должны влиять на результаты его действия. Для полностью КМОП-вентиля (FCMOS) значение его выхода равно 1, если значения его входов равны 0 и наоборот.

Основные моменты тестирования SOP-неисправностей рассмотрим на примере на рис.3 для транзистора P2.

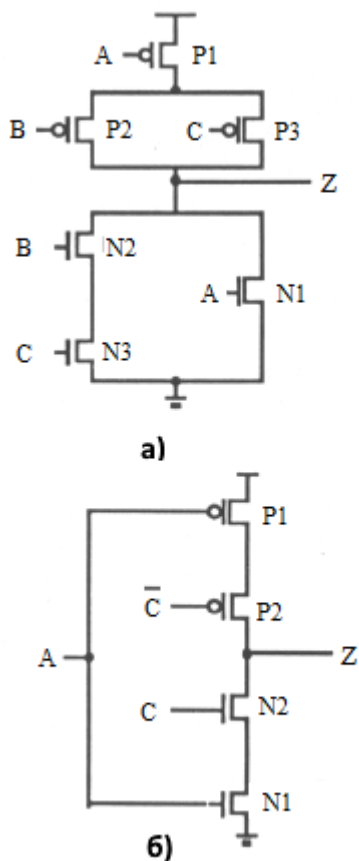


Рисунок –3. а) пример FCMOS-вентиля  
б) пример MOS-вентиля.

Первый набор T1(100) мы прилагаем для разгрузки его выхода, т.е. установки выхода Z в 0. Второй набор T2(001) пытается изменить значение Z через P2. Этот набор T2 является единственным, но существует множество наборов для первого теста. Если мы используем эти наборы, то реакция схемы будет неоднозначной ввиду индивидуальных различий задержек для каждого экземпляра ее. Для обеспечения робастности теста мы должны применять тест T1(011) и T2(001), при воздействии которых мы будем только один переход на входах вентиля

Однако неробастный тест может быть в реальности робастным, что иллюстрирует пример на рис.4 из [11].

Таблица 2.Робастный тест для схемы на рис.4.

	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'	Z	Z*
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
T2	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

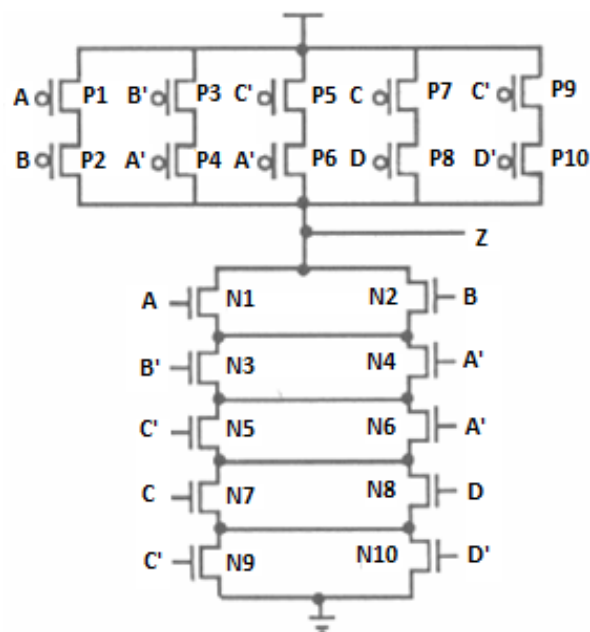


Рисунок –4.Проверяемая схема со многими временными переходами .

На рис.5 представлена тестопригодная схема, в которой каждому FCMOS-вентилю соответствует инвертирующий буфер и выход последнего управляет другим FCMOS-вентилем. Если все первичные входные полюса установим в 0(1), тогда все входы FCMOS-вентилей установятся в 0(1) соответственно. Следовательно, в этой схеме легко строить упрощенный двухнаборный тест для любого FCMOS-вентиля.

Развивая этот подход, мы приходим к структуре вентиля, для которого любая SON-неисправность для р-части и n-части обнаружима.

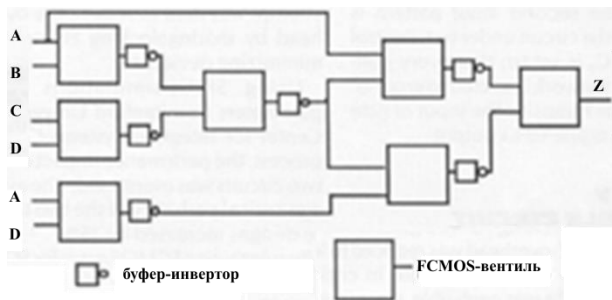


Рисунок –5.Тестопригодная схема.

На рис.6 мы имеем тестопригодный для SON-неисправностей SOFT-вентиль. Его получаем из FCMOS-вентиль добавлением двух полевых блокирующих транзисторов и входных управляющих линий.

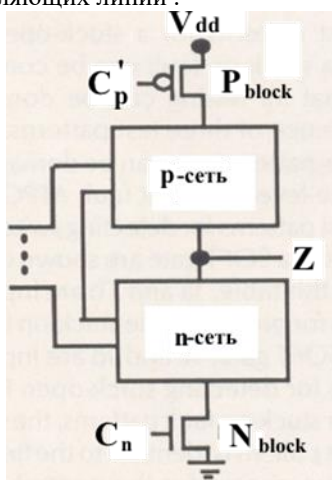


Рисунок –6. SOFT-вентиль

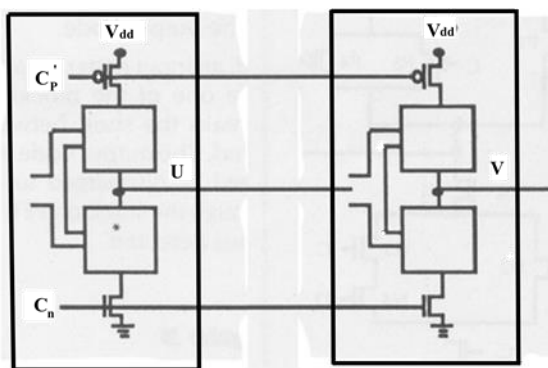


Рисунок –7..Каскад SOFT-вентилей,\*- обнаруживаемая SON-неисправность.

Аналогичные подходы представлены на рис.8-10.

Было показано, что в вентиле входные наборы теста для SOP-неисправности p(p)-подсети будут обнаруживать SON-неисправности в соответствующей p(n)-подсети, если последняя обнаружима

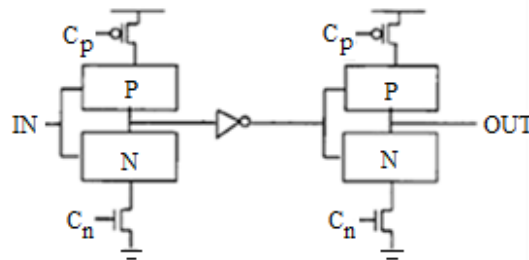


Рисунок –8. Тестопригодный FCMOS-вентиль из[ 12,13].

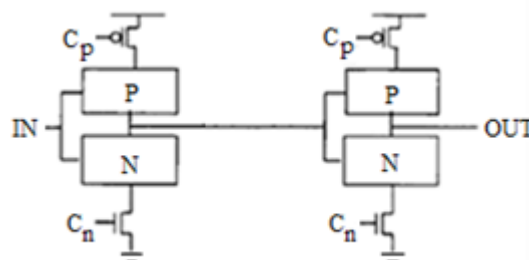


Рисунок –9. Тестопригодный FCMOS-вентиль из[12,14].

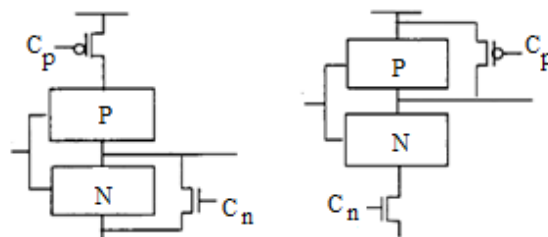


Рисунок –10. Тестопригодный FCMOS-вентиль из[12,15].

В SOFT-вентиле каждая SOP-неисправность и соответствующая ей SON-неисправность обнаруживаются трехнаборным тестом, в котором первый тестовый набор T1 инициализирует SOFT-вентиль, T2 обнаруживает SOP-неисправность и T3 обнаруживает SON-неисправность.

Пример трехнаборного теста представлен в таб.3.

Таблица 3.Трехнаборный тест для SON, SOP-неисправностей для схемы на рис 11.

p-сеть n-сеть	SOP SON	SON SOP
	$C_p \ C_n \ 1 \ Z \ Z^*$	$C_p \ C_n \ 1 \ Z \ Z^*$
T1	0 1 все-1 0 0	0 1 все-0 1 1
T2	0 1 TA 1 0*	0 1 TB 1 0*
T3	1 1 TA 1 0	0 0 TB 0 1



**Переключательный анализ МОП-структур**

Цифровые устройства, создаваемые по МОП и КМОП технологиям, имеют особенности своего функционирования, которые трудно моделировать при их представлении моделями вентильного уровня.

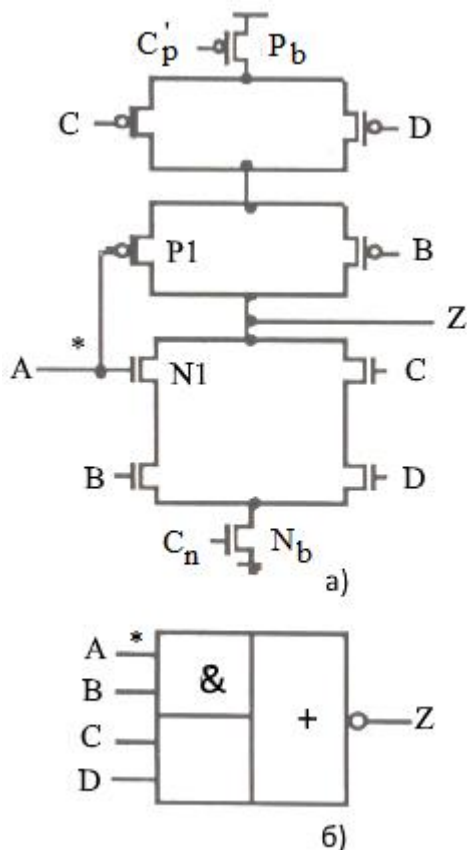


Рисунок –11. а) схема с SON(SOP)-обнаружимыми неисправностями; б) вентильный эквивалент.

Если с двунаправленностью сигналов при моделировании исправных устройств можно достаточно легко справиться, то моделирование неисправностей ясно показывает недостаточность традиционного вентильного подхода [2-6]. В [6] определены шесть недостатков классической теории переключательных схем в применении ее к анализу современных СБИС на МОП-структурах. С другой стороны программы аналогового моделирования, как SPICE, Мисгосар, способные моделировать все типы МОП-схем на электрическом уровне, требуют большого объема вычислений уже для интегральных микросхем средней степени интеграции. Учитывают специфику работы МОП-структур моделированием на переключательном уровне [2,4-6].

Большинство известных систем моделирования на переключательном уровне имеют в своем теоретическом фундаменте различные модификации двух основных направлений: теоретико-графового подхода [20] и теории решеток [21]. Они представляют в различной форме основные принципы простого переключательного анализа МОП-структур, отражающие их особые резистивно-емкостные свойства[2,22].

Сигнал  $S$  на линии МОП-схемы в переключательном анализе имеет вид  $S=(H,G)$ , где  $H(G)$ -значение логической силы (состояния) соответственно. Особое место занимает сигнал  $Z=(Z_H, Z_G)$ , понимаемый как отключение узла.

Представим классический пример учета превращения комбинационной схемы вентиля И-НЕ при неисправности “обрыв транзистора  $T2$ ” в последовательностную схему [2,4]. Соответствующие схемы представлены на рис 12. Описание вентиля на переключательном уровне приводится в таблице 3. Укажем для понимания данных таблицы что, структуру МОП-схемы определяют массивы  $Q1, Q2, Q3, T$ , которые описывают для каждого транзистора его сток, затвор, исток и тип соответственно.

Моделирование исправной схемы на наборах  $(D1 D1 D0)$  и  $(D1 D0 D0)$  дает результаты  $(D0 D1 D1 D1 D0 D0)$  и  $(D0 D1 D1 D0 D1 D1)$ . Для неисправной схемы имеем на втором наборе входных сигналов, что значения узлов 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, определяемые значениями вектора  $X=(D0, D1, D1, D0, D0, C0, C0, D1)$ , отличаются от значений исправной схемы в узле 6 (номер 7 в неисправной)  $(D0 D1 D1 D0 D1 D1)$ . Здесь мы видим, что значение 0 с силой  $C$  не равно значению  $D1$  в исправной схеме. Таким образом, при быстром измерении значения напряжения в этом узле мы будем определять эту неисправность.

Таблица 3.Переключательное описание схем на рис 12.

Имя структуры	Исправная схема	Схема с неисправностью
$Q1$	1 2 3 4 5 6 6 6	1 2 3 4 5 6 6 7 7 8 8
$Q2$	2 2 2 2 4 3 3 3 4	2 2 2 2 2 4 3 3 3 5 4
$Q3$	1 2 3 4 1 6 5 2 2	1 2 3 4 5 1 7 6 2 8 7 2
$T1$	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
$T2$	1 1 1 1 1 1 1 0 0	1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0

Более полный разбор этого примера и основные моменты реализации переключательного анализа изложены в [2, 22].

**Физический метод *IDDQ***

Первый и самый популярный токовый *IDDQ* -метод тестирования основан на измерении тока покоя (*IDDQ* - direct drain quiescent current)[16-19].

В стационарном состоянии, когда все переключения произошли, в КМОП схемах в идеале не наблюдается потребление тока, так как токи утечки является незначительным. Наличие некоторого класса дефектов обуславливает образование пути проводимости от источника питания к земле, создавая повышенный ток, сила которого на порядки выше, чем бездефектный ток утечки в исправной схеме.

Идея мониторинга мощности тока потребления (*IDDQ*) заключается в сравнении измеряемого тока с пороговым значением, что иллюстрирует рисунки 12-14.

Диагностические измерения должны быть оптимизированы для класса дефекта, который мы проверяем, т.е. необходимо создавать условия, при которых определение дефектов является более эффективным.

В случае ВФ (мостиковые неисправности) были разработаны различные методы для улучшения их обнаружимости. Одним из наиболее распространенных методов является снижение напряжения питания ниже нормального.

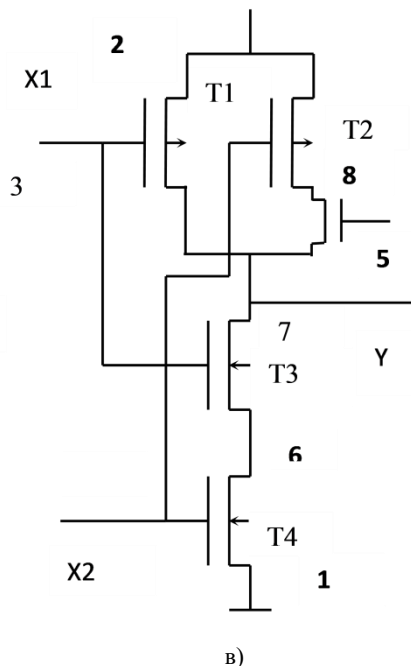
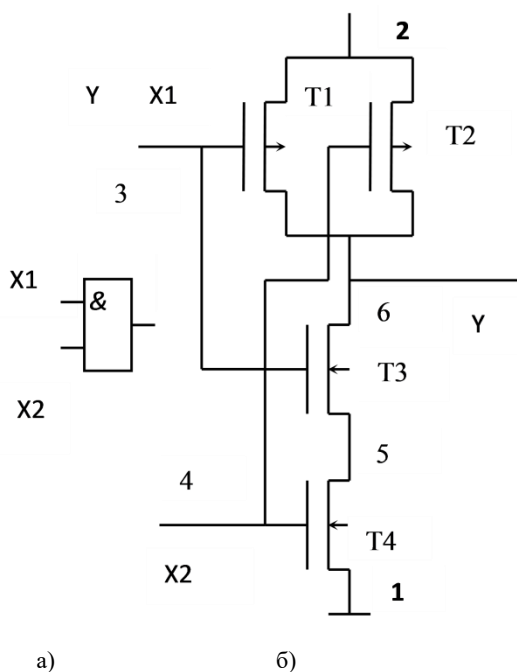


Рисунок –12а.Вентиль И-НЕ; б) ПКМОП-.вентиль И-НЕ : в) неисправный ПКМОП-вентиль И-НЕ..

Эта методика была продемонстрирована для выявления дефектов, которые не обнаруживаются с помощью другие методик испытаний. Различные работы сообщают об эффективности снижения питания в логике испытаний при обнаружении ВФ. Известен факт, что низкое напряжение при тестировании подходит для обнаружения резистивных мостов, так как критическое сопротивление (самый высокий сопротивление ВФ, которое может быть обнаружено испытаниями) растет, в то время как  $V_{DD}$  уменьшается.

Предлагалась иная концепция работы со снижением напряжения  $V_{DDMIN}$ . Этот методика состоит в снижении значения  $V_{DD}$  до получения минимального  $V_{DD}$ , при котором устройство все еще функционирует исправно, на одинаковой тактовой частоте. Было показано, что некоторые дефектные устройства имеют более высокий уровень  $V_{DDMIN}$ , нежели бездефектные. В общем, снижение стоимости питания легко осуществить, так как оно не требует какого-либо дополнительного оборудования или производительности. Дефекты, представленные ВФ, могут привести к промежуточным значениям напряжения. Это поведение нельзя наблюдать с помощью методов измерения напряжения, так как эти промежуточные напряжения далее восстанавливаются в нормальных границах последующими вентилями. Однако техника токовых измерений доказала свою эффективность в таких случаях.

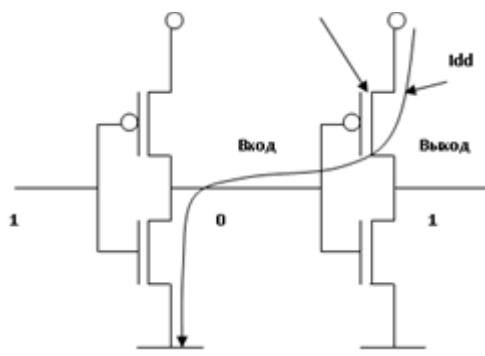


Рисунок –13. Путь тока при наличии неисправности

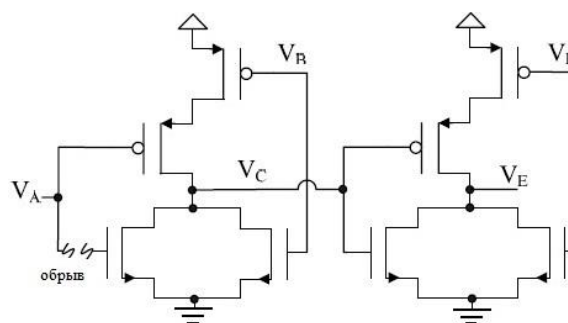


Рисунок –15. Плавающий затвор в элементе НЕ-ИЛИ.



Рисунок –14. Ток в исправной и неисправной схемах.

Как и в случае с BF, различные методы были использованы для улучшения наблюдаемости Open-дефектов. После идеи изменения значения питания, различные авторы предлагали множество методик обнаружения дефектов при различных напряжениях питания. Было обнаружена эффективность повышения номинального питания для обнаружения определенных дефектов окисла.

Практика показала, что IDDQ тестирование является менее эффективным для открытых дефектов, нежели чем для дефектов, описываемых BF, и чрезвычайно зависит от используемых базисных примитивов и топологии самой схемы. Некоторые дефектные устройства демонстрируют временную зависимость при использовании метода IDDQ в течении секунд! Так на схеме на рис.15 мы имеем элемент НЕ-ИЛИ с плавающим затвором на nMOP транзисторе. Если установлено на  $V_A(V_B)$  лог.1 (лог.0) соответственно, то узел  $V_C$  будет находиться в высокоимпедансном состоянии.

В данном случае, устойчивое состояние напряжения в основном определяется балансом между различными вход-выходными токами компонентов узла (подложка, затворов, токов утечки обратного смещения pn перехода). Эти токи очень малы и время достижения конечного состояния может занять несколько секунд.

Температура может также повлиять на поведение SOP-неисправностей и они могут быть обнаружены при температуре отличной от номинальной. Так понижение температуры способствует улучшения обнаружения дефектов.

Изменение значения питания полезно для обнаружения неисправностей задержки. В самом деле, воздействия некоторой задержкой неисправности увеличивается при низких значениях питания, так что задержки неисправностей, не наблюдаемые при номинальных условиях, становятся наблюдаемыми при более низких напряжениях питания. Другой метод, который улучшает наблюдаемость временных дефектов, состоит в уменьшении частоты испытаний в сравнении с номинальной.

Наконец, с непрерывным сокращением размеров в нанотехнологиях, параметры соединений в пути становятся более важными, нежели задержки на элементах. Этот факт еще больше затрудняет определение различия между исправными устройствами и устройствами, имеющими ненормированные задержки. Чтобы избежать этой проблемы, некоторые подходы включают статистические методы в тестировании задержек.

Если текущее значение выше, чем пороговый предел, устройство считается неисправным. Методика IDDQ тестирования была апробирована во многих работах за последние двадцать лет с различными дефектами. Эффективность тестирования с помощью IDDQ проявилась при обнаружении различных дефектов, таких как замыкания между вентилями, замыкания подзатворного окисла и замыкания между затворами и др..

Однако, с уменьшением размера базисных примитивов в новых современных интегральных технологиях, появились проблемы связанные с применением IDDQ. Теоретические основы IDDQ основаны на оценке тока утечки в бездефектной схеме, а затем установке предельного порога, выше которого схема считается дефектной. Из-за статистических вариаций распределение текущего потребления устройства является гауссовым. Таким образом, порог ограничения гораздо выше, чем среднее. Считая для дефектных устройства распределение потребления также гауссовым, если их параметры распределений достаточно далеки друг от друга, легко определить различие между исправными и дефектными устройствами. Однако, ток утечки увеличивается экспоненциальной для каждой новой технологии, как показано на рис.16. Таким образом, он становится сравнимым или даже выше, чем дефект тока.

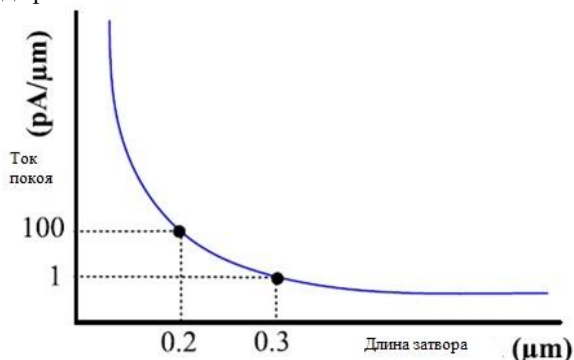


Рисунок -16. Эволюция утечки тока.

Поэтому текущее среднее значение распределения тока в бездефектных устройствах увеличивается и становится ближе к среднему в дефектных устройств.

Поэтому, становится все труднее определить, обуславливаются ли отклонения измеренного тока в методе IDDQ током утечки в исправных устройствах или дефектом в неисправных.

Были предложены некоторые решения для преодоления проблемы утечки тока, а именно: снижение температуры испытаний, контроля напряжения специальными способами, разбиения устройства на части и использования нескольких источников питания, несколько порогов транзисторов и т.п.

Разработаны также методы, основанные на пост-обработке данных IDDQ для расширения его эффективности. Одним из таких методов является дельта IDDQ метод. Этот метод концептуально же прост, как IDDQ метод, но вместо наблюдения абсолютного значения тока питания, в нем рассматриваются разности тока

питания между последовательными векторами испытания. На основании различия формируется вероятностный вывод об исправности или дефектности схемы.

Другой известной модификацией IDDQ метода, позволяющей избежать его проблем применения в современных условиях, является методика сигнатур тока, однако ее применение требует специализированного оборудования при низких температурах.

Большая часть реальных дефектов определяет неправильную работу устройств на рабочей частоте, но при этом устройство успешно функционирует должным образом на более низких частотах.

Таким образом, модель физического дефекта, когда линия как бы связана с узлом питания ( $V_{DD}$ ) или земли ( $V_{GND}$ ), как показано на рис.17, называется константной неисправностью 1 (SA1), или неисправностью залипания 0 (SA0). Хотя использование модели SA ранее давало хорошие результаты, сейчас она не может адекватно представлять поведение физических дефектов.

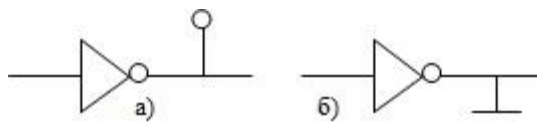


Рисунок –17. Константные неисправности

Реальные дефекты КМОП являются гораздо более сложными. Во всяком случае, хотя она и неточна для технологии CMOS, модель SA имеет такие преимущества: она вычислительно эффективна, может представлять различные физические дефектов и она может быть использована для модели другого типа неисправности.

### «Византийское» поведение неисправностей современных СБИС

С момента своего появления около 30 лет назад, ВГР (проблема византийских генералов) была основной для исследования многочисленных научных публикаций, связанных с отказоустойчивыми вычислительными системами [2,23]. Были предложены различные решения в области отказоустойчивых алгоритмов и архитектур для разного рода предположений и модификаций этой проблемы. Тем не менее, многочисленные решения этих модифицированных задач еще недостаточны для специалистов, которые проектируют, реализуют и поддерживают системы с высокой степенью надежности[2,23]. Мы рассматриваем здесь ВГР с целью

подчеркнуть ее важность для диагностирования и моделирования современных КМОП-структур с необходимой точностью. Дадим краткие определения византийской неисправности и византийского отказа (сбоя) системы. Будем понимать под византийской неисправностью такую неисправность, которая имеет различные симптомы для различных систем-наблюдателей. Тогда потерю системой своей работоспособности вследствие византийской неисправности будем считать византийским сбоем или отказом [23-24].

Византийские проблемы не являются мифическими. Византийские неисправности в отказоустойчивых системах реального времени происходят с частотой отказов намного чаще, нежели их оценка вероятностью  $10^{-9}$  отказов в час [2-26]. Сам характер византийских неисправностей не позволяет их локализовать с помощью существующих традиционных архитектурных решений. Последние только способствуют их распространению. Для иллюстрации этих утверждений можно рассмотреть некоторые аспекты многозначного моделирования дискретных устройств на переключательном уровне.

Так, типичным примером византийского поведения является цифровой сигнал, который имеет неопределенное значение X, т.е. где-то между логическим "0" и логической "1" напряжения.

Подобное поведение для неисправности обычно наблюдается в КМОП схемах для ВФ неисправностей или для наиболее распространенного типа неисправностей "open" (SOP) [27-28]. Аналогичное поведение можно наблюдать у триггера в метастабильном состоянии, когда значения его выходов быстро осциллируют между "0" и "1" достаточно долго, прежде чем произойдет установка последних в предусмотренные логические уровни [29-30]. На самом деле, если мы застряли на значении X, то в дальнейшем это редко приводит к постоянным сигналам.

### **Современные направления реализации цифровой аппаратуры**

Здесь мы лишь коснемся большой области построения транзисторов и их диагностики с использованием современных физических направлений, так как обзор ее требует отдельного рассмотрения. Основными направлениями являются:

- 1) Транзисторы управляемые одним электроном (SET- Single-electron transistors).
- 2) Квантовые клеточные автоматы (QCA-quantum cellular automata), базирующиеся на основе квантовой точки (Quantum dot).

- 3) Туннелированный диод (RTD-)Resonant tunneling diode
- 4) Устройства на быстрой одноквантовой логике (Rapid single-flux quantum (RSFQ) device)
- 5) Транзистор на основе карбоновых трубок (Carbon nanotube FET)
- 6) ДНК-вычисления (DNA computing)

Перспективы развития создания транзисторов на базе этих направлений и трудности и недостатки каждого пути представлены в [31]

### **Заключение**

В статье представлены основные этапы развития и проблемы тестового диагноза цифровых схем. Представлена основная модель ОКН в диагностике биполярных схем и ее свойства и недостатки в диагностике современных МОП СБИС.

Рассмотрены основные проблемы тестирования МОП структур рассмотрены.

Представлены основные моменты при проектировании тестопригодных КМОП- схем.

Подчеркнута важность правильной оценки осцилляций при моделировании неисправных устройств.

Представлены результаты моделирования на переключательном уровне конкретной МОП-структуры.

Также в данной работе рассматривается неустойчивые сбои, как один из аспектов глобальной задачи диагностирования современных МОП и КМОП структур. Постоянное развитие интегральных технологий вызывает необходимость разработки новых моделей, которые могут покрыть часть или все реальные эффекты новых классов дефектов, в частности неустойчивые сбои.

Рассмотрена известная проблема BGP и ее значение для диагностирования МОП-структур на современном этапе. Конкретным примером BGP является византийское поведение ВФ-неисправностей и SOP-неисправностей.

Многочисленные решения этих модификаций BGP еще недостаточны для специалистов, которые проектируют, реализуют и поддерживают системы с высокой степенью надежности.

Актуальными являются исследования специальных методов проектирования для борьбы с неустойчивыми дефектами.

Представлены основные направления построения транзисторов нового поколения.

Разнообразие характеристик различных типов современных транзисторных структур стимулирует развитие всех методов диагностирования для них [32-33].

**Список использованной литературы**

1. VLSI Testing/Ed. by Williams T.W. Elsevier Science Publishers B.V., 1986-275 p.
2. Андриюхин А.И. Моделирование и диагностирование дискретных устройств на переключательном уровне. Донецк, ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 258 с.:
3. Ульман Дж. Вычислительные аспекты СБИС: Пер. с англ./Под ред. П. П. Пархоменко. - М.: Радио и связь, 1990. - 480 с.
4. Вейцман И.Н., Кондратьева О.М. Тестирование КМОП-схем // Автоматика и телемеханика. - 1991. - N 2. - с. 3-34.
5. Киносита К., Асада К., Карацу О. Логическое проектирование СБИС.: Пер. с япон.-М.: Мир, 1988. - 309 с.
6. Хейес Дж.П. Обобщенная теория переключаемых схем и ее применение для проектирования СБИС//Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике. - 1982. - 70, N 10. - с. 5-19.
7. Автоматизация проектирования цифровых устройств/С.И. Баранов, С.А. Майоров, Ю.П. Сахаров, В.А. Селютин.-Л.: Судостроение, 1979.-264 с.
8. Лазер И.И., Шубарев В.А. Устойчивость цифровых микроэлектронных устройств. М.: Радио и связь, 1983 г. - 216 с.
9. Tindler R.F. Engineering Digital Design/Academic Press, 2000, - 884 p.
10. Бохман Д., Постхоф Х. Двоичные динамические системы. М.: Энергоатомиздат., 1986.
11. Dick L. Liu \* and Edward J. McCluskey. Designing CMOS Circuits for Switch-level testability//IEEE Design & Test, August 1987, p.42-49.
12. Anura P. Jayasumana, Yashwant K. Malaiya, and Rochit Rajsuman. Design of CMOS Circuits for Stuck-Open Fault Testability// IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 26, No. 1, January 1991, pp.58-61.
13. S.M. Reddy and M. K. Reddy, "Testable realization for FET stuck-open faults in CMOS combinational logic circuits," IEEE Trans. Comput., vol. C-35, pp. 742-754, Aug. 1986.
14. D. L. Liu and E. J. McCluskey, "Designing CMOS circuits for switch level testability," IEEE Design and Test, vol. 4, no. 4, pp. 42-49, Aug. 1987.
15. B. Gupta, Y. K. Malaiya, Y. Min, and R. Rajsuman, "CMOS combinational circuit design for stuck-open/short fault testability," in Proc. Int. Symp. Elect. Dec. Circuits and Syst., Dec. 1987, pp. 789-791.
16. IDDQ Testing Outline.- Режим доступа: <http://www.ece.uc.edu/~wjone/iddq.pdf>
17. J. Figueras, A. Ferre, "Possibilities and limitations of IDDQ testing in submicron CMOS", IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part B, vol. 21, Issue 4, pp. 352-359, November 1998.
18. А.А. Иванюк, А.И. Янушкевич, В.Н. Ярмолик. Технология Iddq тестирования одномерных итерационных логических структур // Автоматика и телемеханика. - 1999. - N 1. - с. 148-158
19. Ю.В. Быков, А.А. Иванюк, А.И. Янушкевич, В.Н. Ярмолик. Диагностика неисправностей КМОП-схем на основе Iddq-тестирования // Автоматика и телемеханика. - 1999. - N 7. - с. 142-153.
20. Randel E. Bryant. A Switch Level Model and Simulator for MOS Digital Systems /IEEE Trans. on Comp., - 1984. - 33, N 2. - P. 160-177.
21. Hayes J.P. Pseudo-Boolean Logic Circuits // IEEE Trans. on Computers. - 1986. Vol. C-35, N 7, P. 602-612.
22. Андриюхин А.И. Переключаемое моделирование и диагностирование основных моделей неисправностей КМОП-структур// Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника. Выпуск 13(185), 2011 г., с. 54 - 65.
23. Lamport, L., Shostak, R., Pease, M.: The Byzantine Generals Problem. In: ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 4(3): 382-401 (1982)
24. K. Driscoll, B. Hall, H. Sivencrona and P. Zumsteg/ Byzantine Fault Tolerance, from Theory to Reality. Lecture Notes in Computer Science, 2003, Volume 2788/2003, 235-248
25. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Hazard\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Hazard_analysis)
26. Андриюхин А. И. "Византийское поведение" неисправностей современных СБИС// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. : Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. - 2013. - № 1. - С. 11-18.
27. D. Lavo, B. Larrabee, T. Chess. Beyond the Byzantine Generals: Unexpected Behavior and Bridging Fault Diagnosis // In: Proc. Int. Test Conference. – 1996. - 611-619 .
28. A. Keshk, Y. Miura, K. Kinoshita .Unified Procedure to Overcome the Byzantine General's Problem for Inter-gate and Intragate Bridging Faults in CMOS Circuits//JPSJ Journal. - Apr. 2000. - Vol. 41, N 4. - pp. 935-943
29. Chaney T. Measured Flip-Flop Responses to Marginal Triggering / T. Chaney // In: IEEE Transactions of Computers. - December 1983. - Vol. C-32, No. 12. – PP. 1207-1209.
30. Kleeman R. The jitter model for metastability and its application to redundant synchronizers / R. Kleeman // IEEE Trans. on Computers. - 1990. - № 7. - P. 930-942.

31. Wong H.-S. P. Beyond the conventional transistor/ IBM Journal RES. & DEV. Vol. 46 no. 2/3 March/May 2002 .pp.133-168.

32. Manoj Sachdev, José Pineda de Gyvez. Defect-oriented Testing for Nano-metric CMOS VLSI Circuits. Springer ,2007,p.342 .

33. Daniel Arumí i Delgado. Enhancement of defect diagnosis based on the analysis of CMOS dut behaviour. Tesi doctoral presentada per a l'obtenció del títol de doctor Universitat Politècnica

de Catalunya Departament d'Enginyeria Electrònica-2008,p.247.

**Andruckin A.I. Diagnosis of digital circuits: the stages of development and problems .** The article presents the main stages of development and problems of the diagnosis test of digital circuits. The basic model in the diagnosis of bipolar circuits is considered. Its properties are described in the diagnosis of advanced MOS VLSI. The main problems of the testing MOS structures are considered. A review of studies in the design testability schemes presented. The importance of a correct evaluation of the oscillation in the simulation of faulty devices emphasized. The simulation results on the switch-level of MOSFET structures are also presented. The main directions of construction of a new generation of transistors are considered. To optimize fault tolerance, it is important to estimate actual failure rate for each possible failure and types of failures (some are more probable than others or some are transient, others permanent). Borders and possibilities of various approaches of verification of VLSI are defined

**Keywords:** test, diagnostics, CMOS, testability, IDDQ.

**Андрюхин А.І. Діагностування цифрових схем: етапи розвитку та проблеми.** У статті представлені основні етапи розвитку та проблеми тестового діагнозу цифрових схем. Розглядається основна модель в діагностиці біполярних схем. Її властивості та недоліки описані в діагностиці сучасних МОП НВІС. Розглянуто основні проблеми тестування МОП структур. Представлений огляд робіт при проектуванні тестопригодності схем. Підкреслена важливість правильної оцінки осциляцій при моделюванні несправних пристроїв. Також представлені результати моделювання на Переключательная рівні МОП-структур. розглянуті основні напрямки побудови транзисторів нового покоління.

**Ключові слова:** тест, діагностика, КМОП, тестопригідна, IDDQ.

Статья поступила в редакцию 20.11.2015

Рекомендована к публикации д-ром ф.-м. наук А.С. Миненко

УДК 378.147

## Верификация Интернет - информации

И.Ю. Анохина,  
Донецкий национальный технический университет  
IngaTula@mail.ru

*Анохина И.Ю. Верификация Интернет – информации. Рассмотрены вопросы верификации информации, получаемой из Интернета. Показано, какими способами и средствами можно проверить сайты, определить их направленность, получить информацию об авторе размещенного материала, оценить степень плагиата в статье, книге.*

### Введение

В наше время поиск информации в Интернете стал обыденностью. К нему прибегают, если нужно узнать сводку погоды, получить информацию по бытовым вопросам, прочесть новости, научные статьи, ознакомиться с лекциями коллег, найти художественную и научную литературу.

В ряде случаев источник информации особой роли не играет. Узнавая новые рецепты или отыскивая художественную литературу, мы можем не беспокоиться о том, с какого сайта была взята информация. Но есть, по крайней мере, два направления, которые требуют тщательной подборки сайтов, откуда будет считываться информация. Это политические новости и научные исследования.

Если в первом случае можно в какой-то мере определиться с позициями участников и читать новостные порталы тех, с кем эти позиции совпадают, то в случае получения информации по профессиональной сфере деятельности, точного ответа, какому сайту можно доверять, а какому нет, не существует. В качестве совета обычно используется фраза «нужно брать информацию только с проверенных сайтов». Вопрос в том, где найти эти сайты, кто их проверял и действительно ли они являются источниками точной информации, а не преобразованной в соответствии с желаниями авторов.

С точки зрения использования Интернета в профессиональной сфере, следует учитывать, что Интернет в научных исследованиях используется не только, как источник информации, но и как средство ее обработки (on-line ресурсы), а также как средство коммуникации.

Говорят, что в Интернете можно найти ответ на любой вопрос. Это правильно. Но будет ли ответ верным. Являясь огромным, постоянно наполняющимся хранилищем информации, Интернет имеет существенный недостаток. Автором может стать каждый, что с высокой степенью вероятности приводит к появлению

недостоверной, непроверенной информации или плагиата. Любой пользователь Интернета может разместить свою статью, например, в Википедии [1], в любом журнале, в блоге, живом дневнике. Качество информации, как правило, не проверяется, за исключением сайтов государственных организаций, правительственных и пр.

Компания Netcraft, проводящая исследования в области Интернета, в сентябре 2014г. сообщила о том, что количество сайтов в Интернете превысило миллиард (на май 2015г. их количество сократилось до 857 927 160) [2].

С одной стороны такое огромное количество сайтов, безусловно, является достоинством, так как чем больше информации, тем легче ее проверить, сравнить, проанализировать, но с другой стороны обилие сайтов приводит к затрудненному поиску информации, когда просто более сильно раскрученные сайты не претендующие на точность информации, а берущие лишь ее количеством, оказываются на первых страницах поисковых систем, обгоняя академические сайты.

Качество информации трудно верифицировать, нет гарантии, что скачанная статья, подписанная известным специалистом, на самом деле принадлежит ему или излагаемый в ней материал не претерпел изменений при переводе или не интерпретирован отлично от авторского.

Классифицируя источники информации Интернета, можно выделить несколько категорий:

### **1. Категории сайтов с высоким уровнем достоверности информации:**

- сборники, монографии, изданные по рекомендациям ученых советов;
- сайты известных ученых, само имя которых является гарантией качества информации;
- сайты кафедр вузов;
- изданные академические словари, энциклопедии.



## 2. Категория сайтов с непроверенной информацией:

- сайты электронных энциклопедий (Википедия и аналогичные);
- реферативные сайты [3,4].

Наполняемость последних двух видов сайтов осуществляется за счет широкого участия всех желающих, причем далеко не у всех из них присутствует высшее образование.

The image shows a composite of three screenshots illustrating a website analysis process. On the left, the homepage of 'techvesti.ru' is shown with a large '1' overlaid. The middle section shows a search on Yandex for an image from the website, with a large '3' overlaid. The right section shows the search results for 'Сайты, где встречается картинка' (Sites where the image is found), with a large '2' overlaid, indicating the analysis of these results.

Рисунок 1 – Анализ сайта и поиск исходной статьи

Несмотря на широкую рекламу, достаточно высокую посещаемость, участие в различных видах рейтингов, вряд ли можно считать публикуемую на нем информацию стопроцентно достоверной. На сайте размещаются в основном переводные статьи о новостях науки и техники.

В качестве контактов редакции сайта указаны авторы Технолог и Акела (рис.1, цифра 1). Вряд ли использование вымышленных имен способствует возрастанию доверия к сайту. В редакции не указаны имена ученых, таким образом, подборки, перевод статей осуществляют неизвестные люди, об уровне компетентности которых ничего неизвестно. Если учесть, что перевод технического текста требует знания профессионального словаря и сленга, то нет гарантии, что перевод не был выполнен без ошибок.

