

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА
№ 3, 2018**

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE
No 3, 2018**



**Международный
Научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Сергей Васильевич Харитончик

Редакционная коллегия

В. Ф. Голиков (зам. главного редактора),
В. А. Богущ, Т. В. Борботко, В. Б. Байбурин (РФ),
Д. Ю. Большаков (РФ), Л. С. Герасимович, Н. Н. Гурский,
Ю. М. Захарик, И. А. Каляев (РФ), Г. О. Кипиани (Грузия),
Э. Г. Лазаревич, В. А. Липницкий, А. А. Лобаты, В. А. Мищенко, Е. И. Никифорович (Украина),
А. А. Прихожий, И. А. Сатиков, В. В. Старовойтов,
П. П. Урбанович, А. Патрин (Польша),
Ю. Н. Петренко (ответственный секретарь),
Н. Н. Ташатов (Казахстан), А. В. Чигарев, Д. К. Щеглов (РФ)

**International
Science and Technique Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National Technical
University

Editor-in-chief

Sergei V. Kharytonchyk

Editorial board

V. Golikov (deputy editor-in-chief), V. Bogush,
T. Borbotko, V. Baiburin (RF), D. Bolshakov (RF), N. Gurskiy,
L. Gerasimovich, J. Zaharik, I. Kalyaev, G. Kipiani (Georgia),
E. Lazarevich, V. Lipnitsky, A. Lobaty, V. Mishchenko,
E. Nikiforovich (Ukraine), A. Prihozhy, I. Satikov,
V. Starovoytov, P. Urbanovich, A. Patrin (Poland),
Y. Petrenko (executive secretary), N. Tashcatov
(Kazakhstan), A. Chigarev, D. Shcheglov (RF)

Журнал включен в "Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований".

Журнал включен в международные каталоги и базы данных:

- ❖ Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- ❖ Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
- ❖ Электронно-библиотечная система (ЭБС) издательства Лань
- ❖ DOAJ <https://doaj.org/toc/2414-0481>
- ❖ Google Scholar
- ❖ Киберленинка

- ❖ EBSCO
- ❖ BASE Search
- ❖ OpenAIRE
- ❖ WorldCat
- ❖ OpenDOAR
- ❖ ROAR

Содержание

Contents

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Савлuchинский В. В.

Особенности применения графиков для анализа ин-
формационных потоков 4

Фролов В. В.

Определение размера популяции генетического
алгоритма для задач дискретной оптимизации в
САПР 9

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Moustafa M. Kurdi

Влияние угла наблюдения ИК тепловизионной ка-
меры на обнаружение наземных мин 18

**ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ
РЕШЕНИЙ**

Старовойтов Ф. В., Старовойтов В. В.

Параметры кривой распределения локальных оце-
нок как меры качества изображений 26

SYSTEM ANALYSIS

Savluchinskij V. V.

Features of application of graphs for the analysis of
information flows 4

Frolov V. V.

Determining the size of the population of the genetic
algorithm for the problems of discrete optimization in
CAD 9

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS

Moustafa M. Kurdi

Effect of viewing angle of ir thermography camera
for the detection of landmine 18

DATA PROCESSING AND DECISION-MAKING

Starovoitov F. V., Starovoitov V. V.,

Parameters of the curve of local estimate distribution as
image quality measures 26

Чорный А. Д., Чичко А. Н., Жукова Ю. В., Кухарчук И. Г., Мелец А. Ф., Малкин В. А.
Верификация физико-математической модели для расчета аэродинамических характеристик плохобтекаемых тел, движущихся в воздухе при больших числах Маха 42

Шевчук О. Г., Цветков В. Ю.
Выделение прямых контурных линий на аэроизображениях с использованием евклидова форм-фактора 48

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Петров С. Н., Ахраменко Д. В., Горошко С. М., Пулко Т. А.
Разграничение доступа в локальной сети с использованием базовых настроек сетевого оборудования 55

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Беляев В. П., Шиян В. А.
Мультимедийный комплекс о принципе создания магнитного поля в асинхронном электродвигателе . 63

Лапицкая Н. В., Шульдова С. Г., Саркисян Г. Ф.
К вопросу о разработке учебных планов поколения 3+ для специальности ит-профиля 70

Липницкий Л. А., Пильгун Т. В.
Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процессе 76

Chorny A. D., Chichko A. N., Zhukova Yu. V., Kukharchuk I. G., Melets A. F., Malkin V. A.
Verification of the physical and mathematical model for calculation of aerodynamic characteristics of bluff bodies moving in air at large Mach numbers 42

Shevchuk Oksana, Tsviatkou Viktor
Detection of direct control lines on aeroviews base on ekklidov form factor..... 48

INFORMATION SECURITY

Petrov S. N., Ahramenko D. V., Goroshko S. M., Pulko T. A.
Access control in a local network using the basic configuration of network devices..... 55

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

Belyaev V. P., Shiyan V. A.
Multimedia complex on the principle of creating a magnetic field in an asynchronous electric motor..... 63

Lapickaja N. V., Shuldova S. G., Sarkisjan G. F.
To the question of development curriculum of generation 3+ for the it profession..... 70

Lipnitski Leanid, Pilgun Tatiana
Additive technologies and their perspectives in education 76

Ответственный секретарь редакции

Петренко Ю. Н.

Технический редактор

Лакин В. И.

Адрес редакции

ул. Франциска Скорины 25/3, Минск, 220114,
Республика Беларусь
Тел. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Executive secretary of the editorial board

Y. Petrenko

Technical Editor

V. Lakin

Editorial board address

25/3 Franciska Skariny str., Minsk, 220114,
Republic of Belarus
Tel. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 1540 от 08.06.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь

Подписано в печать 22.06.2018. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 3,64. Тираж 100 экз. Заказ 960.

Отпечатано в БНТУ. ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.

220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

© Системный анализ и прикладная информатика, 2018

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 355:002:004,67

В. В. САВЛУЧИНСКИЙ

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИКОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Белорусский национальный технический университет

В связи с обострением информационного противоборства ведущих государств появляется необходимость в обосновании возможности прогнозировать реальные конфликты, в том числе и военные, наблюдая информационные потоки, формируемые средствами массовой информации. Кроме того, анализ полученных результатов при наблюдении информационных потоков требует проведения математической оценки исследуемых процессов в информационном поле и на ее основе формирование выводов о перспективах развития этих информационных потоков. Подход к решению этой задачи приводится в статье.

Основной трудностью при обработке информационных сообщений, предоставляемых средствами массовой информации по какой-либо тематической направленности, являются их практически неограниченные объемы. В настоящее время существуют различные поисковые системы, позволяющие по определенному набору ключевых слов задать любую глубину поиска информационных сообщений, обзоров, аналитических обоснований по гиперссылкам. Однако, чтобы переработать огромные объемы предлагаемых интернетом информационных ресурсов и выдать свою уникальную версию требуются большие затраты времени, иногда не соизмеримые со срочностью формируемого документа. Как результат в интернете берется, как правило, готовый штамп, подходящий под предпочтения аналитика формирующего информационный документ, за счет чего страдает объективность в выводах и оценках.

Ключевые слова. Информационный поток, критический путь, информационная тенденция, сообщение, график, событие, интенсивность сообщений, конфликт, силовая операция.

Введение

Исследование информационного противоборства позволило выявить основные закономерности этого общественно-политического явления, которые, при определенных условиях приводят к вооруженному конфликту и войне. Август 2008 [1] стал точкой формирования виртуальной реальности конфликтов и моментом осознания необходимости вести войну, в том числе и на информационном поле. Пятидневные войны полностью заменили газеты, журналы, телевидение: пользователи и журналисты писали непосредственно с мест событий, и традиционным СМИ ничего не оставалось, как пользоваться материалом из Сети. В связи с этим появляется необходимость в обосновании возможности прогнозировать реальные конфликты, в том числе и военные, наблюдая информационные потоки, формируемые средствами массовой информации.

Основная часть

Одним из путей решения данной проблемы является способ представления информа-

ционных тенденций на графиках по форме, представленной на рисунке. Это позволит своевременно выявить новую информационную тенденцию, осуществить аналитическую обработку информационных сообщений по заданному направлению поиска и тематике.

Графики для анализа сообщений информационных агентств могут быть применены для осуществления краткосрочного, и, в некоторых случаях, среднесрочного прогнозирования появления информационных событий на основе анализа существующей информационной тенденции в информационном поле, формируемом средствами массовой информации. Они представляют собой графическое изображение последовательности и взаимосвязей информационных событий в ходе информационной тенденции, формируемой средствами массовой информации. В свою очередь метод, который показывает механизм анализа сообщений достаточно подробно описывается математической теорией графов [2].