Сайт можно проверить для определения на чьи имя и где он зарегистрирован.

Таких систем проверки существует несколько, одним из них является сервис **СУ-**

Если требуемая информация не была найдена на сайтах первой категории, желательна проверка сайтов, откуда будут считываться материалы.

Ярким примером такого вида сайтов является сайт **Новости технологий** (рис.1, цифра 1), публикующий подборки статей о новейших достижениях науки и техники [5].

**PR.com**, осуществляющий анализ сайта по его адресу (рис.1, цифра 2) [6].

После ввода адреса анализируемого сайта выдается информация о владельце, дате и месте регистрации, списке ключевых слов, используемых при поиске. Как показала проверка, сайт зарегистрирован на анонимное лицо в Петербурге. Какой вывод следует сделать? Сайт можно использовать для чтения новостей, однако, гарантии точности информации нет.

Может получиться так, что статья, размещенная на сайте, нужна для работы. В таком случае желательно найти оригинал.

Способов поиска оригиналов статьей много, самым простым является поиск по рисункам, если они есть.

Для проверки открывают статью, находят любой используемый в ней рисунок, сохраняют его на компьютере и обращаются к поиску в Яндексе. Эта поисковая система позволяет осуществлять поиск по картинкам (терминология Яндекса). На Яндекс загружают картинку из статьи и поисковик ищет аналоги.

На рис.1 цифрой 3 показан описанный

поиск по картинке. Как видно, найдено несколько сайтов, содержащих используемую картинку, в том числе и сайт фирмы-производителя термоядерного реактора, о котором велась речь в статье. Это оригинальная статья, именно ее и следует использовать как источник информации.

Аналогичный поиск по изображению реализован в Google, результаты обоих поисковиков не всегда совпадают, поэтому желательно вести поиск параллельно.

Способ поиска по картинке можно использовать для проверки на авторство статьи, работ студентов, докладов на конференциях...

При анализе сайта сервисом **CY-PR.com**, как впрочем, и любым другим, как показали

многочисленные проверки, возможны ошибки.

Например, специализированный каталог научных конференций «Конференции.ru» (<http://www.konferencii.ru>), публикует данные о прошедших и предстоящих конференциях в России, Беларуси и других странах СНГ (цифра 1, рис.2).

При проверке с помощью сервисов **CY-PR.com**[6] и <http://www.seogadget.ru/> [7] были выявлены несоответствия в результатах. Так, по данным **CY-PR**, сервер, на котором размещен сайт, находится в Беларуси (цифра 2, рис.2, подчеркнуто), а по данным сервиса **Seogadget** – в Москве(цифра 3, рис.2, подчеркнуто).

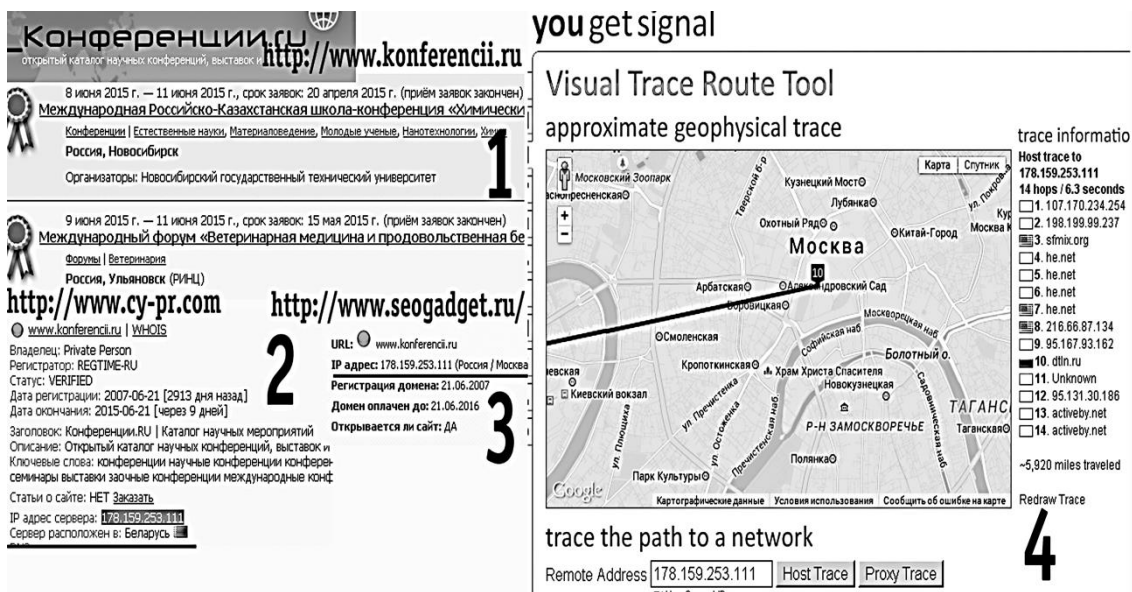


Рисунок 2 – Сравнение результатов анализа сайтов на разных сервисах

В таких случаях желательна дополнительная проверка.

Одним из лучших, по мнению автора, сервисов является сервис **You get signal - Get Trace Route Tool** [8], позволяющий не только анализировать, но и визуализировать местоположение сервера.

На рис. 2 цифрой 4 отмечен скрин экрана сервиса с визуализацией местоположения сервера. Эта часть функций сервиса является бесплатной. Кроме этого есть функции платные: определение данных (фамилии авторов, местоположения, аккаунтов в социальных сетях, выложенных фотографий и видео) по адресу электронной почты. Стоимость варьируется от 1\$ до 40\$ в зависимости от количества информации.

С помощью описанных сервисов можно получить информацию о сайте, но еще одним важным аспектом проверки информации, является проверка персоны, разместившей эту информацию в сети.

Для примера выбран автор

немецкоязычного сервера Исследовательского центра в Карлсруэ (цифра 1, рис.3),



Рис 3 – Поиск человека по аккаунтам в сетях, адресу электронной почты, фамилии

специализирующегося на разработках в

области естественных и инженерных наук (<http://www.kit.edu/index>).

Одним из популярных сервисов является сервис **WebMii** [9], осуществляющий поиск или по имени, или по набору ключевых слов, описывающих личность. Как видно из рис.3 (цифра 2) в качестве результата получены фотографии, биография и профиль в социальных сетях, через которые можно связаться с ученым. Отметим, что поиск позволяет искать и в русскоязычной аудитории, однако результатов значительно меньше.

Отличным сервисом поиска по социальным сетям среди русскоязычного населения является сервис **Where-you** (<http://where-you.com>). Он позволяет найти профили в Контакте, Одноклассниках, Фейсбуке, Google, Твиттере, Моем Мире. К недостаткам следует отнести неоптимальный алгоритм поиска. Так, по запросу «Александр Касперский» было найдено 2700 аккаунтов, причем в ряде из них совпадали или имя, или фамилия. А при попытке найти человека по адресу электронной почты было найдено более четырех миллионов человек, имеющих почту mail.ru (в условиях поиска была задана именно она).

Сравнивая оба сервиса, можно рекомендовать сервис **WebMii** для поиска

англоязычных авторов как более информативный и резко ограничивающий количество результатов, для русскоязычной аудитории - сервис **Where-you** несмотря на большое количество результатов, несоответствующих условиям поиска.

Сервис **Pipl** [10] осуществляет поиск по имени, фамилии, адресу электронной почты и адресу сайта. На рис. 3. цифрой 4 отмечен поиск, выполненный по запросу «donntu.org» - адрес официального сайта ДонНТУ. На основании поиска открываются аккаунты вуза в социальных сетях, что доказывает их необходимость для распространения информации об учебном заведении.

Достоинством сервиса **Pipl** является то, что в отличие от ранее описанного сервиса **Where-you**, он позволяет осуществлять поиск по имени, фамилии, адресу электронной почты, городу и стране как по совокупности условий, что отсекает лишние результаты.

Еще один популярный сервис <http://socsearcher.net> (цифра 1, рис.4), который, во-первых, имеет хорошо организованный поиск по русскоязычным сайтам, а во-вторых, отсекает ненужную, несоответствующую поставленному запросу, информацию.

The screenshot displays a search engine interface with the following elements:

- Top Bar:** Logos for Facebook, VKontakte, and WolframAlpha.
- Search Results (Left):**
  - 1:** A search result for "ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И МЕНЕДЖМЕНТА, ДОННТУ..." with a profile picture and text.
  - 2:** A search result for "3ЭТ ДонНТУ (Зугрэс) | ВКонтакте" with a profile picture and text.
  - 3:** A search result for "Поиск людей | ВКонтакте" with a profile picture and text.
  - 4:** A search result for "Поиск людей | ВКонтакте" with a profile picture and text.
- Search Bar (Center):** Yandex search bar with the query "ставонин александр".
- Filters (Center):** Filter buttons for "Возраст", "Москва", "Учеба", "Работа", "Вконтакте", "Одноклассники", "Facebook", "Ещё".
- Search Results (Right):**
  - 3:** A weather widget for "weather in Donetsk 9.06.14" showing "time range: day of Monday, June 9, 2014", "temperature: (18 to 30) °C", "relative humidity: average: 61%", and "wind speed: average: 3 m/s".
  - 4:** A news article titled "В Донецке война: обстрел из истребителей, люди убегают из своих домов, сожженные автомобили, множество раненых (ФОТО)".

Рис 4 – Поиск аккаунтов и проверка фотографий на подлинность

Как показали исследования, ДонНТУ отлично представлен на этом сервере (148000 результатов). Это связано в частности с большим количеством аккаунтов, созданных студентами и выпускниками вуза.

Сервис, реализующий дополнительные

возможности по отношению к ранее рассмотренным - **Wolfram Alpha**, определяемый как интеллектуальный робот, выдающий любую информацию, ориентируясь на энциклопедии, официальные сайты и пр. Недостатком системы является невозможность распознавания кириллицы, запросы вводятся на английском

языке.

И **Google** и **Yandex** позволяют не только искать людей в социальных сетях (цифра 2, рис.4), но часто используются для определения фейков, что особенно актуально для новостных порталов. Цифрой 3 отмечена фотография Донецка с изображением большого пожара. С помощью «поиска по картинке» **Google** (сервис аналогичный рассмотренному ранее на Яндекс) удалось найти оригинальное изображение, на которое впоследствии было наложено изображение пожара.

Этот способ позволяет наравне с проверкой изображений в научных статьях, осуществлять проверку информацию, выкладываемую на новостных порталах.

Еще одной проблемой, которую принес Интернет, является плагиат. Это может быть и использование чужих материалов при написании курсовых работ студентами, и вкрапления чужих текстов в научных работах.

Как и в случае поиска информации, вариантов много. Можно рекомендовать популярный сервис <http://text.ru/antiplagiat/>, осуществляющий проверку текста на уникальность [11].

В качестве материала для проверки взяты новости на дату написания статьи (27.06.15г.) Предполагалось, что, так как это свежие новости, текст должен быть уникален.

Результаты проверки показаны на рис.5.

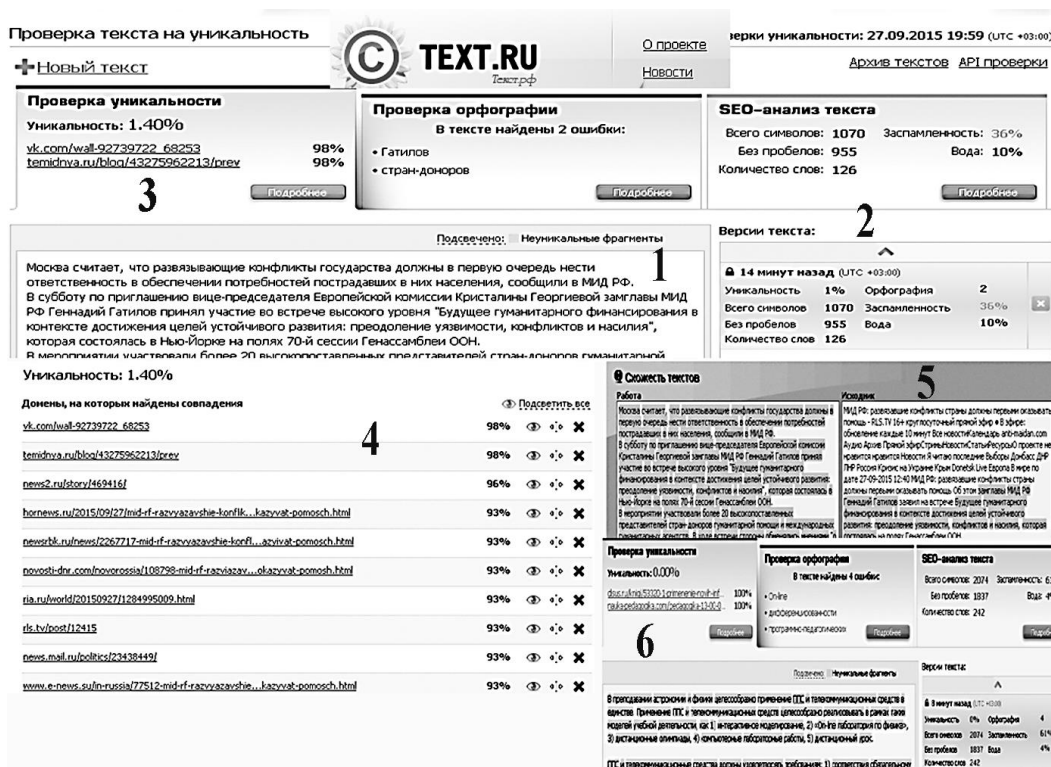


Рисунок 5 – Проверка текста на подлинность

Цифрой 1 отмечен исходный текст. Как видно из результатов проверки, уникальность текста в первый раз как исходного материала оценивалась в 1% (цифра 2 рисунка). Цифрой 3 на рисунке отмечены портала, имеющие совпадение на уровне 98%. Оценка времени появления информации позволила сделать вывод, что новостной портал РИАновости выдал информацию первым, остальные только, пользуясь терминологией социальных сетей, перепостили материал.

Кроме этого при анализе текста приводятся такие характеристики, как «заспамленность» текста и «вода». «Заспамленность» предполагает наличие скрытой рекламы и количества

поисковых ключевых слов в тексте. Под «водой» понимают фрагменты текста, не несущие никакой смысловой нагрузки, использование стоп-слов, устоявшихся фразеологизмов. Если результат оценки уровня «воды» менее 15%, то текст считается корректным. Оценка воды на уровне 10% (цифра 2 рисунка) позволяет утверждать, что именно на столько процентов текст можно сократить, при этом смысл не потеряется.

Допустимым уровнем «заспамленности» считается 30% [12].

При дополнительной проверке, проведенной на этом же сервисе, было выявлено два источника, которые имеют одинаковый текст. Оценить, какой из источников является оригиналом, а какой – плагиатом или, как в

данном случае, цитированием, можно по дате и времени выдачи информации.

Цифрой 4 на рис.5 отмечены домены, имеющие совпадение текста. Сервис позволяет получить не только количественную характеристику совпадений, но и увидеть, какие именно фрагменты совпадают (цифра 5 рис.5).

Аналогичным образом был проверен фрагмент из автореферата диссертации (цифра 6 рис.5). Было выявлено еще два портала, на которых эта же диссертация была выложена, но т.к. автор был один и тот же, текст следовало считать уникальным.

Автор проверил на уникальность аннотацию этой статьи. Как показала проверка, уникальность составляла 100%.

Следовательно, сервис можно использовать и для проверки собственных документов с целью выявления процента неинформативности.

### **Выводы**

В статье рассмотрены вопросы верификации информации, получаемой из Интернета. Проверка на подлинность, уникальность, правдивость информации необходима, как при поиске материалов для научных исследований, так и при чтении новостных лент, документальной литературы и пр.

Для установления уровня достоверности

информации рекомендуется проверять сайты, на которых информация была размещена. Рассмотрены возможные варианты такой проверки. С учетом того, что при проверке возможно получение ошибочных результатов, рекомендовано проверять сайты на разных серверах и сравнивать результаты.

Кроме этого, для того, чтобы убедиться в достоверности информации, желательно проверить и личность человека, выложившего ее в сеть. Способы проверки описаны и проанализированы.

При работе желательно иметь оригинальное произведение, а не плагиат. Показана работа сервиса, осуществляющего проверку на уровень уникальности текста. Кроме уровня уникальности выдаются еще две характеристики: оценка уровня наличия спама и «воды».

Сервис может быть полезен и авторам, так как такая характеристика, как «вода» заставляет задуматься о наличии лишних, не несущих информацию слов в тексте.

В целом следует отметить, что наличие в Интернете огромного количества непроверенной информации заставляет выработать стратегию ее проверки.

### **Литература**

1. Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>
2. Сайт компании Netcraft. Режим доступа: <http://news.netcraft.com/archives/category/web-server-survey/>
3. Ильин К.Ценность источников информации. Information Security/ Информационная безопасность № 1-2, 2006. – с.44-45.
4. Омелин М. Матрица достоверности информации для общедоступных on-line текстов, используемых в ходе научных исследований. Режим доступа: <http://omelin.ru/index.php/publikatsii/25-matrix-of-reliability> - Авторский портал Михаила Омелина.

5. Новости технологий. Режим доступа: <http://techvesti.ru>.
6. Сервис CY-PR.com. Режим доступа CY-PR.com.
7. Seogadget. Инструменты веб-мастера. Режим доступа <http://www.seogadget.ru>.
8. You get signal - Get Trace Route Tool. Режим доступа <http://www.yougetsignal.com>.
9. WebMii. Find all information about any people and get their visibility score. Режим доступа <http://webmii.com>.
10. Pipl . The most comprehensive people search on the web. Режим доступа <https://pipl.com>.
11. Text.ru. Биржа копирайтинга. Режим доступа <http://text.ru/antiplagiat/>.
12. Text.ru. Описание сервиса. Режим доступа : <http://text.ru/seo>

*Анохіна І.Ю. Верифікація Інтернет - інформації. Розглянуто питання верифікації інформації, одержуваної з Інтернету. Показано, якими способами і засобами можна перевірити сайти, визначити їх спрямованість, отримати інформацію про автора розміщеного матеріалу, оцінити ступінь плагиату в статті, книзі.*

**Ключевые слова:** верификация, информация сайта, Интернет, плагиат

*Anokhina I.Yu. Verification of the Internet - information. The questions of verification of the information obtained from the Internet. It is shown in what ways and means you can check the sites, to determine it direction, to obtain information about the author of the material placed, to assess the degree of plagiarism in book.*

**Keywords:** verification, site information, the Internet, plagiarism

*Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

УДК 004.932.2

## Исследование влияния методов выравнивания яркости в задачах выделения геометрических примитивов на фотоизображении

Д.М. Бочаров, Р.А. Сорокин

Донецкий национальный технический университет  
d\_m\_b@list.ru

*Бочаров Д.М., Сорокин Р.А. Исследование влияния методов выравнивания яркости в задачах выделения геометрических примитивов на фотоизображении. Проведен обзор методов выравнивания яркости изображения и анализ их влияния на выделение геометрических примитивов с целью уменьшения процента ложных контуров.*

### Введение

Создание 3D-моделей из набора цифровых фотоснимков окружающей обстановки, в частности, моделей помещений, в современном мире становится все более востребованной задачей. Проблема реконструкции сцен становится актуальной при попытках построения моделей помещений у дизайнеров и при создании активно развивающегося на сегодняшний день программного обеспечения 3D-музеев, 3D-экскурсий по памятникам архитектуры.

### Основные этапы 3D-реконструкции

Основными этапами при 3D-реконструкции помещений являются [1]:

- создание серии цифровых фотоснимков;
- предварительная обработка фотоснимков (подавление шумов);
- выравнивание уровней яркости и контрастности фотоизображений;
- определение общих (опорных) пикселей на фотоизображениях и назначение цвета и прозрачности вокселям создаваемой 3D-сцены;
- классификация объектов 3D-сцены (выделение простых элементов).

При создании серии цифровых фотоснимков желательно производить фотосъемку помещения по часовой стрелке с частичным перекрытием предыдущего кадра последующим. В таком случае первый кадр является опорным, а каждый последующий фотоснимок объединяется с предыдущим по опорным точкам. При этом, последний кадр должен частично перекрывать первый кадр серии снимков.

Фотоснимки редко бывают идеального качества, практически всегда на них присутствует шум. Для оптимального

подавления шумов на изображениях в рамках предварительной обработки серии фотоснимков для 3D-реконструкции помещений наиболее подходящим является использование комбинации взвешенного медианного и Stick-фильтра [2 - 5].

### Выравнивание яркости

Яркость и контраст являются субъективными характеристиками изображения, воспринимаемыми человеком.

Яркость представляет собой характеристику, определяющую то, насколько сильно цвета пикселей отличаются от черного цвета. Например, если оцифрованная фотография сделана в солнечную погоду, то ее яркость будет значительной. С другой стороны, если фотография сделана вечером или ночью, то ее яркость будет невелика.

Контраст представляет собой характеристику того, насколько большой разброс имеют цвета пикселей изображения. Чем больший разброс имеют значения цветов пикселей, тем больший контраст имеет изображение.

По аналогии с терминами теории вероятностей можно отметить, что яркость представляет собой математическое ожидание значений выборки, а контраст – дисперсию значений выборки.

Задача контрастирования связана с улучшением согласования динамического диапазона изображения и экрана, на котором выполняется визуализация [6 - 8]. На рисунке 1 представлен оригинальный фотоснимок помещения.

Если для цифрового представления каждого отсчета изображения отводится 1 байт (8 бит) запоминающего устройства, то входной или выходной сигналы могут принимать одно из 256 значений. Обычно в качестве рабочего используется диапазон 0...255. При этом значение 0 соответствует при визуализации

уровню черного, а значение 255 уровню белого.



Рисунок 1 – Фотоснимок помещения

При линейном контрастировании используется линейное поэлементное преобразование, представленное на формуле 1:

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min} \quad (1)$$

При соляризации изображения (формула 2) преобразование имеет вид:

$$y = k \cdot x \cdot (x_{\max} - x) \quad (2)$$

где  $x_{\max}$  - максимальное значение исходного сигнала, а  $k$  - константа, позволяющая управлять динамическим диапазоном преобразованного изображения.

Смысл соляризации заключается в том, что участки исходного изображения, имеющие уровень белого или близкий к нему уровень яркости, после обработки имеют уровень черного (см. рис. 2).



Рисунок 2 – Вариант соляризации №1

При этом сохраняют уровень черного и

участки, имеющие его на исходном изображении. Уровень же белого на выходе приобретают участки (см. рис. 3), имеющие на входе средний уровень яркости (уровень серого).



Рисунок 3 – Вариант соляризации №2

Препарирование представляет собой целый класс поэлементных преобразований изображений. Характеристики применяемых на практике процедур препарирования приведены на рисунке 4.

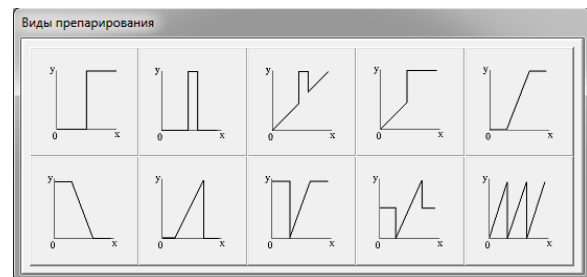


Рисунок 4 – Виды процедур препарирования изображения

Преобразование с пороговой характеристикой превращает полутонное изображение, содержащее все уровни яркости, в бинарное, точки которого имеют яркости  $y=0$  или  $y=y_{\max}$ . Такая операция, называемая иногда бинаризацией или бинарным квантованием, может быть полезной, когда для наблюдателя важны очертания объектов, присутствующих на изображении, а детали, содержащиеся внутри объектов или внутри фона, не представляют интереса (см. рис. 5).

Основной проблемой при проведении такой обработки является определение порога  $x_0$  сравнение с которым яркости исходного изображения позволяет определить значение выходного изображения в каждой его точке.

Смысл других преобразований нетрудно понять, рассматривая их характеристики. Например, второе преобразование выполняет яркостный срез изображения, выделяя те его



участки, где яркость соответствует выделенному интервалу. При этом остальные участки оказываются полностью “погашенными” (имеют яркость, соответствующую уровню черного). Перемещая выделенный интервал по яркостной шкале и изменяя его ширину, можно детально исследовать содержание картины.



Рисунок 5 – Один из вариантов препарирования

Иногда наглядность изображения повышается применением преобразования типа пилообразного контрастирования. При этом различные яркостные диапазоны одновременно подвергаются локальному яркостному контрастированию. Однако необходимо иметь в виду, что данное преобразование, как и некоторые другие, может сопровождаться появлением ложных контуров на получаемом препарате (см. рис. 6).

Препарирование часто используется в автоматических системах обработки визуальной информации [8, 9], поскольку подготавливаемый при этом препарат может содержать всю информацию необходимую для последующей обработки [10, 11].



Рисунок 6 – Вариант препарирования с ложными контурами

Аналогичным образом могут быть

получены решения других подобных задач, в которых требуется привести законы распределения изображения к заданному виду. Гиперболизация (формула 3) предполагает приведение плотности вероятности преобразованного изображения к гиперболическому виду (см. рис. 7):

$$w_y(y) = \begin{cases} \frac{1}{y(\ln y_{\max} - \ln y_{\min})}, & \text{при } y_{\max} \leq y \leq y_{\min}, \\ 0, & \text{при других } y. \end{cases}$$

(3)



Рисунок 7 – Гиперболизация исходного изображения

### Определение и классификация объектов 3D-сцены

Самой сложной и ресурсоемкой задачей создания 3D-сцены по серии фотоизображений является поиск опорных точек. Опорной является точка, присутствующая на двух и более фотоснимках и соответствующая одной и той же точке сцены. Для этого производится сканирование правой части предыдущего и левой части последующего фотоснимка с целью выявления совпадающих регионов (областей, зон) с последующим выбором опорных пикселей и назначением цвета и прозрачности вокселям создаваемой 3D-сцены. Под термином «воксел» понимается элемент объемного изображения, содержащий значение элемента раstra в трехмерном пространстве. Воксели являются аналогами двумерных пикселей для трехмерного пространства.

В современных алгоритмах автоматизированного выделения простых элементов изображения виден явный уход все дальше и дальше от яркостной картины в область параметров, характеризующих некую окрестность каждой точки или даже всего изображения в целом.

При анализе данной проблемы были рассмотрены следующие методы:

- поиск геометрических фигур на изображении;
- анализ замкнутых контуров сцены для установления типа геометрической фигуры;
- разложение контуров в ряды и сравнение с эталонами;
- поиск образца или поиск фигуры на фотографии по шаблону.

Общий недостаток трех первых методов состоит в довольно высокой вычислительной сложности. Дополнительная обработка изображения с использованием этих методов дает качественное решение, но затраты на его получение являются достаточно ресурсоемкими.

Поиск образца (контура) фигуры на фотографии позволяет в результате описывать, хранить, сравнивать и производить поиск объектов, представленных в виде своих внешних очертаний – контуров.

Предполагается, что контур содержит всю необходимую информацию о форме объекта. Внутренние точки объекта во внимание не принимаются. Это ограничивает область применимости рассматриваемого подхода, но рассмотрение только контуров позволяет перейти от двумерного пространства изображения – к пространству контуров, и тем самым снизить вычислительную и алгоритмическую сложность.

В силу физической природы трехмерных объектов, их контуры всегда замкнуты и не могут иметь самопересечения. Это позволяет однозначно определить путь обхода контура (с точностью до направления – по или против часовой стрелки). Последний вектор контура всегда приводит к начальной точке.

При выделении геометрических фигур на оригинальном фотоизображении можно выделить следующие этапы:

- бинаризация изображения и выделение контуров объектов;
- начальная фильтрация контуров по периметру, площади, коэффициенту формы, фрактальности и так далее;
- приведение контуров к единой длине, сглаживание;
- перебор всех найденных контуров, поиск шаблона, максимально похожего на данный контур.

В дальнейшем, выделенные геометрические фигуры можно рассматривать как простейшие элементы более крупных структур. Эти структуры затем можно описать и проанализировать с помощью характеристик их формы: метрических, топологических и аналитических.

## Выводы

На основе проведенных исследований методов выравнивания яркости изображения, можно сделать вывод, что их использование позволяет управлять процессом последующего выделения геометрических примитивов [12] в рамках выбранной задачи с гораздо более высокой эффективностью.

Например, для оригинального изображения (см. рис. 8) наблюдается большое количество выделенных ложных контуров. Проведенная гиперболизация (см. рис. 9) фотоснимка привела к более корректному выделению контуров прямоугольной формы (оконных проемов и секций радиаторов), но процент ложных контуров неправильной формы остался на прежнем уровне.

Препарирование (см. рис. 10) позволяет избавиться от большинства ложных контуров и при этом детали геометрических фигур выделяются более четко по границам яркостей. Однако степень детализации существенно уменьшается по сравнению с соляризацией (см. рис. 11).



Рисунок 8 – Результат выделения примитивов на оригинальном фотоснимке



Рисунок 9 – Результат после гиперболизации



Рисунок 10 – Результат после препарирования



Рисунок 11 – Результат после соляризации

### Литература

1. Методы преобразования 2D-фотографий помещения в 3D-модель / Д.М. Бочаров, Р.А. Сорокин // Сучасні інформаційні системи і технології : матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції (Суми, 21-24 травня 2013 року) / Сумський державний університет. Суми, 2013. – С. 150-151.
2. Предварительная обработка 2D-изображений при 3D-реконструкции / Д.М. Бочаров, Р.А. Сорокин // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2013 : материалы международной научно-технической конференции (пос. Кацивели АР Крым, 23 – 27 сентября 2013 года) / Донецкий национальный технический университет. Донецк, 2013. С. 70-72.
3. Фильтрация и сегментация изображений для задач 3D-реконструкции / Д.М. Бочаров, Р.А. Сорокин // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг: материалы V международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Донецк, 22 – 23 апреля 2014 года) / Донецкий национальный технический университет.
4. и распознавания бинарных изображений: учебное пособие / Фурман А.Я. – М. : 1992. – 250 с.
5. Выделение геометрических примитивов на фотоизображении / Р.А. Сорокин, Д.М. Бочаров // Инновационные перспективы Донецк, 2014. – С. 398-404.
6. Павлидис У. Алгоритмы машинной графики и обработки изображения. - М: Радио и связь, 1988.
7. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х книгах. Пер. с англ. - М.: Мир, 1982(78). - Кн.1- 312 с, Кн.2- 480 с.
8. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений : учебное пособие / В.Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. – М. : СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
9. Потапов А. А., Пахомов А. А., Никитин С. А., Гуляев Ю. В., Новейшие методы обработки изображений. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
10. Р. Гонсалес, Р. Вудс Цифровая Обработка Изображений: Пер. с англ. - М: "Техносфера", 2006. - 1070 с.
11. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман [и др.]. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. - 352 с.
12. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. - М.: Мир, 1976.
13. Фурман А.Я. Цифровые методы обработки Донбасса: материалы международной научно-практической конференции (Донецк, 20-22 мая 2015 года) / Донецкий национальный технический университет. Донецк, 2015. – Т.-5. Компьютерные науки и технологии. – С. 86-90.

**Bocharov D.M., Sorokin R.A. Research of brightness influence methods adjustment in the tasks of geometric primitives allocation in the pictures. A review of methods of image brightness adjustment and analysis of their influence on the selection of geometric primitives to reduce the percentage of false contours.**

**Keywords:** brightness, 3D-reconstruction, geometric primitive circuit, photo image, solarization, preparation, amplification.

**Бочаров Д.М., Сорокин Р.А. Исследование влияния методов выравнивания яркости в задачах выделения геометрических примитивов на фотоизображении. Проведен обзор методов выравнивания яркости изображения и анализ их влияния на выделение геометрических примитивов с целью уменьшения процента ложных контуров.**

**Ключевые слова:** яркость, 3D-реконструкция, геометрическая схема примитивная, фотоизображение, соляризации, подготовка, усиление

*Статья поступила в редакцию 20.11.2015*

*Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

УДК 004.056.55

## Анализ особенностей методов цифровой стеганографии для защиты информации, передаваемой по открытым каналам

Н.Е.Губенко канд. техн. наук, доцент каф. КСМ,  
Д.С. Сипаков, магистрант  
Донецкий национальный технический университет  
[negubenko@mail.ru](mailto:negubenko@mail.ru), [dimasipakov@gmail.com](mailto:dimasipakov@gmail.com)

*Губенко Н.Е., Сипаков Д.С. Анализ особенностей методов цифровой стеганографии для защиты информации, передаваемой по открытым каналам. Рассмотрены и проанализированы методы цифровой стеганографии, которые используют в качестве контейнеров передаваемого сообщения аудио файлы и изображения. Приведены алгоритмы некоторых методов, выявлены их особенности, достоинства и недостатки.*

### Введение

В настоящий момент представить нашу жизнь без интернета практически невозможно. На сегодня ежедневная аудитория всемирной паутины составляет более чем 3 млрд. человек. Глобальная сеть используется в каждом доме, в каждом устройстве, каждую секунду люди совершают миллиарды запросов внутри интернета, отсылают сообщения на огромные расстояния. В связи с таким быстрым и глобальным развитием данной технологии, логично ожидать появления ряда проблем. Одной из самых актуальных и важных из них является обеспечение безопасности этой самой глобальной сети. Данные, которые передаются между пользователями, должны оставаться конфиденциальными, а сам интернет не должен нарушать какие-либо права или свободы человека. Более того: интернет должен гарантировать защиту пользователя и его данных от всякого рода атак и угроз.

Учитывая тот факт, что глобальной сетью пользуются и спецслужбы стран, можно утверждать, что способы и методы защиты данных разрабатывались параллельно с развитием интернета. Логичным является появление термина и сферы науки — информационная безопасность. Информационная безопасность — это процесс обеспечения конфиденциальности, доступности и целостности информационных ресурсов,

который поддерживается большим набором средств и методов для обеспечения защиты данных от разного вида угроз. Одной из важных отраслей информационной безопасности является стеганография. Стеганография — наука о скрытой передаче информации. В отличие от криптографии, задача которой состоит в шифровании сообщения, передаваемого по открытым каналам, задачей стеганографии является сокрытие самого факта передачи информации.

### Особенности компьютерной стеганографии

Как уже было отмечено, стеганография является наукой о сокрытии самого факта передачи информации и может использоваться одновременно с криптографическими методами. Прогресс в области разработки компьютерных сетей, средств мультимедиа привел к появлению новых способов обеспечения безопасности данных при передаче их через интернет и другие каналы связи (телекоммуникации). Разрабатываемые методы компьютерной стеганографии направлены на использование избыточности в устройствах оцифровки или в аудио и видеосигналах (цифровая стеганография), а так же в сетевых каналах передачи данных (сетевая стеганография). Общая схема стеганографического процесса представлена на рис.1.



Рисунок 1 — Общая схема стеганографического процесса

В основе маскировки данных или стеганографического анализа лежит работа с физическими процессами. Аудио сигналы и изображения — это все физические процессы, мы получаем цифровые образы звука или изображения с помощью аналого-цифровых преобразователей. Стеганография, с точки зрения реализации — это процесс наложения слабого шума на реализацию цифрового процесса. Примерами могут служить дискретные косинусные и вейвлет-преобразования. Накладываемый шум, должен нести в себе маскируемую информацию и быть достаточно слаб для восприятия человеком.

Что касается сетевой стеганографии, то здесь носителем скрытой информации выступают сетевые протоколы модели OSI (сетевая модель взаимодействия открытых систем). В общем виде сетевая стеганография представляет собой совокупность методов изменений, вносимых в заголовки пакетов и в поля их полезной нагрузки, изменение структуры передачи данных и т.д. [2].

Области применения компьютерной стеганографии достаточно обширны и разнообразны:

- аутентификация;
- защита конфиденциальной информации от несанкционированного доступа -

извлечения, изменения, копирования (противодействие системам мониторинга и управления сетевыми ресурсами промышленного шпионажа, сфера электронной коммерции, копирование мультимедийной информации и т.п.);

- скрытая аннотация документов для защиты авторского права на интеллектуальную собственность;
- скрытая связь (военные и разведывательные приложения, когда использовать криптографию нельзя).

Для проверки авторства и подлинности того или иного изображения, используют специальные стеганографические подписи, эти подписи называются цифровые водяные знаки (watermarking). Цифровой водяной знак (ЦВЗ) внедряется в изображение таким образом, чтобы его не было заметно для обычного пользователя (часто используют изменения яркости определенных пикселей изображения). ЦВЗ применяется также, когда стороны обмениваются секретными сообщениями, внедрёнными в цифровой сигнал, и как средство защиты документов с фотографиями (паспортов, водительских удостоверений и т.п.).

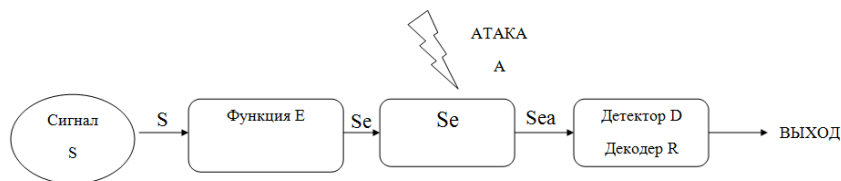


Рисунок 2 — Фазы жизненного цикла ЦВЗ

Для начала в сигнал-источник  $S$  внедряются цифровые водяные знаки при помощи функции  $E$ , получается  $S_E$ . Затем в процессе передачи на сигнал может совершиться атака, вследствие которой водяные знаки могут быть изменены. Во время приема данных, из полученного сигнала  $S_{EA}$  функция  $D$  вытаскивает внедренные водяные знаки, а функция  $R$  достает само сообщение. После этого, по полученным из функции  $D$  водяным знакам можно определить подлинность сообщения. В работе [11] рассмотрена задача генерации цифровых водяных знаков для внедрения в изображения. Отмечается, что методы нанесения ЦВЗ делятся на пространственные и частотные. К пространственным методам относится метод LSB. К частотным — методы расширения спектра. Такие ЦВЗ отличаются средней надёжностью, но очень маленькой

информационной ёмкостью. В работе [7] представлен метод встраивания в изображении цифровых водяных знаков путем изменения яркости синего, красного и зеленого цветов определенных пикселей изображения, так же в данной работе приведен сравнительный анализ данного метода и LSB.

На сегодняшний день большинство основных методов цифровой стеганографии базируется на использовании свойств компьютерных форматов данных и информационной избыточности аудио и видео файлов.

### **Анализ методов цифровой стеганографии в изображениях**

#### **Метод наименьшего значащего бита**

Одним из наиболее распространенных методов цифровой стеганографии, является

метод наименьшего значащего бита (Least Significant Bit, LSB). Чаще всего этот метод используют в тех случаях, когда информацию скрывают в изображении. Описание данного метода приведено в [14].

Алгоритм метода состоит в следующих шагах:

1. Имеется 8-битное изображение в градациях серого, 00h(0000000b) — черный цвет, FFh (1111111b) — белый цвет, всего 256 градаций ( $2^8$ ).
2. Допустим, скрываемое сообщение состоит из 1 байта, например: 01101011b.

3. Если использовать 2 младших бита, то потребуется 4 пикселя. Предположим, что они черного цвета, тогда пиксели, которые будут содержать скрытое сообщение, принимают следующий вид: 00000001 00000010 00000010 00000011.
4. Цвет этих пикселей изменится следующим образом: первого —  $1/255$ , второго —  $2/255$  и т.д., такие градации не только не заметны для человека, но также не отображаются на низкокачественных устройствах вывода.

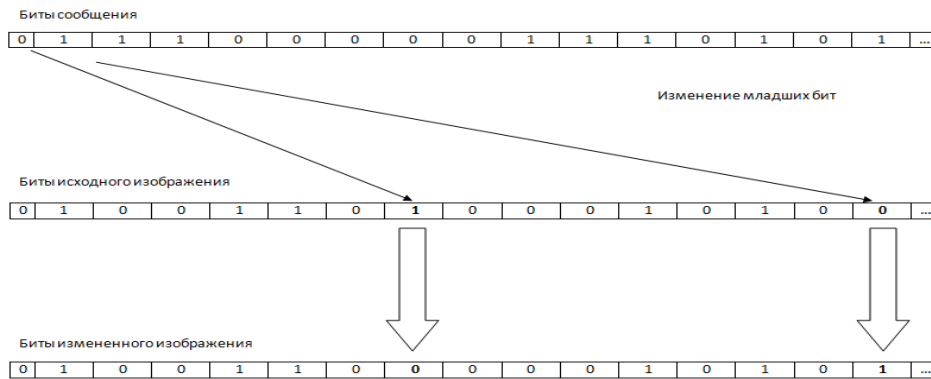


Рисунок 3 — Метод LSB

Метод LSB является аддитивными и крайне неустойчивым ко всем видам атак. Более того, при работе с форматами сжатия и потери данных (JPEG) данный метод не используется, так как анализ показал, что он не устойчив к геометрическим преобразованиям [4].

**Алгоритм Куттера-Джордана-Боссена**

Еще одним из стеганографических алгоритмов, используемых для скрытия информации в изображении, является алгоритм Куттера-Джордана-Боссена [5]. Он базируется на использовании одной из особенностей зрительной системы человека, которая менее всего восприимчива к изменению яркости синего цвета.

Исходя из этого, для встраивания информации используется синий цвет контейнера заданного изображения. Допустим, что встраивается 1 бит сообщения в 1 пиксель контейнера, секретный ключ задает координаты пикселя, в который будет встраиваться сообщение. Введем следующие обозначения:

- $Y_{x,y}$  — яркость пикселя;
- $B_{x,y}$  — яркость синего цвета пикселя;

- $B_{x,y}^*$  — яркость синего цвета измененного пикселя,  $m_i$  — бит сообщения;
- $\lambda$  — коэффициент, задающий энергию встраиваемого бита данных (задаётся исходя из функционального назначения и особенности стеганосистемы);
- $\sigma$  — размер области, по которой будет прогнозироваться яркость.

При встраивании битов скрываемой информации показатели яркости зеленого и красного цветов остаются без изменения, а вот яркость синего цвета изменяется по следующему формуле:

$$B_{x,y}^* = \begin{cases} B_{x,y} + \lambda Y_{x,y}, & \text{при } m_i = 1 \\ B_{x,y} - \lambda Y_{x,y}, & \text{при } m_i = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\lambda = 0.1$ ;  $Y_{x,y} = 0.3R_{x,y} + 0.59G_{x,y} + 0.11B_{x,y}$ . Так как принимающая сторона не имеет оригинального изображения, то узнать в какую сторону изменилась яркость цвета не возможно, поэтому значение яркости синего цвета прогнозируется по следующей формуле:

$$\overline{B_{x,y}} = \frac{\sum_{i=1}^{\sigma} (B_{x,y+i} + B_{x,y-i} + B_{x+i,y} + B_{x-i,y})}{4\sigma}, \quad (2)$$

где  $\sigma = 1/3$ .

На рисунке 4 демонстрируется выборка пикселей при  $\sigma = 2$ .

	X-2	X-1	X	X+1	X+2
Y-2					
Y-1					
Y					
Y+1					
Y+2					

Рисунок 4 — Выборка пикселей для  $\sigma = 2$ 

Пиксель в центре — это пиксель, для которого необходимо спрогнозировать яркость синего цвета, используя выделенные пиксели. Далее вычисляется скрытое сообщение, используя формулу:

$$m_i = \begin{cases} 1, & \text{при } B_{x,y}^* > \overline{B_{x,y}} \\ 0, & \text{при } B_{x,y}^* < \overline{B_{x,y}} \end{cases} \quad (3)$$

К достоинствам данного метода можно отнести следующие факторы:

- высокая пропускная способность;
- высокая устойчивость к частотному детектированию;
- высокая устойчивость к разрушению младших бит контейнера;
- устойчивость к атаке сжатия.

А вот главным недостатком является вероятностный характер извлечения яркости цвета. Для уменьшения вероятности ошибки рекомендуется использовать помехоустойчивое кодирование.

#### Алгоритм Брайндокса

В отличие от метода Куттера-Джордана-Боссена алгоритм Брайндокса [21] использует фиксированную область пикселей (8\*8), он содержит следующие шаги:

1. Классификация и разделение пикселей внутри блока на две группы с примерно одинаковой яркостью.
2. Разбиение каждой группы на категории.
3. Модификация яркости пикселей в каждой категории каждой группы.

Более подробно данный алгоритм приведен в работе [21], в работе [6] представлен сравнительный анализ данного метода и метода Куттера.

Файлы изображения не являются единственным хранилищем для помещения скрываемого сообщения, так же активно используются алгоритмы стеганографии, которые в качестве контейнера для скрываемого текста используют аудиофайлы.

#### Анализ методов цифровой стеганографии в аудио-файлах

Заголовки аудио и видео файлов представляются в виде последовательности битов, они содержат информацию о размере

файла, данные о ширине и высоте, положение самого контента (видео и аудио потоков или матрицы пикселей), более того большинство форматов как аудио так и видео содержат блоки, называемые чанками (chunks), которые так же представлены последовательностью битов. Поскольку организации структур аудио и видео файлов в некотором смысле схожи, естественно использовать для внедрения в них скрываемой информации методы, применимые для сокрытия информации в видео изображениях. Например, можно внедрять информацию, замещая наименее значимые биты, или использовать некоторые особенности аудиосигналов и системы слуха человека (например, человек может слышать и распознавать сигналы в диапазоне 10 – 20000 Гц).

Самыми простыми, но и мало эффективными методами сокрытия информации в аудио-файлах являются эхо-методы. Они используют неравномерные промежутки между эхо-сигналами в аудио-файле для кодирования значений сообщения. Важно соблюдать требуемые ограничения при кодировании информации, чтобы гарантировать незаметность для человеческого восприятия. Все эхо-методы характеризуются тремя параметрами: начальной амплитудой, степенью затухания и задержкой. Сигнал и эхо смешиваются, при достижении некоего порога, в этой точке человеческое ухо уже не может отличить разницу в двух сигналах. Данную точку тяжело определить, так как это зависит от качества исходной записи слушателя. Обычно используется задержка 1/1000, для обозначения логического нуля или единицы следует использовать две различных задержки. Отмечается, что данные методы стойки к атакам по амплитуде и частоте, однако они абсолютно не устойчивы к атакам по времени и не используются в аудио-форматах для сжатия [4].

Наиболее эффективным и распространенным методом сокрытия в аудио-файлах является метод фазового кодирования [9], смысл которого заключается в следующем:

1. Звуковая последовательность  $S_i$ , ( $1 \leq i \leq L$ ), разбивается на серию N коротких сегментов  $S_n[i]$ , ( $1 \leq n \leq N$ ), рис. 5.



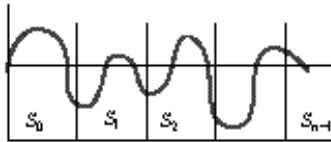


Рисунок 5 — Сигнал разбивается на сегменты

- К n-тому сегменту сигнала применяется K-точечное дискретное преобразование Фурье (ДПФ), где  $K=L/N$ , создаются массивы фаз  $\phi_n(\omega_k)$  и амплитуд  $A_n(\omega_k)$ , для  $1 \leq k \leq K$ , рис. 6

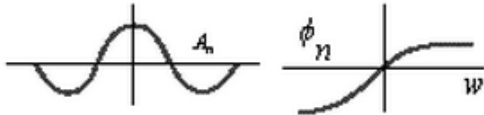


Рисунок 6 — Выделение амплитуды и фазы каждого сегмента

- Запоминается разность фаз между каждыми соседними сегментами, для  $1 \leq n \leq N$ :

$$\Delta\phi_n(\omega_k) = \phi_n(\omega_k) - \phi_{n-1}(\omega_k); \Delta\phi_1(\omega_k) = 0. \quad (4)$$

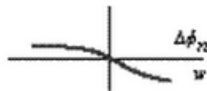


Рисунок 7 — Вычисление разности фаз между соседними сегментами

- Двоичная последовательность данных представляется как  $\phi_{data} = \pi/2$  или  $\phi_{data} = -\pi/2$ , отображая «1» или «0»,  $\phi'_1(\omega_k) = \phi_{data}$

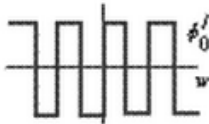


Рисунок 8 — Для сегмента  $S_0$  создается новая фаза

- С учетом разности фаз, воссоздается новый массив фаз для  $n > 1$ :

$$\left\| \begin{aligned} \phi'_1(\omega_k) &= \phi_{data} \\ \phi'_2(\omega_k) &= \phi'_1(\omega_k) + \Delta\phi_2(\omega_k) \\ &\dots \\ \phi'_n(\omega_k) &= \phi'_{n-1}(\omega_k) + \Delta\phi_n(\omega_k) \\ &\dots \\ \phi'_N(\omega_k) &= \phi'_{N-1}(\omega_k) + \Delta\phi_N(\omega_k) \end{aligned} \right\|. \quad (5)$$

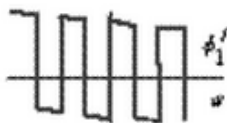


Рисунок 9 — Для всех других сегментов создаются новые фазы

- Для восстановления звукового сигнала необходимо применить операцию обратного ДПФ к исходной матрице амплитуд и модифицированной матрице фаз.

Получателю должны быть известны длина сегмента, и точки ДПФ. Перед декодированием последовательность должна быть синхронизирована, недостатком данного метода является низкая пропускная способность.

Достаточно эффективными методами сокрытия сообщения в аудио-файлах являются методы, базирующиеся на встраивании в контейнер случайной последовательности битов с использованием согласованного фильтра для последующего ее детектирования. Данные методы позволяют встраивать большое количество сообщений в контейнер, и они не будут создавать помехи друг другу при условии ортогональности применяемых последовательностей. Преимуществом данных методов является противодействие геометрическим преобразованиям, удалению части файла и т.д. Данные методы основаны на расширении спектра сигнала. Изначально эти методы создавались для разведывательных и военных целей. Основная их идея состоит в распределении информационного сигнала по широкой полосе радиодиапазона, что в итоге позволяет значительно усложнить подавление или перехват сигнала.

Современной схемой расширенного спектра является метод прямого последовательного расширения (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS) [13]. Суть этого метода заключается в формировании широкополосного радиосигнала, при котором исходный двоичный сигнал преобразуется в псевдослучайную последовательность, используемую для модуляции несущей. Используется в сетях стандарта IEEE 802.11 и CDMA для преднамеренного расширения спектра передаваемого импульса. Вся используемая полоса частот делится на некоторое число подканалов — по стандарту 802.11 этих подканалов 11. Каждый бит передаваемой информации преобразуется, по определенному алгоритму, в последовательность из 11 бит, и эти 11 бит передаются одновременно и параллельно, используя все 11 подканалов. При приеме, полученная последовательность бит декодируется с использованием того же алгоритма, что и при ее кодировке. Очень часто в качестве значения расширяющей последовательности берут последовательность Баркера, которая состоит из 11 бит: 10110111000. Если передатчик использует эту последовательность, то передача трех битов 110 ведет к передаче следующих битов: 10110111000 01001000111.

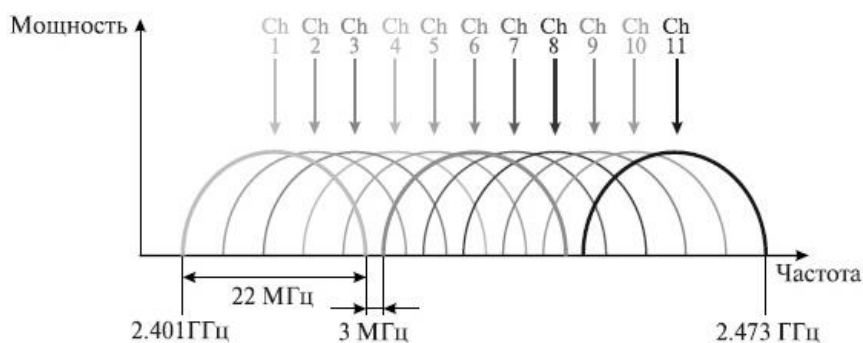


Рисунок 10 — Каналы, используемые в технологии DSSS

Очевидным достоинством данного метода является защита от прослушивания, благодаря 11-кратной избыточности передачи можно обойтись сигналом очень маленькой мощности, не увеличивая при этом мощность передатчика. Так же благодаря очень низкому уровню сигнала, DSSS-устройства не создают помех обычным радиоустройствам. Однако DSSS в меньшей степени защищен от помех, чем метод быстрого расширения спектра, так как мощная узкополосная помеха влияет на часть спектра, а значит, и на результат распознавания единиц или нулей.

### Программы и утилиты для цифровой стеганографии

Таблица 1 — Сравнительная характеристика программ для шифрования информации

Название ПО	Описание	Достоинства	Недостатки
JSTEG	Одна из программ для встраивания сообщений в изображения формата JPEG. Алгоритм работы представляет собой замену наименее значимых бит (метод LSB). Программа устойчива к визуальным атакам и имеет высокую пропускную способность, скрытое сообщение может занимать до 12% всего изображения [16].	Полностью доступная программа для шифрования в JPEG; простота использования.	Не устойчива к анализу гистограмм; не устойчива к визуальным атакам; поддерживает только формат JPEG; только один алгоритм шифрования; мало возможностей.
S-Tools	Данная программа позволяет скрывать любые файлы в GIF, BMP и WAV. Осуществляет регулируемое сжатие (архивирование)	Поддержка нескольких алгоритмов шифрования; без пароля невозможно установить факт работы S-Tools.	Поддерживает мало форматов; мало возможностей; в некоторых случаях наблюдалось искажение встраиваемой

данных, кроме того,	информации.
---------------------	-------------

Продолжение таблицы 1

Название ПО	Описание	Достоинства	Недостатки
	производит шифрование с использованием алгоритмов MCD, DES, тройной-DES, IDEA. При шифровании использует пользовательский пароль [17].		
TrueCrypt	Компьютерная программа шифрования, для 32- и 64-разрядных операционных систем семейств Microsoft Windows NT 5 и новее (GUI-интерфейс), Linux и Mac OS X. Позволяет шифровать логические диски, разделы жесткого диска или usb-накопителя. Результат работы программы представляется файлом, содержащим всю зашифрованную информацию (каталоги, папки и т.д.) [18].	Программа умеет создавать виртуальный зашифрованный диск; присутствуют виды шифрования как для 32 битов так и для 64; при генерации ключей шифрования использует хэш-функции; наличие двух уровней защиты от выявления; не требует установки; возможность резервного копирования данных.	В мае 2014, в ходе проверки TrueCrypt, были обнаружены серьезные уязвимости и нарушения, вследствие чего проект был закрыт.
CyberSafe	Предоставляет широкий спектр услуг таких как: шифрование файлов, папок, каталогов и дисков, электронной почты и т.д. Программа является платной и необходимо приобрести лицензию на право использования [19].	Широкий спектр возможностей для шифрования абсолютно любых видов информации; неограниченная длина пароля для шифрования; использование новейших алгоритмов шифрования (Blowfish, AES, DES); простота использования.	Данное программное обеспечение является платным и требует специальной установки.
Folder Lock	Основные возможности: Аес-шифрование (длина ключа 256 бит), сокрытие файлов и папок, шифрование файлов «на лету», резервное копирование-онлайн, создание защищенных usb/cd/dvd-дисков, шифрование вложений электронной почты	Простой и понятный интерфейс; прозрачное шифрование «на лету»; возможность резервного онлайн-копирования; возможность создания саморасшифровывающихся контейнеров на USB/CD/DVD-дисках	Наличие только английского языка; отсутствует цифровая подпись на зашифрованных файлах; высокая стоимость.

[20].		
-------	--	--

Продолжение таблицы 1

Название ПО	Описание	Достоинства	Недостатки
PGP Desktop	Это комплекс программ для шифрования, обеспечивающий гибкое многоуровневое шифрование. Данная программа тесно интегрируется в системную оболочку, а доступ к ней осуществляется через «Проводник» [20].	Поддержка сервера ключей keyserver.pgp.com.; возможность создания саморасшифровывающихся архивов; возможность шифрования системного жесткого диска; интеграция с «Проводником» ОС.	Нестабильная работа; низкая производительность.

Исходя из анализа характеристик, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод, что наиболее эффективной программой с точки зрения безопасности является CyberSafe. Однако для использования CyberSafe необходимо приобрести лицензию на определенный срок (затем ее нужно продлевать), в то время как остальные перечисленные продукты являются бесплатными или не требуют периодической оплаты. Это естественно объясняется тем, что информация сегодня является очень ценным ресурсом любой компании и за ее должную безопасность необходимо дорого платить.

### **Лингвистическая стеганография**

Анализ предложений на рынке безопасности показывает, что методы стеганографии эволюционируют каждый год. Постоянно ведется поиск новых контейнеров для сокрытия информации, так как при передаче данных, злоумышленники в первую очередь концентрируют свои атаки на медиа и видео контенте. В последние годы популярность набирают методы, где в качестве контейнера скрываемого сообщения выступает другое сообщение, данное направление получило название — лингвистическая стеганография. Однако все известные на сегодня алгоритмы данного типа стеганографии обладают целым рядом недостатков. Из-за их примитивной реализации декодирования сообщения с помощью вычислительной техники не вызывает трудностей.

Рассмотрим некоторые методы данного направления:

- семаграммы — при использовании данного метода скрываемый текст заменяется последовательностью определенных знаков или символов, где каждый знак (символ) соответствует определенному слову;

- фонетика — способ, при котором слово транслитерируется на определенный язык;
- жаргоны — схожи с семаграммами, но вместо знаков используются другие (понятные только определенной группе лиц) слова;
- скрытое кодирование — наиболее распространенный метод, но и наиболее сложный в реализации.

Идея последнего метода состоит в том, чтобы превратить (закодировать) скрываемое сообщение в другой текст (стега-текст), который должен быть абсолютно лексически правилен и не вызывать подозрений. Зачастую в качестве стега-текста выступает разнообразная реклама.

Сравнительный анализ данных методов приведен в работе [15], в ней также отмечаются главные преимущества и недостатки алгоритмов лингвистической стеганографии.

### **Заключение**

Все вышеперечисленные методы стеганографии обеспечивают достаточно стойкую защиту передаваемых сообщений. Сравнительная таблица этих методов, приведенная в работе [3], позволяет сделать следующие выводы.

Методы, которые используют избыточность аудио и визуальной информации обладают целым рядом достоинств:

- относительная простота реализации;
  - возможность передачи больших объемов данных;
  - изменение младших разрядов информационных адиниц в форматах контейнеров никак не влияет на восприятие человека и даже некоторых мониторов и мультимедийных систем;
  - даже если факт сокрытия стал известен противнику через сообщника, извлечение самого файла-сообщения

представляет сложную вычислительную задачу.

Но с изменением информации искажаются статистические характеристики цифровых потоков, более того данные способы плохо применимы к форматам со сжатием данных (JPEG), так как они не устойчивы к геометрическим преобразованиям, после которых внедренная информация сильно искажается и появляется проблема ее извлечения на принимающей стороне [3].

Методы цифровой стеганографии направленные на использование зарезервированных для расширения полей компьютерных форматов достаточно просты в реализации и использовании. Данные поля имеются во многих форматах и заполняются нулями, так что не учитываются программами, следовательно их изменение не будет заметно. Однако этот способ не позволяет встраивать в контейнер большие сообщения, более того при декодировании сразу же проверяются именно эти участки файлов.

### Список литературы

1. Голубев Е.А., Емельянов Г.В. Стеганография как одно из направлений обеспечения информационной безопасности // Технологии информационного общества, Спецвыпуск Т-Comm, 2009. — с. 185-186.
2. Стеганография [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://tpl-it.wikispaces.com/Стеганография>. — Заглавие с экрана
3. Классификация стеганографических методов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=9&pa=13&ar=1>. — Заглавие с экрана
4. Стеганография [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Стеганография#.D0.9C.D0.B5.D1.82.D0.BE.D0.B4\\_LS\\_B](https://ru.wikipedia.org/wiki/Стеганография#.D0.9C.D0.B5.D1.82.D0.BE.D0.B4_LS_B). — Заглавие с экрана
5. Метод Куттера-Джордана-Боссена [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/115287/>. — Заглавие с экрана
6. Г. И. Борзунов, А. С. Соловьев Сравнение алгоритмов Куттера и Брайндокса // Материалы XVIII всероссийской научно-практической конференции БИТ, 2011. — с. 79-80.
7. Васина Т. С. Обзор современных алгоритмов стеганографии //
8. П.П. Кокорин О методах стегоанализа в аудиофайлах // Труды СПИИРАН. Вып. 4, 2007. — с. 239-246.
9. Внедрение информации в аудио сигнал [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://crypts.ru/vnedrenie-informacii-modifikaciej-fazy-audiosignala.html>. — Заглавие с экрана
10. ЦВЗ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровой\\_волновой\\_знак](https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровой_волновой_знак). — Заглавие с экрана
11. А.Г. Коробейников, С.С. Кувшинов, С.Ю. Блинов, А.В. Лейман, И.М. Кутузов Цифровые водяные знаки в графических файлах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, № 1, 2013. — с. 152-157.
12. Д.П. Рублёв, О.Б. Макаревич, В.М. Федоров Метод стеганографического встраивания сообщений в аудиоданные на основе вейвлет-преобразования // Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел III. Методы и средства криптографии и стеганографии, 2009. — с. 199-205.
13. Технология расширенного спектра [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/1004/202/lecture/5236?page=6>. — Заглавие с экрана

В заключение можно сделать следующий вывод. При передаче сообщения, скрываемого в аудио файле или в файле изображения необходимо отдавать предпочтение методам кодирования и расширения спектра сигнала. Более того, само сообщение целесообразно зашифровать стойким криптоалгоритмом, тогда даже при обнаружении факта передачи, злоумышленнику будет достаточно проблематично достать исходное сообщение. И все же при передаче информации по открытым каналам, больше всего подозрений вызывают передаваемые аудио и видео файлы, в то время как обычный передаваемый текст зачастую не привлекает злоумышленников. По этой причине в последнее время активно развивается новое направление — лингвистическая стеганография.

Электронное научно-техническое издание "Наука и образование", МГТУ им. Н.Е. Баумана, 2012. — с. 1-8.

14. О.Ю. Пескова, Г. Ю. Халабурда Применение сетевой стеганографии для защиты данных, передаваемых по открытым каналам Интернет // Технологический институт Южного федерального университета. Санкт-Петербург: Электронные библиотеки и развитие технологий информационного общества, 2012. — с. 348-354.
15. Д.С. Сипаков, Н.Е. Губенко Сравнительный анализ методов лингвистической стеганографии // VI международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг», 2015.
16. JSTEG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nestego.ru/2013/01/jpeg-jsteg.html>. — Заглавие с экрана
17. S-Tools [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.myfreesoft.ru/s-tools.html>. — Заглавие с экрана
18. TrueCrypt [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/TrueCrypt>. — Заглавие с экрана
19. CyberSafe [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://cybersafesoft.com/rus/>. — Заглавие с экрана
20. Сравнение настольных программ для шифрования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/company/cybersafe/blog/252561/>. — Заглавие с экрана
21. Е. В. Васильева Цифровая стеганография // Санкт-петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. Дискретная математика: алгоритмы, 2006. — с. 1-20.

**Н.Є. Губенко, Д.С. Сипаков**

Донецький національний технічний університет

**Аналіз особливостей методів цифрової стеганографії для захисту інформації, що передається по відкритих каналах**

*Розглянуто та проаналізовано методи цифрової стеганографії, які використовують як контейнери для переданого повідомлення аудіо файли і файли зображення. Наведено алгоритми деяких методів, виявлено їх особливості, переваги та недоліки.*

**Ключові слова:** стеганографія, контейнер, ЦВЗ, біт, інформація, зловмисник, аутентифікація, загроза, атака, безпека

**N. Ye. Gubenko, D.S. Sipakov**

Donetsk National Technical University

**Analysis of the features of digital steganography to protect information transmitted via open channels**

*We considered and analyzed digital steganography techniques, which are used as containers transmitted message audio files and images. The algorithms of some methods, revealed their features, advantages and disadvantages. The comparative analysis of some methods of a digital steganography is carried out. The considered finished software products for introduction of a steganography. The comparative analysis of programs which is presented in the table is realized. The short review of a linguistic steganography is carried out. Recommendations of use of algorithms are provided. A number of sources and works on concealment of information is considered.*

**Keywords:** steganography, container, DW, bit, information, the attacker, the authentication, threat, attack, security

*Стаття поступила в редакцію 20.11.2015  
Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павльшом*

УДК 004.7

## Исследование сетевого трафика с помощью функции Херста

Е.Н. Едемская, Д.В. Бельков  
Донецкий национальный технический университет  
belkov@telenet.dn.ua, botba@list.ru

*Едемская Е.Н., Бельков Д.В. Исследование сетевого трафика с помощью функции Херста. Исследование сетевого трафика является важным, поскольку фрактальный трафик в современных компьютерных сетях ухудшает качество обслуживания. Целью настоящей работы является исследование реального трафика для выявления его характерных особенностей. Для исследования фрактальных процессов используется показатель Херста  $H$ , который является мерой длительности долгосрочной зависимости процесса. В статье при анализе трафика предлагается использовать функцию Херста. Ее график строится следующим образом. По оси абсцисс откладываем значения  $N=2,3,\dots,N_m$ , где  $N_m$  – максимальная длина временного ряда,  $N$  – текущее количество элементов временного ряда. Для каждого значения  $N$  определяем величину показателя Херста  $H(N)$  и откладываем ее по оси ординат. Исследования выполнены в среде Matlab. Для изучения выбраны четыре реализации сетевого трафика, полученные в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа. Изучаемые временные ряды представляют собой измерения задержки (с.) UDP и TCP-пакетов. В первом случае (ряд UDP\_d64) UDP-пакеты имеют объем 64 байт, во втором (ряд UDP\_d512) – 512 байт. Третий ряд (TCP\_d64) – передача TCP-пакетов объема 64 байт, четвертый ряд (TCP\_d512) – передача TCP-пакетов объема 512 байт. Получены следующие результаты. Трафик UDP\_d64 состоит из двух персистентных фаз и фазового перехода между ними в момент, когда функция Херста достигает значения  $H=0,5$ . Трафик UDP\_d512 имеет фазовый переход из антиперсистентного состояния ( $H=0,25$ ) к состоянию однородного трафика ( $H=0,5$ ) и постепенный возврат в антиперсистентное состояние. TCP-трафик имеет постепенный переход из персистентного к однородному состоянию, однородный режим, фазовый переход в персистентное состояние и постепенный возврат из персистентного в однородное состояние.*

### Введение

Для повышения эффективности функционирования сетей важной задачей является анализ структуры трафика. В теории телетрафика используются математические методы и модели, ориентированные на независимые стационарные потоки. Однако, многочисленные исследования [1-6] трафика сетей свидетельствуют о его фрактальности. В процессе передачи возникают большие всплески при относительно низком среднем уровне трафика. Данное явление, которое значительно влияет на потери, задержки и джиттер пакетов, не учитывается в теории телетрафика. Расчет параметров системы распределения информации, предназначенной для обработки сетевого трафика, по классическим формулам дает некорректные, неоправданно оптимистические результаты. Алгоритмы обработки трафика, созданные для работы с простейшим потоком неэффективны для фрактальных потоков.

Фрактальные процессы обладают самоподобием (масштабной инвариантностью) корреляционной функции, спектральной

мощности, дисперсии. Масштабная инвариантность сетевого трафика позволяет разработать алгоритмы прогнозирования, которые смогут с помощью анализа трафика на относительно небольшом отрезке времени предсказать его поведение на длительных интервалах. Используя такие прогнозы, можно создавать эффективные методы управления пропускной способностью, что позволит сократить задержки передачи данных и потери пакетов.

Среди иностранных ученых, которые активно занимаются вопросом самоподобия трафика, можно выделить W. Leland, M. Taqqu, W. Wilinger, D. Wilson, V. Paxson, K. Park, Erramilli и др. Среди российских и украинских исследователей нужно отметить работы О.И. Шелухина, Б.С. Цыбакова, В.В. Петрова, А.В. Осина, А.Г. Ложковского, В.С. Заборовского, О.Я. Городецкого. Однако исследование самоподобного трафика с целью прогнозирования его поведения и обеспечения QoS не потеряло своей актуальности.

Для анализа фрактальных процессов используется показатель Херста  $H$ , который



является мерой устойчивости статистического явления или мерой длительности долгосрочной зависимости процесса. Значение  $H=0,5$  указывает на отсутствие долгосрочной зависимости. Корреляция между событиями отсутствует. Временной ряд является случайным, а не фрактальным. Чем ближе значение  $H$  к 1, тем выше степень устойчивости долгосрочной зависимости. При  $0 \leq H < 0,5$  временной ряд является антиперсистентным. Он более изменчив, чем случайный ряд, поскольку состоит из частых реверсов спад-подъем. При  $0,5 < H \leq 1$  ряд называется персистентным. Тенденция его изменения может быть спрогнозирована [7].

Во многих работах [7-9] показатель Херста является индикатором: если исследуемый трафик имеет  $H > 0,5$ , то принимается решение о возможности прогнозирования трафика, иначе – такая возможность отвергается. При разработке метода прогнозирования найденное значение  $H$  не используется.

В данной статье для анализа трафика предлагается использовать функцию, которую назовем функцией Херста. Ее график строится следующим образом. По оси абсцисс откладываем значения  $N=2,3,\dots,N_m$ , где  $N_m$  – максимальная длина временного ряда,  $N$  – текущее количество элементов временного ряда. Для каждого значения  $N$  определяем величину показателя Херста  $H(N)$  и откладываем ее по оси ординат.

Целью работы является исследование структуры сетевого трафика, направленное на выявление его характерных особенностей. Задача работы – анализ трафика задержки UDP и TCP-пакетов с помощью функции Херста. Исследования выполнены в среде Matlab. Для

изучения выбраны четыре реализации сетевого трафика [10], полученные в университете города Наполи (Италия). Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа. Условные обозначения, принятые в работе, показаны в таблице 1.

Таблица 1. Условные обозначения

Обозначение	Описание
UDP_d64	Ряд измерений задержки (с.) UDP-пакетов объемом 64 байт
UDP_d512	Ряд измерений задержки (с.) UDP-пакетов объемом 512 байт
TCP_d64	Ряд измерений задержки (с.) TCP-пакетов объемом 64 байт
TCP_d512	Ряд измерений задержки (с.) TCP-пакетов объемом 512 байт

### Исследование UDP-трафика

В первой серии экспериментов исследуются ряды UDP\_d64 и UDP\_d512. Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено 12 000 отсчетов. Отправитель имел ADSL-доступ (640 Kbps), на стороне получателя – 100 Mbps Ethernet, операционная система Linux на каждой из сторон, скорость передачи 100 rps.

Временной ряд UDP\_d64 и его функция Херста показаны на рисунках 1, 2.

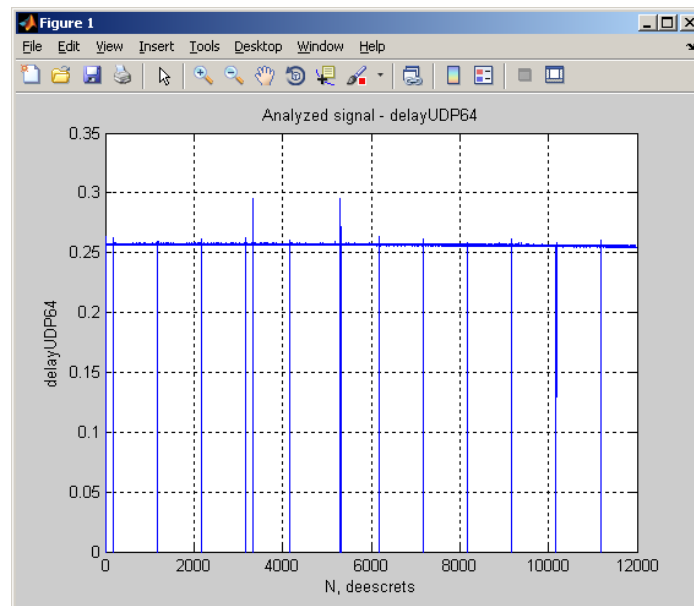


Рисунок 1 – Временной ряд UDP\_d64

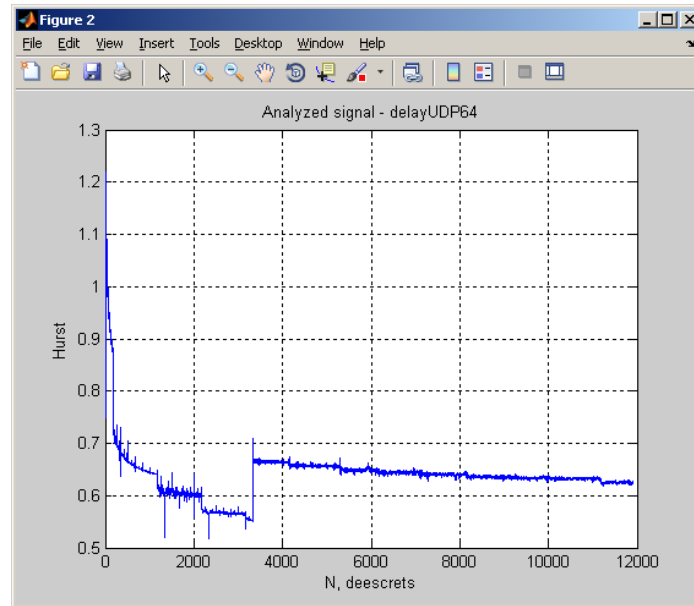


Рисунок 2 – Функция Херста ряда UDP\_d64

На рисунке 1 заметен порядок, состоящий в том, что длительные (примерно по 1000 тактов) активные интервалы с положительной задержкой чередуются с кратковременными (1-2 такта) пассивными интервалами с нулевой задержкой. Этот порядок существует до значения  $N=3300$ , когда очередной активный интервал прерывается, происходит всплеск задержки, затем порядок восстанавливается. Еще один всплеск задержки при  $N=5000$  не нарушает порядка. Функция Херста, изображенная на рисунке 2, имеет две ветви. Переход от одной ветви к другой происходит за один такт. Как показано на рисунке 3, на каждой ветви есть интервалы с примерно

постоянным значением функции, которые соответствуют активным интервалам задержки. Пассивным интервалам соответствует быстрое убывание функции Херста. Скачок функции совпадает по времени со всплеском задержки при  $N=3300$  и  $H = 0,55 \approx 0,5$ . Для наглядности значения задержки на рисунке 3 увеличены в 4 раза.

Таким образом, трафик UDP\_d64 состоит из двух персистентных фаз и фазового перехода между ними в момент, когда функция Херста достигает значения  $H=0,55$ .

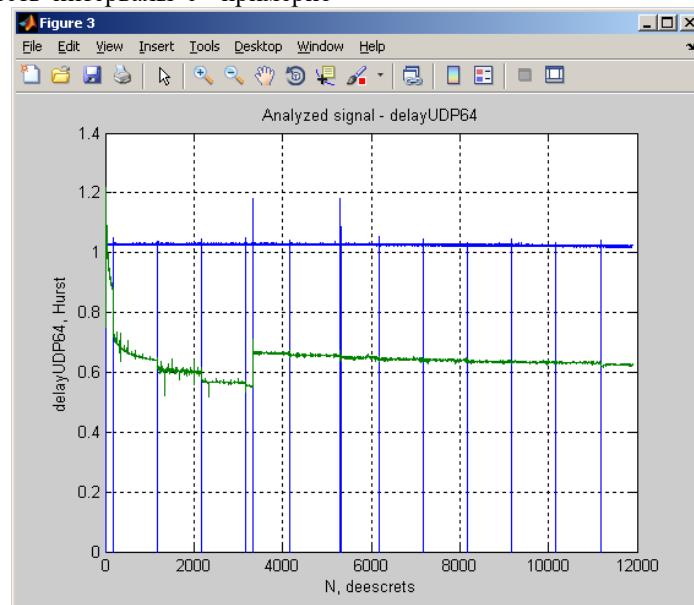


Рисунок 3 – Динамика функции Херста ряда UDP\_d64

На рисунке 4 показан фрагмент временного ряда UDP\_d512. Функция Херста показана на рисунке 5. Ее анализ позволяет сделать

следующие выводы: при  $N=150$  происходит фазовый переход из антиперсистентного состояния ( $H=0,25$ ) к состоянию одноуровневого

трафика ( $H=0,5$ ). Затем происходит фазовый переход в антиперсистентное состояние при  $H=0,4$  и постепенное уменьшение функции Херста.

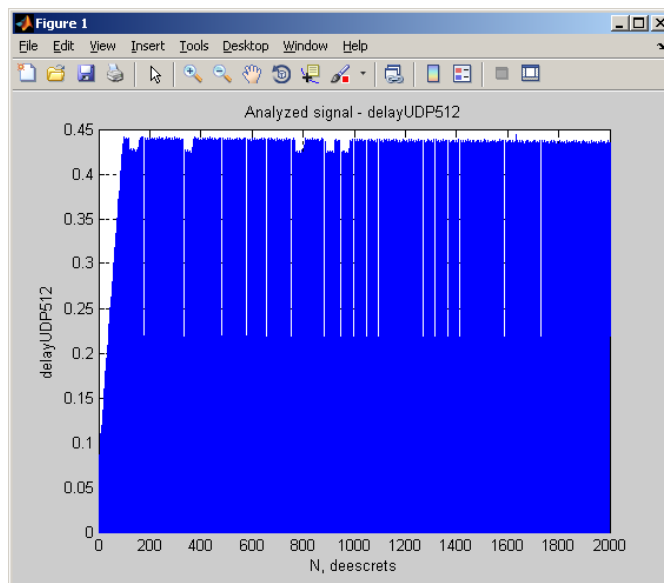


Рисунок 4 – Временной ряд UDP\_d512

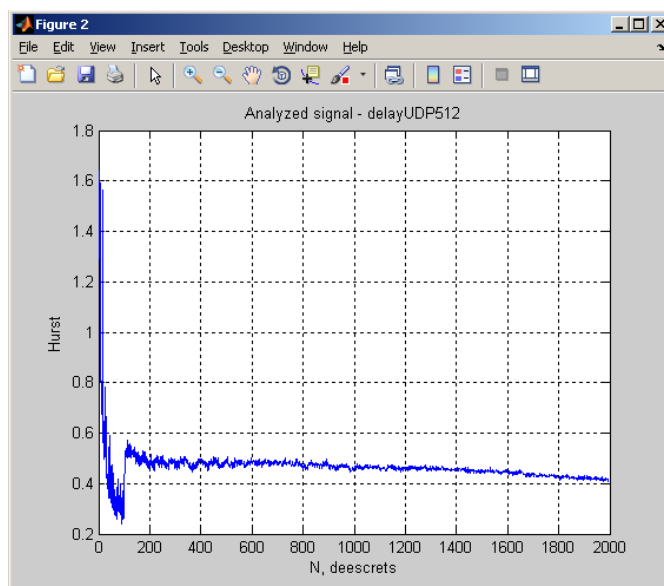


Рисунок 5 – Функция Херста ряда UDP\_d512

### Исследование TCP-трафика

Во второй серии экспериментов исследуются ряды TCP\_d64 и TCP\_d512. Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 3000 отсчетов. Отправитель имел ADSL-доступ (640 Kbps), на стороне получателя - UMTS-доступ, скорость передачи 100 rps, операционная система Windows32, на каждой из сторон. Изучаемые временные ряды и функции Херста показаны на рисунках 6-9. Для каждого ряда функция Херста принимает значение  $H=0,5$

при  $N=100$ . Однородное состояние, соответствующее пассивному интервалу временного ряда, длится до значения  $N=250$ , при котором происходит фазовый переход в персистентное состояние. Затем происходит постепенный возврат в состояние однородного трафика, которое устанавливается при  $N=1000$ . Фазовый переход в персистентное состояние соответствует большому всплеску задержки.