Граф представляет собой совокупность точек с ключевыми событиями в информацион-

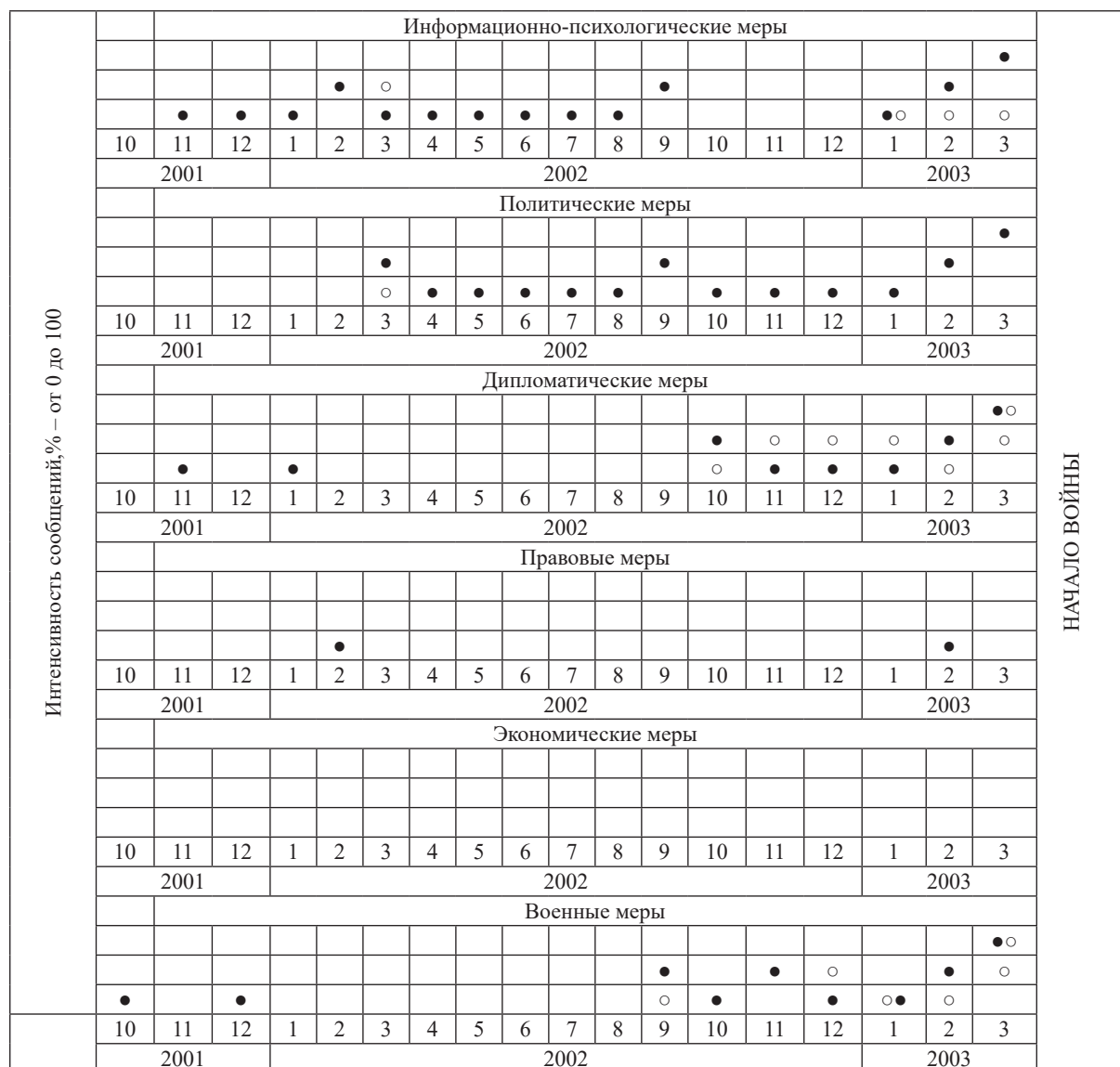


Рис. 1. Информационные тенденции, присутствующие в информационном поле до начала войны в Ираке: ● – сторонники проведения боевой операции; ○ – противники проведения боевой операции

ном поле привязанными к временному ряду обыкновенного календарного года, которые соединены между собой линиями по логике прямой связи между событиями.

Интенсивности информационных сообщений одной направленности зафиксированных в информационном поле, а также продолжительности информационных потоков дают представление о важности информационной тенденции, формируемой средствами массовой информации [3], которая наглядно представляется на графе.

Для аналитической обработки информационных сообщений и построения диаграмм по событиям необходимо, чтобы были корректно заданы даты всех событий и определе-

на принадлежность их к информационному потоку, в противном случае аналитическая обработка информационных сообщений и построение диаграмм по их интенсивностям невозможно.

Графы позволяют сделать информацию предельно простой, исчерпывающей, динамичной и точной. Информация, передаваемая сверху вниз и снизу вверх, должна быть унифицирована по форме и содержать следующие основные сведения:

- состав информационных тенденций;
- содержание основных информационных потоков;
- предполагаемые изменения в информационном поле;

- данные о событиях, которые целесообразно включить в сеть;
- изменения во взаимосвязях между событиями в топологии сети.

Полученная информация позволяет провести корректуру и анализ графа, принять соответствующие решения и прогнозировать весь ход информационной тенденции.

В соответствии с исследованием В. М. Барынькина [4] выделяются шесть основных информационных потоков необходимых для прогноза развития обстановки, в которых информационные сообщения принадлежащие политическим, дипломатическим, экономическим, правовым, информационно-психологическим и собственно военным мерам, применяемым сторонами составляют отдельные информационные тенденции. В свою очередь на каждом отдельном информационном потоке фиксируются два критических пути, формируемые каждой стороной в ходе противостояния. Информационные сообщения, формирующие информационный поток в фиксированных для анализа информационных тенденциях приведены в [5].

Особенностью деятельности средств распространения информации при развитии конфликта являются воздействие на целевые аудитории; дозирование информации наряду с ее массированием; обеспечение временных задержек для определенных групп сообщений распространение которых предотвратить нет возможности; отвлечение аудитории и прежде всего аналитических служб от выявления основных информационных тенденций.

В качестве логической посылки при проведении оценок информационных тенденций может быть принято то, что интенсивность информационных сообщений без идентификации на их достоверность позволяет идентифицировать основные тенденции путем подачи сообщений которыми одна из сторон пытается привлечь общественное мнение к проблеме, или наоборот, отвлечь от проблемы.

Примем W_{os} за интенсивность информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети для обороняющейся стороны, а W_{ns} за интенсивность информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети для наступающей стороны.

Разность интенсивностей информационных сообщений (R_{prev}) покажет во сколько раз интенсивность сообщений одинаковой направленности больше или меньше для одной из сторон. Это позволит получить значение, показывающее численное значение перевеса интенсивностей информационных сообщений, при которых принимается решение на продолжение формирования информационной тенденции или на завершение ее формирования

$$R_{prev} = W_{ns} - W_{os}, \quad (1)$$

где R_{prev} – численное значение перевеса по интенсивностям информационных сообщений (%); W_{ns} – интенсивность информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети для наступающей стороны (%); W_{os} – интенсивность информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети для обороняющейся стороны (%).

Соответственно, при значении R_{prev} равном 100% результат информационного противоборства для наступающей стороны в зависимости от затраченных ресурсов имеет максимально возможный результат.

При значении R_{prev} отличном от 100% результативность действий сторон определяется разностью интенсивностей информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети для наступающей и обороняющейся стороны.

В качестве наглядного разъяснения приведем пример. Интенсивность информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети для наступающей стороны по всему комплексу мер воздействия начиная с политических, информационно-психологических, дипломатических, правовых, экономических и заканчивая военными составляет 75%. Для обороняющейся стороны интенсивность информационных сообщений в процентах зафиксированных в информационной сети составляет 55%. Следовательно, общую результативность мер наступающей стороны для проведения оценок принимаем равной 20%.

Логическая посылка при проведении оценок заключается в том, что интенсивность информационных сообщений без идентификации на их достоверность позволяет идентифи-

цировать основные тенденции путем подачи сообщений которыми одна из сторон пытается привлечь общественное мнение к проблеме (W_{ns}), или наоборот, отвлечь от проблемы (W_{os}). Полученное значение равное 0 – возможно при одинаковых интенсивностях информационных сообщений – означает, что ожидаемого результата для стороны, которая пытается привлечь общественное мнение к какой – либо проблеме нет и обороняющаяся сторона достигла своей задачи по нейтрализации информационной тенденции.

Наиболее наглядным примером выявления критического пути является ситуация противостояния в ходе подготовки к войне, что видно из графика представленного на рисунке.

Применительно к графику рисунку, на котором показаны информационные тенденции присутствующие в информационном поле до начала войны в Ираке, можно отметить, что начиная с 2000 года появилась устойчивая информационно-психологическая тенденция направленная сначала на признание международной общественностью наличия конфронтационной политической культуры, несущей в себе нетерпимость к инакомыслящим и инакодействующим воспроизводимая в различных структурах и институтах общества, государственной власти [6].

С середины 2001 года появилась устойчивая тенденция по применению политических мер со стороны сторонников проведения боевой операции в отношении Ирака [7]. Однако информационная тенденция противниками проведения боевой операции не прослеживалась. Со второй половины 2002 года появились устойчивые информационные тенденции по дипломатическим мерам, проводимым сторонниками проведения боевой операции в Ираке и противниками силового разрешения противостояния, т. е. появилась конфронтационная составляющая и одновременно с информационной тенденцией по дипломатическим мерам в информационном поле появляется устойчивая тенденция по военным мерам, которая идет с различной интенсивностью, не прерываясь до начала войны [8].

По интенсивности информационных сообщений в процентах, зафиксированных в информационной сети по мерам политическим, информационно-психологическим, дипломатическим, правовым, экономическим и заканчивая военными мерами прослеживается последовательная реализация мер по обеспечению 50% перевеса в проводимых мерах с тем, чтобы при проведении боевой операции общественное мнение было согласно с необходимостью военного вмешательства и армия противника не смогла оказать серьезного сопротивления.

Можно выделить две фазы информационной кампании: первая фаза – подготовка общественного мнения к необходимости силовой операции и вторая фаза формирование образа врага перед началом войны и все это на фоне угрозы терроризма, а также обвинений руководства Ирака по тайному производству оружия массового уничтожения. По времени работы в информационном поле с появлением четко выраженных тенденций этот период продолжался приблизительно 2,5 года.

Заключение

Таким образом основу фиксированных информационных тенденций составляет исследование В. М. Барынькина [4], которое выявило ключевые меры, проводимые на стратегическом уровне как стороной заинтересованной в эскалации конфликта, так и стороной противодействующей разрастанию конфликта.

Логическая посылка при проведении оценок заключается в том, что интенсивность информационных сообщений без идентификации на их достоверность позволяет идентифицировать основные тенденции путем подачи сообщений, которыми одна из сторон пытается привлечь общественное мнение к проблеме (W_{ns}), или наоборот, отвлечь от проблемы (W_{os}).

Предлагаемый подход может быть применен при проведении математической оценки исследуемых процессов в информационном поле и при формировании выводов о перспективах развития информационных тенденций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жаров М., Шевяков Т.** Хроники информационных войн / Жаров М. Шевяков Т. М.: Издательство «Европа», 2009. 48 с.

2. Скугарев В. Д., Кудин Л. В. Сетевое планирование на флоте / Скугарев В. Д., Кудин Л. В. – М.: Воениздат, 1973 г.
3. Панарин А. С. Глобальное политическое прогнозирование / Панарин А. С. М.: Алгоритм. 2002–348 с.
4. Барынькин В. М. Оценка эффективности мер по разрешению военных конфликтов/Барынькин В. М. – Военная мысль. 1997. № 3, с. 2.
5. Отчет по научно-исследовательской работе «Обоснование способов информационного противоборства в целях укрепления идеологической работы». Шифр НИР «Идеология». Мн. БНТУ, 2013 г.
6. Larry D. Welch, Carl E. Vuono. USA, Chief of Staff. Military operations in low intensives conflict. Field Manual USA № 100–20/Air Force Pamphlet № 3–20. Headquarters Departments of the Army and Air Force Washington, DC 5 December 1990.
7. Гареев М. А. Уроки Иракской войны / Гареев М. А. – Вестник академии военных наук. № 3, 4, 2003 г.
8. Уткин А. И. Битва за Багдад /Уткин А. И. – М.: ЗАО «ОЛМА Медиа Групп», 2009. – 608 с.

Поступила
22.03.2018

После доработки
12.07.2018

Принята к печати
31.08.2018

Savluchinskij V. V.

FEATURES OF APPLICATION OF GRAPHS FOR THE ANALYSIS OF INFORMATION FLOWS

In connection with the increase of information confrontation leading States you need to substantiate the possibility to predict real conflicts, including military, observing the information flows generated by media information. Besides the analysis of the results obtained in monitoring the flow of information requires a mathematical evaluation of the studied processes in the information field and forming conclusions on prospects of development of these information flows. Approach to the solution of this problem is given in the article.