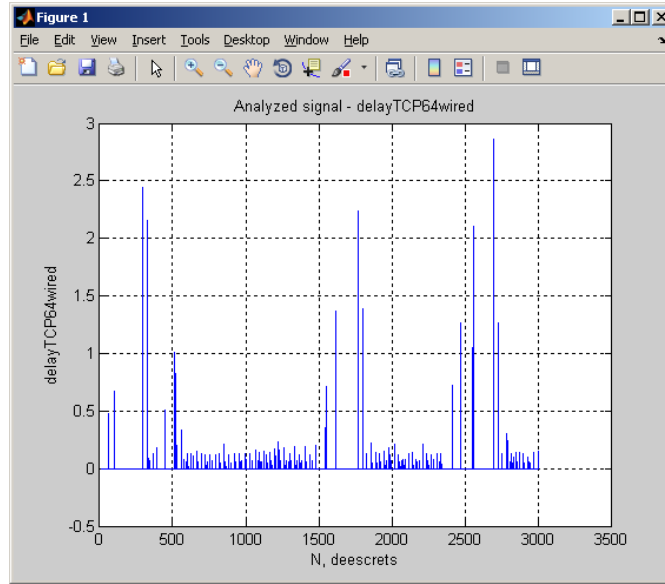


Рисунок 6 – Временной ряд TCP\_d64

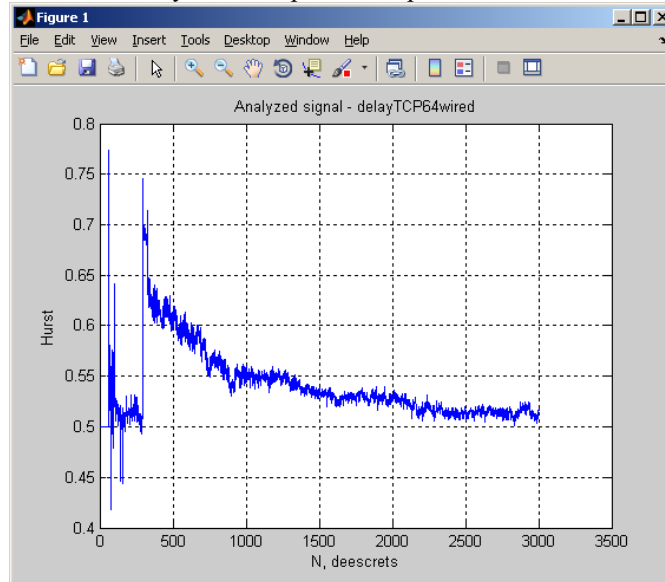


Рисунок 7 – Функция Херста ряда TCP\_d64

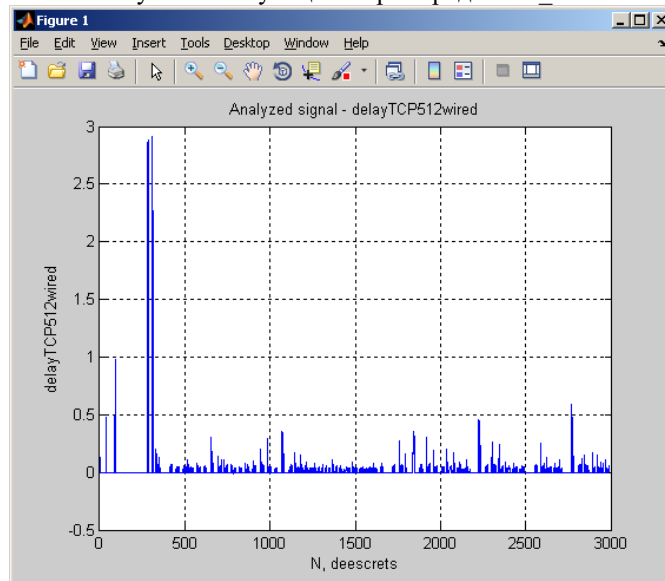


Рисунок 8.- Временной ряд TCP\_d512

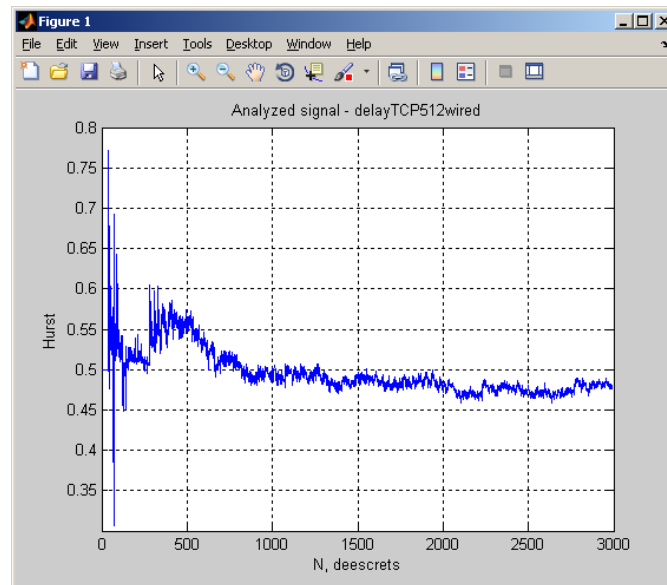


Рисунок 9 – Функция Херста ряда TCP\_d512

### Выводы

В данной работе для исследования сетевого трафика предложено использовать функцию Херста. Выполнен анализ реализаций [10] трафика задержки UDP и TCP-пакетов с помощью функции Херста. Получены следующие результаты:

Трафик UDP\_d64 состоит из двух персистентных фаз и фазового перехода между ними в момент, когда функция Херста достигает значения  $H=0,5$ . Трафик UDP\_d512 имеет фазовый переход из антиперсистентного состояния ( $H=0,25$ ) к состоянию однородного трафика ( $H=0,5$ ) и постепенный возврат в антиперсистентное состояние. TCP-трафик имеет постепенный переход из персистентного состояния в однородное состояние, фазовый переход в персистентное состояние и постепенный возврат в однородное состояние.

Перспективным направлением дальнейших исследований является использование функции Херста для анализа мультимедийного трафика.

**Список литературы**

1. Park K. Self-Similar Network Traffic: An Overview. [Электронный ресурс], 2003. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/park1.pdf>
2. Willinger W., Taqqu M.S., Errimilli A. A bibliographical guide to self-similar traffic and performance modeling for modern high-speed networks. [Электронный ресурс], 2001. – Режим доступа: <http://linkage.rockefeller.edu/wli/reading/taqqu96.pdf>
3. Hae-Duck Joshua Jeong. Modeling of self-similar teletraffic for simulation. University of Canterbury, 2002. – 297 p.
4. Ложковський А.Г. Аналіз і синтез систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка. Автореферат дисертації. Одеса. - 2010. – 38 с.
5. Бельков Д.В., Едемская Е.Н., Незамова Л.В. Статистический анализ сетевого трафика. 36. Научных работ ДонНТУ. Серия “Информатика, кибернетика, обчислювальна техніка”. Вип. 13 (185): - Донецьк: ДонНТУ.- 2011.- С. 66 -75.
6. Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Статистический анализ трафика сети с беспроводным доступом. 36. Научных работ ДонНТУ. Серия “Информатика, кибернетика, обчислювальна техніка”. Вип. 14 (188): - Донецьк: ДонНТУ.- 2011.- С. 113-122.
7. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия. Автореферат диссертации. Москва. – 2004. – 20 с.
8. Урьев Г.А. Исследование фрактальных свойств потоков трафика реального времени и оценка их влияния на характеристики обслуживания телекоммуникационных сетей. Автореферат диссертации. Москва. – 2007. – 21 с.
9. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. – СПб.: СПбГУ, 2000. – 102 с.
10. Network tools and traffic traces. [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>

***Є.М. Єдемська, Д.В. Бельков. Дослідження мережевого трафіку за допомогою функції Херста.***

*Дослідження мережевого трафіку є важливим, оскільки фрактальний трафік в сучасних комп'ютерних мережах погіршує якість обслуговування. Метою даної роботи є дослідження реального трафіку для виявлення його характерних особливостей. Для дослідження фрактальних процесів використовується показник Херста  $H$ , який є мірою тривалості довгострокової залежності процесу. У статті при аналізі трафіку пропонується використовувати функцію Херста. Її графік будується таким чином. По осі абсцис відкладаємо значення  $N=2,3,\dots,N_m$ , де  $N_m$  – максимальна довжина тимчасового ряду,  $N$  – поточна кількість елементів тимчасового ряду. Для кожного значення  $N$  визначаємо величину показника Херста  $H(N)$  і відкладаємо її по осі ординат. Дослідження виконані в середовищі Matlab. Для вивчення вибрані чотири реалізації мережевого трафіку, одержані в університеті міста Наполи (Італія). Згідно ліцензії дані вільно доступні для аналізу. Тимчасові ряди, що вивчаються, є вимірюваннями затримки (с.) UDP і TCP-пакетів. У першому випадку (ряд UDP\_d64) UDP-пакети мають об'єм 64 байт, у другому (ряд UDP\_d512) - 512 байт. Третій ряд (TCP\_d64) – передача TCP-пакетів об'єму 64 байт, четвертий ряд (TCP\_d512) – передача TCP-пакетів об'єму 512 байт. Одержані наступні результати. Трафік UDP\_d64 складається з двох персистентних станів і фазового переходу між ними в момент, коли функція Херста досягає значення  $H=0,5$ . Трафік UDP\_d512 має фазовий перехід від антиперсистентного стану ( $H=0,25$ ) до стану однорідного трафіку ( $H=0,5$ ) і поступове повернення до антиперсистентного стану. TCP-трафік має поступовий перехід від персистентного до однорідного стану, однорідний режим, фазовий перехід до персистентного стану і поступове повернення від персистентного до однорідного стану.*

**Ключові слова:** UDP- трафік, TCP- трафік, затримка, показник Херста, функція Херста, фазовий перехід.

***E.N. Edemskaya, D.V. Belkov. Network traffic research by the Hurst function.*** Recent studies of real traffic data in modern computer networks have shown that traffic exhibits self-similar (or fractal) properties over a wide range of time scales. The properties of self-similar traffic are very different from the traditional models of traffic based on Poisson, Markov-modulated Poisson, and related processes. The use of traditional models in networks characterized by self-similar processes can lead to incorrect conclusions about the performance of analyzed networks. These include serious over-estimations of the performance of computer networks, insufficient allocation of communication and data processing resources, and difficulties ensuring the quality

of service expected by network users. The self-similar network traffic can have a detrimental impact on network performance, including amplified queuing delay, retransmission rate and packet loss rate. Modern network traffic consists of more bursts than Poisson models predict over many time scales. This difference has implications for congestion control mechanisms and performance. Research of network traffic is important, as a fractal traffic in modern computer networks worsens quality of service. Research of the real traffic for the exposure of its characteristic features is the purpose of the work. For research of fractal processes the Hurst index  $H$ , which is the measure of duration of long-term dependence of process is used. In the article for the traffic analysis it is suggested to use the Hurst function. Its graph is built as follows. On abscising axis we put aside the values  $N=2,3,\dots,N_m$ , where  $N_m$  is maximal length of temporal row,  $N$  is current amount of elements of temporal row. For every value  $N$  we determine the size of the Hurst  $H(N)$  index and put aside it on a y-axis. Researches are executed in the Matlab environment. For the study four realization of network traffic is chosen, got in the university of Napoly city (Italy). In obedience to a license information is freely accessible for the analysis. The studied temporal rows are measuring of the UDP delay and TCP-packets. In first case (time-series UDP\_d64) UDP packets have a volume a 64 byte, in the second (time-series UDP\_d512) is a 512 byte. Third time-series (TCP\_d64) is the transmission of TCP-packets of volume is a 64 byte, fourth time-series (TCP\_d512) is the transmission of TCP-packets of volume is a 512 byte. Next results are got. The traffic UDP\_d64 consists of two persistent states and phase transition between states in moment when the Hurst function achieves the value  $H=0,5$ . The traffic UDP\_d512 has phase transition from an antipersistent state ( $H=0,25$ ) to the state of homogeneous traffic ( $H=0,5$ ) and gradual return to antipersistent state. The TCP-traffic has gradual return from persistent to homogeneous state, homogeneous mode, phase transition to the persistent state and gradual return from persistent state to homogeneous state.

**Keywords:** UDP- traffic, TCP- traffic, delay, Hurst index, Hurst function, phase transition.

Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.691.54

## Выбор и настройка параметров модели классификации спортсменов для формирования оптимальных по составу велокоманд

Землянская С.Ю., Крайний Д.С.  
Донецкий национальный технический университет  
zsaa@ya.ru, krdima92@gmail.com

*Землянская С.Ю., Крайний Д. С. Выбор и настройка параметров модели классификации спортсменов для формирования оптимальных по составу велокоманд. Описан принцип классификации спортсменов, проведен анализ результатов работы различных методов классификации на различных входных наборах данных, разработана модель классификации спортсменов с учетом значимых параметров на основе нейронной сети.*

### Постановка задачи

Задача формирования состава велокоманды заключается в корректном подборе спортсменов на конкретную гонку. Для этого необходимо определиться со специализацией спортсменов и специализацией гонки. Выбор специализации велоспортсмена можно сделать, основываясь на результатах его предыдущих тренировок, а специализацию гонки определить по её характеристикам. Таким образом, необходимой частью процесса формирования состава команды велоспортсменов на гонку является решение задачи классификации.

На данный момент процесс учета физического состояния профессионального спортсмена является обязательным фактором для достижения максимального результата. Это связано с тем, что профессиональный велоспорт характеризуется высокой конкурентностью между спортсменами [3], что определяет высокие требования к уровню физической подготовки.

Актуальность поставленной проблемы заключается в том, что благодаря развитию компьютерных технологий все данные, характеризующие тренировку и физическое состояние спортсмена, находятся в электронном виде. Это в свою очередь позволяет легко манипулировать ими, сводить данные в таблицы и графики, а также производить расчеты для составления рекомендаций спортсмену.

Учитывая вышеуказанное, разработка модели, позволяющей оценить степень соответствия физического состояния спортсмена той или иной гонке для достижения максимальных результатов, является актуальной.

Применяя модель классификации спортсменов, можно оценить физическую подготовку спортсмена на данный момент, на

основании временной статистики его тренировок. Эта информация может использоваться как для составления спортивного календаря на год, так и для распределения ролей гонщиков в команде.

Цель классификации заключается в выявлении специализации спортсмена, что может помочь спортивному директору выбрать максимально эффективный состав спортсменов на определённую гонку, чтобы команда смогла показать лучший результат, что, вероятно, приведет к новым вложениям спонсоров [4].

### Цель статьи

Целью данной статьи является выбор метода для решения задачи классификации велоспортсменов по возможным специализациям, а также настройка работы выбранного метода, посредством изменения различных параметров для достижения максимально точного результата.

### Начальные исследования

Поскольку возможность получить для анализа реальные данные отсутствует, входные параметры генерируются в диапазонах значений, согласованных с экспертом в данной области.

Выделены три основные классификации спортсменов – спринтер, горняк, раздельщик. Эти классификации характеризуются определенным набором правил, представляющих собой верхние и нижние границы для анализируемых характеристик спортсмена, полученных при моделировании. Например, значение текущей скорости у горняков при наборе более 300 метров будет варьироваться от 25 до 35 км/ч, в то время как спринтеры смогут показать там скорость 10-20 км/ч, а раздельщики 15-25 км/ч. Подобным образом генерируются значения всех входных данных нейронной сети, основываясь на наборе либо потере высоты и теоретической специализации гонщика.

В качестве входного набора для метода классификации будут использоваться следующие параметры: ID (уникальный номер спортсмена), возраст, вес, рост, набор высоты, потеря высоты, средняя скорость, максимальная скорость, средняя мощность, максимальная мощность, средний пульс, максимальный пульс, средний каденс, максимальный каденс. Последние 10 показателей относятся только к одной тренировке.



Имея входной набор параметров, можно протестировать различные методы классификации чтобы выбрать наиболее подходящий для решения поставленной задачи классификации [6]. Входной файл будет представлять собой таблицу, где все столбцы, кроме последнего – характеристика спортсмена, а последний столбец – ожидаемый результат, если он необходим для обучения.

### Формализация классификации спортсменов

Классификация, в данном случае представляет собой выбор подходящей специализации спортсмена, данный выбор делается, основываясь на диапазоне значений всех 14 входных параметров, описанных ниже. Принадлежность спортсмена к той или иной специализации определяется на основании попадания параметров тренировки в определенные диапазоны:

$$\begin{aligned} N_i = & (lbA_i \leq A \leq ubA_i) \& \\ & (lbH_i \leq H \leq ubH_i) \& (lbW_i \leq W \leq ubW_i) \\ & \& (lbD_i \leq D \leq ubD_i) \& (lbEG_i \leq EG \leq ubEG_i) \\ & \& (lbEL_i \leq EL \leq ubEL_i) \& (lbMS_i \leq MS \leq ubMS_i) \\ & \& (lbAS_i \leq AS \leq ubAS_i) \& (lbMPo_i \leq MPo \leq ubMPo_i) \\ & \& (lbAPo_i \leq APo \leq ubAPo_i) \& (lbMPu_i \leq MPu \leq ubMPu_i) \\ & \& (lbAPu_i \leq APu \leq ubAPu_i) \& (lbMC_i \leq MC \leq ubMC_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $N_i$  – принадлежность спортсмена к  $i$ -ому типу специализации, префиксы  $lb$  и  $ub$  представляют собой значения нижней и верхней границы рассматриваемого параметра, соответственно,  $D$  – значение длительности тренировки,  $A$  – переменная, обозначающая возраст спортсмена,  $H$  – значение роста спортсмена,  $W$  – значение веса спортсмена,  $EG$  – набор высоты за тренировку,  $EL$  – потеря высоты за тренировку,  $MS$  – максимальная скорость за тренировку,  $AS$  – средняя скорость за тренировку,  $MPo$  – максимальная мощность за тренировку,  $APo$  – средняя мощность за тренировку,  $MPu$  – максимальный пульс за тренировку,  $APu$  – средний пульс за тренировку,  $MC$  – максимальный каденс за тренировку,  $AC$  – средний каденс за тренировку.

Стоит отметить, что классификация выполняется с учетом всех тренировок, затем данные группируются по спортсменам, и для каждого спортсмена считается среднее значение его специализации по формуле:

$$Spec = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N}, \quad (2)$$

где  $Spec$  – окончательное значение специализации для спортсмена, которое в дальнейшем используется в процессе формирования состава велокоманд,  $S_i$  – специализация спортсмена, полученная по

результатам  $i$ -ой тренировки,  $N$  – количество проведенных тренировок.

### Выбор метода решения проблемы

Для решения задач классификации существует множество методов [5], рассмотрим несколько наиболее популярных среди них и выберем наиболее подходящий для решения поставленной задачи.

### Метод $k$ взвешенных ближайших

Метод  $k$  взвешенных ближайших соседей – это метрический алгоритм классификации, основанный на оценивании сходства объектов. Классифицируемый объект относится к тому классу, которому принадлежат ближайшие к нему объекты обучающей выборки [9].

Пусть  $X \in R^n$  – множество объектов;  $Y$  – множество допустимых ответов. Задана обучающая выборка:

$$\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^l \quad (3)$$

Задано множество объектов:

$$X^m = \{x_i\}_{i=1}^m \quad (4)$$

Требуется найти множество ответов  $y_i$  для объектов  $x_i$ .

На множестве объектов задается евклидова функция расстояния:

$$p(x, x') = \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2 \quad (5)$$

Для произвольного объекта  $x$  расположим объекты обучающей выборки  $x_i$  в порядке возрастания расстояний до  $x$  (6).

$$p(x, x_{1,x}) \leq p(x, x_{2,x}) \leq \dots \leq p(x, x_{m,x}), \quad (6)$$

где через  $x_{i,x}$  обозначается тот объект обучающей выборки, который является  $i$ -м соседом объекта  $x$ . Аналогичное обозначение введём и для ответа на  $i$ -м соседе:  $y_{i,x}$ .

Таким образом, произвольный объект  $x$  порождает свою перенумерацию выборки. В наиболее общем виде алгоритм ближайших соседей есть (7).

$$a(x) = \arg \max \left( \sum_{i=1}^m [x_{i,x} = y] \omega(i, x) \right), \quad (7)$$

где  $\omega(i, x)$  — заданная весовая функция, которая оценивает степень важности  $i$ -го соседа для классификации объекта. Так, при  $\omega(i, x) = 1$  при  $i < k$  алгоритм соответствует методу  $k$  ближайших соседей. Но в задаче с несколькими возможными ответами максимальная сумма голосов может достигаться на нескольких классах одновременно. Неоднозначность можно устранить, если в качестве весовой функции взять нелинейную последовательность, например,

геометрическую прогрессию: в рассматриваемом примере:

$$\omega(i, x) = [i \leq k] * q^2, \quad (8)$$

что соответствует методу k экспоненциально взвешенных ближайших соседей, причем предполагается:

$$0.5 \leq q \leq 1 \quad (9)$$

Но, несмотря на простоту реализации, данный алгоритм приводит к неэффективному расходу памяти и чрезмерному усложнению решающего правила в следствии необходимости хранения обучающей выборки целиком и сравнения классифицируемого объекта со всеми объектами выборки, а в данном случае она представляет собой значительный объем данных.

**Иерархические методы кластеризации различаются правилами построения кластеров.**

В качестве правил выступают критерии, которые используются при решении вопроса о "схожести" объектов при их разделении на группы (дивизимные методы) [7].

Суть дивизимной иерархической кластеризации состоит в последовательном разделении больших кластеров на меньшие.

Критерием для определения схожести и различия кластеров является расстояние между точками на диаграмме рассеивания. Это сходство можно "измерить", оно равно расстоянию между точками на графике. Способов определения меры расстояния между кластерами, называемой еще мерой близости, существует несколько. Наиболее распространенный способ - вычисление евклидова расстояния между двумя точками i и j на плоскости, когда известны их координаты X и Y:

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (10)$$

чтобы узнать расстояние между двумя точками, надо взять разницу их координат по каждой оси, возвести ее в квадрат, сложить полученные значения для всех осей и извлечь квадратный корень из суммы.

Когда осей больше, чем две, расстояние рассчитывается таким образом: сумма квадратов разницы координат состоит из столько слагаемых, сколько осей (измерений) присутствует в нашем пространстве. Например, если нам нужно найти расстояние между двумя точками в пространстве трех измерений, формула (9) приобретает вид:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}, \quad (11)$$

В начале работы алгоритма все объекты принадлежат одному кластеру, который на последующих шагах делится на меньшие кластеры, в результате образуется последовательность расщепляющих групп.

Иерархические алгоритмы связаны с построением дендрограмм (от греческого dendron - "дерево"), которые являются результатом иерархического кластерного анализа [10]. Дендрограмма описывает близость отдельных точек и кластеров друг к другу, представляет в графическом виде последовательность объединения (разделения) кластеров.

Принцип работы описанного выше метода в виде дендрограммы показан на рис. 1.

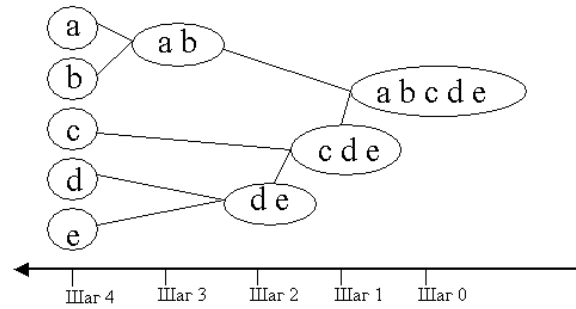


Рисунок 1 – Принцип работы метода деления иерархического дерева кластеров

Преимуществом иерархических методов кластеризации является их наглядность, однако иерархические методы кластерного анализа используются при небольших объемах наборов данных.

**Искусственная нейронная сеть**

Искусственная нейронная сеть или просто нейронная сеть — это математическая модель, а также ее программные или аппаратные реализации, построенная в некотором смысле по образу и подобию сетей нервных клеток живого организма [1].

Как и линейные методы классификации и регрессии, по сути нейронные сети выдают ответ вида:

$$y(x, \omega) = f\left(\sum_{j=1}^N \omega_j * \varphi_j * (x)\right), \quad (12)$$

где f — нелинейная функция активации, ω — вектор весов, φ — нелинейные базисные функции. Обучение нейронных сетей состоит в настройке весов, а также базисных функций.

Несмотря на недостатки нейронных сетей вроде возможной тупиковой ситуации [2] после обучения, они имеют ряд достоинств, важных при решении данной задачи: решений задач при неизвестных закономерностях – система получает на вход множество параметров, взаимосвязь между которыми сложно отследить; устойчивость к шумам во входных данных – плохие погодные условия на тренировках, плохое самочувствие

спортсмена и множество подобных факторов может внести неясность при принятии решения; адаптированные к изменениям – со временем спортсмен может переклассифицироваться в гонщика другой специализации, что будет видно по данным его тренировок; высокое быстродействие – система должна работать с множеством показателей каждой тренировки для каждого спортсмена команды, следовательно быстродействие будет являться значительным плюсом.

Существует ряд нейронных сетей, подходящих для выполнения задачи классификации.

### Выбор метода классификации

Для выбора метода классификации сравним результаты работы выбранных методов классификации с ожидаемым значением специализации велоспортсмена. В качестве входных данных используем тестовую выборку из 50 тренировок нескольких спортсменов, сгенерированную с учетом заданных границ значений параметров спортсмена и тренировки для разных специализаций. Для наглядности рассчитаем среднюю ошибку результатов, как сумму разниц в значениях специализации деленную на количество спортсменов. Результаты сравнения методов классификации приведены в таблице 1.

Основываясь на средней ошибке результатов работы методов классификации, которые приведены в таблице 1, можно сделать вывод, что для решения поставленной задачи лучше всего подходит нейронная сеть.

Таблица 1. Сравнение методов классификации

Значение	Средняя ошибка
Метод k взвешенных ближайших	0,667
Иерархический метод кластеризации	1,085
Нейронная сеть	0,033

### Выбор структуры и параметров нейронной сети

Анализ результатов заключается в том, чтобы сравнить показатели производительности и погрешность нейронных сетей, и на основании этих данных определиться с типом нейронной сети и сгенерировать наиболее подходящую структуру для решения поставленной задачи.

Определим, как влияет количество входных данных нейросети на полученные результаты. Запустим модуль STATISTICA Neural Network и в

качестве входного набора данных укажем файл с 25 тренировками различных спортсменов. В таблице 2 приведены результаты работы лучших нейронных сетей различных типов.

Таблица 2. Описание нейронных сетей с входным набором из 25 записей

Type	Error	Inputs	Hidden	Performance
MLP	0.38962	6	4	0.02576
RBF	0.91534	4	4	0.10245
PNN	0.40613	13	13	0.41798

В таблице 2 столбец Type обозначает тип нейронной сети, в данном случае приведены 3 типа сетей с лучшими результатами, MLP – многослойный перцептрон, RBF – радиал-базисные функции, PNN – вероятностная нейронная сеть [8]. Столбец Error обозначает значение средней ошибки на выходе нейронной сети, столбец Inputs – количество входов нейронной сети, столбец Hidden – количество скрытых слоёв, столбец Performance – производительность нейронной сети, что является показателем скорости её работы.

На основании данных таблицы 2 можно сказать что для поставленной задачи лучше всего подходит нейронная сеть с топологией многослойный перцептрон.

Теперь повторим операцию, только в качестве входного набора данных используем файл с 50 тренировками и сравним результаты.

Таблица 3. Описание нейронной сети с входным набором из 50 записей

Type	Error	Inputs	Hidden	Performance
MLP	0.19131	13	8	0.1597355

Сравнивая лучшую нейронную сеть из таблицы 2 и нейронную сеть таблицы 3 можно отметить тот факт, что средняя ошибка выходных данных значительно уменьшилась, более чем в 2 раза, а также возросла производительность. Также количество входов нейронной сети увеличилось до 13, что говорит о том, что в первом случае выбор делался, используя меньше половины входных параметров, что могло приводить к ошибочным результатам. Но, даже с увеличением входного набора данных нейронная сеть не использует все 14 входных параметров, что говорит о незначимости одного из них, либо об отсутствии пересечения границ значений некоторых параметров, что искусственно делает неучитываемый параметр не значимым. В данном случае незначимым оказался рост спортсменов, что противоречит поставленным данным классификации гонщиков. Пересмотрим границы параметров классификаций в программе генерации тренировок и запустим модуль STATISTICA Neural Network с полученным набором данных. Результаты работы новой

нейронной сети на отредактированных данных приведены в таблице 4.

Таблица 4. Описание окончательной нейронной сети с входным набором из 50 записей

Type	Error	Inputs	Hidden	Performance
MLP	0.1162049	14	8	0.1636307

Данная нейронная сеть использует все входные параметры для своей работы, также имеет небольшую погрешность, учитывая вариативность выходных данных. Точность работы нейросети может быть увеличена при тренировке нейронной сети по квазиньютоновскому методу.

Выходным значением нейронной сети является специализация спортсмена в числовом виде: 1 – спринтер, 2 – горняк, 3 – раздельщик.

Структура полученной нейронной сети изображена на рисунке 2.

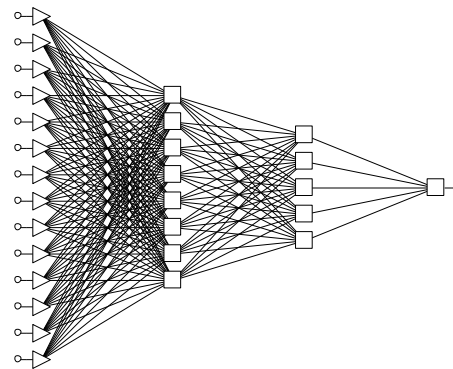


Рисунок 2 – Структура нейронной сети

## Выводы

В статье описаны существующие методы классификации, осуществлен выбор метода и параметров нейронной сети, описаны входные и выходные данные нейронной сети, приведены таблицы с результатами точности и производительности нейронных сетей, проведен анализ полученных значений, приведено описание исследуемого объекта.

В дальнейшем результаты исследования планируется использовать при реализации системы поддержки принятия решения по формированию состава велокоманды на предстоящие гонки.

7. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия: Пер. с фр. М.: Финансы и статистика, 1988. – 342 с.

8. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 382 с.

9. Бериков В.С., Лбов Г.С. Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. — 26 с.

10. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р. К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ.; Под. ред. И. С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989 – 215 с.

## Литература

1. Беркинблит М. Б. Нейронные сети. М.: МИРОС и ВЗМШ РАО, 1993. – 254 с.

2. Уоссермен. Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика, 1992. – 152 с.

3. Шеннон Совндаль, Анатолия велосипедиста – Попурри, 2011. – с. 89-93.

4. Полищук Д.А. «Велосипедный спорт», 1997. – 203 с.

5. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – с. 55-74.

6. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 1979. – 119 с.

*Землянська С.Ю., Крайній Д. С. Вибір і налаштування параметрів моделі класифікації спортсменів для формування оптимальних за складом велокоманд. Описано принцип класифікації спортсменів, проведено аналіз результатів роботи різних методів класифікації на різних вхідних наборах даних, розроблено модель класифікації спортсменів з урахуванням значущих параметрів на основі нейронної мережі.*

**Ключові слова:** велоспортсмен, спеціалізація, модель, параметри, класифікація, нейронна мережа

*Zemlyansky S. Y., Krainiy D. S. Sportsmen classification model selection and parameters tuning for the Cycling teams optimal formation. The principle of sportsmen classification is described, the analysis of different classification methods results on different input data sets is made, the sportsmen classification model with relevant parameters based on neural network is developed.*

**Keywords:** cyclist, racer specialization, model, parameters, classification, neural network

*Стаття поступила в редакцію 20.09.2015  
Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павльшом*

УДК 004.42

## Сравнительный анализ методов оценки качества покрытия, нанесенного вакуумно-дуговым методом

И. И. Иванова, С. Ю. Землянская  
Донецкий национальный технический университет  
innulya.ivanova@gmail.com, zsaa@ya.ru

*Иванова И. И., Землянская С. Ю., Сравнительный анализ методов оценки качества покрытия, нанесённого вакуумно-дуговым методом. Рассмотрены возможные способы идентификации микрокапель в покрытии на снимке для оценки его качества. Выполнен анализ методов выделения границ микрокапель на снимке и выбран наиболее эффективный метод решения поставленной задачи.*

### Постановка проблемы

В современном мире информационных систем значительное место занимают системы, основной функциональностью которых является процесс оценки качества покрытий путём идентификации объектов на снимке покрытия, или распознавание образов на снимке. К таким и относится информационная система оценки качества покрытия для облегчения процесса аналитической обработки снимков для научных сотрудников лабораторий, специализирующихся на ионно-плазменных технологиях, к примеру, НОЦ «Ионно-плазменные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана [1].

Объектом компьютеризации выступает процесс идентификации микрокапель покрытия, полученного методом вакуумного дугового напыления, на снимках с микроскопов и анализ их параметрических характеристик.

Вакуумно-дуговое нанесение покрытий (катодно-ионная бомбардировка) — это физический метод нанесения покрытий (тонких плёнок) в вакууме, путём конденсации на подложку материала из плазменных потоков, генерируемых на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги силноточного низковольтного разряда, развивающегося исключительно в парах материала электрода.

Катодно-ионная бомбардировка используется для нанесения металлических, керамических и композитных пленок на различные изделия, что в результате значительно продлевает срок их службы [2].

Для выявления изъянов при напылении покрытий или для определения интенсивности напыления (ширины слоя) необходим анализ микрокапель в покрытии, нанесенном с помощью вышеописанного метода. Снимки микрокапель

могут быть получены с использованием конфокального и томно-силового микроскопов

Для разработки такого вида информационной системы необходимо определить какие методы и последовательности наиболее соответствуют решению поставленной задачи, а также оценить их эффективность.

### Цель статьи

Привести сравнительную характеристику использованных методов для оценки качества покрытия путём идентификации микрокапель на снимке, а также выбрать наиболее эффективный из них, который обеспечивает наилучшее качество распознавания микрокапель и дает возможность определить физические параметры самой капли.

### Постановка задачи исследования

Имеется входящее изображение, приведенное на рис. 1, которое будет подвержено обработке, размером  $M$  на  $N$  пикселей, где  $M$  — количество пикселей вдоль оси  $OX$ , а  $N$  —  $OY$ . Каждый пиксель  $P_{ij}$  обладает рядом следующих свойств:

-  $R_{ij}$  — значение интенсивности красного  $P_{ij}$  пикселя;

-  $G_{ij}$  — значение интенсивности зеленого  $P_{ij}$  пикселя;

-  $B_{ij}$  — значение интенсивности черного  $P_{ij}$  пикселя;

-  $IfObject$  — принадлежит ли  $P_{ij}$  пиксель объекту;

-  $Border_{ij}$  — является ли  $P_{ij}$  пиксель границей объекта;

-  $Center_{ij}$  — является ли  $P_{ij}$  пиксель центром капли.

Формально изображение можно представить в виде матрицы пикселей  $P_{ij}$  следующим образом:

$$\text{Image} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{M1} & \dots & P_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

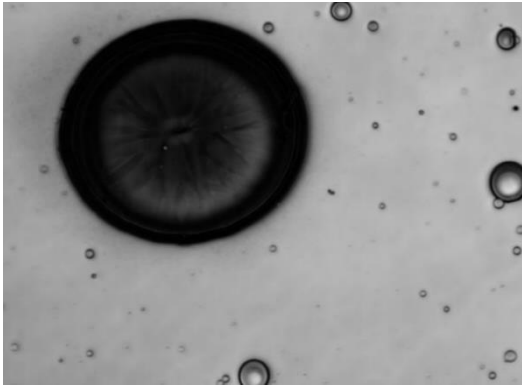


Рисунок 1 – Проекция покрытия титана в двумерном пространстве

На снимке необходимо идентифицировать микрокапли, определить их физические характеристики, чтобы оценить качество покрытия. Зная физические параметры микрокапли, можно определить общую площадь, которую занимают именно микрокапли. Затем сопоставив площадь, занимаемую микрокаплями, с общей площадью самого покрытия, можно вычислить процентное соотношение, что и будет являться главным критерием для оценивания качества покрытия:

$$\text{Quality} = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} S_i}{S_{cov}} \quad (2)$$

Где  $N_k$  – количество распознанных микрокапель в покрытии,  $S_i$  – площадь одной микрокапли,  $S_{cov}$  – площадь покрытия

### Рассмотрение методов идентификации микрокапель в покрытии

Ниже будет приведено описание методов идентификации, примененных при разработке информационной системы. Одним из методов является выбранная последовательность, представленная на рис 2.

Снимок подвергается фильтрации, что позволяет выделить на изображениях интересные области. На уровне фильтрации анализ изображения не производится, но точки, которые проходят фильтрацию, можно рассматривать как области с особыми характеристиками, то есть как возможные претенденты на «звание» микрокапли. В качестве фильтра на начальном этапе будет выступать бинаризация изображения по порогу. Для RGB изображения и изображения в градациях серого

порогом является значение цвета. Фильтрация даёт набор пригодных для обработки данных. Но зачастую нельзя просто взять и использовать эти данные без их обработки.



Рисунок 2 – Последовательность действий для решения поставленной задачи

После предыдущего этапа наступает фаза логической обработки результатов фильтрации. Выполняется контурный анализ. После этого отсеиваются выделенные области с размером менее 10 пикселей. Если в границах выделенной области не был найден блик (после бинаризации белое пятнышко размером в несколько пикселей), также область не рассматривается далее [3].

После отсеивания определяется центр (путем поиска самой длительной последовательности из пикселей с цветовым значением #000000, разделения ее пополам и выделения центра области красным цветом), диаметр и площадь области.

Изображение подвергается бинаризации, по методу Оцу, а выделение контуров производится с использованием оператора Собеля.

Метод Оцу (англ. Otsu's method) — это алгоритм вычисления порога бинаризации для полутонового изображения, используемый в области компьютерного распознавания образов и обработки изображений.

Метод Оцу ищет порог, уменьшающий дисперсию внутри класса, которая определяется как взвешенная сумма дисперсий двух классов [4].

В своей работе Оцу показывает, что минимизация внутриклассовой дисперсии эквивалентна максимизации межклассовой дисперсии, которая равна:

$$\sigma_b^2 = w_1 w_2 (a_1 - a_2)^2 \quad (3)$$

В вышеприведенной формуле  $a_1$  и  $a_2$  — средние арифметические значения для каждого из классов. Особенность этой формулы заключается в том, что  $w_1(t+1)$ ,  $w_2(t+1)$ ,  $a_1(t+1)$ ,  $a_2(t+1)$  легко выражаются через предыдущие значения  $w_1(t)$ ,  $w_2(t)$ ,  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$  ( $t$  — текущий порог). Эта особенность позволила разработать быстрый алгоритм:

1. Вычисляем гистограмму (один проход через массив пикселей). Дальше нужна только гистограмма; проходов по всему изображению больше не требуется.

2. Начиная с порога  $t = 1$ , проходим через всю гистограмму, на каждом шаге пересчитывая дисперсию  $\sigma_b(t)$ . Если на каком-то из шагов дисперсия оказалась больше максимума, то обновляем дисперсию и  $T = t$ .

Искомый порог равен  $T$ . [5]

Метод Собеля. Идея этого метода основана в наложении на каждую точку изображения двух масок вращения [6]. Эти маски представляют собой две ортогональные матрицы размерностью  $3 \times 3$ , вид которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 «Маски вращения метода Собеля»

-1	0	+1	+1	+2	+1
-2	0	+2	0	0	0
-1	0	+1	-1	-2	-1

Эти маски выявляют границы, расположенные вертикально и горизонтально на изображении. При раздельном наложении этих масок на изображение можно получить оценку градиента по каждому из направлений  $G_x$ ,  $G_y$ . Конечное значение градиента определяется по формуле [7]:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

Альтернативным решением поставленной задачи является использование каскада Хаара.

Основное преимущество детектора Хаара - скорость. Благодаря быстрой обработке изображения, можно с лёгкостью обрабатывать потоковое видео. Детектор Хаара используется для распознавания большинства классов объектов. К ним относятся лица и другие части тела людей, номера автомобилей, пешеходы, дорожные знаки, животные и т.д. [8]

Исторически сложилось так, что алгоритмы, работающие только с интенсивностью изображения (например значение RGB в каждом пикселе), имеют большую вычислительную сложность. Виола и Джонс разработали то, что было названо признаками Хаара. Признак Хаара состоит из смежных прямоугольных областей. Они позиционируются на изображении, далее суммируются интенсивности пикселей в областях, после чего вычисляется разность между суммами. Эта разность и будет значением определенного признака, определенного размера, определенным образом спозиционированного на изображении.

На этапе обнаружения в методе Виолы-Джонса окно установленного размера движется по изображению, и для каждой области изображения, над которой проходит окно, рассчитывается признак Хаара. Наличие или отсутствие предмета в окне определяется разницей между значением признака и обучаемым порогом. Поскольку

признаки Хаара мало подходят для обучения или классификации (качество немного выше чем у случайной нормально распределенной величины), для описания объекта с достаточной точностью необходимо большее число признаков. Поэтому в методе Виолы-Джонса признаки Хаара организованы в каскадный классификатор [9].

Ключевой особенностью признаков Хаара является наибольшая, по сравнению с остальными признаками, скорость. При использовании интегрального представления изображения, признаки Хаара могут вычисляться за постоянное время (примерно 60 процессорных инструкций на признак из двух областей).

Классификатор формируется на примитивах Хаара путём расчёта значений признаков. Для обучения на вход классификатора сначала подаётся набор «правильных» изображений с предварительно выделенной областью на изображении, далее происходит перебор примитивов и расчёт значения признака. Вычисленные значения сохраняются в файле в формате xml. Пример такого файла приведен ниже.

```
<maxWeakCount></ maxWeakCount >
<stageThereshold >< stageThereshold >
<weakClassifiers >
<_>
< internalNodes >
</internalNodes >
< leafValues >
</leafValues >
</_>
<_>
< internalNodes >
</internalNodes >
< leafValues >
</leafValues >
</_>
...
</weakClassifiers >
```

где  
- maxWeakCount – количество слабых классификаторов;

- stageThereshold – максимальный порог яркости;

- weakClassifiers – набор слабых классификаторов, на основе которых выносятся решение о том, находится объект на изображении или нет;

- internalNodes и leafValues – параметры конкретного слабого классификатора.

Первые два значения в internalNodes не используются, третье — номер признака в общей таблице признаков (она располагается в XML-файле под тегом features), четвертое — пороговое значение слабого классификатора. Если значение признака Хаара меньше порога слабого классификатора, выбирается первое значение leafValues, если больше — второе.



На основе этого базиса строится каскад классификаторов, принимающих решение о том, распознан объект на изображении или нет. Наличие или отсутствие предмета в окне определяется разницей между значением признака и порогом, полученным в результате обучения.

Поскольку признаки Хаара мало подходят для обучения или классификации, для описания объекта с достаточной точностью необходимо большее число признаков. Поэтому признаки Хаара поступают в каскадный классификатор, служащий для быстрого отбрасывания окон, где не найден требуемый объект, и выдачи результата «истина» или «ложь» относительно нахождения объекта [10].

### Сравнение эффективности примененных методов

Для сравнения результатов работы приведенных методов применительно к идентификации микрокапель в покрытии, нанесенном вакуумно-дуговым способом было разработано программное приложение на языке высокого уровня с#.

Для идентификации микрокапель в покрытии были выбраны и реализованы следующие методы: вышеописанная последовательность, использование каскада Хаара, а также выделение границ с помощью метода Кэнни.

В качестве положительных примеров для обучения с применением каскада Хаара было использовано 98 изображений капель, а для отрицательных – 48 изображений фонов. В качестве исходного изображение было взято изображение размером 240 на 320 пикселей (см. рис. 3), на котором расположено порядка 17 капель титана.

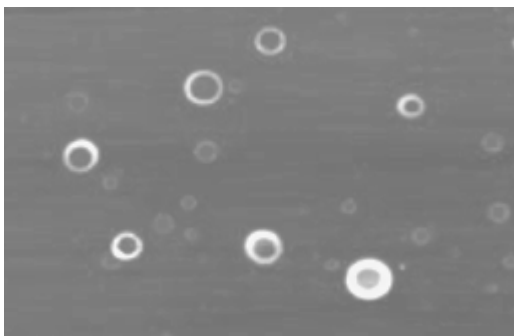


Рисунок 3 – Исходное изображение для распознавания

Результаты распознавания приведены в таблице 2, а также на рис. 4, рис.5, рис. 6.

На основании представленных результатов обработки входящего изображения можно сделать вывод о том какой из методов наиболее эффективен для решения поставленной

задачи

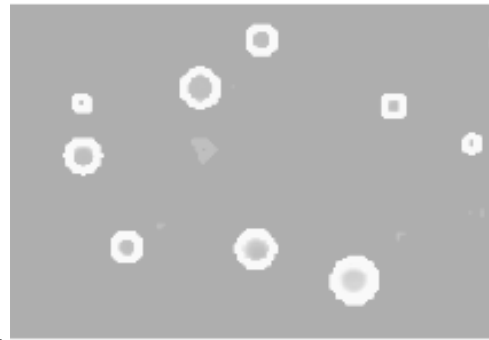


Рисунок 4 – Результат распознавания с применением последовательности методов бинаризации и выделения микрокапель с использованием оператора Собеля

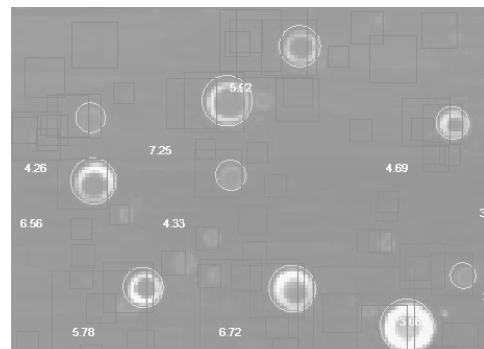


Рисунок 5 – Результат распознавания с применением каскада Хаара

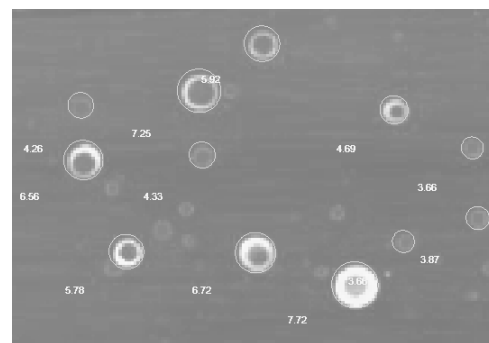


Рисунок 6 – Результат распознавания с применением метода Кэнни для выделения границ микрокапель

Идентифицировав микрокапли на снимке и определив их физические параметры, к примеру такой параметр как радиус, зная величину которого и приняв тот факт, что микрокапля принимает форму правильной окружности, можно вычислить площадь каждой, а затем суммарную. После чего площадь, занимаемую микрокаплями, соотносить с общей площадью изображения. Имея процентное соотношение, можно оценить качество покрытия. Чем выше этот показатель, тем покрываемая поверхность менее подвержена различным внешним повреждениям (к примеру, коррозии).

Таблица 2. Сравнение результатов, полученных в результате идентификации микроапель на снимке различными методами

Метод/ Показатель	Время (с)	Количество распознанных капель
Последовательность 1	18	10
Каскад Хаара	14	14
Последовательность, основанная на выделении границ методом	22	12

В итоге, исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наиболее подходящий метод для распознавания изображения с микрокаплями в покрытии титана – каскад Хаара, и для случая с изображением покрытия микрокапель алюминия, наиболее положительный результат дает именно использование каскада Хаара. Для изображения с более высоким разрешением все методы, кроме каскада Хаара, очень некачественно идентифицируют микрокапли, что в результате не даст объективной оценки о качестве покрытия. Вышеприведенное подтверждает, к примеру, на снимке кремния, результат обработки которого приведен на рис. 7, на котором отмечены правильно распознанные капли, объекты, которые не являются микрокаплями, а также указаны порядковые номера капель и рядом – радиус капли в нанометрах.

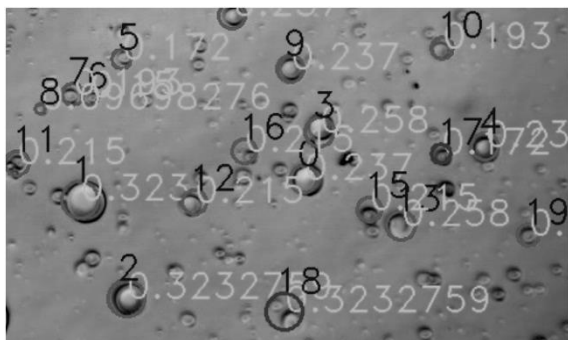


Рисунок 7 – Работа каскада Хаара на изображении с покрытием кремния (взял фрагмент покрытия)

### Вывод

В результате проведенного анализа рассмотрены возможные методы решения

поставленной задачи и получены данные, на основании которых можно судить о эффективности распознавания микрокапель в покрытии. Можно сделать вывод от том, что наиболее положительный результат даёт использование каскада Хаара, применительно и к снимкам покрытий как кремния, так и титана. Поэтому для дальнейшей реализации информационной системы будет использоваться каскад Хаара.

### Литература

1. Исследования МГТУ [Электронный доступ] // Режим доступа: <http://plasmacenter.bmstu.ru/>
2. Аксенов И. И., Билоус В. А. Вакуумно-дуговое оборудование для ионно-но плазменных покрытий. [Электронный доступ] // Режим доступа: [http://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2000\\_4/article\\_2000\\_4\\_153.pdf](http://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2000_4/article_2000_4_153.pdf)
3. Мальцев А. Пару слов о распознавании образов [Электронный доступ] // Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/208090/>
4. Otsu, N., «A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,» IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66.
5. Попова В. В., Федосеев А. А. Предварительная обработка изображений в задаче оффлайн распознавания рукописного текста на китайском языке [Электронный доступ] // Режим доступа: <http://sibac.info/2009-07-01-10-21-16/108-arkhiv-statej/2013/03-2013/6779-6779>
6. Duda R., Hart P. Pattern Classification and Scene Analysis. — John Wiley and Sons, 1973. — P. 271—272.
7. Ватулин Э.И., Мирошниченко С.Ю., Титов В.С. Программная оптимизация оператора Собеля с использованием SIMD-расширений процессоров семейства x86. Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 12—16. (2006).
8. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
9. Работа каскада Хаара в OpenCV в картинках: теория и практика [Электронный доступ] // Режим доступа: <http://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/228195/>
10. Использование каскада Хаара для сравнения изображений [Электронный доступ] // Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/198338/>

*Іванова І. І., Землянська С. Ю. Порівняльний аналіз методів оцінки покриття, нанесеного вакуумно-дуговим методом. Розглянуто можливі способи ідентифікації мікрокрапель в покритті на знімку для оцінки його якості. Виконано аналіз методів виділення меж мікрокрапель на знімку і обрано найбільш ефективний метод вирішення поставленого завдання.*

**Ключові слова:** нанопокриття, мікрокапля, ідентифікація, бінаризація, виділення контуру, фільтрація, інформаційна система

*I. I. Ivanova., S. Y. Zemlyansky. Comparative analysis of methods of vacuum arc spraying quality assessing. The possible ways of the identifying of microdrops in the spraying for assessing its quality is considered. The methods of droplets borders selection on the picture are analysed and the most effective method of the task solving is chosen.*

**Keywords:** nanocoating, microdrop, identification, thresholding, delineation, filtering, information system

*Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

УДК 514.18

## Объемное моделирование при решении задач в курсе «Компьютерная графика»

В.В. Карабчевский

Донецкий национальный технический университет  
karabchevski@mail.ru

*Карабчевский В.В. Объемное моделирование при решении задач в курсе «Компьютерная графика». Рассмотрено содержание подготовки студентов направления «Информационные системы и технологии», профиль «Информационные технологии в медиаиндустрии и дизайне» в области компьютерной графики и геометрического моделирования. Основное внимание уделено применению методов начертательной геометрии и инструментов трехмерного геометрического моделирования при создании и исследовании моделей геометрических фигур.*

### Введение

Роль, которую играют компьютерная графика и геометрическое моделирование в разработке САПР и моделирующих систем, мультимедийных систем, игровых приложений, обуславливает потребность во введении в учебные планы подготовки по направлению «Информационные системы и технологии» (ранее направление называлось «Компьютерные науки») соответствующих учебных дисциплин. В [1] в разделе «Computer Science» описан курс «Компьютерная графика», но основное внимание уделяется проектированию и разработке пользовательского интерфейса, а также мультимедийным аспектам WWW и компьютерной мультипликации, методы генерации и исследования геометрических объектов почти не затрагиваются. Курсы «Инженерная и компьютерная графика» и «Графическое и геометрическое моделирование и интерактивные системы», обеспечивавшие изучение таких методов, с середины 90-х годов прошлого века и до 2000 года имели статус нормативных дисциплин при подготовке студентов направления подготовки «Компьютерные науки» [2]. Потребности обеспечения НИРС и дипломного проектирования, связанных во многих случаях с созданием трехмерных моделей различных объектов, новых алгоритмов и программных средств геометрического моделирования, обучающих систем, средств поиска, распознавания и синтеза изображений, разработкой игровых приложений, обусловили существование новых версий этих дисциплин («Компьютерная графика» и «Графическое и геометрическое моделирование», соответственно) в учебном плане для направления подготовки «Компьютерные

науки». Вторым предметом входил в учебные планы специализации «Программирование медиасистем и компьютерный дизайн», которой на данный момент соответствует профиль подготовки «Информационные технологии в медиаиндустрии и дизайне».

### Анализ основных исследований и публикаций

Автор применяет компьютерные методы решения задач начертательной геометрии в среде AutoCAD с 1995 года, средства, обеспечивающие связь между комплексным чертежом и трехмерным представлением объектов, описаны в [3]. Первая версия мультимедийного электронного учебника, разработанного под руководством автора, описана в [4]. Такие учебники получили широкое распространение, их обзор приведен в [5]. В соответствии с описанным в [6] содержанием графической подготовки программистов во всех методических материалах, разработанных автором, содержались методические рекомендации по компьютерному решению задач на комплексном чертеже. В курсе «Компьютерная графика» [7], который заменил предмет «Инженерная и компьютерная графика», особое внимание уделяется трехмерным моделям изучаемых объектов.

### Постановка задачи

Предлагается согласованное изучение способов и инструментов решения позиционных и метрических задач как на комплексном чертеже так и с применением трехмерного моделирования.

**Основная часть**

Приведем примеры применения такого подхода в курсе «Компьютерная графика». На рисунке 1 показано решение задачи путем генерации трехмерной модели, можно убедиться в наглядности предложенного подхода. Заметим, что перпендикуляр из точки к плоскости треугольного отсека найден без применения методов начертательной геометрии. Способ его отыскания описан в [2]. Методу замены плоскостей соответствует задание пользовательской системы координат, на горизонтальную плоскость которой производится проецирование исследуемого объекта в натуральную величину (рис. 2).

При изучении многогранников и кривых поверхностей эффективно применение средств твердотельного моделирования. Если фигура может быть представлена поверхностью твердотельного объекта, сечение ее плоскостью можно получить с применением команды SECTION, сравнивая рисунки 3 и 4, можно убедиться в полезности применения средств трехмерного моделирования.

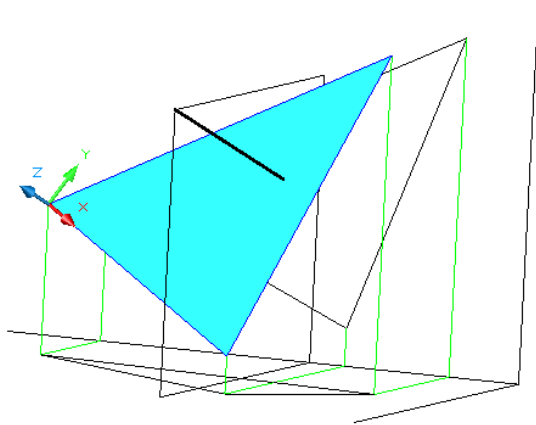


Рисунок 1 – Построение перпендикуляра из точки к плоскости треугольного отсека

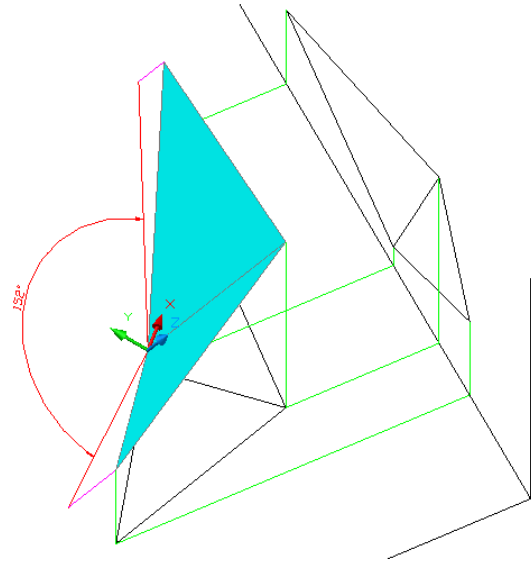


Рисунок 2 – Отыскание величины двугранного угла

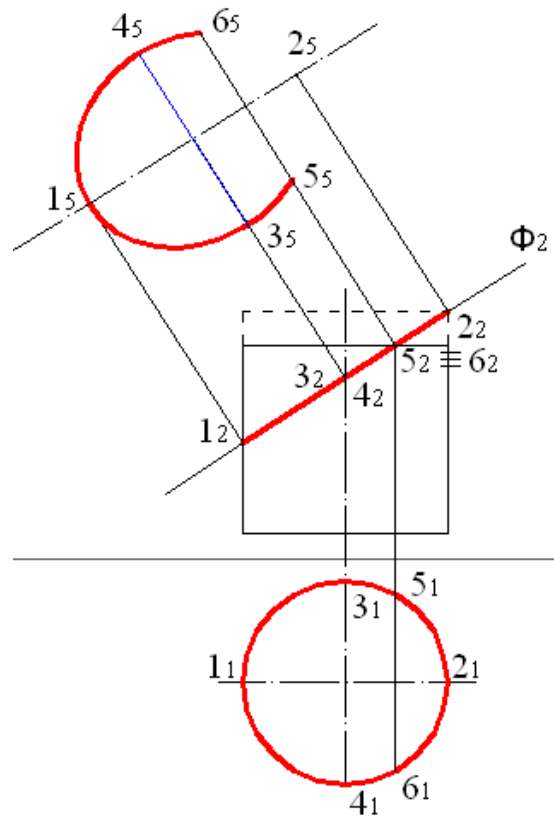


Рисунок 3 – Построение сечения цилиндра

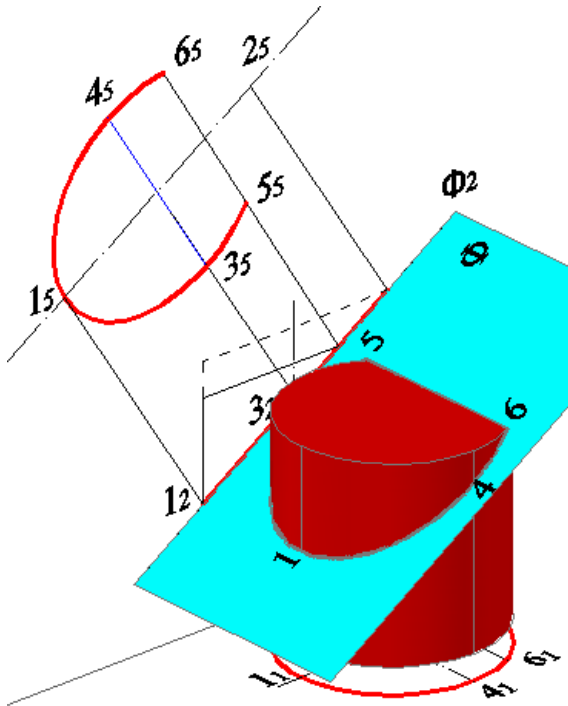


Рисунок 4 – Трехмерная модель сечения

В случае, если изучаемый геометрический объект не может быть представлен поверхностью твердого тела, для его исследования применяются средства поверхностного моделирования (рис. 5, 6, 7, 8).

Рисунок 5 – Гиперболический параболоид на комплексном чертеже

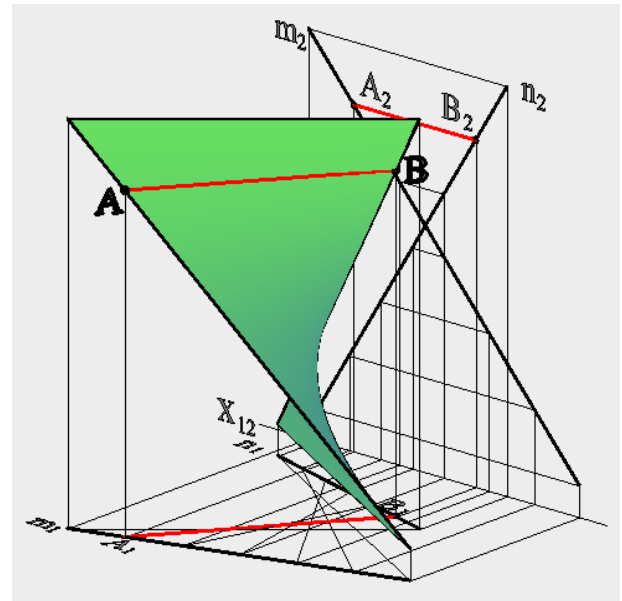


Рисунок 5 – Трехмерная модель гиперболического параболоида

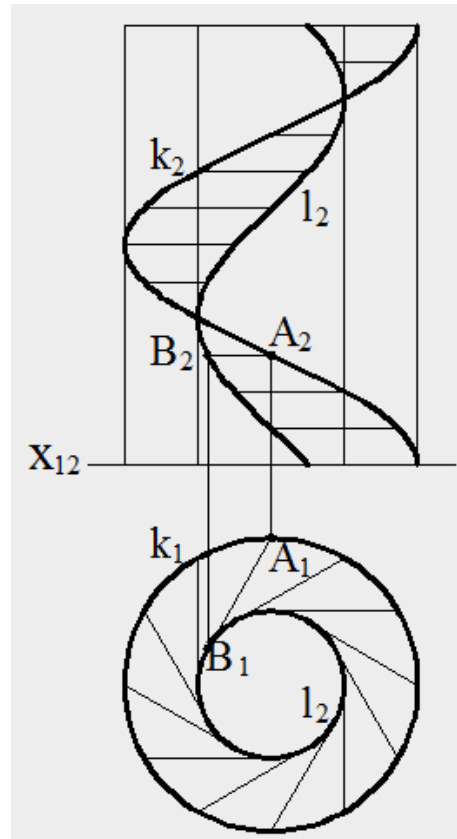
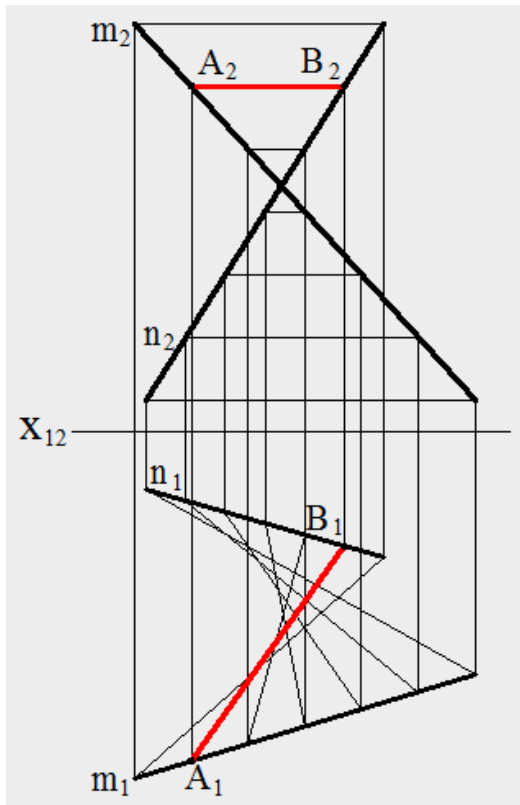


Рисунок 7 – Винтовой цилиндрической на комплексном чертеже

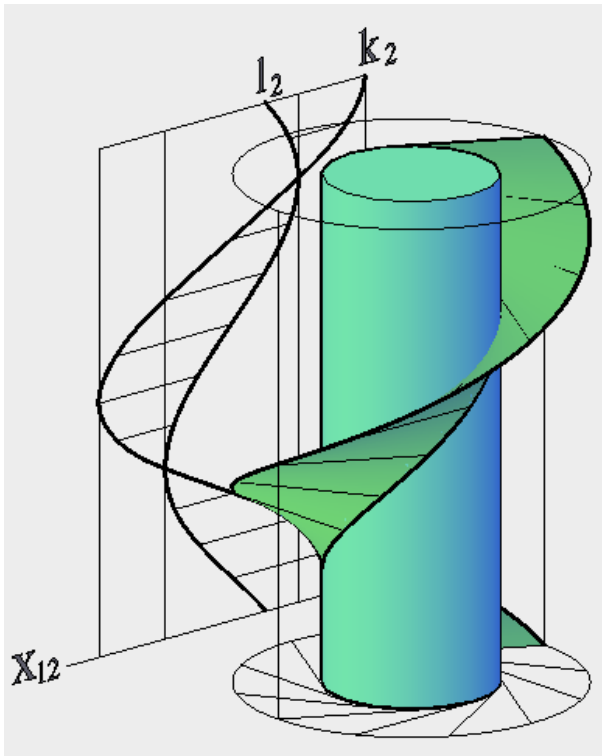


Рисунок 7 – Трехмерная модель винтового цилиндрида

Линии взаимного пересечения поверхностей (рис. 8) также можно извлечь из твердотельных моделей пересекающихся объектов [9].

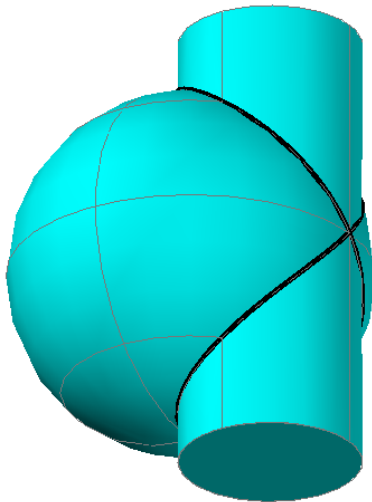


Рисунок 8 – Линия пересечения сферы и цилиндра, одностороннее внутреннее соприкосание

Учебное пособие «Методы компьютерной геометрии» [7] содержит теоретические материалы, рекомендации по выполнению лабораторных работ в системе AutoCAD и скриншоты трехмерных моделей

изучаемых объектов и процессов решения задач. Новая версия системы, позволяющей выполнять построения на комплексном чертеже и просматривать их результаты в аксонометрии [10], применяется при чтении лекций с применением оборудования, которое обеспечивает передачу изображения с лекторского компьютера на мониторы, размещенные в аудитории.

### Выводы

Программа курса «Компьютерная графика» предусматривает изучение основ начертательной геометрии и инструментальных средств компьютерного черчения в тесной связи с инструментами трехмерного геометрического моделирования. Это позволяет использовать его в качестве основы для изучения методов и алгоритмов геометрического моделирования и визуализации трехмерных моделей, которые изучаются в курсе «Графическое и геометрическое моделирование».

### Литература

1. Рекомендации по преподаванию программной инженерии и информатики в университетах: пер. с англ. – М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-Университет информационных технологий». 2007. – 462 с.
2. *Карабчевский В.В.* Трехмерное моделирование и начертательная геометрия в курсе «Методы компьютерной геометрии». В кн.: Міжвідомчий науково-технічний збірник "Технічна естетика і дизайн". Випуск 8. - К.: КНУБА, 2011 р. – С. 138-142.
3. *Карабчевский В.В.* Повышение качества преподавания инженерной графики путем разработки и применения обучающих систем. В кн.: Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-99). – выпуск 6 – Донецк: ДонГТУ, 1999. – С. 294-299.
4. *Карабчевский В.В.* Электронный учебник по курсу инженерная графика. В кн.: Труды конференции «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе». Ялта-Гурзуф, 20-30 мая 2002 года. – С. 285-287.
5. *Карабчевский В.В.* Использование средств связи между двумерными и трехмерными компьютерными моделями при преподавании графических дисциплин. В кн.: Материалы Второй украинско-российской научно-практической конференции СПГМ-07. Харьков: ХГУПТ. – 2007. – С. 323–332.
6. *Bashkov Y.* Computer graphic in training students, whose major is software/ Y. *Bashkov, V. Karabchevsky.* В кн.: Proceedings of ICEE 2005,

Vol. 2. Gliwice: Selesian University of Technology. – 2005. – P. 101-104.

7. *Карабчевский В.В.* Методы компьютерной геометрии. Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», Технопарк ДонНТУ «УНИТЕХ», 2010. – 179 с.

8. *Карабчевский В.В.* Трехмерное моделирование при решении позиционных и метрических задач в учебном процессе. В кн.: Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці. – Таврійський державний агротехнологічний університет – Вип. 4, т. 56–Мелітополь: ТДАТУ, 2013, С. 176-186.

9. *Карабчевський В.В.* Підтримка зв'язку між двовимірними і тривимірними моделями під час

розв'язання деяких геометричних задач. В кн.: Сборник трудов 8-й Международной научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования». Мелітополь: ТГАТА. – 2004. – С. 70-75.

10. *Карабчевський В.В., Хленітько І.В.* Засоби розробки систем геометричного моделювання. В кн.: Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). Випуск 22. Частина 1. «Сучасні проблеми геометричного моделювання (квітень, 2008)». – Луцьк, 2008. – С. 133-137.

*Карабчевський В.В. об'ємне моделювання при розв'язанні задач в курсі «Комп'ютерна графіка». Розглянутий зміст підготовки студентів напряму «Інформаційні системи і технології», профіль «Інформаційні технології в медіаіндустрії і дизайні» в області комп'ютерної графіки і геометричного моделювання. Основну увагу приділено використанню методів нарисної геометрії і інструментів тривимірного геометричного моделювання при створенні і дослідженні моделей геометричних фігур.*

**Ключевые слова:** геометрические методы, трехмерные инструменты моделирования, образование

**Karabchevsky V.V. volume modeling for task solution in “computer graphics” course.**

*The contents of “Information systems and technologies” specialization, “Information technologies in media industry and design” education profile students training in a sphere of computer graphics and geometry modeling was searching. The special attention paid to descriptive geometry methods and three dimensional modeling tools applied to geometry model creation and investigation.*

**Keywords:** geometry methods, three dimensional modeling tools, education

Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом



УДК 004.925

## Реалистичная визуализация атмосферных осадков в приложениях реального времени

В.В. Карабчевский, А.А. Лунтовская  
Донецкий национальный технический университет  
anastasia.luntovskaya@gmail.com

*Карабчевский В.В., Лунтовская А.А. Реалистичная визуализация атмосферных осадков в приложениях реального времени. Статья посвящена вопросу визуализации атмосферных осадков при моделировании природных сцен в режиме реального времени. Рассмотрены методы моделирования осадков и их взаимодействия с окружающей средой. Предложена реализация на основе системы частиц, а так же способы снижения затрат вычислительных ресурсов без существенной потери реалистичности.*

### Введение

Моделирование природных сцен – одно из основных направлений в компьютерной графике, являющееся предметом исследований многих ученых. С увеличением вычислительной мощности компьютеров, совершенствованием архитектуры графических процессоров, увеличением их быстродействия и переходом к программируемым графическим процессорам, поддерживающим шейдеры, реалистичность игрового окружения нередко становится одним из основных критериев успешности игры.

Если говорить о компьютерных играх реального времени, рендеринг осадков должен найти баланс между реалистичностью и скоростью визуализации.

Огромное количество капель дождя и снежинок – тяжелое бремя для компьютерного расчета. Помимо этого, каждая капля обладает многими свойствами: размер, масса, скорость, ускорение. Поэтому реалистичное и эффективное представление сцен с атмосферными осадками при увеличении скорости отрисовки и уменьшении затрат ресурсов – непростая задача.

### Анализ исследований и публикаций

В настоящее время существует множество алгоритмов динамического моделирования атмосферных осадков. Руссо [1] предложил метод моделирования дождя в реальном времени с использованием графического процессора для имитации эффекта преломления внутри дождевой капли, а также для отображения непрерывного изменения капли дождя, вызванного оптическими свойствами окружающей среды.

Основываясь на физических характеристиках дождя, Ван [2] в своих исследованиях сосредоточились на

моделировании формы капель дождя и его интенсивности в различных погодных условиях. Он использовал гибридный подход, основывающийся на использовании фотографий дождевых осадков для увеличения реалистичности моделируемого природного явления. В работе автор используют расчет освещения дождевых капель по методу PRT – precomputed radiance transfer, основывающийся на предварительном вычислении коэффициентов освещения, которые затем с помощью шейдеров суммируются и смешиваются со средой освещения. Такой метод позволяет получить близкий к реальному эффект освещения сцены с осадками в режиме реального времени.

Ниньян [3] в своей работе использовал наложение текстуры на двойной конус, центрированный над камерой. Ривз и др. [4] предложили систему частиц, состоящую из большого количества частиц неправильной формы, случайно распределенных в моделируемой сцене. Распределение частиц в предложенных авторами природных дождевых сценах похоже на нормальное распределение.

Ли и соавторы [5] предложили способ моделирования осадков с использованием, так называемой, ультра-энтропии, которая вводится для того, чтобы модифицировать распределение капель дождя и тем самым лучше имитировать естественный дождь. Цю и др. [6] предложил так называемый алгоритм «роя частиц», который предполагает моделирование нерегулярного хаотичного движения частиц. Придавая при этом каждой частице фрактальный эволюционный процесс, авторы добились высокой реалистичности изображения дождевых осадков.

В современных компьютерных играх часто используются методы создания динамических осадков, основанные на прокручиваемых

текстурах и геометрии, центрированной на камере, что обеспечивает быстроту визуализации, но нередко в ущерб реалистичности.

NVIDIA предложила новый способ визуализации дождя с использованием только графического процессора, что позволяет существенно повысить эффективность и скорость моделирования по сравнению с использованием традиционных систем частиц.

В дополнении к разработкам в области скорости рендеринга дождя, в последние годы все большее количество исследований посвящено повышению реалистичности и освещению дождя.

В частности, Гарг [7] проводил исследования по созданию фотореалистичного дождя в приложениях реального времени, основанных на физических характеристиках дождя и освещения капель дождя.

Катцуми и соавторы [8] совместили систему частиц с физической моделью движения дождевых капель без использования графического ускорителя.

Фэн др. [9] предложил алгоритм визуализации дождя, включающий систему обнаружения столкновений в режиме реального времени с использованием графического процессора. Их метод также основан на использовании при моделировании системы частиц.

Моделирование снегопада и накопления снега на поверхностях других объектов – одна из областей имитационного моделирования, где сохраняется огромная разница между результатами офф-лайн моделирования и моделирования в реальном времени. В своей работе Пол Ферингс [10] предлагает модель, описывающую накопление снега на различных поверхностях, поведение снега в зависимости от скорости ветра, а так же структуры самого снега. Модель также описывает поведение снега в неустойчивых физических районах при опадении его в виде лавин.

Хотя такая модель является исчерпывающей с точки зрения физических свойств снега как природного явления, она не пригодна для использования в приложениях реального времени в виду огромного количества производимых расчетов.

Примером реализации снежных сугробов в реальном времени является работа Хаглана и Андерсона [11]. Основная идея заключается в том, что для хранения текущей глубины снега используется матрица высот. Значения высоты используются для триангуляции области накопления снега, а рендеринг треугольников осуществляется с использованием затенения Гуро, которое само по себе является довольно быстрым. Авторам удалось добиться эффекта медленно накапливающегося на поверхности снега. Сначала у снежного слоя высокая прозрачность, так как

снежных покров тонкий, со временем снег становится непрозрачным, и “растет” во время моделирования.

### **Цели и задачи статьи**

Цель данной статьи – исследовать методы и алгоритмы моделирования атмосферных осадков и найти оптимальное соотношение реалистичности изображения атмосферных осадков в реальном времени и затрат ресурсов.

Предложенный в статье метод визуализации основан на использовании системы частиц. Процесс моделирования ускоряется за счет использования наложения текстур. Использование этого метода является очень эффективным при низких требованиях к оборудованию, высокой скорости моделирования и реалистичном изображении.

### **Моделирование осадков**

Визуализация атмосферных осадков должна строиться на основе физических характеристик этого явления.

Осадки различаются по физическому состоянию: могут быть жидкими (дождь, морось) и твердыми (град, снег). По характеру выпадения различают моросящие, обложные и ливневые осадки [12].

Морось – жидкие осадки, выпадающие из слоистых облаков или густого тумана. Представляет собой очень мелкие капельки, диаметром не превышающие нескольких сотых долей миллиметра, взвешенные в воздухе. Более крупные капли выпадают на землю в виде дождя, общее количество таких осадков незначительно. При низких температурах осадки, подобные мороси, выпадают в форме снежных зерен. Во время тумана может наблюдаться изморозь – отложение льда на ветвях деревьев.

Дождь – преобладающая форма жидких осадков. Выпадает преимущественно из кучево-дождевых и слоисто-дождевых облаков. Диаметр капель составляет около 0,5 мм.

Наиболее частым видом твердых осадков является снег. Снег представляет собой осадки в виде ледяных кристаллов разнообразной формы. Снег может выпадать как в виде отдельных снежинок, так и снежных “хлопьев”, которые образуются вследствие склеивания отдельных снежинок при температуре, близкой к 0 °С [13].

Источник снежного покрова – снежинки. Опускаясь через слои воздуха к Земле, под влиянием различий в температуре и влажности, снежинки меняются: растут, слипаются, дробятся. За счет этого образуется разнообразие форм снежных кристаллов.

На поверхности Земли снежинки образуют снежный покров, который к концу зимы достигает толщины в метр и состоит из нескольких слоев

снега, образовавшихся при различной температуре. Под действием ветров, оттепелей, солнечной радиации на поверхности снежного покрова возникает наст. Снежный покров отражает больше половины лучистой энергии солнца, а свежеснеженный сухой снег – до 90% солнечных лучей [12].

Снежная крупа – один из вариантов снега, осадки, выпадающие в виде матово-белых ядер округлой формы размером от 1 до 15 мм. Чаще всего выпадает из кучево-дождевых облаков при температуре, близкой к 0° С.

Град – твердые осадки, выпадающие из развитых по вертикали кучево-дождевых облаков в виде частичек плотного льда в теплое время года.

Осадки также значительно различаются по характеру выпадения. Морозящие осадки выпадают в виде мороси или ее твердых аналогов. Обложные осадки выпадают непрерывно или с короткими перерывами от нескольких часов до суток с равномерной интенсивностью. Выпадают они из слоисто-дождевых или высоко-слоистых облаков.

Ливневые осадки – осадки высокой интенсивности, но малой продолжительности. Выпадают из кучево-дождевых облаков как в жидком, так и в твердом виде. Характеризуются быстрым нарастанием интенсивности в начале выпадения и резким прекращением выпадения. Часто сопровождаются грозвыми явлениями, быстрыми изменениями облачности, усилением ветра с порывами и шквалами [13].

Поскольку осадки представляют собой множество капелек и кристалликов, падающих на землю, визуализировать их стандартными методами слишком сложно: моделировать каждую каплю или снежинку – лишняя трата времени. Поэтому при моделировании таких физических явлений как дождь, снег, туман, дым, песок будем применять технологию, называющуюся системой частиц.

Система частиц – это способ визуализации в компьютерной графике большого количества подобных объектов, представляющих в совокупности объект, не имеющий четких геометрических границ. Системы частиц могут быть реализованы как в двумерной, так и в трехмерной графике [14].

На данный момент не существует единого стандарта по реализации системы частиц. Тем не менее, этот механизм стал неотъемлемой частью любой компьютерной игры и все современные игровые движки предлагают собственную реализацию системы частиц, которая может быть гибко настроена в зависимости от потребностей разработчиков.

При моделировании осадков будем использовать текстуры снежинок и капель дождя. На рисунке 1 представлена текстура,

используемая при моделировании снежинок, на рисунке 2 – текстура дождевых капель.

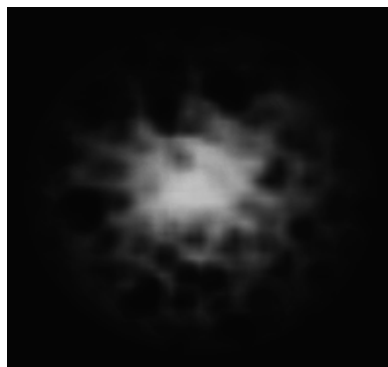


Рисунок 1 – Текстура снежных кристаллов



Рисунок 2 – Текстура дождевых капель

Каждая такая частица математически представляет собой материальную точку с назначенными атрибутами, например, скоростью, цветом и т.д. Каждая частица по мере выполнения программы изменяет свое состояние по определенному закону, общему для всех частиц в системе, например, частицы могут менять скорость или размер. Обычно для каждой частицы задается максимальная продолжительность жизни, по истечении которой частицы исчезают. Кроме того, при визуализации системы частиц может быть изменено и общее количество самих частиц, что позволяет создавать имитацию различных по интенсивности видов осадков.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты работы программы при различном количестве частиц в системе.



Рисунок 3 – Результаты моделирования дождя



Рисунок 4 – Результаты моделирования ливневых осадков

Использование системы частиц также позволяет легко менять размер моделируемых частиц. Это можно использовать, например, при визуализации различных видов твердых осадков: снежной крупы и снежных хлопьев. Результаты моделирования снежных осадков представлены на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5 – Визуализация твердых осадков «снежная крупа»



Рисунок 6 – Визуализация снежных хлопьев

В 3D приложениях реального времени обычно используется упрощенная модель визуализации частиц: считается, что частицы не отбрасывают тени на окружающую геометрию и друг на друга, не поглощают свет. Без этих допущений обсчет системы частиц требует значительного количества ресурсов.

Использование системы частиц для моделирования атмосферных осадков можно оптимизировать, если принять во внимание то, как человек видит осадки в реальной жизни.

Наблюдатель различает отдельно только те капли или снежинки, которые находятся в непосредственной близости от него. На заднем плане осадки сливаются и воспринимаются как равномерная белая пелена. Применяя это при моделировании, можно значительно сократить количество частиц. Система частиц прикрепляется к камере, а на заднем плане добавляется туман, который может быть реализован с помощью шумовой функции. А шумовая функция, в свою очередь, может быть легко реализована на графическом процессоре с помощью шейдеров. Для сравнения, на рисунке 7 представлена сцена с добавлением тумана на заднем плане, а на рисунке 8 – та же сцена, но без него.



Рисунок 7 – Сцена с туманом



Рисунок 8 – Сцена без тумана

При визуализации атмосферных осадков также встает вопрос об отслеживании столкновений падающих капель дождя или снежинок с поверхностью земли. Игровые движки предусматривают отслеживание взаимодействия нескольких 3d-объектов в пространстве с помощью технологии обнаружения столкновений (Collision detection).

Collision detection – это способ, с помощью которого анализируется 3D-пространство сцены на предмет столкновений между объектами. Объектам присваивается компонент Collider, который размещает вокруг него невидимую сетку - коллайдер, имитирующий форму объекта и информирующий о наличии столкновений с другими объектами. Информация о столкновении

коллайдеров передается в физический движок игрового движка, где происходит обсчет дальнейшего поведения, основанного на скорости объектов, их направлении и силе удара [15].

Использовании коллайдеров, точно повторяющих форму меша моделей, а также увеличение количества объектов приводит к увеличению затрат на их вычисление. Поэтому использование такого подхода при моделировании осадков является слишком ресурсозатратным.

Учитывая большое количество используемых при визуализации частиц, отслеживать точное место соприкосновения каждой из них с землей нецелесообразно. В случае с жидкими осадками гораздо проще использовать еще одну систему частиц, форма которой будет напоминать брызги. А для выпадения осадков на водную поверхность – наряду с дополнительной системой частиц в некоторых местах сетки деформировать геометрию водной поверхности, имитируя разводы на воде. Текстура, используемая для визуализации брызг дождевых капель на поверхности, представлена на рисунке 9, а результат моделирования – на рисунке 10.

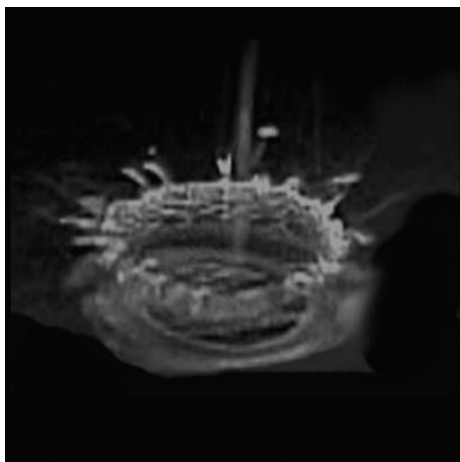


Рисунок 9 – Текстура брызг воды

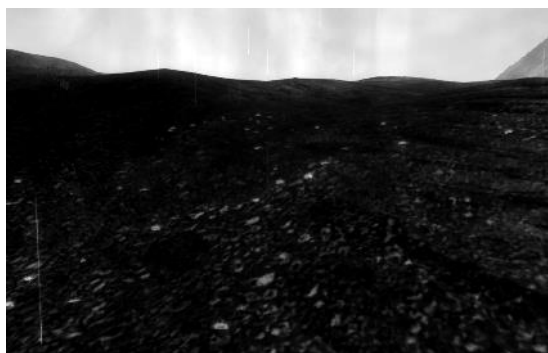


Рисунок 10 – Результат моделирования брызг дождевых капель

Для визуализации снежных наносов и сугробов можно воспользоваться методом мультитекстурирования поверхности.