The main difficulty in processing information messages, provided to the media for any thematic focus are their almost unlimited quantities. Currently, there are various search engines, allowing for a specific set of keywords you specify any search depth informational messages, surveys, analytic studies for hyperlinks. However, redraft the proposed huge volumes of Internet information resources and to issue its own version requires time-consuming, sometimes not commensurate with the urgency of the generated document. As a result on the Internet is taken, as a rule, ready to stamp the appropriate under preference analytics produces an information document, which suffers from objectivity in the conclusions and assessments.

Keywords. *Information flow, critical path, information trend, message, schedule, event, message intensity, conflict, power operation.*



Савлучинский Валерий Всеволодович, БНТУ АТФ инженер кафедры ТЭА, кандидат военных наук. 220086, г. Минск, моб. 8 029 906 48 06

В. В., ФРОЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПОПУЛЯЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В САПР

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

Предлагается метод определения размера популяции. Общий подход для определения размера популяции вытекает из утверждения, что хромосомы популяции должны содержать максимальное количество различных значений, которые покрывают большую часть области поиска. В основе метода лежит регрессионная модель, которая позволяет определить размер популяции в зависимости от допустимого количества значений независимой переменной. Регрессионная модель получена в результате обработки данных имитационного моделирования при формировании популяции для целевой функции с одной переменной. Задача решается для генетического алгоритма, где генотип представлен хромосомой в двоичном коде, а фенотип десятичным целочисленным кодом значений независимых переменных. Это позволяет моделировать формирование популяции без привязки к конкретным значениям переменных. Модель была получена для диапазона мощностей опорных множеств от 12 до 52, и позволяет прогнозировать размер популяции за пределами этого диапазона. Основная область использования данного метода это задачи дискретной оптимизации с целевыми функциями нескольких переменных, где области допустимых значений конечны и имеют небольшую размерность.

Ключевые слова. Популяция, генетический алгоритм, САПР, генотип, фенотип, хромосома.

Введение

Размер популяции – это один из основных параметров генетического алгоритма (ГА), который определяет эффективность поиска оптимального значения функции приспособленности. Общий подход для определения размера популяции вытекает из утверждения, что хромосомы популяции должны содержать максимальное количество различных значений, которые покрывают большую часть области поиска.

В работе [1] отмечается, что для ГА с одноточечным кроссовером и мутацией, размер популяции N_p зависит от длины «выживших» шаблонов $L(s)$ и может быть определен по формуле $N_p = 2^{L(s)/2}$. Цой Ю. Р. в [2] выделяет три основных подхода к определению размера популяции: определение фиксированного размера популяции по экспериментальным данным анализа работы ГА на тестовых функциях; определение размера популяции на основе анализа функции приспособленности, где выделяется наиболее значимый параметр, влияющий на значение функции; адаптивный – под-

ход, который предполагает изменений размера популяции в процессе работы ГА на основе анализа динамики изменений средней функции приспособленности в популяции.

В работе [3] предлагается определять минимальный размер популяции в зависимости от L размера хромосомы в битах и вероятности когда сумма выделенного бита хромосомы по всем хромосомам популяции N меньше размера этой популяции по формуле

$$N = \log_{0,5} \left(\frac{1 - \sqrt{P(S_L^N)}}{2} \right),$$

где $P(S_L^N)$ – вероятность события, попадания суммы по битам в диапазон.

В работах [4–10] проводится анализ влияния размера популяции на работу ГА в конкретной предметной области. Например, в [4] такой анализ выполняется из условия, что оптимальный размер должен лежать в диапазоне от 100 до 500 особей. Здесь авторы указывают, что исходный размер популяции соответствует линейному закону и для каждого дополнитель-

ного параметра модели увеличивается на 30 особей. В результате, для анализа моделей нефтяных месторождений он колеблется от 140 до 250 особей, по данным авторов.

Чтобы эффективно использовать ГА в САПР различного назначения необходимо учитывать, что инженер проектировщик должен пользоваться простыми рекомендациями для назначения параметров ГА. Решением, в данном случае, может быть максимальная формализация выбора размера популяции для настройки ГА до начала работы. Основой формализации может быть оценка вероятности появления максимального количества значений из всей допустимой области. Ограничения такого подхода заключаются в размерах опорных множеств независимых переменных, используемых для решения задач дискретной оптимизации.

Рассмотрим это противоречие на простом примере. Зададим целевую функцию от 22 переменных, каждая из которых имеет по 22 допустимых значений. Область поиска, в данном случае, определяется из прямого произведения этих множеств, и будет иметь $22^{22} \approx 3 \cdot 10^{29}$ сочетаний значений переменных. Тогда, в популяции необходимо иметь особи, которые будут содержать в себе все допустимые значения переменных из опорных множеств. Если убрать фактор вероятности появления повторяющихся значений в сочетаниях при формировании популяции, то имеем популяцию 22 особи, для которых множество значений каждой переменной, сформированное из данного множества особей, эквивалентно опорному множеству значений этой переменной. Популяция генерируется случайным образом, поэтому ее размер должен быть больше 22 особей, чтобы исключить повторяющиеся значения.

В связи с этим, цель данного исследования заключается в повышении эффективности работы ГА для САПР за счет определения размера популяции, обеспечивающего наибольшее разнообразие генетического материала, в зависимости от количества независимых переменных и мощностей их опорных множеств, при условии формирования начальной популяции случайным образом с равной вероятностью появления значений. Опорные множества значений переменных, конечны и имеют мощность не более 100, исходя из особенностей решения технологических задач.

Метод определения размера популяции для дискретной переменной

Решать задачу вычисления граничных размеров популяции будем для ГА, предложенного в работе [11] для проектирования технологических систем. Особенностью данного алгоритма является наличие нескольких этапов кодирования значений переменных из опорных множеств, которые вытекают из определений генотипа и фенотипа.

Генотип – состоит из хромосом, представленных двоичным кодом. С генотипом напрямую работают операторы генетического алгоритма. Фенотип – десятичный целочисленный код значений независимых переменных. Набор преобразований, при работе алгоритма, следующий (1): значение свойства реального объекта в фенотип; фенотип в генотип; применение операторов генетического алгоритма к генотипу; генотип в фенотип; фенотип в значение; вычисление функции приспособленности для реальных значений.

$$\begin{cases} gf : B^n \rightarrow Z, Z = \\ \quad \left\{ z : \left(\forall z \in \mathbb{Z}^+ \right) \wedge (|Z| = |R|) \wedge (r \leftrightarrow z) \right\}, \\ fz : Z \rightarrow R, R = \{ r : P(r) = 1 \}, \\ fg : Z \rightarrow B^n, \\ zf : R \rightarrow Z, \end{cases} \quad (1)$$

где gf – преобразование генотип – фенотип; fz – преобразование фенотип – значение; Z – множество целочисленных кодов значений, которые удовлетворяют правилам кодирования P ; R – множество значений, которые определяют свойства объекта согласно правилу кодирования P ; B – исходное множество для формирования хромосомы $B = \{0, 1\}$, n – длина хромосомы в аллелях.

Такой подход при решении задач дискретной оптимизации позволяет работать с фенотипом для определения размера популяции, без привязки к конкретной предметной области, что выгодно для САПР. Решим задачу определения размеров популяции с помощью имитационного моделирования формирования популяции для генетического алгоритма, при следующих условиях: количество значений в опорных множествах $Mval = \{12, 22, 32, 42, 52\}$; количество переменных в целевой функции – одна.

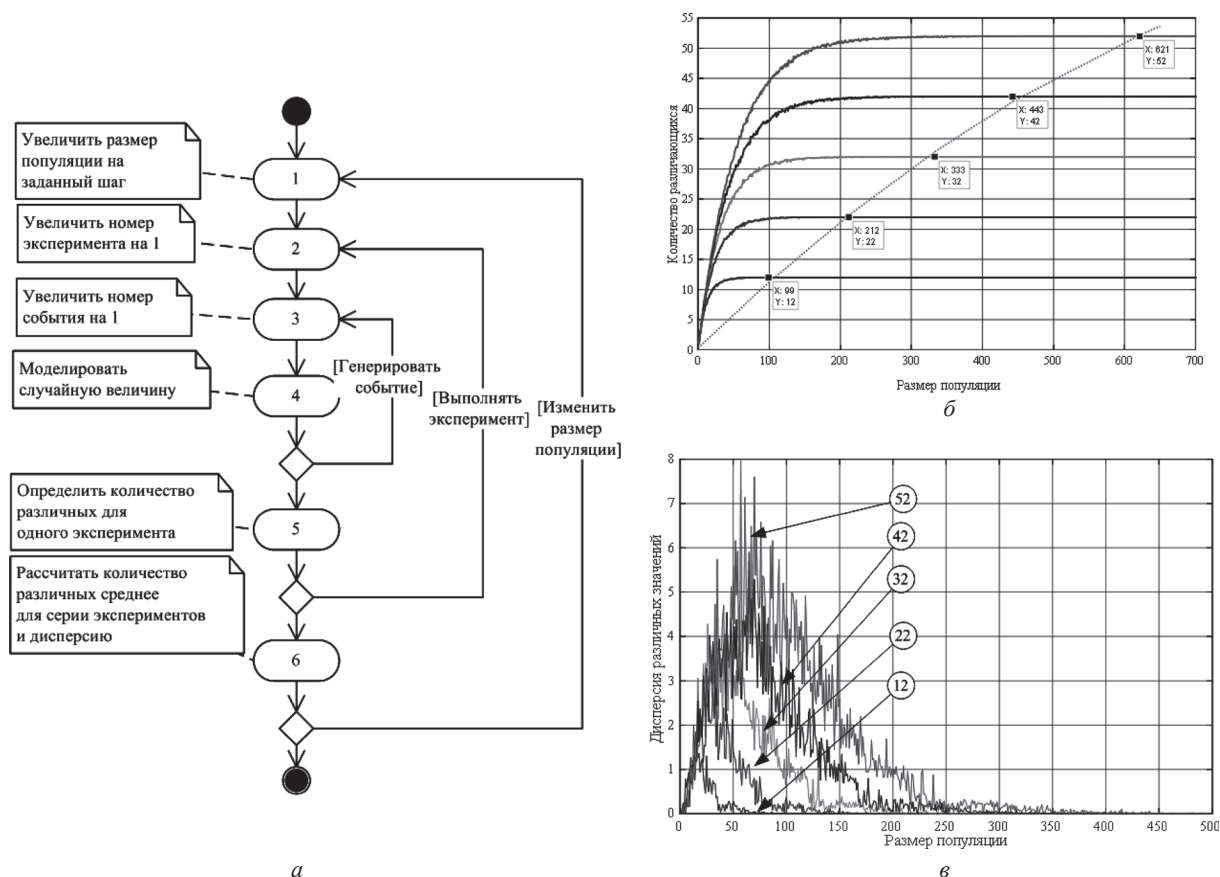


Рис. 1. а – обобщенный алгоритм имитационного моделирования; б – тенденции изменения средних различающихся значений для множества $Mval$; в – тенденции изменения дисперсий для множества $Mval$

Обобщенный алгоритм имитационного моделирования, представленный на рис. 1, а, предполагает, для каждого нового размера популяции, генерацию случайных значений из опорного множества значений, которое согласно (1), будет изменяться от 1 до $Mval_i$, где $i = \overline{1, 5}$. События в блоке 4 на рис. 1, а генерируются с равной вероятностью. Для каждого размера популяции рассчитывается среднее число различных значений, отображенных на рис. 1, б, их дисперсия, представленная на рис. 1, в, и среднее квадратическое отклонение. Согласно рис. 1, б, максимальный размер популяции может быть определен из условия приближения среднего различающихся значений к $Mval_i$. Точка, после которой увеличение размера популяции не приводит к изменению среднего будет максимально допустимым размером популяции для каждого $Mval_i$.

На рис. 1, б выделены указанные точки для каждого значения из множества $Mval$ и тренд, определяющий границу максимальных размеров популяций. На основе этих данных в системе Matlab построена модель полинома тре-

тьей степени, для определения максимального размера популяции, изображенная на рис. 2. На рис. 2 по оси абсцисс откладывается мощность опорного множества, а по оси ординат максимальное значение размера популяции. Множество x_k определяется на основе анализа графика изменения дисперсии на рис. 1, в.

В этом случае граничные точки – это первые точки, в которых дисперсия равна нулю. В результате, происходит разделение координатной плоскости на две области, где $D > 0$ и $D = 0$, на рис. 3, а.

Разделение на две области выполняется с помощью решающего правила, исходя из следующего:

1. Средняя дисперсия справа от границы на рис. 3, а равна нулю;

2. Перемещая разделительную линию в пределах изменения размера популяции и перемножая средние дисперсии слева и справа от границы, получим функцию, которая гарантированно будет определять максимальную границу размера популяции (см. рис. 3, б) в момент достижения оси абсцисс.

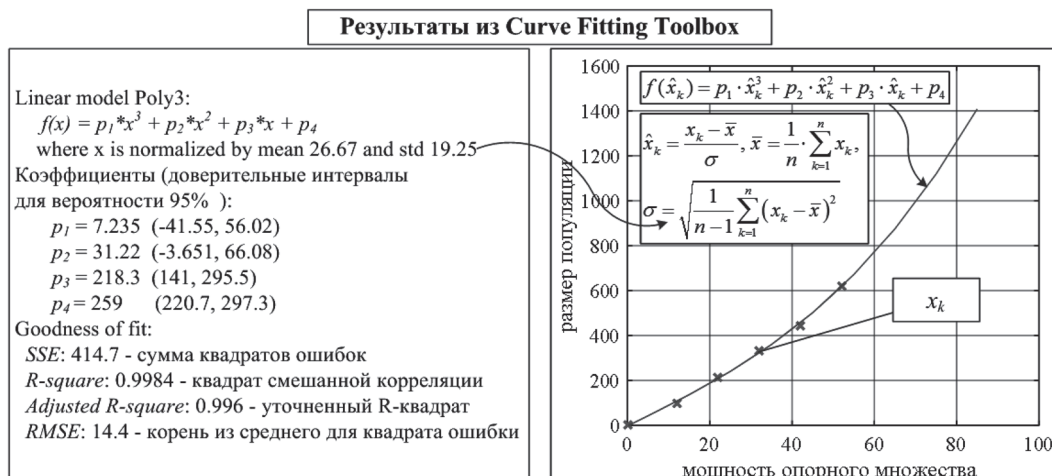


Рис. 2. Модель для определения размера популяции

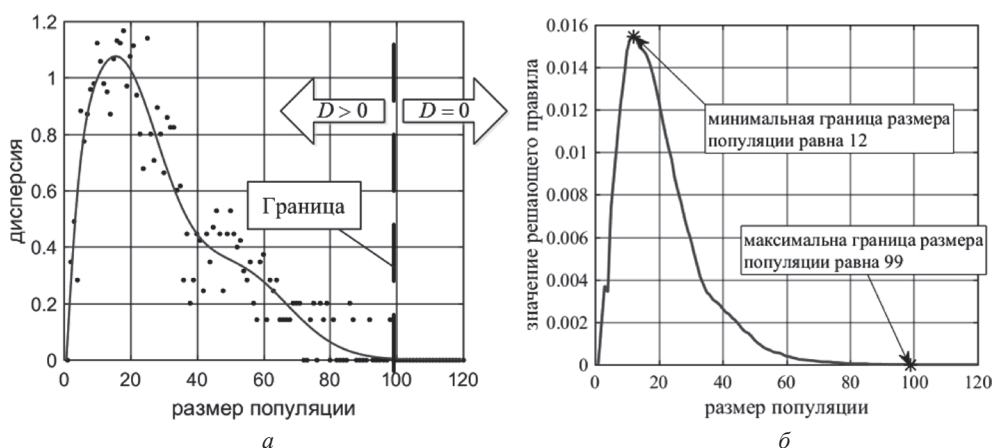


Рис. 3. а – разделение на две области, б – график изменения решающего правила

Формула решающего правила, тогда будет:

$$y(k) = \left(\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k D_j \right) \left(\frac{1}{N - (k+1)} \sum_{j=k+1}^N D_j \right) = \frac{1}{k(N-1) - k^2} \left(\sum_{j=1}^k D_j \right) \left(\sum_{j=k+1}^N D_j \right),$$

где k – размер популяции; D_j – дисперсия повторяющихся значений при заданном размере популяции; N – предельное значение размера популяции для эксперимента. График изменения решающего правила изображен на рис.3б, здесь можно выделить две граничные точки: первая – максимум дисперсии, после которого значение дисперсии начинает убывать, его можно использовать для определения нижней минимально необходимой границы размера популяции; вторая – точка, после которой дисперсия равна нулю, которая используется для определения максимальной границы размера популяции.

Например, для множества из 12 значений на рис. 3, б этот диапазон будет от 12 до 99,

а для 22 значений этот диапазон будет от 27 до 212. Результаты моделирования для большего количества переменных в таблице 1 показывают, что определять размер популяции можно по лимитирующему опорному множеству, согласно модели рис. 2.

Таблица 1. Максимальный размер популяции для функций многих переменных

Значения/Переменные	12	22	32	42	52
12	113	108	98	116	135
22	235	207	235	212	242
32	254	332	373	313	300
42	402	531	447	424	551
52	546	590	581	589	614

Теоретическое обоснование метода

Эта задача относится к классу задач теории вероятности о повторных независимых испытаниях. Здесь проводится n независимых испытаний, при которых появляется хотя бы одно число из опорного множества M . Тогда вероят-

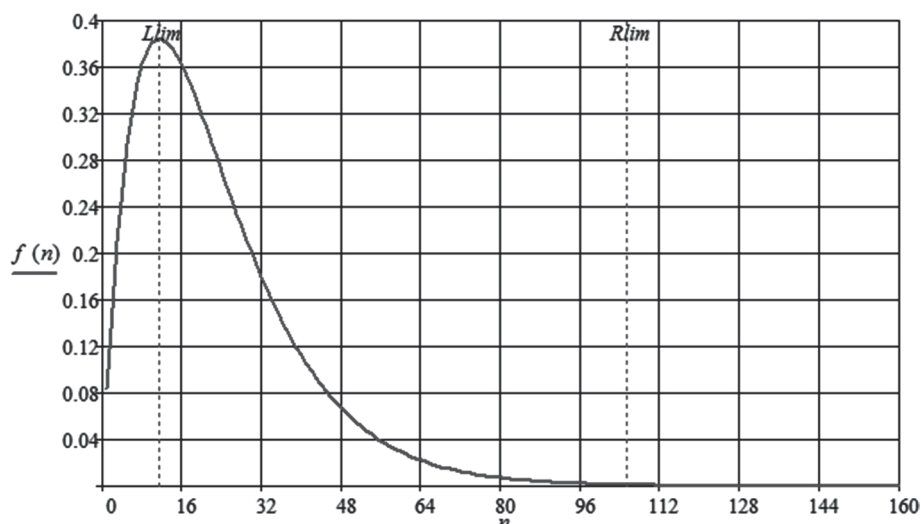


Рис. 4. Изменения вероятности от числа испытаний: Llim – минимально необходимый размер популяции; Rlim – максимальный размер популяции

ность этого события зависит от мощности множества M и равна $p = 1/|M|$, где $|M|$ – мощность опорного множества. Вероятность, того, что появятся другие числа из этого множества $q = 1 - p$. По формуле Бернулли можно определить вероятность числа положительных исходов при n независимых испытаниях. В нашем случае, при заданном числе испытаний должен быть один положительный исход, т. е. вычисления по формуле Бернулли сводятся к частному случаю, где

$$P_n(1) = C_n^1 p q^{n-1} = n p q^{n-1} = \|q = 1 - p\| = n p (1 - p)^{n-1}.$$

Учитывая, что вероятность зависит от мощности опорного множества, получим

$$P_n(1) = n \frac{1}{|M|} \left(1 - \frac{1}{|M|}\right)^{n-1}.$$

Рассмотрим характер изменения вероятности при заданном значении $|M| = M_{val_1}$ на рис. 4, для следующей функции

$$f(n) = n \frac{1}{|M|} \left(1 - \frac{1}{|M|}\right)^{n-1},$$

при диапазоне изменения испытаний от $n_{min} = 1$ до $n_{max} = 160$, поскольку из предыдущего известно, что максимальная граница для 12 равна 99.

По графику на рис. 4 можно определить минимальный размер популяции, это будет максимум функции Llim = 11,493. Максимальный размер популяции, определяется из условия, что отклонение графика от оси абсцисс

будет не более 0,001. Решаем трансцендентное уравнение с заданной областью определения переменной

$$n \frac{1}{|M|} \left(1 - \frac{1}{|M|}\right)^{n-1} = 0,001, Llim < n \leq n_{max}.$$

В результате, максимальный размер популяции Rlim = 105,356.

Вероятность появления всех значений при заданном размере популяции будет

$$p = 1 - P_{Rlim}(1) = 0,999.$$

Вероятность появления всех значений при максимальном размере популяции, полученном, в результате имитационного моделирования будет

$$p = 1 - P_{99}(1) = 0,998.$$

Выше приведенное показывает, что определение размера популяции на основе анализа дисперсии различающихся значений по сравнению с аналитическим методом, дает погрешность допустимую в инженерных расчетах.