Мультитекстурирование – это метод визуализации при помощи шейдеров с использованием нескольких текстур за минимальное количество проходов.

Пиксельные шейдеры могут получать на вход до восьми текстур, т.е. для каждого пикселя может быть до восьми источников данных о цвете. Для получения итогового цвета пикселя значения цвета пикселей из всех текстур складываются с каким-либо параметром смешивания. При этом значение цвета для каждой текстуры может быть изменено в шейдере произвольным образом. Метод мультитекстурирования отличается от других способов создания многослойных текстур отсутствием необходимости хранить итоговую текстуру в памяти, так как она динамически строится в шейдере непосредственно в процессе визуализации [16].

Алгоритм построения двухслойной текстуры с помощью шейдера предполагает последовательное получение:

- текстурных координат пикселя;
- цвета пикселя первой текстуры;
- цвета пикселя второй текстуры;
- коэффициента смешивания текстур для каждого пикселя, который может быть задан заранее или динамически вычислен в процессе выполнения шейдера;
- итогового цвет пикселя, который вычисляется по формуле:

$$c=c1*(1-k)+c2*k \quad (1)$$

где  $c$  – итоговый цвет;  
 $c1$  – цвет пикселя из 1-й текстуры;  
 $c2$  – цвет пикселя из 2-й текстуры;  
 $k$  – коэффициент смешивания.

Постепенно увеличивая вклад в конечный цвет белой снежной текстуры, можно добиться эффекта постепенного накопления снега на поверхности. На рисунках 11 и 12 показаны результаты моделирования снежных наносов на поверхности объектов с помощью мультитекстурирования поверхности.



Рисунок 11 – Мультитекстурирование поверхности



Рисунок 12 – Мультитекстурирование поверхности

### Выводы и перспективы исследований

Реализация рассмотренного метода визуализации атмосферных осадков и их взаимодействия с окружающей средой позволяет создавать реалистичное изображение этого погодного явления. Рассмотренные способы оптимизации использования вычислительных ресурсов при моделировании системы частиц позволяют применять метод в приложениях реального времени. Полученные результаты будут использованы для создания динамического игрового 3D окружения.

### Литература

1. Rousseau P., Jolivet V., Ghazanfarpour D. Realistic real-time rain rendering. *Computers & Graphics*, № 30(4), 2006, pp. 507-518.
2. Wang, C., Wang, Z., Zhang, X. et al. Real-time modeling and rendering of raining scenes. *The Visual Computer*, № 24(7-9), 2008, pp. 605-616.
3. Niniane, W., Wade, B. Rendering falling rain and snow. *ACM SIGGRAPH 2004 Sketches* (p. 14).
4. Reeves, W. T. Particle systems – A technique for modeling a class of fuzzy objects. *ACM SIGGRAPH*

*Computer Graphics*, 17. *Journal of Software* 113 Vol. 10, № 1, 2015, pp. 359-375.

5. Li, D., Meng, H., Shi, X. Membership clouds and membership cloud generators. *Journal of Computer Research and Development*, № 32(6), pp. 15-20.
6. Qiu, X., Liao, F. A fractal evolutionary particle swarm optimizer. *Journal of Computers*, № 8(5), 2013, pp. 1303-1308.
7. K. Garg, S. K. Nayar. Photorealistic rendering of rain streaks. In *ACM SIGGRAPH 2006 Papers. SIGGRAPH '06*. ACM, New York, NY, pp. 996-1002.
8. T. Yoshihiko, K. Kensuke, T. Katsumi. A method for rendering realistic rain-fall animation with motion of view. In *IPSJ SIGNotes Computer Graphics and CAD Abstract*, 2001, pp. 105-005.
9. Z.-X. Feng, M. Tang, J.-X. Dong, S.-C. Chou. Real-time rendering of raining animation based on the graphics hardware acceleration. In *Proceedings of the 9th Int'l Conf. on Computer Supported Cooperative Work in Design*, Vol 2, 2005, pp. 734-739.
10. Paul Fearing. Computer modelling of fallen snow. *SIGGRAPH*, № 27, 2000, pp. 618-625.
11. Mattias Andersson, Hakan Haglund, Anders Hast. Snow accumulation in real-time. *SIGRAD* (2002), 2002. [Electronic resource]: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.146.3757&rep=rep1&type=pdf>.
12. Современная географическая наука. Атмосферные осадки. [Электронный ресурс]: [http://www.geoglobus.ru/info/review28/physiography\\_002.php](http://www.geoglobus.ru/info/review28/physiography_002.php)
13. География. Свойства снежного покрова. [Электронный ресурс]: <http://www.geoknow.ru/dmws-993-1.html>
14. Система частиц. [Электронный ресурс]: [http://library.kiwix.org/wikipedia\\_ru\\_all\\_09\\_2013/A/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86.html](http://library.kiwix.org/wikipedia_ru_all_09_2013/A/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86.html)
15. Основы геометрического моделирования в Unity3d : методические указания / сост.: З. В. Степчева, О. С. Ходос. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – 33 с.
16. Федорищев Л.А. Мультитекстурирование с помощью шейдеров. // Программные продукты и системы, № 1, 2013, pp. 58-61.

*Карабчевський В.В., Лунтовська А.А. Реалістична візуалізація атмосферних опадів у додатках реального часу. Стаття присвячена питанню візуалізації атмосферних опадів при моделюванні природних сцен в режимі реального часу. Розглянуті методи моделювання опадів та їх взаємодії з оточуючим середовищем. Запропонована реалізація на основі системи частинок, а також способи зменшення витрат обчислювальних ресурсів без суттєвої втрати реалістичності зображення*

*Ключові слова: явища природи, атмосферні опади, система частинок, візуалізація в режимі реального часу, моделювання на основі фізичних властивостей*

**Karabchevskiy V., Luntovskaya A. Realistic precipitation visualization in real-time applications.** This paper is devoted to the real-time visualization of atmospheric precipitation in natural scenes. Article contains a review of precipitation simulation methods and methods of modeling precipitation interaction with an environment. Natural scenes simulation is one of the main directions in computer graphics research. Number of studies devoted to improve realism of natural phenomena visualization and rendering speed in dynamic natural scenes is growing every year. These questions are especially relevant in game development where realistic game environment often becomes the main criteria of game success. If talking about real-time games, rendering of weather events such as atmospheric precipitation should find a balance between realism and rendering speed. A huge number of raindrops and snowflakes is a heavy burden for computer calculation. In addition, every drop has many properties, such as size, weight, speed, acceleration etc. Therefore, a realistic and effective representation of scenes with precipitation by increasing the rendering speed and reducing computational expense is not an easy task. The goal of this article is to explore methods and algorithms of atmospheric precipitation simulation and to find the optimal ratio of realistic imaging of precipitation in real time and computational expense. Rendering method proposed in the article is based on the particle system usage. Simulation process is accelerated by using methods of texture mapping and multitexturing, running on the graphics processing unit. Precipitation simulation is made in view of its physical properties, which are also discussed in the article. Obtained modeling results will be used to create dynamic real-time gaming environment.

**Keywords:** natural phenomena, precipitation, particle system, real-time rendering, physically based modeling

Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.242

## Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия

И. В. Матях, Е.О. Савкова  
Донецкий национальный технический университет

*Матях И.В., Савкова Е.О. Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия. Рассмотрены методы вычисления весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономического развития предприятия. Для этого с помощью корреляционного анализа исследованы три метода: ранжирование критериев по степени их важности, определение усредненных экспертных оценок весовых коэффициентов, метод анализа иерархий. Показано, что при соблюдении определенных условий полученные данные могут быть сильно коррелированы, что позволяет сделать необходимые выводы о социально-экономическом развитии предприятия.*

### Постановка проблемы

В практической деятельности часто встречаются задачи, решение которых заключается в поиске лучшего варианта (альтернативы) по нескольким критериям. Такие задачи называются многокритериальными. Критерий – один из элементов задачи принятия решений, в соответствии с которым лицо, принимающее решение выбирает ту или иную альтернативу. Сведение многокритериальной задачи к однокритериальной может быть выполнено, например, методом «свертки», реализация которого требует оценки влияния отдельного критерия на общую функцию полезности. Роль критериев неодинакова, поэтому для оценки их влияния используют весовые коэффициенты, которые, в большинстве случаев, устанавливаются экспертами в данной области. Следовательно, возникает потребность в объективной оценке важности критериев. Для этого необходимо выполнить анализ способов определения весовых коэффициентов значимости критериев и их влияния на принятие решения.

### Цель работы

Целью данной работы является исследование методов определения весовых коэффициентов значимости, выбор наиболее оптимального для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия.

### Постановка задачи исследования

Лицо, принимающее решение (ЛПР) сталкивается с трудностью выбора наилучшего

варианта из-за большого, зачастую противоречивого, объема данных, характеризующих многокритериальную задачу.

Для решения данной проблемы в источнике [1] реализован подход по приведению нескольких критериев к одному с помощью весовых коэффициентов важности. Глобальный критерий вычисляется по формуле

$$C_{г\pi} = \sum_{i=1}^n w_i C_i \quad (1)$$

где  $C_i$  - частные критерии ( $i=1, \dots, N$ );  
 $w_i$  - веса (коэффициенты важности) критериев.

При этом

$$0 \leq w_i \leq 1; \sum_{i=1}^n w_i = 0. \quad (2)$$

В основном, необходимые коэффициенты назначают на основании данных, полученных от ЛПР или экспертов в рассматриваемой области. Эти данные в дальнейшем подвергаются сравнению и математической обработке [2].

### Решение задач и результаты исследований

Рассмотрим на примерах несколько известных методов определения весовых коэффициентов для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия.

### Метод определения усредненных экспертных оценок

Этот метод является одним из наиболее простых способов определения весовых коэффициентов для критериев. Он заключается в оценке весовых коэффициентов группой



экспертов, представления которых затем усредняются. Исходя из данных источника [3], можно сделать вывод, что такая усреднённая оценка является наиболее объективной. Если эксперты, для оценивания критериев используют одну шкалу, то значения  $A_{ij}$  рассчитываются делением суммы оценок на количество экспертов. В противном случае необходимо провести нормирование оценок, для приведения их к единой шкале. Нормирование оценок рассчитывается по формуле

$$A_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^m C_{ij}}; \sum_{i=1}^n A_{ij} = 1, \quad (3)$$

где  $C_{ij}$  – оценки экспертов;  $m$  – количество экспертов,  $n$  – количество критериев.

Окончательные значения весовых коэффициентов  $A_i$  рассчитываются по формуле (4), путем усреднения нормированных оценок всех  $m$ -экспертов по каждому критерию.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^m A_{ij}}{m}. \quad (4)$$

Преимущества: простота расчетов, получение объективной оценки (так как используется группа экспертов).

Недостатки: точность оценки падает, если эксперты имеют разную компетентность [4].

### Метод ранжирования критериев по степени их важности

Метод ранжирования заключается в том, что каждый эксперт расставляет частные критерии в порядке их важности. Согласно [5], цифрой 1 обозначается наиболее важный частный критерий, цифрой 2 - следующий по важности и т.д. Эти ранги преобразовываются таким образом, что ранг 1 - получает оценку  $m$  (число частных критериев), ранг 2 - оценку  $m-1$  и т.д. до ранга  $m$ , которому присваивается оценка 1. Обозначим полученные оценки  $C_{ik}$  - где  $i$  - номер эксперта,  $k$  – номер критерия,  $L$  – количество экспертов. Тогда результаты опроса экспертов можно свести в таблицу 1.

Последняя строка таблицы вычисляется по формуле (5) и содержит сумму оценок, поставленных критериям экспертами.

Таблица 1. Результаты опроса экспертов

Эксперты	Критерии			
	$F_1$	$F_2$	...	$F_m$
1	$C_{11}$	$C_{12}$	...	$C_{1m}$
2	$C_{21}$	$C_{22}$		$C_{2m}$
.	.	.	.	.
$L$	$C_{L1}$	$C_{L2}$	...	$C_{Lm}$
$\Sigma$ оценок	$C_1$	$C_2$	...	$C_m$

$$C_i = \sum_{j=1}^L C_{ji}; i=1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Окончательные значения весовых коэффициентов  $A_i$  определяются по формуле

$$A_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^m C_i} (i=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

Преимущества: получение упорядоченной последовательности критериев.

Недостатки: метод является достаточно сложным для экспертов, так как им необходимо одновременно оценивать ряд критериев, присваивая каждому определенный ранг.

### Метод анализа иерархий (МАИ)

Данный метод построен на основе представления задачи в виде некоторой иерархической структуры целей, подцелей, вариантов решений (альтернатив).

Исходя из данных источника [6], МАИ использует матрицы парных сравнений для получения информации о критериях и альтернативах, построение которых для экспертов являются достаточно просто задачей.

Решение задачи с использованием данного метода состоит из следующих этапов:

- формализация задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цель, подцель, критерии, альтернативы;
- выполнение операции попарного сравнения элементов каждого уровня экспертами. Результаты представляются в виде совокупности матриц попарных сравнений;
- вычисление коэффициентов важности для каждого уровня на основе полученных матриц парных сравнений;
- подсчет итогового веса каждой из альтернатив и определение лучшей.

Иерархическое представление МАИ, в общем случае, показано на рисунке 1.

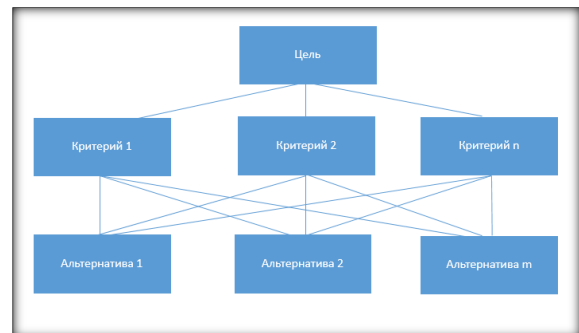


Рисунок 1 – Иерархическая модель задачи принятия решения

На верхнем уровне отображена главная цель. Ее достижение (не достижение) определяется по  $n$ -критериям. После этого

каждая альтернатива определяется с точки зрения каждого критерия.

При наличии  $n$  критериев создается квадратная матрица  $A$ , размерности  $n$  – матрица парных сравнений, которая отражает суждение эксперта относительно важности критериев. Сравнение выполняется таким образом, что каждый критерий оценивается относительно всех остальных. Для сравнения эксперту дается шкала оценивания, представленная в таблице 2.

Таблица 2. Шкала относительной важности критериев

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное или сильное превосходство	5
Значительное превосходство	7
Очень сильное превосходство	9
Промежуточные значения	2,4,6,8

Обозначим через  $a_{ij}$  элемент матрицы  $A$ , находящийся на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца:  $a_{ij}=1$  означает, что  $i$ -й и  $j$ -й критерии одинаково важны,  $a_{ij}=5$  отражает мнение, что  $i$ -й критерий значительно важнее, чем  $j$ -й. Промежуточные значения между 1 и 9 интерпретируются аналогично. Согласованность таких обозначений обеспечивается следующим условием: если  $a_{ij} = k$ , то автоматически  $a_{ji} = 1/k$ . Все диагональные элементы  $a_{ij}$  матрицы  $A$  должны быть равны 1, так как они выражают оценку критериев относительно самих себя.

Элементы матрицы приводят к десятичному виду, после чего получаем строчные суммы путем суммирования элементов строк. Строчные суммы нормируются по формуле (3). Полученные нормированные строчные суммы являются результатом решения задачи.

Преимущества: простота расчетов, наглядность моделей, возможность применения метода в тех случаях, когда эксперты не могут дать абсолютные оценки критериев, а пользуются более слабыми сравнительными измерениями.

Недостатки: введение нового критерия может, в общем случае, привести к изменению предпочтений между двумя ранее заданными критериями.

### **Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости**

Зависимость значений весовых коэффициентов от способов расчета и обработки экспертных суждений рассмотрим на примере некоторого предприятия.

Для оценки данного предприятия выделены частные критерии [7], приведенные в таблице 3. Экспертам было предложено сравнить выделенные критерии методом усредненных экспертных оценок (метод 1), ранжирования (метод 2) и анализа иерархий (метод 3).

Таблица 3. Описание критериев предприятия

Название критерия	Описание
Эффективность предприятия ( $C_1$ )	Оценивает результат деятельности предприятия.
Развитие предприятия ( $C_2$ )	Оценивает инновационное развитие предприятия: освоение новых видов продукции, внедрение новых технологических процессов и т.д.
Деловая активность ( $C_3$ )	Оценивает работу предприятия в целом.
Охрана труда ( $C_4$ )	Оценивает систему сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.
Организация труда ( $C_5$ )	Критерий оценки мероприятий по созданию благоприятных условий труда.
Образование работников ( $C_6$ )	Оценивает соответствие работников к их трудовой деятельности.
Экология ( $C_7$ )	Оценивает соответствие экологической ситуации нормам законодательства.
Взаимодействие с общественностью ( $C_8$ )	Оценивает взаимодействие предприятия с органами власти, с некоммерческими организациями и т.д.

Результаты работы экспертов в сводном виде представлены в таблице 4, в которой приведены значения весовых коэффициентов, рассчитанных с использованием трех вышеуказанных методов.

Таблица 4. Значение весовых коэффициентов, рассчитанных с использованием трех методов

	Метод 1	Метод 2	Метод 3
$A_1$	0,182	0,222	0,236
$A_2$	0,172	0,194	0,173
$A_3$	0,112	0,117	0,165

A <sub>4</sub>	0,15	0,156	0,109
A <sub>5</sub>	0,124	0,133	0,131
A <sub>6</sub>	0,1	0,083	0,108
A <sub>7</sub>	0,092	0,067	0,056
A <sub>8</sub>	0,068	0,028	0,022

Автор работы [8] предлагает оценить связь между весовыми коэффициентами с помощью коэффициента корреляции, который дает представление о направлении и силе связи между значениями критериев. Сила корреляционной связи описана в [9]:

- сильная:  $\pm 0,7$  до  $\pm 1$ ;
- средняя:  $\pm 0,3$  до  $\pm 0,699$ ;
- слабая: 0 до  $\pm 0,299$ ;

Рассчитаем коэффициенты корреляции для трех возможных пар: Метод №1 – Метод №2, Метод №1 – Метод №3, Метод №2 – Метод №3.

Полученная корреляционная матрица представлена в таблице 5.

Таблица 5. Корреляционная матрица для исследуемых методов

	Метод 1	Метод 2	Метод 3
Метод 1	1	0,99	0,85
Метод 2	0,99	1	0,9
Метод 3	0,85	0,9	1

Результаты расчетов изображены на рисунке 2.

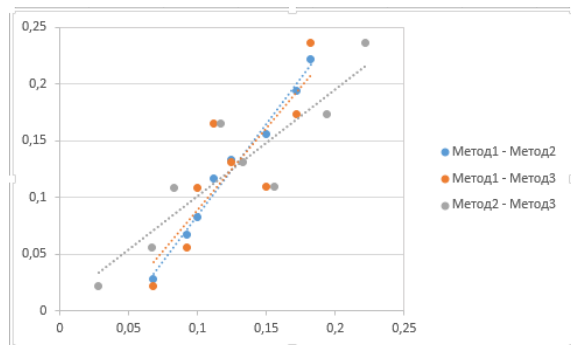


Рисунок 2 – График корреляционной зависимости для трех исследуемых пар

Коэффициенты корреляции для всех пар входят в диапазон  $\pm 0,7$  до  $\pm 1$ , что говорит о высокой корреляционной зависимости

### Литература

1. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах: Учебник. - М.: Логос, 2000. – 296 с.: ил.
2. Системы поддержки принятия решений: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры/под ред. Халина В.Г., Черновой Г.В. - М.: Издательство Юрайт, 2015. - 494 с. - Серия: Бакалавр и магистр. Академический курс.
3. Прохоров Ю.К., Фролов В.В. Управленческие решения: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 138 с.

полученных данных. Это значит, что для системы оценки уровня социально-экономического развития предприятия можно использовать любой из вышеперечисленных методов. Однако, при этом подразумевается, что эксперты имеют равную компетентность.

Если компетентность экспертов различна и может быть оценена некоторым числом, то представленные формулы расчета весовых коэффициентов нуждаются в уточнении, согласно [10]. Пусть компетентность  $j$ -го эксперта оценивается положительной величиной  $\alpha_j$  (вес эксперта). Будем считать эти величины нормированными по формуле (3). Тогда значения весовых коэффициентов для метода анализа иерархий, ранжирования и усредненных экспертных оценок вычисляются по формуле:

$$C_i = \sum_{j=1}^l C_{ji} * \alpha_j \quad (7)$$

### Выводы

В результате проведенного анализа методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки уровня социально-экономического развития предприятия выбран метод анализа иерархий, так как он устойчив к нарушениям согласованности оценок экспертов, применим в тех случаях, когда эксперты затрудняются дать абсолютную оценку критериев, что возможно в данной системе. Метод прост в расчетах и в интерпретации результатов. Он показывает наглядную модель системы. Также метод анализа иерархий применим к оценке не только частных критериев, но и альтернатив (решений).

Направлением дальнейших исследований в данной работе является применение выбранного метода анализа иерархий для разработки системы оценки уровня социально-экономического развития предприятия. При этом предполагается, что данная система будет проводить обработку результатов экспертных оценок (определение факторов, влияющих на точность и достоверность информации) и выполнять корректировку экспертных данных, используя корреляционный анализ.

4. Колпакова Т.А. Определение компетентности экспертов при принятии групповых решений // Радиоэлектроника, информатика, управление – 2011 - №1 (24)– с. 40-43.
5. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. Калинеску Т.В., Недобега Е. А. Анализ и оценка уровня социально-экономического развития предприятия // Бизнес Информ – 2011 - №2(2) – с. 117-119.
8. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» // Социология – 2005 - №20 – с.54-72.
9. Применение корреляционного анализа в технологических расчетах: метод. указания / сост. А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова, Н.Н. Бакумова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.
10. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. – М. : Патент, 1996. – 298 с.

*Матях І.В., Савкова Е.О. Кореляційний аналіз методів визначення вагових коефіцієнтів значимості для системи оцінки соціально-економічних показників розвитку підприємства. Розглянуті методи обчислень вагових коефіцієнтів значимості для системи оцінки соціально-економічного розвитку підприємства. Для цього за допомогою кореляційного аналізу досліджені три методи: ранжування критеріїв за рівнем їх важливості, визначення усереднених експертних оцінок вагових коефіцієнтів, метод аналізу ієрархій. Показано, що при дотриманні певних умов отримані дані можуть бути сильно корельовані, що дозволяє зробити необхідні висновки про соціально-економічний розвиток підприємства.*

**Ключевые слова:** корреляционный анализ, ранжирование критериев, метод анализа иерархий

*Irina Matyah, Elena Savkova, The correlation Analysis of methods for determination of considerable weight coefficients in system which estimates social and economic indexes of the enterprise's development. Considered calculation's methods of considerable weight coefficients for system which estimates social and economic indexes of the enterprise's development. For this three methods are investigated: ranging of criteria on importance's degree, definition of average expert estimates for weight coefficients, method of the hierarchies's analysis. It is shown that at observance of certain conditions the obtained data can be strongly correlated. That allows to draw necessary conclusions on social and economic development of the enterprise.*

**Keywords:** correlation analysis, ranking criteria, analytic hierarchy process

Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.74

## Разработка симуляторов транспортных средств с использованием операционной системы Android

Р.В. Мальчева, С.В. Кривошеев, Т.В. Завадская  
Донецкий национальный технический университет  
raisa.malcheva@gmail.com

*Мальчева Р.В., Кривошеев С.В., Завадская Т.В. Разработка симуляторов транспортных средств с использованием операционной системы Android. Выполнен анализ ARM архитектуры как аппаратной основы для создания симуляторов транспортных средств. Исследованы особенности операционной системы Android. Выполнена разработка симулятора и проведено его исследование на базе существующих мобильных устройств с использованием параметров реального объекта.*

### Введение

В современном мире каждое десятилетие происходит практически полная смена технологической базы. И все более острой становится проблема безопасной транспортировки объектов и ресурсов. Это усиливает необходимость разработки и моделирования высокоточных систем для расчета параметров и визуализации движения транспортных средств.

Развитие современных мобильных платформ и беспроводной связи позволяет вывести решение сложных задач моделирования за границы научных лабораторий, предоставляя исследователям и инженерам доступ к вычислительным мощностям и средствам визуализации данных практически из любой точки земного шара. Т.е. позволяет выполнять необходимые расчеты и моделировать технологические процессы в непосредственной близости к месту проведения работ, что, безусловно, ускоряет научно-технический прогресс.

### Постановка проблемы исследований

Критической точкой в обучении высококвалифицированных специалистов, оперирующих современной техникой, является получение практических навыков эксплуатации транспортными средствами и принятия решений в экстремальных ситуациях. При современном уровне развития вычислительной техники и методологий построения моделей объектов возможно добиться максимальной точности при моделировании различных ситуаций. Существует несколько подходов к решению подобных задач [1]. Первым решением является моделирование ситуации с помощью различных языков программирования. Такой подход предоставляет большую гибкость в симуляции различных

условий, однако значительно усложняет реализацию расчётов. Иным можно считать подход к моделированию, когда ситуация описывается в специализированной среде (к примеру, Matlab). С помощью подобного пакета прикладных средств можно описывать различные структуры данных на основе матриц, что может быть оптимальным решением при моделировании определённых задач [2].

При проектировании тренажеров особое внимание уделяется пользовательским терминалам. Одним из вариантов применения средств визуализации является возможность использовать их и как устройства ввода-вывода, и как самостоятельные вычислительные узлы. Новейшие планшетные компьютеры комплектуются процессорами, которые поддерживают различные технологии параллельного вычисления, и графическими чипами, которые имеют достаточное количество вычислительной мощности для динамического построения графического представления результатов моделирования. Эти возможности, а так же доступность различных специфических технологий (акселерометра, сенсорного ввода), позволяет применять подобные устройства для эффективной подготовки квалифицированных специалистов. Большинство современных мобильных устройств реализованы на базе платформ, использующих процессы с RISC-архитектурой. Наиболее распространёнными являются процессоры, созданные компанией ARM Limited.

Задачей данных исследований является анализ разработка и исследование симуляторов транспортных средств с учетом особенностей и возможностей операционной системы Android.

**Анализ особенностей ARM архитектуры**

Архитектура ARM (Advanced RISC Machine, Acorn RISC Machine, усовершенствованная RISC-машина) — семейство лицензируемых 32-битных и 64-битных микропроцессорных ядер разработки компании ARM Limited. Компания занимается исключительно разработкой CPU и инструментов для них (компиляторы, средства отладки и т. п.). Эти процессоры имеют низкое энергопотребление, поэтому находят широкое применение во встраиваемых системах и доминируют на рынке мобильных устройств, для которых немаловажен данный фактор.

Особенностями архитектуры ARM (рис.1) является:

- архитектура загрузки/хранения;
- нет поддержки нелинейного (не выровненного по словам) доступа к памяти (теперь поддерживается в процессорах ARMv6 за некоторыми исключениями и полностью в ARMv7);
- равномерный 16x32-битный регистровый файл;
- фиксированная длина команд (32 бита) для упрощения декодирования за счет снижения плотности кода. Позднее режим Thumb повысил плотность кода;
- одноцикловое исполнение.

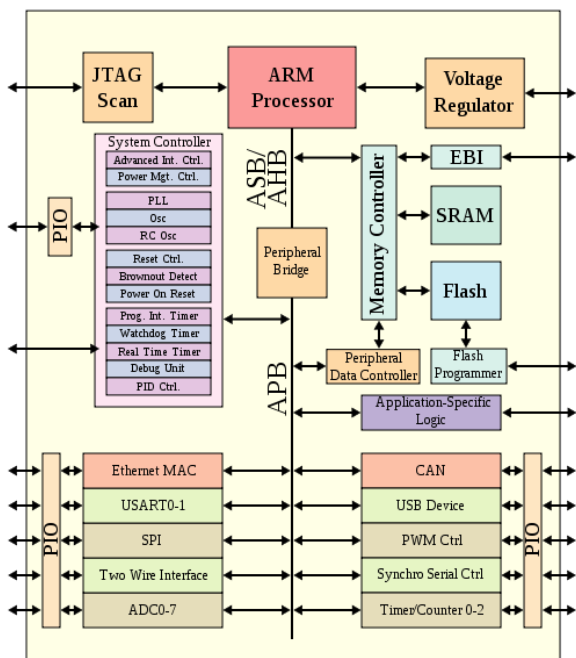


Рисунок 1 - Внутренняя организация устройства на базе процессора с ARM-архитектурой

Множество периферийных операционных систем поддерживают ARM-архитектуру. Среди мобильных операционных систем, применяемых для устройств на базе ARM-архитектуры,

наиболее распространены iOS, Android, Windows Phone, Windows RT, Blackberry OS/ Blackberry 10, Tizen, Ubuntu Touch [3]. Кроме того, ряд настольных операционных систем, используется в компьютерах на базе ARM-архитектуры - семейство Unix – систем (в частности, BSD(NetBSD)), OpenSolaris и различные дистрибутивы Linux (Ubuntu, ChromeOS). Лидером среди ОС для мобильных устройств является Android (рис.2). Эта система лидирует на рынках смартфонов (Android занимает 81,1 % рынка), интернет-серверов (60 %).

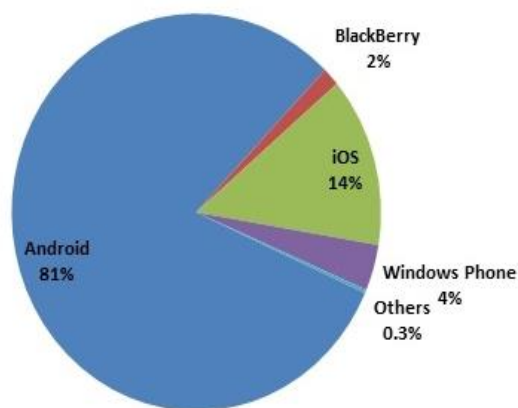


Рисунок 2 - Доля ОС Android на рынке мобильных платформ

На рынке домашних компьютеров Linux прочно занимает 3 место (по разным данным, от 1 до 5%). Согласно исследованию Goldman Sachs, в целом, рыночная доля Linux среди электронных устройств составляет около 42%.

Android это операционная система для смартфонов, планшетов и нетбуков, которая основана на модифицированном ядре Linux [4]. Приложения, созданные для Android являются программами в нестандартном байт-коде для Dalvik - оптимизированной, регистр-ориентированной виртуальной машины. Архитектура OS Android включает в себя несколько уровней – уровень приложений, уровень каркаса, уровень библиотек, уровень среды выполнения и уровень ядра Linux. Уровень приложений (Applications) содержит комплект базовых приложений: клиенты электронной почты и SMS, календарь, различные карты, браузер, программа для управления контактами и много другое. Уровень каркаса приложений (Application Framework) предоставляет любому приложению возможность использовать уже реализованные возможности другого приложения. Таким образом, архитектура реализует принцип многократного использования компонентов ОС и приложений. Уровень библиотек (Libraries) включает набор C/C++ библиотек, используемых различными компонентами ОС. Для разработчиков доступ к функциям этих библиотек

реализован через использование Application Framework

### Разработка симулятора

Для выработки навыков управления транспортным средством необходимо обеспечить модельную поддержку, которая включает в себя описание динамики движения. С точки зрения кинематики, транспортное средство может рассматриваться как твердое тело с шестью степенями свободы. Уравнения движения такого объекта составляются на основании законов кинематики и динамики твердого тела, а также теории силового воздействия внешней среды на движущееся тело.

Для построения тренажера можно использовать несколько архитектурных подходов. Первый – выполнение программы симуляции на одном локальном устройстве (планшетном компьютере). Этот подход позволяет исключить затраты времени на пересылку данных по сети, однако не является наиболее оптимальным с точки зрения ограниченности ресурсов современных планшетных компьютеров.

Второй подход – объединение нескольких мобильных устройств между собой в единую локальную сеть, и обмен данными между ними внутри беспроводной локальной сети. Вариацией этой архитектуры может быть выделение отдельного стационарного компьютера, к которому будут подключаться мобильные устройства, и который будет управлять процессом симуляции. Этот компьютер не обязательно должен быть настроен для выполнения специализированных задач.

Ещё одним вариантом решения проблемы скорости симуляции является выделение отдельного сервера внутри локальной сети, который будет выполнять все необходимые для моделирования расчёты, и распределять результаты между участниками симуляции. Этот подход позволит сконцентрировать вычислительные мощности планшетных компьютеров на работах по визуализации результатов, и не заботиться о скорости выполнения расчётов. В качестве серверного узла можно использовать как кластер в локальной сети, так и облачные ресурсы.

Разработанная система включает:

- мобильное приложение (клиент), реализованное на ОС Android с использованием Android API;
- сервер, который отвечает за обработку данных, полученных от мобильных приложений, а также выполняет синхронизацию полученных задач;
- базу данных для хранения необходимой информации об объекте.

Мобильное приложение предназначено для обеспечения следующих функциональных возможностей:

- выполнение запросов к серверу, отправка задачи для расчета параметров;
- отображение информации, полученной от сервера;
- сохранение данных, необходимых для начала расчета параметров движения объекта.

При оценке быстродействия архитектуры, используемой для симуляции, необходимо помнить о том, что данные, поступающие с периферийных источников, должны обрабатываться и передаваться для анализа с частотой не ниже 1 Hz. Для автономного надводного ТС структура информационных каналов (рис. 3), частота определения состояния и формирования команд выбраны аналогично рассмотренным в работе [1].

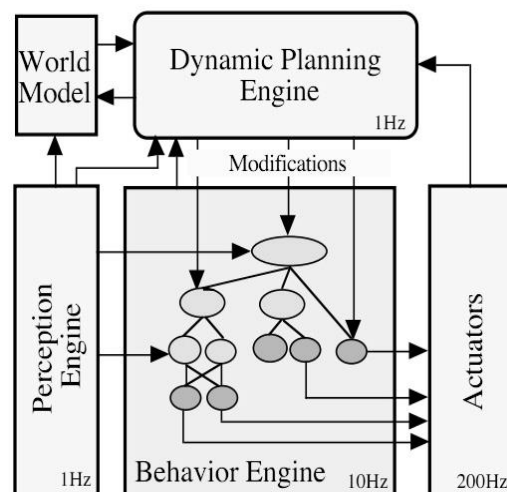


Рисунок 3 - Структура информационных каналов интеллектуального транспортного средства с типовыми значениями расчёта параметров

В результате проектирования разработаны основные компоненты системы:

- мобильное приложение;
- сервер для расчета параметров движения судна;
- базы данных.

Для работы с базой данных использована ORM технология, что позволило уменьшить количество SQL запросов и упростить работу с математическими данными об объекте исследований. Выбор СУБД SQLite обусловлен возможностью переноса БД с сервера, который выполняет расчеты, в мобильное приложение.

Также выполнена разработка специализированного пакета данных, предназначенного для передачи данных между клиентским приложением и сервером, что позволило структурировать обмен данными между элементами системы. Использование

формата JSON в качестве основы для пакета данных упростит перенос клиентского приложения на другие операционные системы та предоставит возможности для дальнейшей модернизации системы.

**Исследование симулятора**

Исследования проводились на различных мобильных устройствах со следующими техническими характеристиками:

Asus Memo Pad 7  
CPU – Cortex A9 1000 MHz  
Cores – 1

RAM – 1 Gb  
GPU – Mali 400

1. Google Nexus 7  
CPU – NVIDIA Tegra 3 1.2 GHz  
Cores – 4  
RAM – 1 Gb

При проведении моделирования работы распределенной системы расчета параметров движения объекта использованы параметры реального судна, приведенные в табл.1. При этом выполнялось сравнение по нескольким параметрам.

На рис.4. приведен график зависимости минимального времени выполнения от количества моделей. На рис.5. показана зависимость среднего

времени выполнения от количества моделей. На рис.6. показана зависимость максимального времени выполнения от количества моделей.

Таблица 1 – Основные параметры объекта

Параметр	Ед.изм.	Значение
Длина	м	108,9
Ширина	м	16,0
Осадка	м	3,0
Расстояние от центра судна до двигательного-рулевого комплекса	м	50,0
Масса без груза	кг	1260000
Грузоподъемность	кг	3000000
Коэффициент общей заполненности	-	0,801
Коэффициент полноты площади мидель-шпангоута	-	0,997
Коэффициент полноты площади грузовой ватерлинии	-	0,904
Площадь рулей	м <sup>2</sup>	2,4
Диаметр гребного винта	м	1,6

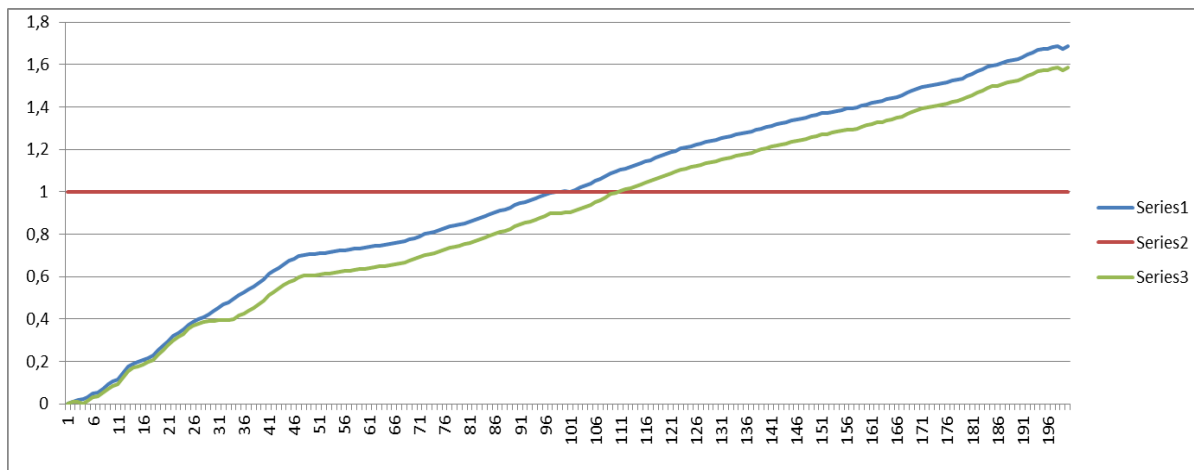


Рисунок 4 – График зависимости минимального времени выполнения от количества моделей



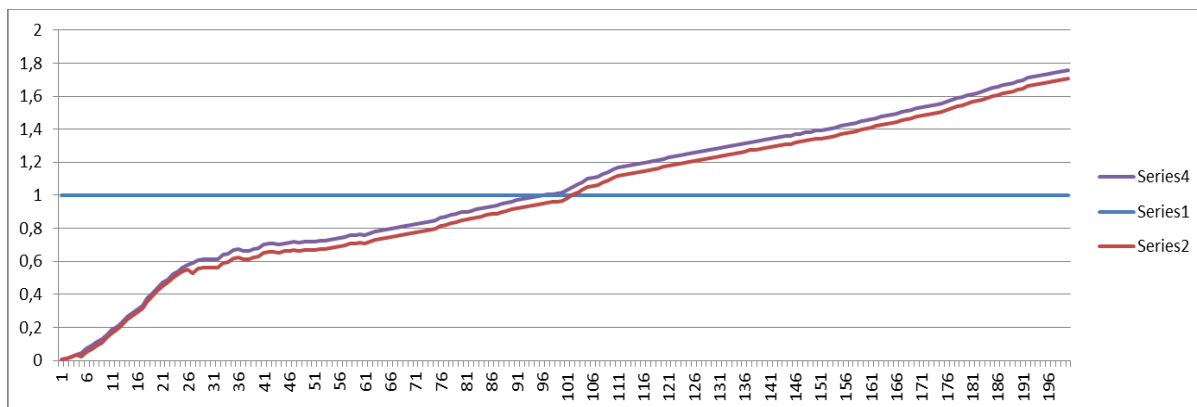


Рисунок 5 – График зависимости среднего времени выполнения от количества моделей

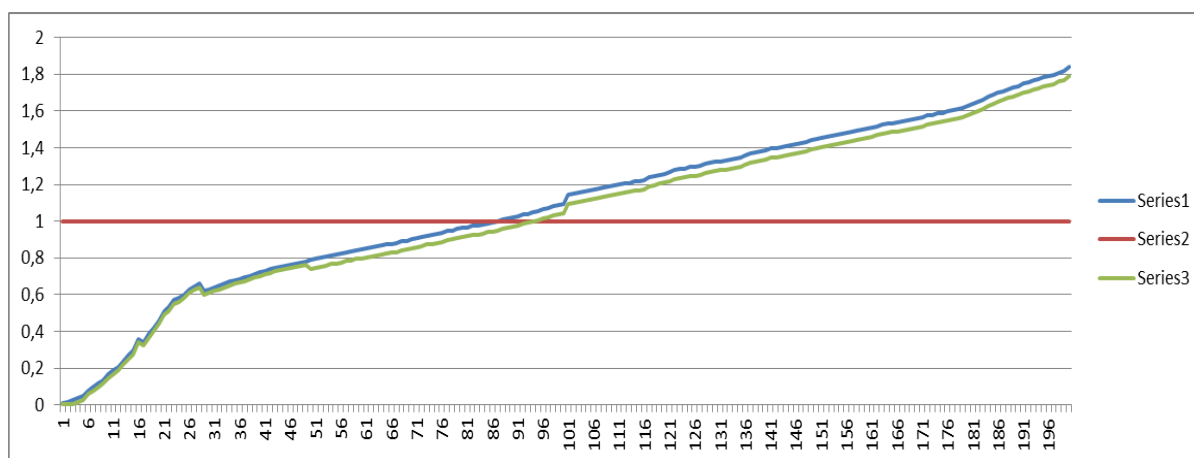


Рисунок 6 – График зависимости максимального времени выполнения от количества моделей

Графики зависимостей показывают, что, несмотря на то, что изначально ОС Android не была рассчитана на использование во встраиваемых устройствах, продуманное конфигурирование и разработка программного обеспечения делают эту операционную систему вполне применимой и в данном круге задач. Постепенно ОС Android перерастает рамки мобильной ОС и превращается в мощную платформу для встраиваемых приложений. Использование этой операционной системы пока еще связано с определенными трудностями в таких областях, как ограничения на объемы занимаемой памяти, разработка программных средств, функционирование в безоператорном режиме, поддержка встраиваемых процессоров и режим реального времени. При этом не вызывает сомнений, что популярность ОС Android будет стимулировать все более широкое применение во встраиваемых системах различных ее версий. С точки зрения используемых при выборе операционной системы основных критериев, таких как наличие аппаратных средств и готового программного обеспечения, Android следует признать одним из главных кандидатов на роль ОС для встраиваемых систем.