Практическая реализация и сравнительный анализ методов

Предлагаемый метод используется для автоматического определения размера популяции в САПР расчета размерных цепей. САПР предназначена для выполнения проектного расчета размерных цепей, когда по допуску замыкающего звена необходимо подобрать допуски составляющих звеньев. Например, для связанной размерной цепи, состоящей из 11 звеньев,

задача подбора с помощью генетического алгоритма решается в области поиска, где хромосома состоит из 11 генов, каждый ген имеет опорное множество, состоящее из 12 значений допусков. Длина гена в этом случае составляет 4 бита, а общая длина хромосомы 44 бита. Область поиска имеет $12^{11} = 7,43 \cdot 10^{11}$ значений.

Предлагаемые в работах [1][3] методы оценки, позволяют вычислить ориентировочный размер популяции для генетического алгоритма с однотоочечным кроссовером, соответственно, получаем:

1. Согласно [1] для простого генетического алгоритма, если длина хромосомы 44 аллели минимально возможная длина шаблона будет $L(s) \approx 18$, тогда размер популяции $Np = 2^{\frac{18}{2}} = 512$ особей;

2. Согласно [3] с учетом вероятности 0,999 и длины хромосомы, получаем размер популяции

$$N = \log_{0,5} \left(\frac{1 - \sqrt[44]{0,999}}{2} \right) \approx 16.$$

Предлагаемый в данной статье метод дает следующие диапазоны размера популяции: теоретический расчет от 11,493 до 105,3564; моделирование от 12 до 99; упрощенный расчет с коэффициентом 10 до 120.

Серия из пяти экспериментов, при количестве тактов генетического алгоритма 1000 и однотоочечном кроссовере, показывает следующие средние значения (в скобках среднеквадратическое отклонение по пяти экспериментам):

– размер популяции 16 особей – погрешность 51 мкм (40,44), время расчета 3,8 сек (0,44), смена популяций 9,4 (0,5);

– размер популяции 512 особей – погрешность 15 мкм (6,1), время расчета 47,2 сек (2,2), смена популяций 0;

– размер популяции 120 особей – погрешность 15 мкм (3,9), время 13,4 сек (0,5), смена популяций 2,4 (0,9).

Эксперименты показывают, что предлагаемый метод за приемлемое время дает результаты не хуже [1], поскольку средняя погрешность одинакова, а время вычислений меньше в 3,5 раза, и значительно лучше [3].

Заключение

Метод определения граничных размеров популяции, позволяет на основе анализа дисперсии различающихся значений определить максимальный размер популяции. При этом размере популяции с высокой вероятностью будет генерироваться весь набор значений из опорного множества, что обеспечивает максимальное разнообразие генетического материала в популяции. Метод не зависит от особенностей реализации операторов генетического алгоритма. Математическая модель для определения максимального размера популяции позволяет вычислить, с точностью достаточной для инженерных расчетов, по мощности опорного множества независимой переменной, необходимый размер популяции. Приблизенно размер популяции можно определить, умножив мощность опорного множества на 10, согласно рис. 1, б. Для функции нескольких переменных определение размера популяции выполняется по лимитирующему опорному множеству, с точностью достаточной для инженерных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.
2. Цой Ю. Р. Нейроэволюционный алгоритм и программные средства для обработки изображений. [Электронный ресурс]: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (отрасль: информация и информационные системы) / Ю. Р. Цой. – Томск, 2007. – 209 с. – Режим доступа: http://qai.narod.ru/Dissertation/tsoy_phd.thesis.zip (дата обращения: 27.12.2017).
3. Чипига А. Ф., Петров Ю. Ю. Оценка выбора размера популяции в простом генетическом алгоритме. [Электронный ресурс] // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2005г. – № 5. – С. 26–29. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9572194> (дата обращения: 23.03.2018).
4. Семёнычев Е. В., Куркин Е. И., Данилова А. А. Выбор параметров генетических алгоритмов в задачах параметрической идентификации нелинейных моделей динамики // Вестник самарского муниципального института управления. – 2013г. – № 1(24). – С. 130–140. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19024835> (дата обращения: 27.12.2017).
5. Жеребцова О. В., Зубьяк Д. Р. Генетический алгоритм и его свойства для решения задачи поиска пустой прямоугольной области максимальной площади // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2011г. – № 17. – С. 160–164. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16858033> (дата обращения: 23.03.2018).

6. Мухамедиева Д. Т. Анализ особенностей генетических алгоритмов // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2015г. – № 1(1). – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25625477> (дата обращения: 23.03.2018).
7. Сапрыкин А. Н., Акинина К. Д., Сапрыкина Е. Н. Нахождение оптимального числа полезных особей в популяции и конвергируемых поколений генетического алгоритма оптимизации простых многоэкстремальных функций // ACTUALSCIENCE. – 2016г. – № 11. – Том 2. – С. 168–169. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27542766> (дата обращения: 23.03.2018).
8. Сапрыкин А. Н., Акинина К. Д. Основные характеристики генетического алгоритма компоновки блоков электронно-вычислительных средств // Информационные технологии, межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. – 2017. – С. 128–132. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30470701> (дата обращения: 24.03.2018).
9. Сапрыкин А. Н., Акинина К. Д., Сапрыкина Е. Н. Оптимальное число конвергируемых поколений и полезных особей при варьирующихся значениях вероятности мутации генетического алгоритма на малых пространствах поиска // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017 Сборник трудов II международной научно-технической и научно-методической конференции Том. 4. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. – 2017. – С. 248–252. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875353> (дата обращения: 24.03.2018).
10. Федоренко К. В., Оловяников А. Л. Исследование основных параметров генетического алгоритма применительно к задаче поиска оптимального маршрута // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 714–723. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29922476> (дата обращения: 24.03.2018).
11. Фролов В. В. Особенности реализации генетического алгоритма для проектирования технологических систем механической обработки // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/9(57). – С. 60–64.

REFERENCES

1. Emel'janov V. V., Kurejchik V. V., Kurejchik V. M. Teorija i praktika jevolucionno-go modelirovanija. – M.: FIZMATLIT, 2003. – 432 s.
2. Coj Ju. R. Nejroevoljucionnyj algoritim i programmnye sredstva dlja obrabotki izobrazhenij. [Elektronnyj resurs]: dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.13.01 – Sistemnyj analiz, upravlenie i obrabotka informacii (otrasl': informacija i informacionnye sistemy) / Ju. R Coj. – Tomsk, 2007. – 209 s. – Rezhim dostupa: http://qai.narod.ru/Dissertation/tsoy_phd.thesis.zip (data obrashhenija: 27.12.2017).
3. Chipiga A. F., Petrov Ju. Ju. Ocenka vybora razmera populjacji v prostom geneti-cheskom algoritme. [Elektronnyj resurs] // Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma. – 2005 g. – № 5. – S. 26–29. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9572194> (data obrashhenija: 23.03.2018).
4. Semjonychev E. V., Kurkin E. I., Danilova A. A. Vybora parametrov geneticheskikh algoritmov v zadachah parametriceskoj identifikacii nelinejnykh modelej dina-miki // Vestnik samarskogo municipal'nogo instituta upravlenija. – 2013 g. – № 1(24). – S. 130–140. – Rezhim dostupa: https://elibrary.ru/download/elibrary_19024835_95315377.pdf (data obrashhenija: 27.12.2017).
5. Zherebcova O. V., Zub'jak D. R. Geneticheskij algoritim i ego svojstva dlja reshenija zadachi poiska pustoj prjamougol'noj oblasti maksimal'noj ploshhadi // Vestnik Volzh-skogo universiteta im. V. N. Tatishheva. – 2011 g. – № 17. – S. 160–164. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16858033> (data obrashhenija: 23.03.2018).
6. Muhamedieva D. T. Analiz osobennostej geneticheskikh algoritmov // Problemy vychislitel'noj i prikladnoj matematiki. – 2015 g. – № 1(1). – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25625477> (data obrashhenija: 23.03.2018).
7. Saprykin A. N., Akinina K. D., Saprykina E. N. Nahozhdenie optimal'nogo chisla poleznykh osobej v populjácii i konvergiruemykh pokolenij geneticheskogo algoritma op-timizacii prostykh mnogoekstremal'nykh funkcij // ACTUALSCIENCE. – 2016 g. – № 11. – Том 2. – S.168–169. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27542766> (data obra-shhenija: 23.03.2018).
8. Saprykin A. N., Akinina K. D. Osnovnye harakteristiki geneticheskogo algoritma komponovki blokov jelektronno-vychislitel'nykh sredstv // Informacionnye tehnologii, mezhvuzovskij sbornik nauchnykh trudov. – Rjazan': Rjazanskij gosudarstvennyj radio-tehnicheskij universitet. – 2017. – S. 128–132. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30470701> (data obrashhenija: 24.03.2018).
9. Saprykin A. N., Akinina K. D., Saprykina E. N. Optimal'noe chislo konvergiruemykh pokolenij i poleznykh osobej pri var'irujushhihsja znachenijah verojatnosti mutacii geneticheskogo algoritma na malych prostranstvah poiska // Sovremennye tehnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2017 Sbornik trudov II mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskij i nauchno-metodiceskoj konferencii Tom. 4. – Rjazan': Rjazanskij gosudarstvennyj radiotehnicheskij universitet. – 2017. – S. 248–252. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875353> (data obrashhenija: 24.03.2018).
10. Fedorenko K. V., Olovjannikov A. L. Issledovanie osnovnykh parametrov geneti-cheskogo algoritma primenitel'no k zadache poiska optimal'nogo marshruta // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – 2017. – Т. 9. – № 4. – S. 714–723. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29922476> (data obrashhenija: 24.03.2018).
11. Frolov V. V. Osobennosti realizacii geneticheskogo algoritma dlja proektirovanija tehnologicheskikh sistem mehaniceskoj obrabotki // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovykh tehnologij. – 2012. – № 3/9(57). – S.60–64.

Поступила
06.02.2018

После доработки
10.07.2018

Принята к печати
31.08.2018

Frolov V. V., prof., D. Sc., Assoc.

DETERMINING THE SIZE OF THE POPULATION OF THE GENETIC ALGORITHM FOR THE PROBLEMS OF DISCRETE OPTIMIZATION IN CAD

vvicfrol@rambler.ru

A method for determining the size of a population is proposed. The general approach for determining the size of a population follows from the statement that the chromosomes of a population must contain the maximum number of different values that cover most of the search area. The method is based on the regression model, which allows you to determine the size of the population, depending on the permissible number of values of the independent variable. The regression model is obtained as a result of processing simulation data in the formation of a population for a single-variable objective function. The problem is solved for a genetic algorithm, where the genotype is represented by a chromosome in binary code, and the phenotype by a decimal integer code of values of independent variables. This allows you to model the formation of a population without reference to specific values of variables. The model was obtained for the power range of the reference sets from 12 to 52, and allows to predict the size of the population beyond the limits of this range. The main area of use of this method is discrete optimization problems with objective functions of several variables, where the ranges of admissible values are finite and have a small dimension.

Keywords. *Population, genetic algorithm, CAD, genotype, phenotype, chromosome.*



Фролов В. В., д.т.н., доцент, профессор кафедры теоретической и прикладной информатики Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. E-mail: vvicfrol@rambler.ru.

Frolov V. V., D. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Theoretical and Applied Informatics of the Kharkov National University. V. N. Karazin.

E-mail: vvicfrol@rambler.ru

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

УДК 614.846.6

MOUSTAFA M. KURDI

EFFECT OF VIEWING ANGLE OF IR THERMOGRAPHY CAMERA FOR THE DETECTION OF LANDMINE

Belarusian National Technical University

The detection and recognition of sub-surface buried objects, such landmines, with variable characteristics may be extremely difficult. Infrared (IR) thermography, which is widely employed in the detection of discontinuities in materials and structures, would be in principle suitable also for this kind of application. The issue in this case appears to be the presence of excessive levels of background noise, whose modelling is difficult, in that it results from a number of factors e.g., moisture content, presence of vegetation, and variation of solar radiation at topsoil level. In recent years, a number of studies have tried to overcome these limitations and improve the reliability of this method, using filtering and automatic pattern recognition techniques, specific for the detection of buried objects. This work is aimed at revising and commenting the most recent experiences in this application of IR thermography. The article considers the possibility of using an IR thermal imaging camera attached to a multifunctional quadcopter in order to improve the reliability of detection of ground and buried explosive objects.

Keywords. Image Processing, Infrared Thermography, Mobile Robot, Multifunctional Quadcopter, Wireless Communication.

I. INTRODUCTION

Infrared thermal imaging, also often briefly called thermography, is a very rapidly evolving field in science as well as industry owing to the enormous progress made in the last two decades in micro system technologies of IR detector design, electronics, and computer science. Thermography nowadays is applied in research and development as well as in a variety of different fields in industry such as non-destructive testing, condition monitoring, and predictive maintenance, reducing energy costs of processes and buildings, detection of gaseous species, and many more [1]. IR thermal imaging has also been widely used for landmine detection. The detection of landmines and clearance is still a time consuming and unsafe task. Additionally, efficient and accurate detection of buried mines is still a challenging problem [2].

There is no universal technique capable of detecting landmines in all conditions. Infrared thermography is a promising technique in the detection and discrimination of the landmines. The detection principle is based on the variation of the ground temperature due to the presence of buried or surface landmines. Sand and mines have different thermal properties and this difference can be observed on the surface through the thermal sensors. Since thermal property is a dynamic be-

havior driven by radiation from the external heating system, it can change with the temperature in a few minutes and it can be observed better in thermal image time series than a single image.

Active thermography technique can be applied to enhance the contrast between the possible targets and the background. This contrast stems from the difference in radiant characteristics between the landmines and the background soil. Landmines are explosive devices hidden just below the surface designed to be detonated by contact of people or vehicles, as they pass over or near them.

We are designing and developing an intelligent system of unmanned air vehicle and unmanned ground vehicle named Quadcopter Mobile Robotic System (QMRS) [3], as shown in Fig. 1, which performs several operations, as a movement in specified direction, detect landmine by quadcopter, project the landmine by GIS into digital map and navigate the projected landmine on digital map by mobile robot.

II. EMISSIVITY

Emissivity value, which is one of these characteristics, plays a significant role in the determination of correct temperature of an object surface [4]. The source of uncertainty in temperature measurement with the infrared camera can be list-

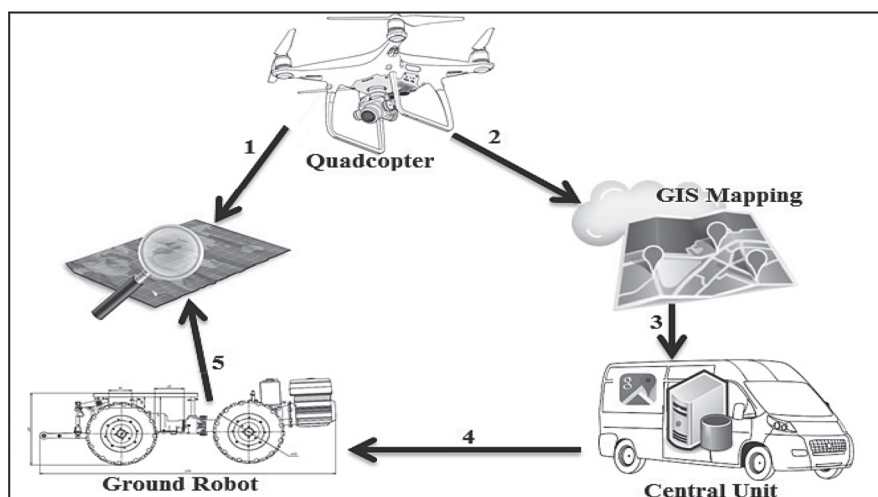


Fig. 1. General Architecture of the Proposed System

ed as followings: emissivity ($\mathcal{E}$) of objects, infrared detector-to-surface angle and distance. Those are mainstream technical factors for an accurate infrared thermographic measurement.

The emissivity is a measure of the efficiency of a surface to emit thermal energy relative to a perfect blackbody source, it directly scales the intensity of the thermal emission, and all real values are less than 1.0. The emissivity may be highly dependent on the surface morphology, roughness, oxidation, spectral wavelength, temperature and view angle. A measurement that does not account for the real emissivity of a surface will appear «colder» than it actually is. For agricultural applications, many organic materials and materials with very rough surfaces have emissivity values approaching unity. For other applications, including power line and solar cell inspection, the surface might be a highly polished glass or metal, both of which can have much lower emissivity values. As a reference, the table demonstrates the wide range of emissivity values that may be encountered in radiometric applications.

Emissivity values for common materials

Material Description	Emissivity
Asphalt	0.90 to 0.98
Concrete	0.92
Soil, dry	0.90
Soil, wet	0.95
Wood	0.90
Water	0.92 to 0.96
Snow	0.83
Skin, human	0.98
Aluminum, polished	0.04 to 0.06
Steel, rusty	0.69
Steel, stainless	0.16 to 0.45

III.BACKGROUND

A. Mine Problem

Landmines are explosive devices hidden just below the surface designed to be detonated by contact of people or vehicles, as they pass over or near them. Landmines contaminate still 60 countries around the world and thousands of people continue living with a risk of losing their life or limb. In addition, emplaced landmines hinder the cultivation of large productive areas. Besides, they maintain a sense of insecurity long after conflicts end, delay peace processes and impede countries' development for years [5].

Because of these horrendous effects, a lot of research and technological developments are needed to solve the detection and clearing of landmines problem. One widely searched solution for this problem is IR thermal imaging.

B. Thermal imaging

Each material shows a characteristic thermal response to a given stimulus, also known as the thermal signature. Thus, the cooling or heating process affects buried objects and the surrounding soil in a different way. This difference is because the mines are better insulators than the soil. The general concept of using infrared thermography for mine detection is because mines may have different thermal properties from the surrounding material [6] as shown in Fig. 2. Thermal imaging devices measure the emissivity of surfaces in an area at various temperature ranges.

Uniquely, IR can work in either way, actively or passively. It can work by accepting only the natural radiation from the object called as passive ther-

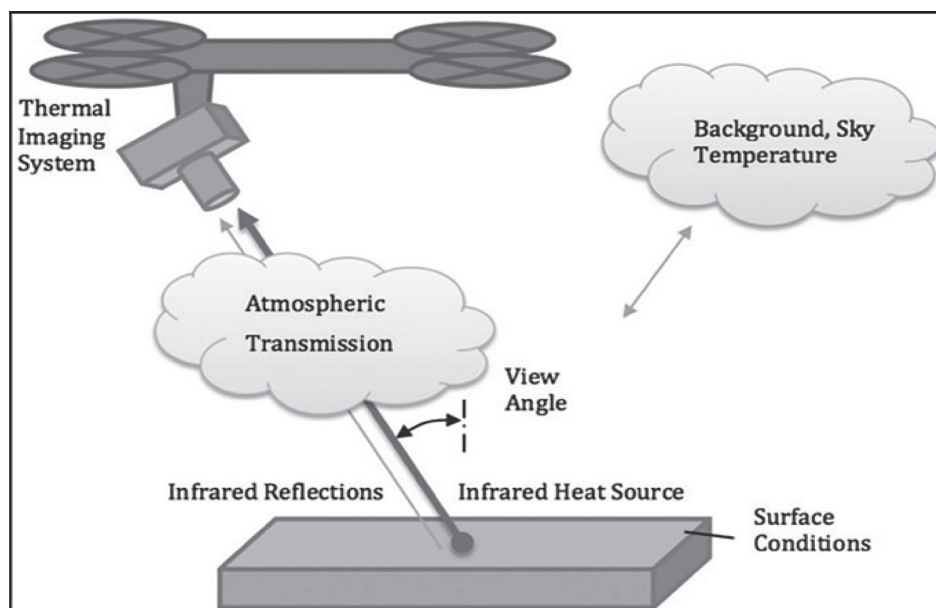


Fig. 2. Thermal Imaging System

mography, or it can provide an extra heat source and receive the artificial radiation created by that heat source dubbed as active thermography [7].

Most thermal detection concepts involve single snapshot of the region of interest. The soil over a mine has different thermal dynamics than homogeneous soil and, as a result, a time sequence of images can often produce better detection than a single image [8].

Principal factors is to be considered in the detection of buried objects using IR thermography:

1. Soil surface conditions (Presence of vegetation and/or soil surface coverage (cluttering), Homogeneity/inhomogeneity of soil, Collaboration/non-collaboration of soil);
2. Soil nature (Chemical composition, Granulometry, Moisture content);
3. Climatic variations (Temperature/humidity cycles, day-night);
4. Buried object characteristics (Geometry, Dimension, Materials);
5. Buried object position (Depth, Orientation);
6. Thermal excitation (Natural – solar, Long pulse – microwave, Short pulse: UV, IR, normal lighting).

IV. PROPOSED SYTEM

Quadcopter Mobile Robotic System is an efficient system for detection landmines. The system consists of ground robot Belarus-132N, ground-penetrating radar and thermal camera attached to multi-functional quadcopter.

QMRS performs several operations, as a movement in specified direction, detect landmine by quadcopter, project the landmine by GIS into digital map and traverse the projected landmine on digital map by mobile robot. The procedure for landmine operations by using robot interactions is as follows (Fig. 1):

1. Quadcopter takes off, moves over the region, photograph the area, searches and detects landmine by infrared camera and ground penetrating radar.
2. Quadcopter projects the landmine findings into Geographic Information System (GIS) Mapping.
3. Quadcopter transmits GIS images, collected data to base-station located near to the field of operation.
4. Central Unit Base Station uploads the GIS landmine findings into digital iCloud-google-map, and then it sends the updated digital map to the Ground Robot.
5. Ground Robot uses digital iCloud-google-map to move through the operational area and traverse the landmines.