### Заключение

Разработана распределенная система расчета параметров движения объекта. Проведены ее исследования с использованием параметров реального судна. На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- использование распределенной системы позволяет уменьшить время расчета параметров движения объекта;
- современные мобильные процессоры практически не имеют ограничений с точки зрения использования разработанной системы;
- на процессорах с тактовой частотой от 1000 МГц до 2000 МГц для своевременного расчета параметров необходимо отслеживать и корректировать количество моделей и шагов расчета.

### Список использованной литературы

1. Eric Hansen, Terry Huntsberger and Les Elkins. Autonomous maritime navigation: developing autonomy skill sets for USVs // Proc. SPIE 6230, 6230U (2006).

2. Вьюгов В.В. Гидродинамические аспекты теории судовождения на внутренних водных путях : Автореф. дис... д-ра техн. наук / Новосибирская гос. академия водного транспорта. - Новосибирск: НГАВТ, 1999.- 33 с.

3. Jonathan W. Valvano. Embedded Systems: Introduction to Arm® Cortex(TM)-M Microcontrollers (Volume 1), CreateSpace, ISBN: 1477508996.

4. Joseph Annucci Jr., Lauren Darcey, Shane Conder. Introduction to Android Application Development: Android Essentials. ISBN: 032194026.

5. Jeffrey S. Beasley, Piyasat Nilkaew. Networking Essentials. - Peachpit Press, 3rd Edition. ISBN: 978-0-7897-4903-1.

*Поступила в редколлегию 10.12.2015*

***Р.В. Мальчева, С.В. Кривошеев, Т.В. Завадська. Розробка симуляторів транспортних засобів з використанням операційної системи Android. Виконаний аналіз ARM архітектури в якості апаратної основи щодо створення симуляторів транспортних засобів. Проведені дослідження особливостей операційної системи Android. Розроблен симулятор й проведено його дослідження на базі існуючих мобільних платформ з використанням параметрів реального об'єкта. Результати досліджень довели, що застосування розподіленої системи на базі мобільних пристроїв скорочує час розрахунку параметрів руху об'єкту; сучасні мобільні процесори практично не мають обмежень з точки зору застосування розробленої системи.***

***Ключові слова: мобільна платформа, динаміка руху, розподілена система, модель, дослідження.***

***R.V. Malcheva, S.V. Kryvosheyev, T.V. Zavadskaya. Development of the vehicles simulator with the use of Android operating system. An ARM hardware architecture as the foundations for the establishment simulator vehicles is analyzed. The features of the operating system Android are studied. Simulator is developed and researched on the base of existing mobile platforms using the parameters of the real object. Research results have shown that the use of distributed systems based on mobile devices reduces the time of object's motion parameters' calculation; modern mobile processors are virtually no limitations in terms of the application of the developed system.***

***Keywords: mobile platform, motion dynamics, distributed system, model, investigation.***

*Статья поступила в редакцию 20.10.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*

УДК 004.04

## Алгоритм разделения челюстей при распознавании панорамных стоматологических изображений

М. В. Привалов, З. Сабо, А. Базько  
Донецкий национальный технический университет  
max@asu.dgtu.donetsk.ua  
Чешский технический университет  
szabozol@fbmi.cvut.cz  
dicerona@gmail.com

*Привалов М.В., Сабо З., Базько А., Алгоритм разделения челюстей при распознавании панорамных стоматологических изображений. В настоящее время все современные зубоорудительные клиники имеют рентгеновское оборудование, которое активно используется в процессе лечения заболеваний. С помощью данного оборудования можно получать интраоральные и экстраоральные снимки. На данных изображениях могут присутствовать зубы, обе челюсти, носовая полость и часть синуса. Изображения данных модальностей используются для обнаружения скрытых дефектов, поиска патологических образований на кончиках корней зубов, помощи при лечении корневых каналов зубов и в других подобных случаях. В данной статье рассматривается построение алгоритма для разделения верхней и нижней челюсти на основании морфологических операций.*

### Введение.

Рентгеновская диагностика и её более современный и совершенный вариант, компьютерная томография, используются в настоящее время во всех медицинских учреждениях во всём мире, а также в большинстве стоматологических клиник. Такой способ диагностики является эффективным для обнаружения таких проблем как кариес коронковой и корневой части зуба, кист и опухолей, дефектов челюстной хирургии, повреждений костей, а также неоднородности костной ткани. Другой областью применения является идентификация в автоматизированных системах дентальной идентификации (ADIS). При этом инвазивность данных методов обследования является низкой и они безболезненны для пациентов. Основными модальностями, используемыми врачами для поиска перечисленных ранее проблем, являются: прикусовая, периапикальная и панорамная. Прикусовые изображения дают подробную информацию о зубах, расположенных в области губ. Приапикальные детально отображают один отдельно взятый зуб. Панорамные же изображения содержат развёртку всей области, включая челюсти и зубы. Благодаря тому, что панорамные изображения дают полное представление обо всей картине и метод получения этих изображений надёжный и точный (более высокую точность может обеспечить уже только более дорогая компьютерная томография), данный метод является достаточно популярным у врачей-

стоматологов. Ниже, на рис. 1, приведен пример панорамного стоматологического рентгеновского изображения.

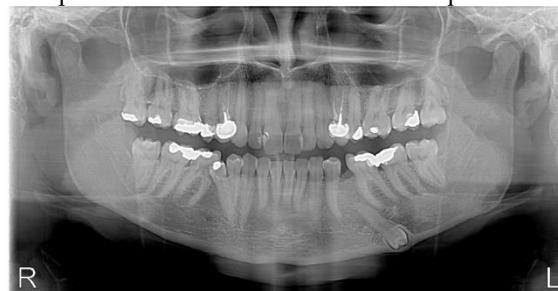


Рисунок 1 – Пример панорамного стоматологического рентгеновского изображения.

Однако, любая диагностика, проводимая доктором с использованием изображений, является субъективной и при этом нередко порождает проблематичный выбор из множества возможных диагнозов в отсутствие формального описания изображения. Данная проблема может быть решена путём создания компьютеризированной диагностической системы, которая бы использовалась в процессе диагностики и лечения. В настоящее время компьютерное оборудование присутствует практически в любой клинике, поэтому разработка и развёртывание компьютерной системы поддержки принятия решений, способной выполнять сегментацию изображений, подчёркивание и визуализацию важных свойств изображения, а также выдавать врачу советующее диагностическое решение, позволит объективизировать диагноз, повысить скорость и снизить трудоёмкость его вынесения.

Перед тем как сгенерировать решение-совет, система должна выполнить сегментацию входного изображения и извлечь важную информацию, необходимую для дальнейшей обработки и предъявления на вход системы поддержки принятия решений.

### Современное состояние вопроса.

Группы учёных по всему миру проводили исследования в направлении построения алгоритмов сегментации панорамных стоматологических изображений. В работе [1] был предложен метод для выполнения сегментации стоматологических панорамных изображений для идентификации человека в системе ADIS. Метод базируется на разделении челюстей, основанном на суммировании интенсивностей пикселей, а также на применении вероятностных признаков и «жадном» сканировании изображения для идентификации зубов на изображении. Предложенный метод работает на качественных изображениях, но при этом непригоден для отсканированных снимков и случаев, когда невозможно разделить зубы прямыми линиями. Методы, предложенные в работах [2] – [5], основаны на математической морфологии, применяемой как на стадии разделения челюстей, так и на стадии выделения зубов. Подход, описанный в [2] использует методы статистического обучения для выбора области интереса (ROI), а также признаковую классификацию для распознавания кариеса. Метод показывает достаточно хорошую производительность, но согласно исследованиям авторов, может давать неверные результаты для изображений, на которых присутствует шум, обусловленный сканированием, имеются отсутствующие зубы или зубы расположены так, что накладываются друг на друга на снимке. В [3] морфологическая предобработка используется совместно с морфологическим извлечением данных. Детектирование зубов предлагается авторами выполнять путём полного перебора сдвига точек эталонного контура с целью сопоставления точкам, определенным с помощью морфологических операций. Более перспективный метод описан в [6], где предложена комбинация морфологических операторов с модифицированным оператором водораздела. Использован водораздел, основанный на дистанционном преобразовании. Однако, морфологические методы не единственные методы, с помощью которых исследователи предлагают выполнять разделение челюстей и эффективную сегментацию панорамного изображения. В ряде работ в основе таких алгоритмов лежат алгоритмы сегментации, основанные на минимизации энергии. Например,

в [7] и [8] в основе метода лежат алгоритмы активных контуров различных модификаций: алгоритм геодезических активных контуров и алгоритм активных контуров без границ. Применяются также методы, основанные на вариационных методах функции уровня [9] и простые методы порогового ограничения [10]. Основываясь на проведенном исследовании состояния вопроса автоматической сегментации панорамных изображений, можно выделить следующие этапы обработки панорамных стоматологических изображений:

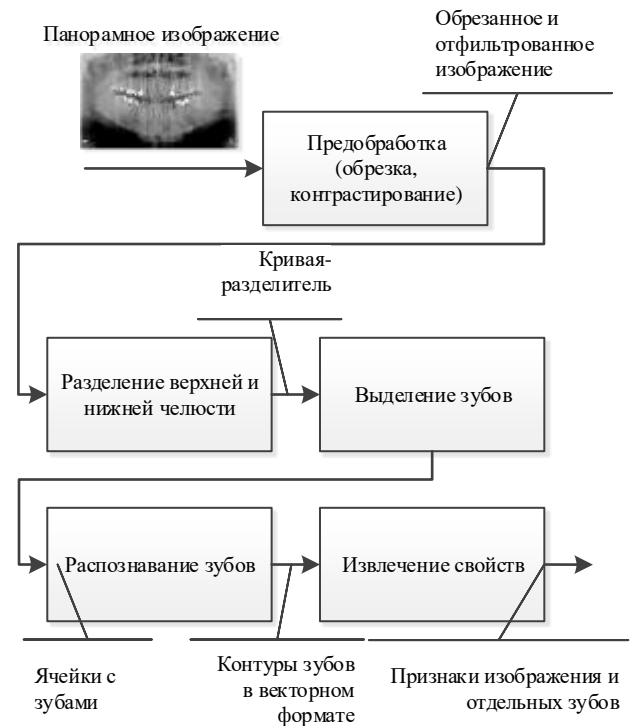


Рисунок 2 – Этапы сегментации панорамного стоматологического изображения.

Более подробно методы сегментации панорамных медицинских изображений описаны в [11].

Одним из первых этапов является разделение челюстей на изображении, и от результатов выполнения этого этапа зависят остальные этапы обработки. Разделение челюстей может быть выполнено несколькими путями. Один из подходов – определить долину между зубами в соответствии с минимальной точкой на вертикальной диаграмме и с учётом пользовательского ввода, как показано в работах [1] и [13]. Алгоритм строит разделительную линию, сглаживая её сплайном. Однако данная процедура требует контроля пользователя, поэтому не является полностью автоматизированной. Другой подход заключается в приближении разделительной кривой полиномом высокой степени [2]. Для построения такой кривой авторы предлагают равномерно расставить точки вдоль оси X. Для

предотвращения резких провалов и скачков кривой к позициям точек добавлены ограничения:

$$p_i(x_i, y_i) = \begin{cases} p_i(x_{i+1} + T, y_i), & |p_i(x_i, y_i) - p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})| > T \\ p_i(x_i, y_i), & \text{иначе} \end{cases}$$

Здесь  $T$  – порог, введенный с целью ограничить резкие изменения, например, при отсутствующих зубах. После распределения точек конечная кривая аппроксимируется с использованием метода наименьших квадратов полиномом:

$$p_0 = a_0 + a_1x + \dots + a_{10}x^{10}.$$

Подходы в [7] и [8] основаны на использовании алгоритмов минимизации энергии, основанных на известном методе активных контуров.

Таким образом, существуют различные методы разделения челюстей на изображениях, но они не всегда учитывают качество входной информации и не всегда автоматические.

### Постановка задачи.

Целью разделения верхней и нижней челюсти на цифровом панорамном стоматологическом изображении является отделение на изображении зубов и тканей верхней челюсти от зубов и тканей нижней, что даст отправную точку для их раздельного анализа. Конечным результатом сегментации будет получение контура в форме последовательности узловых точек. При этом следует учитывать факт наличия в медицинских учреждениях большого количества отсканированных рентгеновских снимков в различных цифровых форматах, что обуславливает необходимость учитывать наличие артефактов сканирования и сжатия.

### Решение задачи.

Панорамные стоматологические рентгеновские изображения могут поступать на обработку в систему из различных источников. В идеальном случае, они поступают в цифровом виде в формате DICOM напрямую от медицинского оборудования и содержат яркостную информацию высокого разрешения (как правило, 12-16 бит на пиксель). Однако, помимо этого, в качестве входной информации могут быть снимки, оцифрованные на различном оборудовании и в различных форматах. В этих случаях приходится обрабатывать растровые изображения в различных форматах: от полутоновых изображений с глубиной цвета 8 бит на пиксель до полноцветных изображений с глубиной цвета 24 бита на пиксель. В связи с этим перед разделением челюстей нужна предварительная обработка изображения. Её

целью в нашем случае является повышение разницы между светлыми и темными регионами, а также устранение артефактов сканирования плёнки, если таковые присутствуют. В [5], [6], [9]-[12] для этого предлагается использовать морфологические операторы открытия и закрытия и основанные на них преобразования top-hat и bottom-hat.

Пусть входное изображение  $I$ , а структурный элемент  $b$ , тогда определение преобразования top-hat будет выглядеть следующим образом:

$$I_{top} = I - (I \circ b). \quad (1)$$

Здесь оператор  $I \circ b$  обозначает морфологическое открытие  $I$  с использованием структурного элемента  $b$ , определенного через базовые операторы эрозии  $\ominus$  и дилатации  $\oplus$  следующим образом:

$$I \circ b = (I \ominus b) \oplus b.$$

Преобразование bottom-hat определено следующим образом:

$$I_{bot} = (I \cdot b) - I. \quad (2)$$

Более подробно вопрос предобработки рассмотрен в [11], где показано, что хорошие результаты могут быть достигнуты с использованием следующего преобразования:

$$I_E = I + I_{top} - I_{bot}. \quad (3)$$

Пример изображения с рис. 1 после предобработки показано ниже (рис. 3).



Рисунок 3 – Изображение после предобработки в соответствии с (3).

При необходимости перед или после предобработкой можно осуществить обрезку изображения по краям. Такая операция потребуется для того, чтобы убрать боковую засветку, которая появляется после сканирования снимков (твёрдых копий) для их перевода в цифровой формат. С учетом того, что примерно 25-30% изображения не содержат полезной для распознавания информации, по обеим размерностям можно оставить 75% информации.

Далее, имея изображение с подчеркнутым контрастом, можно начать построение разделяющего контура. Согласно постановке задачи, требуется получить векторное

представление контура и решить ряд проблем, описанных ранее. В качестве отправной точки можно выбрать прикусную пластину, которая используется для фиксации положения челюстей пациента.

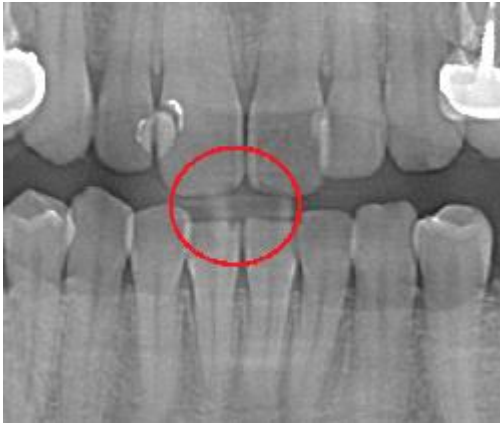


Рисунок 4 – Пластина, прикусываемая пациентом.

Далее, контур строится от неё в обоих направлениях. Основная идея заключается в том, что точка последовательно ставится на некотором расстоянии от предыдущей. В качестве критерия вполне подойдет минимум среди горизонтальных сумм яркостей изображения  $I(x, y)$  в окне размером  $N \times N$  пикселей.

$$F_l = \min^y f_y, \text{ где } f_y = \sum_{x=1}^N I(x, y). \quad (4)$$

Для расчетов следует выбирать  $N$  достаточной величины для захвата долины и краёв зубов сверху и снизу. Такой критерий хорошо подходит для поиска долины между краями зубов при отсутствии дефектов. В случае неоднородного фона, а также в случае отсутствия некоторых зубов следующая точка может «провалиться» вниз или «взлететь» вверх. В результате будет получен резко меняющийся контур. Пример показан на рис. 5.

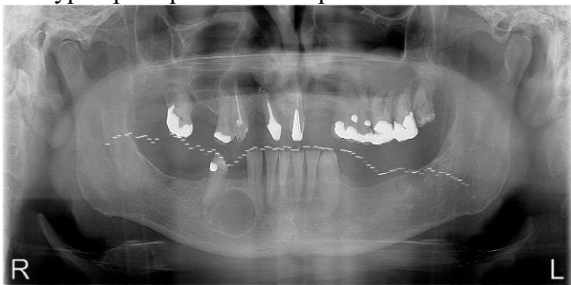


Рисунок 5 – Разделительный контур, построенный без учета кривизны.

Таким образом, возникает необходимость снизить влияние мелких деталей на изображении и сделать контур плавным.

Для снижения влияния мелких деталей на результат разделения предлагается выполнить гауссовское размытие изображения. С этой

целью производилась свёртка с ядром гауссовского фильтра размером  $15 \times 15$  пикселей. Чуть сложнее дело обстоит с контролем кривизны разделительной линии. Простым и очевидным критерием является величина вертикального отклонения точки от положения предыдущей:

$$f_c = \Delta y = y_2 - y_1, \quad (5)$$

для точек  $p_1(x_1, y_1)$  и  $p_2(x_2, y_2)$  соответственно. Но у данного критерия есть проблема, связанная с тем, что чем больше размер окна для анализа области около начальной точки, тем меньше кривизна контура при одном и том же вертикальном отклонении. Данный недостаток можно преодолеть, используя в качестве критерия величину, не зависящую от размера окна. Один из вариантов: использовать компоненту внутренней силы, действующей на активный контур. В качестве такой компоненты целесообразно использовать «энергию кривизны» [14]. Её задача – пытаться придать замкнутому активному контуру форму окружности, а открытому – форму прямой

$$f_c^y = E_{cv} = \|p_{i-1} - 2p_i + p_{i+1}\|^2. \quad (6)$$

Другим, аналогичным, вариантом может быть модуль разности нормализованных векторов, построенных между базовой и предыдущей точкой и между следующей и базовой.

$$f_c^y = \|v_2 - v_1\|, \quad (7)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – нормализованные векторы между точками  $p_i$  и  $p_{i-1}$  и точками  $p_{i+1}$  и  $p_i$ , соответственно. С учётом сказанного и выражения (4), положение новой точки определяется путём минимизации функции

$$F_l = \min^y (f_y + \alpha f_c^y), \quad (8)$$

где  $\alpha$  – коэффициент штрафа, определяемый на основании дисперсии яркостей в окрестности стартовой точки алгоритма. Данное выражение учитывает как интенсивность пикселей и налагает штраф на кривизну, что препятствует резким отклонениям точек и даёт плавный контур. Хорошие результаты были получены для  $\alpha=2,5$ . Пример результата показан на рис. 6.



Рисунок 6 – Разделенные челюсти в отсутствие штрафа на кривизну контура (а) и с ним (б).

### Выводы.

В результате анализа существующих методов сегментации панорамных стоматологических изображений определены основные этапы обработки, включающие предобработку, разделение челюстей, выделение ячеек с зубами, распознавание зубов, извлечение признаков. Предложен вариант предобработки на основе морфологических операторов top-hat и bottom-hat.

Для построения разделительной кривой предложено минимизировать функцию, представляющую собой результат интегрирования изображения по горизонтали в окне с функцией штрафа на кривизну контура. Предложено использовать в качестве такой функции энергию кривизны из алгоритма активных контуров.

Направлением дальнейших исследований является построение алгоритма изоляции зубов на изображении с целью их дальнейшего распознавания.

### Литература.

1. Wanat R., Frejlichowski D. A problem of automatic segmentation of digital dental panoramic X-ray images for forensic human identification. // Proceedings of CESC 2011: The 15th Central European Seminar on Computer Graphics, 2011. - p.165-172.
2. João Paulo Ribeiro de Oliveira. Caries detection in panoramic dental X-ray images. // Department of Computer Science of University of Beira Interior. Thesis for the degree of Master in Science, 2009. – p. 33-36.
3. Lira P.H.M., Giraldi G.A., Neves L.A.P. Using the mathematical morphology and shape matching for automatic data extraction in dental X-ray images. // National Laboratory for Scientific Computing Petropolis, RJ, Brazil, 2013.
4. Lira, P.H.M., Giraldi, G.A., Neves L.A.P.. Panoramic dental X-ray image segmentation and feature extraction. // Conference: 2nd World Conference on Innovation and Computer Sciences, vol. 2, 2012. –p.188-197.
5. Said E.H., Nassar D.E.M., Fahmy G., Ammar H.H. Teeth segmentation in digitized dental X-ray films using mathematical morphology. // IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 1(2), 2006. - p.178-189.
6. Li, H., Sun, G., Sun, H., et al. Watershed algorithm based on morphology for dental X-ray images segmentation. // In: IEEE 11th Intern. Conf. on Signal Processing (ICSP), 2, IEEE, Beijing, 2012. - p.877- 880.
7. Al-Sherif N., Guo G., Ammar H.H. A new approach to teeth segmentation. // ISM '12 Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Multimedia, 2012. – p.145-148.
8. Harandi A.A., Pourghassem H., Mahmoodian H. Upper and lower jaw segmentation in dental X-ray image using modified active contour. // Intelligent Computation and Bio-Medical Instrumentation (ICBMI), 2011 International Conference on, 2011. – p.124-127.
9. Zoroofi M.H.R.A., Ali Shirani A.G. Segmentation of teeth in CT volumetric dataset by panoramic projection and variational level set. // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 3, issue 3-4, 2008. – p.257-265.
10. Dighe S., Shriram R. Preprocessing, segmentation and matching of dental radiographs used in dental biometrics. International Journal of Science and Applied Information Technology, vol. 1(2), 2008. – p.52-56.
11. Tesař J., Pryvalov M., Szabó Z., Přehled metod pro automatickou segmentaci horní a dolní čelisti v intraorálních, nebo extraorálních rentgenových snímcích // Proc. Medsoft-2015, 2015. – p.196-201.
12. Lin, P.-L., Huang, P.-W., Cho, Y.S., Kuo, C.-H. (2013). An automatic and effective tooth isolation method for dental radiographs. Opto-Electronics Review, vol. 21, number 1, 126-136.
13. Jain, A., K., Chen H. (2004). Matching of dental X-ray images for human identification, Pattern Recognition, vol. 37, 1519-1532.
14. Mackiewicz B., Intracranial Boundary Detection and Radio Frequency Correction in Magnetic Resonance Images // Simon Fraser university, master of Science thesis, 1995. – 195p.

**Привалов М.В., Сабо З., Базько О., Алгоритм розділення щелеп при розпізнаванні панорамних стоматологічних зображень.** В теперішній час всі сучасні стоматологічні клініки мають рентгенівське обладнання, яке активно використовується в процесі лікування захворювань. За допомогою даного обладнання можна отримувати інтраоральні та екстраоральні знімки. На даних зображеннях можуть бути в наявності зуби, обидві щелепи, носова порожнина і частина синусу. Зображення цих модальностей використовуються для знаходження прихованих дефектів, пошуку патологічних утворень на кінчиках коренів зубів, допомоги при лікуванні корневих каналів зубів та в інших подібних випадках. В цій статті розглядається побудова алгоритму для розділення верхньої та нижньої челюсті на основі морфологічних операцій.

**Ключові слова.**

Панорамне рентгенівське стоматологічне зображення, математична морфологія, перетворення top-hat, перетворення bottom-hat, інтегрування, активний контур.

**Privalov M., Szabo Z., Bazko A., Jaws separation algorithm for recognition of panoramic dental images.** At present time all modern dental hospitals have X-Ray equipment which is actively used in treatment process. Using this equipment it is possible to acquire intraoral and extraoral images. These images can contain dentition, both jaws, temporomandibular joints, nasal cavity and the portion of the maxillary sinus. These visual modalities are being used to detect hidden defects, to find pathological creations at the tip of the tooth root, to help during curing of teeth root channels etc. In this paper described algorithm for upper and lower jaw separation based on morphological operators.

**Keywords.**

Panoramic X-Ray dental image, mathematical morphology, top-hat and bottom-hat transform, integration, active contour.

Стаття поступила в редакцію 20.09.2015  
Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павльишом



УДК 681.521.2

## Применение роботизированной системы на основе "Lego NXT" для автоматизации составления электронного каталога горно-геологического музея ДонНТУ

Т.Г.Москалюк, А.Ю.Харитонов  
Донецкий национальный технический университет  
tarasusthelight@gmail.com

*Москалюк Т.Г. Харитонов А.Ю. Применение роботизированной системы на основе "Lego NXT" для автоматизации составления электронного каталога горно-геологического музея ДонНТУ. В этой статье будет рассмотрено применение роботизированной системы на основе контроллера "Lego NXT" для автоматизации и упрощения составления трёхмерного электронного каталога минералов и окаменелостей горно-геологического музея Донецкого национального технического университета. В статье описана конструкция и алгоритм работы системы, поднимаются вопросы соотношения качества и объёма отснятого материала, рассмотрена проблематика съёмки и редактирования больших объёмов исходного материала, также, метод решения этой проблемы. Актуальность статьи связана с упрощением трудоёмкого процесса съёмки объёмных изображений, и повышением качества и точности решения задачи в условиях больших объёмов работы.*

### Введение

Горно-геологический музей Донецкого национального университета является уникальным проектом, основанным в 1924 году. В текущий момент музей насчитывает более десяти тысяч экспонатов. В его коллекции собраны образцы полезных ископаемых и окаменелостей региона Донбасса, а также Германии, Болгарии, Чехословакии, Канады, Китая, Советского союза, и стран СНГ. Музей университета проводит экскурсии для школьников, и является лучшей предметной аудиторией по обучению студентов: образцы материалов применяются для проведения лекционных и лабораторных занятий [2].



Рисунок 1 – Помещение горно-геологического музея ДонНТУ



Рисунок 2 – Помещение горно-геологического музея ДонНТУ

К юбилею вуза - 95-летию со дня основания, было принято решение о создании виртуального каталога музея. Каталог станет энциклопедическим справочником, упрощающим работу с музеем. Для создания каталога было принято решение о внедрении технологии объёмного фотографирования экспонатов. Фотографирование осуществлялось вручную, когда объект съёмки поворачивался на заданный угол, и фотографировался.

### Постановка задачи

Следует обратить внимание на факт, что вышеописанный подход к созданию объёмных моделей серьёзно снижает качество, резкость, и глубину фокуса фотографий, усложняет обработку изображений, и, соответственно, точность результирующих моделей, а, также, является излишне трудоёмким и требующим большого ресурса времени [1]. В связи с данными трудностями, была поставлена задача автоматизации и оптимизации съёмки объёмных моделей, тем самым повысив общее качество электронного каталога.

### Реализация задачи

Исходя из поставленной задачи, мы имеем проблему улучшения качества электронного каталога, которая будет решена с использованием автоматизированной системы. Для реализации решения проблемы была выбрана учебная система "Lego NXT". В составе системы содержится контроллер, оснащённый набором различных датчиков и прецизионных сервоприводов с обратной связью, а, также, набор конструктивных деталей, включая различные зубчатые колёса, оси и валы [9]. На основе выбранной системы была сконструирована роботизированная система Multiframe Automatic Universal Device (далее - MAUD). Конструктивно, MAUD представляет собой платформу, на которой располагается объект съёмки, оснащённую приводами для точного его вращения, и универсальный обвес для устройства съёмки, оснащённый приводом управления спускового механизма устройства и датчиком освещённости. MAUD производит вращение платформы на заданный градус, происходит спуск устройства съёмки, проверка того, был ли отснят кадр, и продолжение работы аппарата до полного оборота экспоната. На рисунке 3 представлено схематическое строение разрабатываемого устройства, в котором присутствуют отдельные конструктивные элементы и контроллер, соединённые проводами. Рисунок снабжён поясняющими подсказками.

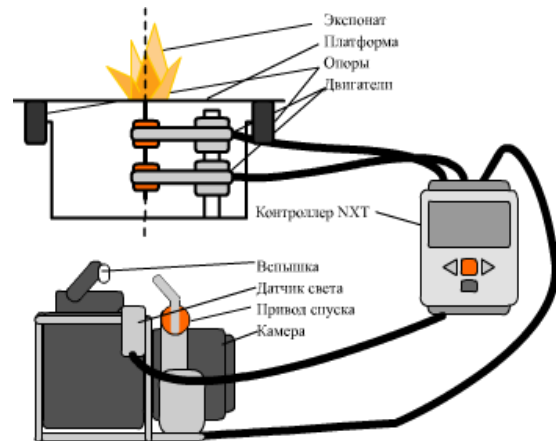


Рисунок 3 – Схематическое строение MAUD

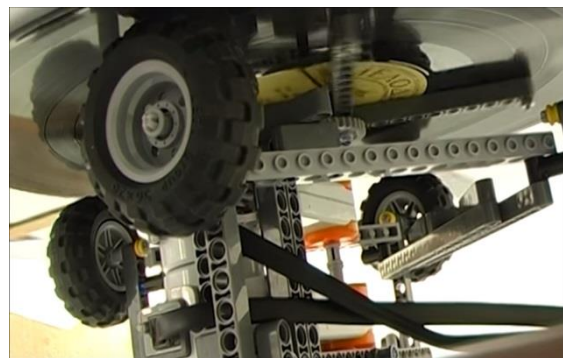


Рисунок 4 – Основной модуль MAUD  
Вид снизу

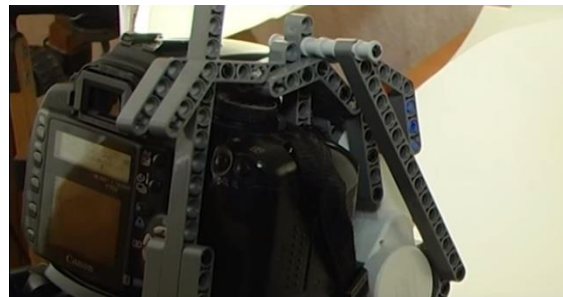


Рисунок 5 – Дополнительный модуль MAUD – универсальный обвес на снимающем устройстве.

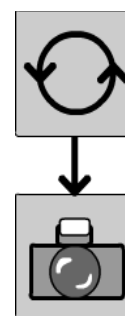


Рисунок 6 – Функциональная схема

На рисунке 6 представлена функциональная схема работы устройства.

Работа MAUD состоит из двух функциональных блоков:

- блок вращения платформы на заданный угол;
- блок съёмки изображения, следующий за вращением объекта.

Особое внимание следует обратить на блок съёмки объекта, т.к этот блок содержит проверку правильности поворота платформы, проверку события съёмки, с использованием датчика освещённости, и команду на саму съёмку объекта.

Исходя из изученных функций, была построена блок-схема алгоритма работы программы, загружаемой в контроллер (см. рис. 3)

Алгоритм, который изображён на блок-схеме (см. рис. 7), можно условно разделить на две части: отладочно-калибровочная часть, и рабочий цикл устройства. В отладочно-калибровочной части алгоритма система производит проверку сервоприводов и датчиков на работоспособность, а так же проверяет исправность работы устройства съёмки. Это можно увидеть на первом, после начала, блоке алгоритма. Сервопривод №3, отвечающий за спусковой механизм снимающего устройства, производит вращение в прямом направлении в течение двух секунд до момента регистрации фотовспышки датчиком света. В случае, если фотовспышка не произошла, система сообщает о неполадке в работе системы, и повторяет действие до того момента, когда произойдёт тестовый снимок.

Дальнейшая работа алгоритма – повторяющийся цикл, в котором происходит рабочий снимок экспоната с проверкой, и вращение экспоната. После завершения цикла, система выводит сигнал о завершении работы, и выходит в режим ожидания, пока оператор меняет экспонаты, или принимает решение внести какие-либо изменения в работу системы.

В результате многочисленных экспериментов, и отладки работы системы, было определено оптимальное соотношение количества кадров и угла поворота объекта к объёму изображений на дисковом пространстве, и трудоёмкости обработки исходных фотографий. Это значение – тридцать кадров на экспонат. Такое распределение позволяет производить фотографию объекта каждые 12 градусов, что даёт возможность отснять минимум кадров без потери детализации экспоната [8].

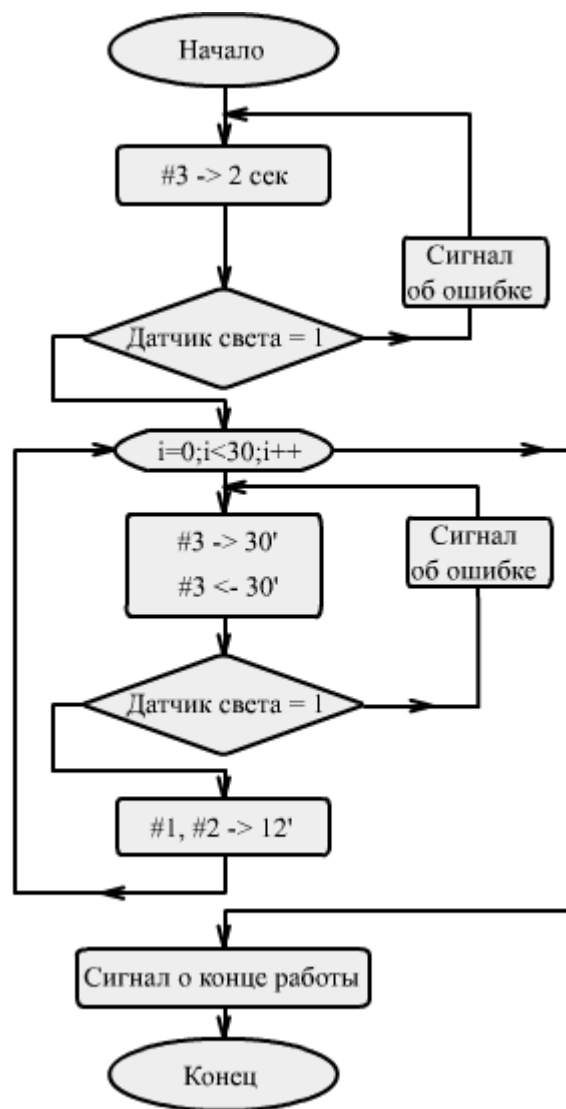


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма работы

### Написание кода

Программа реализована в среде разработки Lego MINDSTORMS NXT, разработанной на основе National Instruments Lab VIEW. В данной среде пользователю предоставляется возможность при помощи простых блоков реализовывать программы любой сложности, сохраняя, при своей простоте, возможность обладать основными возможностями языка программирования. Простота интерфейса и реализации программ обеспечивает облегчённое запоминание и выработку умений программирования и робототехники даже у человека, не имеющего опыта в данной области, в том числе учеников средней и старшей школы. Результатом реализации полученного ранее алгоритма является блок-диаграмма, изображённая на рисунке 8.

На рисунке 8, блоки, окрашенные в

тёмно-зелёный цвет, отвечают за работу сервоприводов, изменение их положения на заданный градус, или вращение на заданное количество времени или заданное количество оборотов.

Жёлтый блок отвечает за реализацию проверки условий, в т.ч датчика освещённости, звука, ультразвукового дальномера, кнопок, и любого другого датчика, доступного для работы с контроллером.

Блоки светло-зелёного цвета предназначены для вывода информации, как звуковой - любой звуковой файл формата wav,

так и на дисплей контроллера, пользователю, в т.ч изображений, текста, входящих данных в необработанном виде [4,5].

Блоки внутри внутренней оранжевой рамки - блоки, заключённые в цикл.

Блоки, окрашенные в оранжевый цвет определяют паузы и задержки в работе программы, необходимые для срабатывания спускового механизма снимающего устройства и обработки отснятого изображения перед следующей фотографией [6].

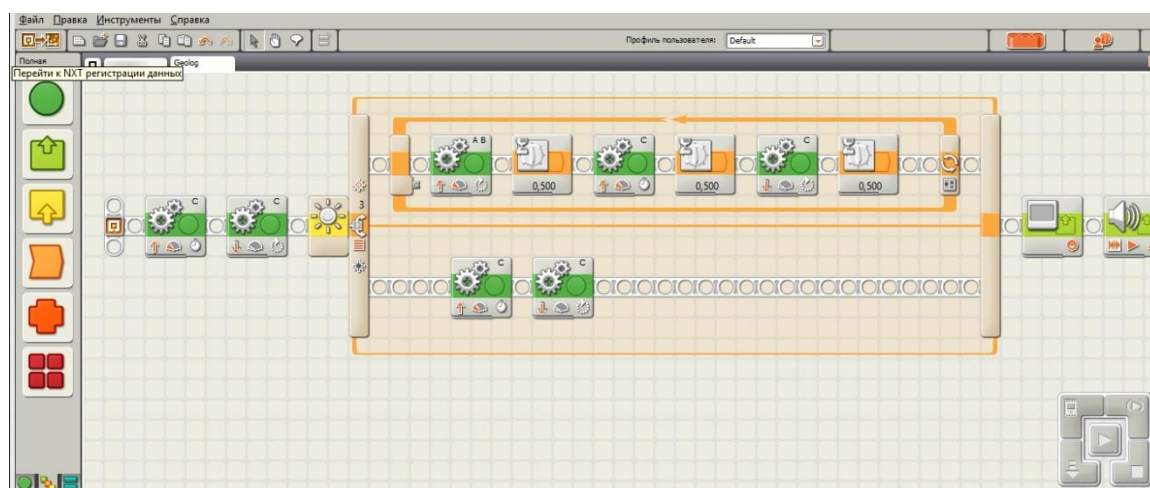


Рисунок 8 – Код программы работы MAUD в среде разработки Lego MINDSTORMS NXT

### Выводы

Результатом работы автоматизированной системы MAUD, после обработки исходных изображений в графическом редакторе, является объёмная модель экспоната, которая, в дальнейшем, будет занесена в электронный каталог горно-геологического музея ДонНТУ.

Теоретическое значение данного исследования состоит в способствовании ускорению создания каталога горно-геологического музея ДонНТУ. Данную технологию можно применить в любых областях, где могут потребоваться объёмные фотографии реально существующих объектов.

С практической точки зрения, разработка значительно ускорит процесс создания каталога, снизит затраты времени и трудового ресурса. В связи со сравнительно большим количеством экспонатов, доступных для реализации как части каталога, затраты могут превысить любую рентабельность. Разработка предназначена для упрощения деятельности по созданию каталога.

В дальнейших перспективах планируется реконструкция системы для увеличения точности и качества снимаемого материала, а также для увеличения массового порога снимаемых объектов. Также возможна реализация съёмки

объектов с нескольких ракурсов, создания объёмных моделей человеческих лиц и частей

тела для реализации создания индивидуальных протезов.

### Литература

1. В. В. Яншин. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направлениям "Информатика и выч. техника", "Радиотехника" / В- М. : Машиностроение, 1995. - 112 с.:ил. - (Для вузов).
2. Н.Столяров Ученые ДонНТУ приступили к созданию виртуального каталога геологического музея. // Донецкий Политехник, Спецвыпуск , Октябрь 2010. - стр.8.
3. Гагарина Л.Г. АЛГОРИТМЫ И СТРУКТУРЫ ДАННЫХ: ПРАКТИКУМ,; М.:Финансы и статистика, 2009 год, 304 с.
4. Магда Ю.С. LabVIEW : практический курс для инженеров и разработчиков.-М.: ДМК Пресс, 2012. - 208 с.
5. Clark C.L. LabVIEW Digital Signal Processing and Digital Communications, McGr-Hill, 2005. — 225с.
6. Folea S. LabVIEW - Practical

Applications and Solutions, InTech, 2011. - 472 pages.