A. Ground Robot Belarus 132N

Belarus-132N is a ground-based robot developed and manufactured as a result of cooperation of scientific and industrial enterprises of Belarus. It is a 4-wheeled robot with dimensions 120 cm length, 120 cm width, 180cm height, and 500 kg weight. It comprises of serial frame of tractor Be-

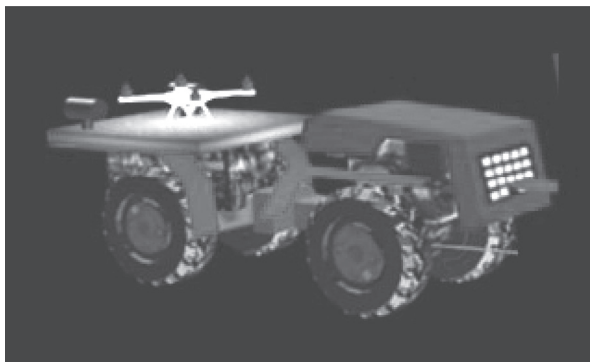


Fig. 3. General Scheme of mobile Belarus-132N

larus-132N and image processing system; control system; positioning and navigation; microcontroller; communication systems for sending and receiving data; attachments, such as arm as shown in Fig. 3.

It has a server with geographic information system provided from base-station with a landmines marked digital map for the site location; GPS-receiver, which determines current coordinates on the map. Data from the GPS-receiver is continually refreshed and connected to a digital map. Ground Robot Belarus-132N has four-types of motion control: i) Driving forward on the route; ii) Turning Left or Right; iii) Return with rotation; and iv) Driving backward (blind movement).

Our ground-based robot designed to determine their location and their identification, because when using the equipment of the quadcopter of the robotic complex there are a lot of noise and false objects similar to mines. The use of ground-air robot will provide the necessary 100% mine detection.

B. Multi-functional Quadcopter

A quadcopter or Unmanned Aerial Vehicle is a 4-rotor helicopter that use these four rotors in de-

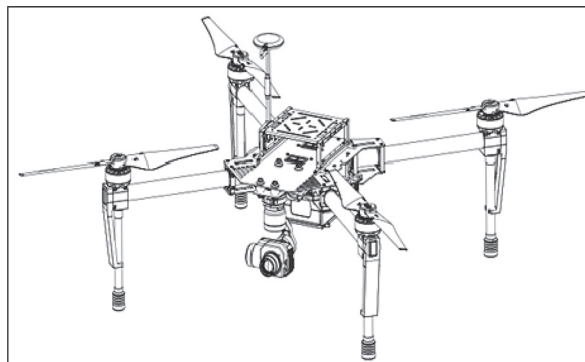


Fig. 4. General Scheme of multi-functional quadcopter

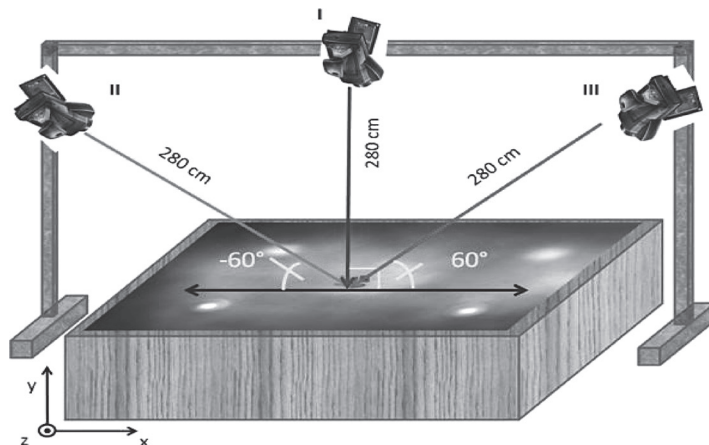
parting and landing. Quadcopter is a standout amongst the best vertical take-off and landing vehicle with autonomous flight control and stable hovering capabilities.

The components of Quadcopter are frame F450, EMAX Simon 30A Electronic Speed Controller, EMAX-MT-2213 motor, Flight controller KK v2.0 board, 2.4GHz receiver, transmitter, MPU9255-3 axis gyroscope – 3 axis accelerometer – 3 axis compass, single-board Raspberry Zero W, Wi-Fi adapter, thermal camera, universal GPIO I/O ports, Saitek X52 to ensure full-duplex communication, 3-cell 2200mAh 25C LiPo Battery, and thermal camera (Fig. 4).

Thermography system consists of several parts: i) the projection on the digital map: link between the system of heat detection and digital maps; ii) Dynamic display by setting the initial coordinates of the image; iii) Control and monitoring.

V. EXPERIMENTAL RESULTS

Three types of experiments performed at the viewing angles of 90° , 60° and -60° as it is shown in Fig. 5 during three days. The acquired thermal images are stored in a personal computer. The

Fig. 5. IR image sequence of a minefield; images taken at (a) 90° , (b) 60° and (c) -60°

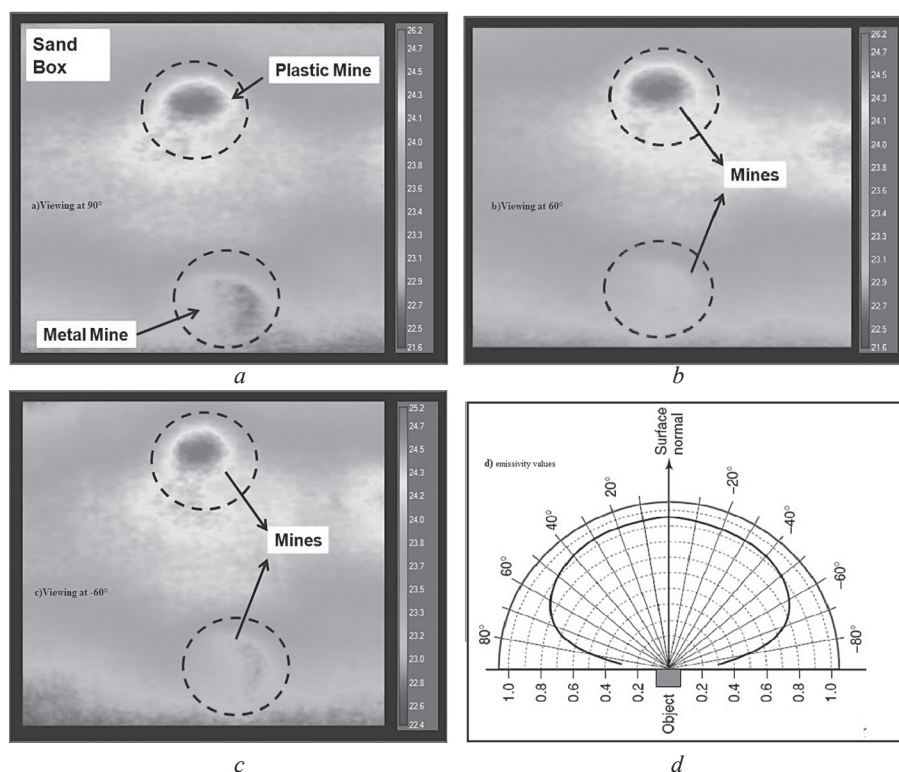


Fig. 6. The mines locations; images taken at (a) 90°, (b) 60° and (c) -60°; (d) emissivity values at different angles

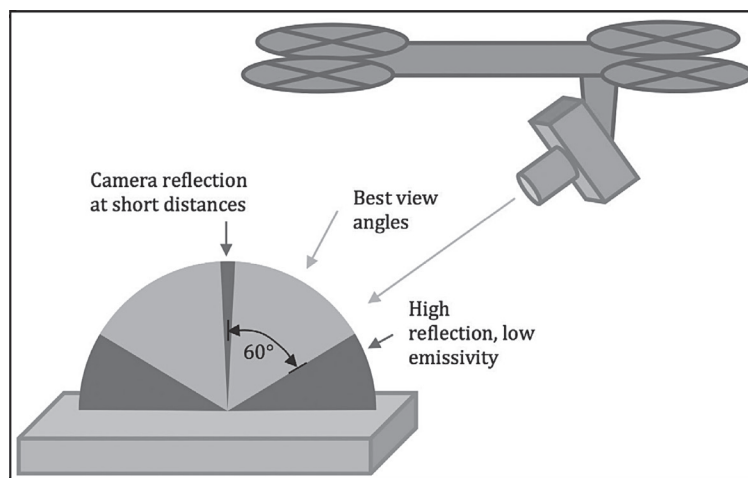


Fig. 7. Thermal temperature measurements should avoid straight-on measurements to reduce direct camera reflection and avoid oblique angles to reduce overall reflection

model mines were buried into a depth of 20 cm beneath the sand surface. Sequence of images was captured with FLIR T-650 SC camera placed in 280 cm distance from the detection area. Size of image is 480×640 pixels.

The temperature effect of the presence of the mine on the sand surface at each angles are clearly shown in Fig. 6 (a, b, and c). The surface temperature of the sand above plastic mine was higher than the surface temperature of the sand beside mine. However, the situation was just opposite when it comes to metallic mine. The hot and cold

surface spots caused by the energy reflected from the surface over mines generally became apparent within a similar period [9].

The results showed that the amplitude of the surface temperature change above the mine was much greater than that on the surface beside it: this was caused by the heating method. In all tests, the locations of the mines were identified using FLIR T-650 SC thermal camera and Research IR Program. The evolution of the «hot spot» and «cold spot» above the mines can be observed from the results shown in Fig. 6.

Our experiments confirmed that emissivity nearly remains constant from 60° to -60° degrees from the horizontal. These results were in agreement with what reported in Infrared Thermal Imaging Fundamentals, which explains the influence of viewing angle on emissivity of a surface. However, Fig. 6 (d) demonstrates an effect that fortunately holds for nearly all practically important surfaces: the emissivity is nearly constant from the normal direction 0° to at least 40 or 45° [10].

Care must be taken not make measurements at exceedingly oblique angles because reflectivity degrades based on view angle. Alternatively, a very close range and straight-on measurements can result in the camera viewing a reflection of itself and result in inaccurate measurements. Figure 7, illustrates the view angle challenges for radiometric temperature measurements and recommends making measurements less than 60° normal to the surface.

CONCLUSION

In our study, the effect of viewing angle is investigated by combining the analysis of temporal IR image sequences, showing the dynamic scene behavior during time variant heating by an infrared heater. The results show that different viewing angles (for 90° , 60° and -60°) have relatively little effect on the temperature at the surface. The emissivity is approximately constant at the viewing angles between 60° and -60° .

Experiments have shown that active thermography has strong positive effect on thermal signature in a short time. It can be especially useful in military tasks.