7. Юревич Е. И Основы робототехники.. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 416 с: ил.

8. М. Предко Устройства управления

роботами. Схемотехника и программирование. (пер. с англ). ДМК Пресс. - 2005. - 404 с.

9. J.J. Trobaugh Winning design ! LEGO MINDSTORMS NXT Design Patterns for Fun and Competition, Apress, 2010. - 292 с.

***T.Moskaluk A.Kharitonov. Usage of robotic system based on "Lego NXT" for automation of creation of digital catalogue of mineralogical museum of DonNTU.***

*The purpose of this article is to review the creation, construction, programming and usage of robotic system Multiframe Automatic Universal Device", based on " Lego Mindstorms NXT " platform and "Lego NXT" controller , for automation and simplification of creation of digital catalogue of exhibits of mineralogical museum of Donetsk national technical university. This article provides information about the construction, principles and algorithms of system's functioning, the concepts of programming in "Lego MINDSTORMS NXT" development environment, based on "National Instruments LabVIEW". Also, the questions of ratio between quality and volume of captured material, problematics of capturing and processing of large volumes of input materials, and methods of solution of those problems, lossless on the resulting material, are being discussed. The perspectives of further development in the field of creation and usage of three-dimensional images of real objects, in medicine including plastic surgery, orthopedics, traumatology and prosthetics, science and the entertainment field are being discussed too. The relevance of an article is connected to simplification of time consuming process of capturing three-dimensional images, and improvement of the quality and preciseness of solution of the problem in situation of big volumes of work.*

**Keywords:** Automation, robot, capturing, museum, 3-Dimensional capture, controller

**Ключевые слова:** автоматизация, робот, музей, 3-мерное изображение, контроллер

Статья поступила в редакцию 20.09.2015

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.942

**DSS-система распределения работ при запуске торговых точек**В.А. Светличная<sup>1</sup>, О.В. Ченгарь<sup>2</sup>, К.Б. Зуй<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет».

svvictoria@mail.ru

*Светличная В.А., Ченгарь О.В., Зуй К.Б. «DSS-система распределения работ при запуске торговых точек». В статье приводятся методы, алгоритмы и их программная реализация, позволяющие оптимизировать распределение работ и сократить период реализации в проекте по вводу в эксплуатацию конкретного количества торговых точек и создать систему, позволяющую менеджеру проекта выбрать наиболее выгодный вариант.*

**Общая постановка проблемы.**

Современная торговая сфера характеризуется высокой степенью конкуренции. Это приводит к повышению динамики организации торговых точек, закрытию одних и открытию других. Особенно это характеризует сети небольших бистро, аптек, сети торговых точек фирм и т.п. Сроки исполнения таких действий имеют крайне большое значение, поскольку в условиях жесткой конкуренции возможные стратегические просчеты определяют проигрыши конкуренту. Финансовая составляющая также имеет огромное значение, поскольку невыполнение некоторых обязательств может понести за собой определенные потери. [1].

Таким образом, возникает задача управления проектом, смысл которого заключается в открытии фиксированного числа торговых точек. Каждая торговая точка должна быть сдана в эксплуатацию к определенной дате. В отдельности организация торговой точки состоит в выполнении определенного списка работ. Для достижения поставленной цели необходимо составить график выполнения работ, что является основной задачей календарного планирования. Цель календарного планирования – получить точное и полное расписание проекта с учетом работ, их длительностей, необходимых ресурсов, что служит основой для исполнения проекта[2].

Для решения задач календарного планирования служат пакеты Easy Projects, Microsoft Project 2013, PlanWIZARD. Данные пакеты схожи по функциональным возможностям. Их основная задача – построение графика работ в виде диаграммы Ганта или сетевого графика. Но все вышеперечисленные пакеты не решают главную задачу – оптимизация графика выполнения работ с целью

эффективного распределения денежных средств[3,4,5].

**Постановка задачи.**

Подсистема поддержки принятия решений при распределении работ по организации торговых точек предназначена для менеджера проекта. Он устанавливает сроки выполнения, определяет необходимый объем средств, требуемых для выполнения всего проекта. Эту информацию менеджер вносит в подсистему и получает на выходе последовательность выполнения работ. Обобщенная схема работы такой системы приведена на рис.1

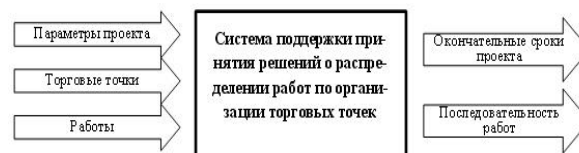


Рисунок 1 – Обобщенная схема работы системы поддержки принятия решения.

Целью такой системы является минимизация времени выполнения проекта с тем, чтобы оптимизировать использование денежных средств, выделяемых на проект.

Критериями достижения цели являются:

- открытие заданного количества торговых точек до указанного срока;
- бюджет проекта не должен быть превышен;
- сроки выполнения проекта должны быть минимальны, но с учетом ограничения бюджета.

Для достижения поставленной цели необходимо составить график выполнения работ, что является основной задачей календарного планирования. [1,2]. При увеличении количества торговых точек увеличивается количество различных вариантов календарного плана.

Отдельно организация торговой точки заключается в выполнении определенного списка работ, которые, в свою очередь, могут выполняться как параллельно, так и последовательно согласно технологиям работ и реальным возможностям [6,7]. Инвестирование производится через фиксированные промежутки времени в соответствии с графиком финансирования, который определяется финансовым менеджером.

### **Реализация поставленной цели.**

Главной составной частью системы, реализующей составление оптимального календарного плана выполнения проекта, являются методы и алгоритмы, используемые при решении поставленной задачи. Математическую постановку ее можно сформулировать следующим образом.

Проект  $P$  состоит в открытии множества торговых точек  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ , где  $n$  - количество торговых точек.

Финансирование осуществляется через постоянные промежутки времени  $t$  суммой  $M$  денежных единиц.

Каждая торговая точка характеризуется:

- множеством работ  $W_i = \{W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{im}\}$ , где  $m$  - количество работ, необходимых для открытия торговой точки  $T_i$ ;

- датой сдачи в эксплуатацию  $D_i$ .

Каждая работа  $W$  имеет:

- продолжительность  $dk$ ;

- стоимость  $sk$ ;

- множество работ, предшествующих данной  $PW = \{PW_1, PW_2, \dots, PW_k\}$ , где  $k$  - количество работ, предшествующих;

- дату начала  $sd_k$ ;

- дату окончания  $fd_k$ .

Обозначим продолжительность всего проекта как  $P_r$ , тогда функция, которую необходимо минимизировать можно записать следующим образом [6].

$$P_r = f(T, t, M) \rightarrow \min \quad (1)$$

Для реализации был выбран синтез метода имитационного моделирования и муравьиного алгоритма.

Метод позволяет имитировать выполнение модели бизнес-процессов так, как оно происходило бы в действительности, с учетом графиков рабочего времени и занятости временных ресурсов при наличии необходимого количества материальных ресурсов.

В результате, можно оценить реальное время выполнения как одного процесса, так и заданного множества [8].

Алгоритм решения задачи базируется на алгоритме моделирования процесса выполнения

работ для открытия торговых точек. Для поиска оптимальной последовательности работ моделирования проводится в несколько итераций. В конце каждой итерации полученное решение сравнивается с лучшим. Для обеспечения корректного завершения работы алгоритма количество последовательных повторений оптимального решения нужно ограничить, например,  $m$  повторений. Максимальное количество итераций также должна быть ограничена -  $n$  итераций. Числа  $m$  и  $n$  определяются опытным путем.

Приведем описание процесса моделирования выполнения работ для одной итерации алгоритма. Входной информацией для данного шага алгоритма является информация обо всех торговых точках, входящих в проект, все работы для открытия этих торговых точек. Для каждой работы приведены перечень работ, предшествующих данной.

В данном подходе нет привязки работы к торговой точке, поскольку это никак не влияет на работу алгоритма. Алгоритм учитывает только зависимости между работами.

Исходной информацией алгоритма будет список работ с указанием времени начала и времени окончания. Алгоритм работает таким образом, что продолжительность работ является абстрактным числом, которое никак не связано с датой и временем. Важно только понимать, что единицы, в которых задан период инвестирования, должны сопоставляться с продолжительностью работ. Например, период измеряется в днях, и продолжительность должна также быть задана в днях. Или период задано в часах, тогда и продолжительность должна быть задана в часах.

После моделирования полного перечня работ рассчитывается продолжительность проекта в целом. Этот показатель будет минимизироваться в ходе алгоритма. Следует учитывать, что конечным результатом работы алгоритма может быть проект не с оптимальным временем выполнения, а с близким к оптимальному. Алгоритм не гарантирует оптимального решения, так как работает на основе эвристических алгоритмов.

Алгоритм моделирования процесса выполнения работ состоит из следующих шагов:

- 1) Обновление текущего баланса ( $M$ ). На этом этапе, учитывая текущее время, будет увеличиваться баланс на сумму, равную объему инвестиций.

- 2) Поиск перечня работ, которые можно начать выполнять в данный момент времени. Работу можно выполнять, если все работы, предшествующие данной, уже выполнены, или данная работа не имеет предшествующих работ. Также для ускорения алгоритма сразу надо отсеивать работы, стоимость которых превышает

текущий баланс. После данного шага дальнейшие расчеты ведутся только с работами, которые могут начать выполняться в данный момент времени.

3) Расчет суммы стоимости (S) работ вычисленных на шаге 2.

4) Сравнение текущего баланса (M) с суммой (S), которая была рассчитана на шаге 3. Если S меньше или равно M, то работы, вычисленные на шаге 3 переходят на шаг 5. В противном случае, выполняется вероятностный выбор работ для дальнейшего исполнения.

5) Начало выполнения работ, отобранных на этапе 4.

6) Поиск следующего момента времени. Возможны два варианта. Первый: следующий момент времени - это момент завершения выполнения одной или нескольких работ. В этом случае надо обновить перечень выполненных работ, влияющих на дальнейший выбор работ, который выполняется на шаге 2. Во втором варианте следующий момент времени - плановый перерасчет инвестиций.

7) Проверка количества невыполненных работ. Если это количество равно 0, алгоритм завершается, иначе нужен переход к шагу 1.

Принцип отбора работ для дальнейшего выполнения заимствован из подхода, который используется в муравьином алгоритме[9]. Для каждой работы существует такое свойство, как оптимальное время выполнения. На первой итерации этот показатель равен нулю. После каждой итерации для всего перечня работ обновляется оптимальное время выполнения. Но только в случае, если текущая продолжительность всего проекта меньше, чем предыдущая минимальная продолжительность.

Оптимальное время выполнения работы имеет прямое влияние на вероятность выбора работы в текущий момент времени

$$d_i = |currentTime - optimalTime| \quad (2)$$

$$S_d = \sum_{i=1}^n d_i \quad (3)$$

$$p_i = \frac{S_d - d_i}{S_d} \quad (4)$$

$d_i$ - разность между временами,  
 $current\ Time$  - текущее временами,  
 $optimal\ Time$  - оптимальное время.  
 $S_d$ - сумма разностей времен,  
 $n$  - количество работ.  
 $p_i$ - вероятность выбора работы.

Используя вероятности выбора работ, рассчитанных по приведенной формуле (4) необходимо смоделировать полную группу событий. Если i-ая работа была выбрана, то она автоматически удаляется из списка избранных работ и дальнейшее моделирование полной группы событий выполняется без ее участия. То

есть на каждом шагу выбора работы вероятности пересчитываются. Процесс выбора работ заканчивается, когда текущий баланс исчерпан. После этого процесс поиска работ для выполнения закончен.

Такой подход к отбору работ позволяет генерировать различные варианты работ для выполнения. Это отличает разработанный алгоритм от классического алгоритма моделирования, в котором каждая работа имеет одинаковую вероятность выбора. Также данный подход позволяет запоминать оптимальную последовательность прохождения работ, и позволяет отходить от него ради поиска новых, более оптимальных последовательностей. На рисунке 2 приведена блок-схема алгоритма вероятностного выбора работ для дальнейшего выполнения.

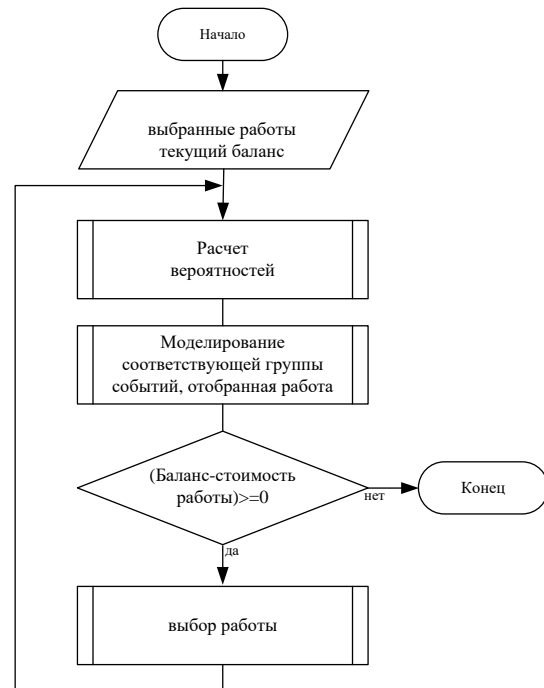


Рисунок 2 – Вероятностный выбор работ.

Рассчитывается минимальное момент завершения, который в дальнейшем станет текущим временем для всего алгоритма моделирования. В зависимости от работ, которые были выполнены до сих пор, корректируются перечни работ, предшествующих для всех невыполненных работ. После этого обновляется список выполненных работ.

Приведенный алгоритм был программно реализован и на его базе были проведены экспериментальные исследования. Объектом для исследований взят процесс открытия фиксированного количества торговых точек аптечного холдинга. Для анализа рассматривался процесс открытия трех торговых точек. Каждая торговая точка имеет разные начальные условия



для ввода в эксплуатацию и разное количество работ, первая точка – 12 работ, вторая -10, третья – восемь. Для выполнения проекта менеджеру предложены следующие варианты финансирования: – финансирование проводится с промежутком от 20 до 40 дней; – размер инвестиций должен быть от 4000 до 10000 у.е. Менеджеру проекта необходимо выбрать оптимальный промежуток финансирования и, размер инвестиций. На рисунке 3 приведено окно с которым работает менеджер проекта, в котором приведены результаты решения задачи с рассчитанной последовательностью работ и продолжительностью проекта

Дата начала	Код работы	Название работы	Торговая точка	Дл-ть	Ст-ть	Дата окончания
10.12.2014	1001	Пошук приміщення	Аптека № 1	30	1000	09.01.2015
10.12.2014	1004	Пошук персоналу	Аптека № 1	20	500	30.12.2014
10.12.2014	3001	Ремонтні роботи	Аптека № 3	10	1200	20.12.2014
30.12.2014	1005	Навчання персо...	Аптека № 1	20	1000	19.01.2015
19.01.2015	1002	Проектування ст...	Аптека № 1	10	1500	29.01.2015
19.01.2015	2002	Проектування ст...	Аптека № 2	15	1500	03.02.2015
28.02.2015	1006	Ліцензування то...	Аптека № 1	30	4000	30.03.2015
09.04.2015	1003	Ремонтні роботи	Аптека № 1	14	1600	23.04.2015
09.04.2015	1007	Отримання дозв...	Аптека № 1	15	2000	24.04.2015
09.04.2015	2003	Внутрішні ремон...	Аптека № 2	14	1600	23.04.2015

Рисунок 3 – Окно с результатами расчетов

Полученные для приведенного набора данных результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Продолжительность проекта в зависимости от условий финансирования.

№	Период (дн.)	Объем инвестиций (у.е.)	Продолжительность проекта (дн.)
1	20	10000	242
2	20	8000	302
3	30	10000	352
4	20	6000	402
5	30	8000	442
6	40	10000	462
7	20	4000	502
8	40	8000	582
9	30	6000	592
10	40	6000	782
11	30	4000	892
12	40	4000	1182

Данные таблицы показывают изменение продолжительности проекта в зависимости от длительности интервала и объема финансовых поступлений. Полученные результаты дают возможность менеджеру проекта выбрать наиболее выгодный для фирмы вариант.

## Выводы

В статье приведена система, позволяющая рассмотреть варианты управления проектом открытия нескольких торговых точек, сокращая при этом до минимума время реализации проекта с учетом имеющихся ограничений. Данная подсистема является инструментом, который помогает распределить работы и позволяет рассчитать возможную продолжительность проекта. Менеджер проекта может корректировать последовательность работ. Но с помощью подсистемы он сможет получить несколько вариантов и выбрать тот, который соответствует всем имеющимся ограничениям.

## Литература

1. Бизнес-планирование фирмы/В.И. Захарченко, Н.В. Халикян, 4-е изд., перераб. – О.: Наука и техника, 2007. – 112 с.
2. Ильин А.И. Планирование на предприятии: учеб.пособие/А.И. Ильин. – 7-е изд., испр. и доп. – Мн.: Новое знание, 2006.–668 с.
3. About us, EASYPROJECTS/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.easyprojects.net/about/>
4. Портал по Microsoft Project / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microsoftproject.ru>
5. PlanWIZARD – программа для календарного планирования/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wizardsoft.ru/product/planwizard>
6. Дрыкин В.А., Светличная В.А., Шумаева Е.А. Разработка функциональной схемы компьютеризированной подсистемы распределения временных ресурсов при управлении проектом. Збірка матеріалів V всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформатика і комп'ютерні технології–2013» Донецьк, ДонНТУ 2013.
7. Зуй К.Б., Светличная В.А., Ченгарь О.В. Разработка диаграммы деятельности с синхронизацией параллельных действий при создании компьютеризированной системы управления проектом. Збірка матеріалів VI всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформатика і комп'ютерні технології–2014» Донецьк, ДонНТУ 2014.
8. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. - СПб: Питер, 2004. -847 с.ил.

9. Ченгарь О.В. Разработка «направленного» муравьиного алгоритма для оптимизации производственного расписания. Вестник Херсонского национального технического

университета, ISBN 5-7763-2514-5 – г. Херсон, 2013 - №1(46)

10. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание. : Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. – 1152 с.

***V.A. Svetlichna<sup>1</sup>, O.V. Chengar<sup>2</sup>, K.B. Zuy<sup>1</sup>, DSS-система розподілу робіт при запуску торговельних точок.*** В статті приводяться методи, алгоритми і їх програмна реалізація, що дозволяють оптимізувати розподіл робіт і скоротити період реалізації в проекті по введенню в експлуатацію конкретної кількості торговельних точок і створити систему, що дозволяє менеджерів проекту вибрати найбільш вигідний варіант.

***Ключові слова:*** система підтримки прийняття рішень, календарне планування, імітаційне моделювання, мурашиний алгоритм, алгоритм імовірнісного вибору.

***V. Svetlichna<sup>1</sup>, O.Chengar<sup>2</sup>, K. Zuy<sup>1</sup> DSS-distribution management system for starting points of sale.***

*The article presents the methods, algorithms and software implementation of decision support system to optimize the distribution management and reduce the project implementation time for commissioning a specified number of points of sale and to create a system that allows the project manager to choose the most profitable option.*

***Keywords:*** decision support system, scheduling, simulation, ant algorithms, probabilistic algorithm of choice.

Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом

УДК 004.912

## Создание электронных книг

В.Н. Павлыш, И.Ю. Анохина, Е.В.Рощина  
Донецкий национальный технический университет  
IngaTula@mail.ru

*В.Н. Павлыш, И.Ю. Анохина, Е.В.Рощина. Создание электронных книг. Рассматриваются вопросы создания электронных книг, перспективы их применения, особенности, характеристики и форматы файлов, в которых они представляются. Анализируются требования, предъявляемые к разрабатываемым электронным учебникам. Описывается работа on-line сервисов для создания электронных книг, а также процесс разработки электронного учебника в среде EbookMaestro, возможности среды по защите авторских материалов.*

### Введение

По данным отчета международного консорциума New Media Consortium определять тенденции образования в ближайшем будущем будут такие компьютерные технологии, как:

- мобильные технологии (*Mobile Computing*);
- открытый контент (*Open content*);
- электронные книги (*Electronic Books*)[1].

Для того, чтобы обеспечить высокий уровень образования, необходимо его развитие как открытой системы на основании широкого применения информационных технологий[2].

Современный преподаватель обязан предоставить студенту учебные материалы для самостоятельного обучения и, с учетом тенденций современного образования, в электронном виде.

С 1 сентября в школах России внедряются электронные учебники, причем это не просто оцифрованные конспекты уроков, а интерактивные издания с видеоматериалами, ссылками на внешние ресурсы, возможностью комментировать[3].

Такие изменения в сфере образования обуславливают необходимость разработки как подобных учебников, так и электронных книг.

Электронные документы и книги - неотъемлемая часть современной жизни, активно вытесняющая из обихода печатные издания, позволяющая вывести образование на новый уровень.

Просмотр сайтов известных мировых университетов, выложивших учебные материалы в открытый доступ, позволил сделать следующий вывод. Как правило, выкладываются тексты в форматах pdf, doc/docx, html.

Часто дискуссионным становится вопрос, делать ли доступ к таким материалам открытым. В качестве аргументов в этом споре используют

следующие: закрытые документы можно продавать. С учетом того, что в Интернете выложено большое количество альтернативной литературы, продажа становится маловероятна. Вторым аргументом является довод, что материалы будут использованы без согласия и ссылки на автора, проще говоря, их украдут.

Здесь следует учитывать, что открытые материалы лучше защищены, т.к. при их размещении указываются выходные данные, фамилия автора, дата размещения. Поэтому в случае любых сомнений проверка авторства не составит труда.

И третьим, видимо, наиболее весомым аргументом является низкое качество выложенных материалов. Одно дело, когда конспект лекций читают только студенты одного вуза, другое дело, когда конспект лекций выкладывается в Интернет на всеобщее обозрение.

Это заставляет искать способы качественного представления учебных материалов при этом желательно с определенной степенью защиты

### **Характеристика электронных книг. Форматы файлов**

Для того, чтобы прочитать книгу, совсем необязательно иметь ее бумажный вариант, вполне достаточно иметь электронный. У электронных книг масса преимуществ. Они удобны и компактны, занимая лишь незначительную часть объема жесткого диска, в отличие от их бумажных вариантов.

Еще одним преимуществом электронных книг является возможность настраивать масштаб просмотра с учетом уровня зрения, что в принципе невозможно с бумажными носителями.

Несомненным достоинством электронных изданий является качество рисунков. Не так много книг выходит с цветными иллюстрациями,

в электронных книгах наоборот, не так много черно-белых изображений.

Положительным моментом является и тот факт, что практически любую электронную книгу можно найти, скачать, прочитать, так сказать мгновенная доставка.

И, наконец, нельзя забывать об экологических проблемах. На изготовление одной тонны бумаги требуется от 3,5 до 5 кубических метров древесины, при этом на всем протяжении производственного цикла в атмосферу выбрасывается до 3 кг. углерода[4-5].

Согласно данным аналитической компании Technavio в 2019г. рынок электронных книг будет порядка 28% общего рынка книгоиздания. У крупнейших американских издательств доходы от продажи электронных книг составляют от 30 до 40%. В Великобритании каждая четвертая из купленных книг является электронной[6].

Появились библиотеки электронных книг, которые предлагают скачать бесплатно или платно книги, прочитать фрагменты до покупки.

На рис. 1 цифрой 1 отмечена одна из популярных библиотек <http://coollib.com>. В библиотеке представлено более 300 тысяч книг, более 100 тысяч авторов. В библиотеке <http://www.rulit.me> представлены книги на сорока языках и более, чем в 10 форматах.

Библиотеки позволяют читать, скачивать книги, часть из которых может быть платна (цифра 3 рисунка).



Рисунок 1 –Электронные библиотеки

К электронным книгам, особенно делового, научного содержания предъявляется ряд требований. Они должны обладать полноценным поиском, позволяя за секунды найти нужную информацию в тексте. Бумажные книги могут обладать предметным, алфавитным

указателями, но поиск занимает время, да и далеко не все включается в поиск.

С учетом электронных возможностей предъявляются повышенные требования к качеству рисунков, необходима качественная навигация, наличие гиперссылок...

Форматов электронных книг существует множество, как и программ, которые позволяют их создавать. Электронные книги чаще всего выполняются в форматах exe, djvu, pdf, exe, fb2...

Книги, созданные в формате **exe**, компилируются и впоследствии изменены быть не могут. Если необходимо внести в книгу поправки, книгу компилируют еще раз. Такая книга является по сути Win- приложением, основной особенностью является максимальное приближение к бумажному аналогу. К недостаткам следует отнести достаточно большие размеры файлов и необходимость предварительного сохранения текстовых документов в виде web – страниц.

**Pdf** - формат электронных документов, созданный фирмой Adobe Systems, позволяет создавать книги, содержащие формулы, графику. Однако, чтобы прочитать текст книги этого формата требуется достаточно большой экран, что и считается основным недостатком этого типа файлов. Исходным документом может быть любой текстовый файл, например, созданный в Microsoft Word.

**FB2** - открытый формат, основан на XML. Книги этого формата можно создавать из файлов практически любого текстового типа, таких как txt, doc/docx, rtf, Html... Для чтения используется общераспространенные программы чтения электронных книг. К недостаткам следует отнести то, что будучи одним из самых распространенных форматов в России, практически не получил распространения в других странах.

**DjVu** - формат для хранения отсканированных документов, позволяющий передать мельчайшие детали оформления, что делает его незаменимым при работе с историческими документами, когда необходимо воспроизвести не только текст, но и следы обращения с бумажным оригиналом: потертости, исправления, следы от загибов... Может содержать автоматического оглавление, гиперссылки, что делает удобной навигацию по документу.

**HTML** – книги, созданные с использованием языка разметки документов. Допускают вставку символов, графики, таблиц, форматирования текста. Тексты, возданные в этом формате, как правило, выкладываются для прочтения на сайтах.

**СНМ** используется в Windows для создания файлов с предметными указателями, справочных документов. Книга в этом формате состоит из набора html – страниц, используется для создания предметных указателей, поиска по тексту книги[7].

### Сервисы создания электронных книг

Для создания электронных книг используют одну из групп сервисов.

Генераторы электронных книг, позволяющие создавать книги по заданным шаблонам. Примером такого генератора является **PictureBookMaker** [8]. Генератор прост в работе, позволяет вводить текст, добавлять встроенные в библиотеку изображения, создает трехмерное изображение книги.

Такой вид книг получил название интерактивных (on-line book), что означает книги, доступные только через Интернет.

Формат таких книг отличается от стандартных форматов электронных книг.

К недостаткам сервиса следует отнести невозможность сохранять созданную книгу на компьютере, ее можно читать только в режиме использования сервиса, ограниченное число страниц и невозможность добавлять собственные изображения. Пользователь имеет право выбирать рисунки только из размещенной на сервисе библиотеки.

В верхней части рис.2 показано стартовое окно сервиса, в нижней – один из этапов создания книги.

Как правило, этот сервис используют для создания детских ярких книг небольшого размера.

Конструкторы электронных книг позволяют сконструировать книгу из имеющихся материалов, однако большинство из них требуют обязательной регистрации и, как правило, платны, в бесплатном варианте накладываются ограничения на размеры книги.

Компиляторы электронных книг, на наш взгляд, являются наиболее оптимальным вариантом создания защищенных книг в формате ehe. Одним из таких компиляторов является программа **EBOOKMaestro** [9].

На сайте <http://www.ebookmaestro.com> выложены несколько версий программы, в том числе и бесплатная. В бесплатной версии накладывается ограничение на количество объединяемых в одну книгу файлов. В бесплатной версии их количество равно 500, в платной – неограниченно. Стоимость платной версии менее двадцати долларов.

Для создания электронной книги в ее среде предварительно должна быть создана папка, в которую размещаются файлы Word, сохраненные как web – страница с фильтром (этот вариант

сохранения обеспечивает качественное встраивание рисунков).

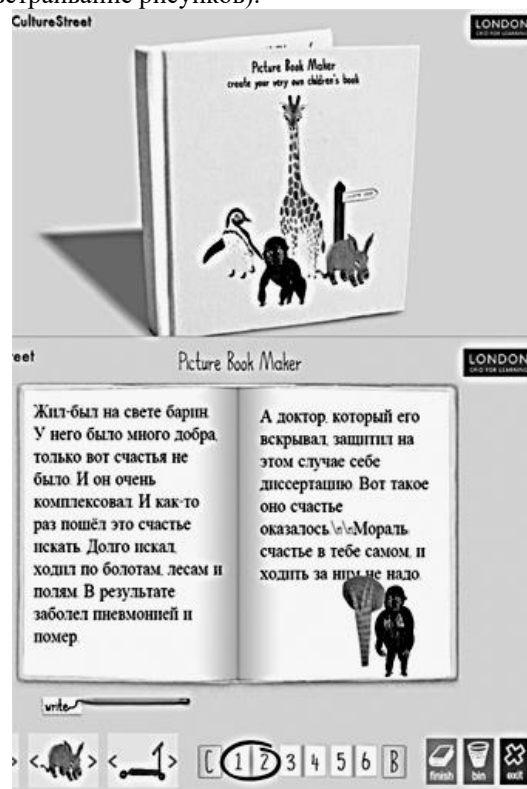


Рисунок 2 –Сервис **PictureBookMaker**

В отдельную папку заносится файл, являющийся оглавлением книги, что обеспечивает автоматическое перемещение по ее главам.

На рис. 3 показано оглавление для электронной книги. Каждый пункт оглавления является гиперссылкой на ранее созданный и сохраненный в формате «web-страница с фильтром» файл.

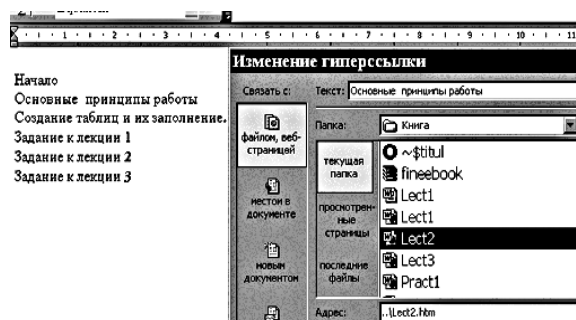


Рисунок 3 – Создание оглавления электронной книги

На рис. 4 показано стартовое окно программы. Задается название книги, папка, содержащая файлы, которые будут входить в книгу, первый файл книги, это может быть обложка с фамилией автора и названием книги,

остальные файлы добавляются автоматически в соответствии с ранее созданным оглавлением.

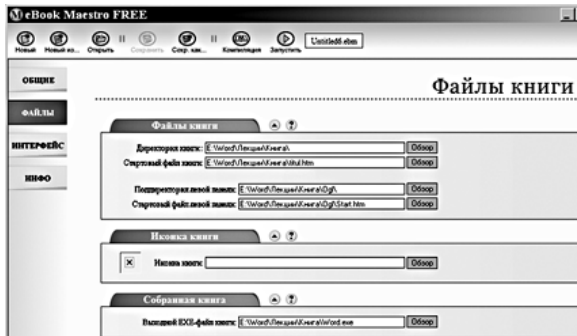


Рисунок 3 – Первый этап создания электронной книги

При создании книги задаются ее размеры и обеспечивается защита: от кражи информации (формулировка взята из инструкции к программе) путем копирования, печати, перетаскивания... (см. рис.4). В список запретов /защиты входит и запрет на снятие копии экрана (Print Screen).

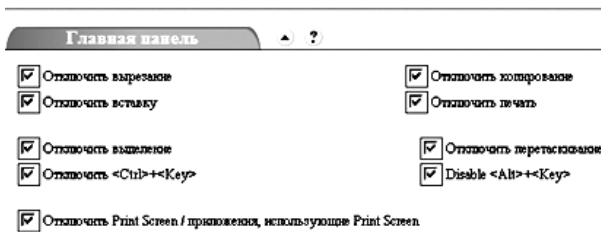


Рисунок 4 – Возможности программы

После задания параметров, запускается процесс компиляции, длящийся несколько секунд, результатом выполнения является файл формата exe.

Использование именно этого формата позволяет читать книгу без применения специальных средств просмотра.

Результат создания электронной книги показан на рис.5.

В левой части рисунка располагается встроенное оглавление, в правой – одна из открытых глав книги. На показанном примере в качестве исходных файлов использованы лекции по Microsoft Word.

При создании книги использовались тексты, встроенные рисунки, формулы, диаграммы. Следует отметить высокое качество изображения встроенных объектов.

Кроме удобной навигации в книге работает полноценный поиск.

Найденный текст выделяется цветом, рис.6. Цвет выделения определяется на этапе создания книги.

К недостаткам реализованного алгоритма поиска следует отнести то, что при поиске

информации учитывается регистр и варианты написания (полужирный, курсив...).

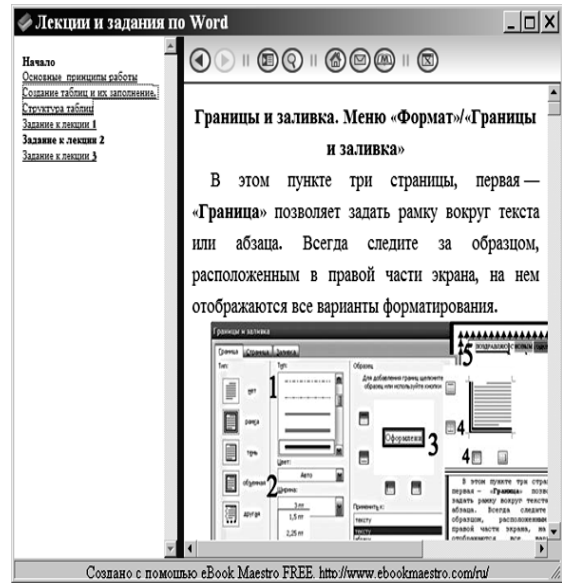


Рисунок 5 – Электронная книга с оглавлением

Программа имеет полностью настраиваемый интерфейс книги и обеспечивает сильное сжатие результирующего файла.

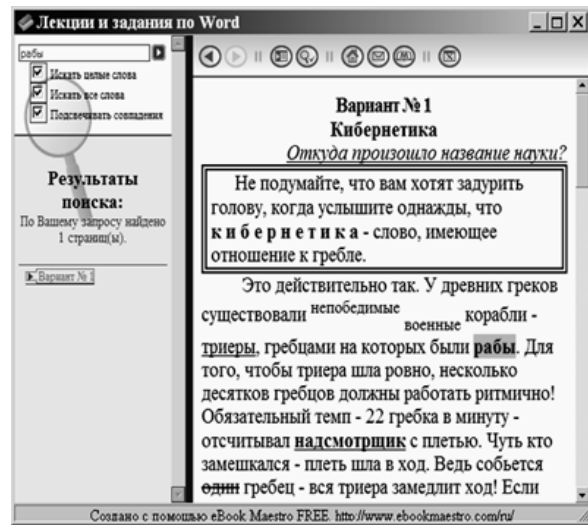


Рисунок 6 – Работа со страницами электронной книги

### Заклучение и выводы

С учетом прогнозируемого экспертами роста популярности электронных книг, в том числе и научно-технической тематики, необходима разработка алгоритмов создания электронных книг, анализ имеющихся на данный момент программ, позволяющих создавать такие книги. Рассмотрев различные варианты

использования on-line сервисов и программ для создания электронных книг, авторы пришли к выводу, что достаточно удобной для работы в этом направлении является программа **EbookMaestro**, позволяющая создавать электронные книги из нескольких файлов в формате ehe с организацией удобной навигации

по книге и обеспечивающая полноценный поиск контекста.

Книга может свободно размещаться в Интернете, так как возможности среды позволяют ставить запреты на копирование, печать и др., что обеспечит защиту авторских прав создателя книги.

## Литература

1. New Media Consortium. NMC Horizon Report. Режим доступа: <http://redarchive.nmc.org/publications/horizon-report-2010-higher-ed-edition>.
2. Гайдамак Е.С. Современные тенденции российского образования. Режим доступа: [http://it-pedagog.ru/index.php?option=com\\_zoo&task=item&item\\_id=620&Itemid=57](http://it-pedagog.ru/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=620&Itemid=57).
3. Ситуация по России: электронные учебники в школах. Режим доступа: <https://newtonew.com/analytics/e-books-at-russian-schools>.
4. Сайт компании PocketBook. - Режим доступа: <http://www.pocketbook-int.com/ru/news/ridery-pocketbook-pomogut-sohranit-prirodnye-resursy>.

5. Лесной форум Гринпис России. Режим доступа: <http://www.forestforum.ru/index.php?t=1447>
6. Рынок электронных книг в России и в мире. Режим доступа: [http://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/rynok-elektronnyh-knig-v-rossii-i-mire-20141013030400](http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-elektronnyh-knig-v-rossii-i-mire-20141013030400)
7. Самбулов Д.В. Сравнительный анализ форматов файлов электронных книг. Режим доступа: <http://injoit.org/index.php/j1/article/viewFile/17/11>
8. Генератор электронных книг Picture Book Maker. Режим доступа: <http://www.culturestreet.org.uk/activities/picturebookmaker/>
9. Универсальная программа для создания цифровых информационных продуктов **EbookMaestro**. Режим доступа: <http://www.ebookmaestro.com/ru/>

*В.М. Павлиш, І.Ю. Анохіна, Е.В.Рошчина. Створення електронних книг. Розглядаються питання створення електронних книг, перспективи їх застосування, особливості, характеристики і формати файлів, в яких вони представляються. Аналізуються вимоги, що пред'являються до розроблюваних електронних підручників. Описується робота on-line сервісів для створення електронних книг, а також процес розробки електронного підручника в середовищі EbookMaestro, можливості середовища по захисту авторських матеріалів.*

**Ключові слова:** електронні книги, формати електронних книг, програма Ebook Maestro.

*Pavlysh V.N., Anokhina I.Y., Roshchina E.V. Creation of electronic books. The issues of creation of electronic books, the prospects for it applications, features, specifications and file formats in which they are presented. Analyzes the requirements for developing an electronic textbook. Describes the work of on-line services to create e-books, and the process of developing an electronic textbook in the environment applications EbookMaestro, possible protection for copyright material.*

**Keywords:** e-books, e-book formats, the program Ebook Maestro.

Статья поступила в редакцию 20.11.2015

Рекомендована к публикации д-ром ф.-м. наук А.С. Миненко

## C O N T E N T

Andruckin A.I. Diagnosis of digital circuits: the stages of development and problems.....	3
Anokhina I.Yu. Verification of the Internet - information.....	15
Д.М. Бочаров, Р.А. Сорокин D. Исследование влияния методов выравнивания яркости в задачах выделения геометрических примитивов на фотоизображениях. ....	22
Gubenko N. Ye., Sipakov D.S. Analysis of the features of digital steganography to protect information transmitted via open channels.....	28
Edemskaya E.N., Belkov D.V. Network traffic research by the Hurst function.....	39
Zemlyansky S. Y. , Крайний Д.С. The invention as a method of automating the process of learning design techniques in semiotic CAD model. ....	47
Ivanova I. I., Zemlyansky S. Y. Comparative analysis of methods of vacuum arc spraying quality assessing. ....	53
Karabchevsky V.V. Volume modeling for task solution in “computer graphics” course .....	59
Karabchevskiy V., Luntovskaya A. Realistic precipitation visualization in real-time applications.....	64
Irina Matyah, Elena Savkova, The correlation Analysis of methods for determination of considerable weight coefficients in system which estimates social and economic indexes of the enterprise's development. ....	71
Malcheva R.V., Kryvosheev S.V., Zavadskaya T.V. Development of the vehicles Simulation with the use of Android operating system. ....	76
Privalov M., Szabo Z., Bazko A., Jaws separation algorithm for recognition of panoramic dental images. ....	82
T.Moskaluk A.Kharitonov.. Usage of robotic system based on "Lego NXT" for automation of creation of digital catalogue of mineralogical museum of DonNTU. ....	88
V. Svetlichnaya1, O.Chengar2 , K. Zuy1.DSS-distribution management system for starting points of sale. ....	93
Pavlysh V.N., Anokhina I.Yu., Roshchina E.V. Creation of electronic books.....	98



Научное издание

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Научный журнал

(на русском, украинском, английском языках)

№2-2015

Ответственный за выпуск А.И. Андрюхин

Технические редакторы Т.В.Завадская, А.В.Звягинцева

Компьютерная верстка Д.А. Филипишин

Подписано к печати 25.12.2015. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать ризографическая.  
Усл. печ. лист. 7. Уч.- изд. лист. 5,5. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГБУЗ «ДонНТУ», 5-й учебный корпус,  
к. 20, а. Тел.: +38 (062) 301-08-51 E-mail: infkybdonntu@gmail.com, URL:  
<http://infcyb.donntu.org>

Издатель Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет» ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +38 (062) 301-08-67, +38 (062) 301-09-67 Свидетельство о государственной регистрации субъекта издательского дела: серия ДК №2982 от 21.09.2007

Отпечатано ООО фирма «ДРУК-ИНФО» ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, к. 113, тел.: +38 (062) 335-64-55