The thermal properties of the mine itself can play a significant role according to the thermal signatures. In addition, it is shown that 60 minutes duration is enough to produce thermal signatures for buried mines at a depth of 2cm from the surface with active thermography.

REFERENCES

1. F. Cremer, N. T. Th'anh, L. Yang, and H. Sahli, «Stand-off thermal IR minefield survey, system concept and experimental results», Proceedings of SPIE 5794, Detection and Remediation Technologies for Mine and Minelike Targets X, pages 209–220, 2005.
2. S. Gutman and J. Ha., «Identifiability of piecewise constant conductivity in a heat conduction process», SIAM J. Control Optim., 46(2):694–713, 2007.
3. M. Kurdi, A. Dadykin, I. Elzein, M. Tatur, «Efficient Navigation System of Mobile Robot With Thermography Image Processing System And Mapping of Quadcopter», International Journal of Digital Information and Wireless Communications (IJDIWC), pp. 90–95, Vol. 8, No. 2, June 2018.
4. T. Nunak, K. Rakrueangdet, N. Nunak, T. Suesut, «Thermal image resolution on angular emissivity measurements using infrared thermography», Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 2015.
5. P. L'opez, «Detection of Landmines from Measured Infrared Images using Thermal Modelling of the Soil», PhD Thesis, University of Santiago de Compostela, 2003. 26
6. C. P. Lee, «Landmine detection techniques using multiple sensors», M. Sc. Thesis, Electrical and Computer Engineering the University of Tennessee, Knoxville, 2004.
7. N. T. Th'anh, «Infrared Thermography for the Detection and Characterization of Buried Objects», PhD Thesis, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium, 2007.
8. J. MacDonald, J. Lockwood, J. McFee, T. Altshuler, «Infrared/Hyperspectral Methods,» in Alternatives for Landmine Detection», Rand, 93–110, 2003.
9. A. Muscio and M. A. Corticelli, «Land mine detection by infrared thermography: reduction of size and duration of the experiments», IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42 (9): 1955–1964, 2004.
10. M. Vollmer, K. P. Mollmann, «Infrared thermal imaging fundamentals, research and applications», WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim, GERMANY, 2010.

Поступила
06.06.2018

После доработки
01.09.2018

Принята к печати
31.08.2018

Moustafa M. Kurdi

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАБЛЮДЕНИЯ ИК ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ НА ОБНАРУЖЕНИЕ НАЗЕМНЫХ МИН

Белорусский национальный технический университет, mostafa.alkirdi@aut.edu

Обнаружение и распознавание взрывоопасных объектов, находящихся на поверхности или на небольшой глубине под поверхностью, таких, как наземные мины с различными характеристиками, может быть чрезвычайно трудным делом. Инфракрасная (ИК) термография, которая широко используется для обнаружения разрывов в материалах

и структурах, в принципе подходит и для такого рода применения. Проблема в данном случае, как представляется, заключается в наличии чрезмерных уровней фонового шума, моделирование которого сопряжено с трудностями, поскольку оно обусловлено рядом факторов, например, влажностью, присутствием растительности и изменением солнечной радиации на уровне верхнего слоя почвы. В последние годы в ряде исследований были сделаны попытки преодолеть эти ограничения и повысить надежность обнаружения, используя методы фильтрации и автоматического распознавания образов, характерные для нахождения захороненных объектов. Эта работа направлена на пересмотр и комментирование самого последнего опыта в этом применении ИК-термографии. В статье рассмотрена возможность использования ИК тепловизионной камеры, прикрепленной к многофункциональному квадрокоптеру, с целью повышения надежности обнаружения наземных и погребенных взрывоопасных объектов.

Ключевые слова. Беспроводная связь, инфракрасная термография, многофункциональный квадрокоптер, мобильный робот, обработка изображений.



Moustafa M. Kurdi received the BE degree from the Department of Computer Engineering, Beirut Arab University, Lebanon, in 2002, and the MBA degree from the Department of Business Management, Lebanese International University at Lebanon, in 2010. He is presently a Ph. D. candidate at the Electrical and Computer Engineering Department of Belarusian National Technical University, studying control, system analysis and data processing.

Currently, he is coordinator of faculty of applied sciences, American University of Technology (Lebanon). He has more than 10 years of academic teaching experience in the fields of computer, software and networking engineering. Mr. Kurdi is member of IEEE. His current research interests include robotics, computer vision, intelligent mobile robots, navigation system, image watermarking, and design automation.

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

УДК 004;004.93

Ф. В. СТАРОВОЙТОВ¹, В. В. СТАРОВОЙТОВ²

ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОЦЕНОК КАК МЕРЫ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ

¹Международный институт дистанционного образования БНТУ²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

В статье исследуется задача выбора наиболее качественного изображения из серии в отсутствие эталона. Описываются результаты исследований нового подхода к формированию оценки качества цифровых изображений, основанного на построении кривой распределения локальных оценок качества. Один из параметров такой кривой предлагается использовать как меру качества изображений. Отобраны 16 мер качества изображений, описанных в научной литературе. Показано, что параметр масштаба распределения Вейбулла является более точной интегральной мерой качества для множества локальных оценок, чем среднее арифметическое. Выполнен ряд экспериментов, подтверждающих корректность такой оценки и ее корреляцию с визуальными оценками качества изображений. Наличие подобных мер очень актуально для а) оценки качества автоматически формируемых фотографий, б) выбора параметров преобразований, ориентированных на улучшение изображений, таких как яркостные изменения, сжатие динамического диапазона яркости, преобразование в полутоновое представление и других.

Ключевые слова. Оценка качества изображения, NR-мера, гамма-коррекция, линейное изменение яркости, контраст, фокусное расстояние, размытие, распределение Вейбулла.

Введение

Рассматривая два изображения, человек может сделать вывод, что одно лучше другого или они примерно одинаковые. Он может проранжировать 3–5 изображений, визуально оценив их качество, например, по пятибалльной шкале: очень низкое, низкое, среднее, выше среднего, высокое. Если требуется визуально оценить качество десятков или сотен изображений, это сделать труднее, а проранжировать их по уровню их качества практически невозможно.

Функции, вычисляющие количественные оценки различий двух сигналов, известны давно. Наиболее популярные из них коэффициент корреляции, среднеквадратичное отклонение и т. п. Цифровое изображение – это двумерный сигнал. Сходство или различие цифровых изображений также можно оценить подобными функциями, но они не учитывают корреляцию между соседними строками и столбцами. Это привело к появлению множества мер сравнения двух изображений. Как правило, одно изображение считается эталонным, а второе преобразованным, например, восстановленным

после сжатия. Мера дает оценку близости второго изображения к первому. Множество подобных мер и методика их построения подробно описаны в монографии [1]. Такие меры относятся к классу мер сравнения с эталоном, а в англоязычной литературе они называются full-reference (FR) measure. На практике эталонное изображение имеется не всегда. Например, изображение только что зафиксировано или преобразовано с целью улучшения его визуального восприятия. В таких случаях (при отсутствии эталона) для оценки качества цифровых изображений применяют так называемую безэталонную меру или no-reference (NR) measure. Будем их называть мерами NR-типа.

Следует отметить, что функции данного типа не являются метриками (как часто пишут в литературе), т. к. не может быть вычислена величина «расстояния» между двумя объектами (в данном случае изображениями) ввиду наличия только одного объекта.

Первая статья, использующая термин no-reference, была опубликована в 2000 году [2], с тех отмечается нелинейный рост публикаций на данную тему (см. обзоры [3–6]). Качество

изображения – это субъективное понятие. Выразить одним числом все возможные аспекты субъективного понятия качества достаточно сложно. Перечислим основные типы искажений, которые влияют на качество цифрового изображения, формируемого оптической системой:

- освещенность снимаемой сцены,
- контрастность снимаемой сцены,
- смаз изображения в результате движения камеры или объекта съемки,
- глубина резкости,
- способ квантования зарегистрированного сигнала,
- метод и степень сжатия изображения при записи в файл.

Следует также отметить, что некорректно сравнивать количественные оценки качества изображений, искаженных разными типами преобразований, например, размытое изображение с малоконтрастным. В таких случаях можно лишь делить изображения на два класса: «хорошие» и «плохие». Границы этих классов должен устанавливать эксперт в определенной прикладной области, например, криминалистике.

Под сценой будем понимать все, что попадает в кадр фотокамеры. Искажения, вносимые алгоритмами квантования и сжатия, в данной работе не рассматриваются. Недостаточная глубина резкости также может влиять на качество изображения из-за размытия деталей второго плана.

В данной работе рассмотрен принципиально новый подход к автоматической оценке качества изображений, анализирующий распределение локальных оценок качества изображения. Рассмотрено исследование предлагаемого подхода на 4 типах искажений изображения, при сравнении изображений с различной глубиной резкости, а также для нахождения лучшего из последовательности изображений одной сцены при различных условиях регистрации.

1. Исследуемые меры качества

В работе исследовались 16 мер качества изображений локального типа, детально исследованных в [7]. Они перечислены ниже. Для экономии места формулы вычисления исследуемых мер не описываются, но приводятся ссылки

на статьи, содержащие их подробное математическое описание.

В результате изучения литературы был сделан вывод, что многие меры, используемые для анализа автофокусировки оптических систем, также могут быть опробованы в качестве NR-мер оценки качества изображений. Хороший обзор таких мер представлен в работе [8]. Кратко опишем, на чем базируется вычисление исследуемых мер. Используемые меры изначально вычисляют локальные оценки в окрестности каждого пиксела, а затем вычисляют их среднее арифметическое в качестве финальной оценки. Однако в данной работе предложен иной, принципиально новый подход к оценке качества изображений, использующий гистограммы локальных оценок, вычисленных с помощью данных мер. Для дальнейшего использования были отобраны те из мер, использованных авторами в статье [7], которые являются мерами локального типа и которые вычисляются за приемлемое время. Кроме того, были добавлены 4 новые меры локального типа: LAPL, LOCC, LOEN, SVD.

Запишем аббревиатуры исследуемых мер и опишем величины, вычисляемые в одной окрестности:

- BREN – квадрат разности яркости левого и правого соседей через один пиксел [8].
- FFT – среднее значение спектра Фурье в децибелах [8].
- GDER – сумма квадратов после свёртки гауссовых производных с окрестностью пиксела [8].
- GLVM – дисперсия поэлементной разности значений яркости изображения и его локально сглаженного варианта [8].
- GRAE – квадрат градиента Робертса [8].
- GRAT – модуль максимальной разности с ближайшим пикселом, превышающий порог [8].
- HELM – отношение Хелмли яркости пиксела к усредненной по окрестности, причём в числителе находится большая из этих величин [8].
- LAPE – квадрат значений после свертки с лапласианом [8].
- LAPL – лапласиан.
- LAPM – сумма модулей вторых производных по двум направлениям [8].
- LOCC – локальный контраст.

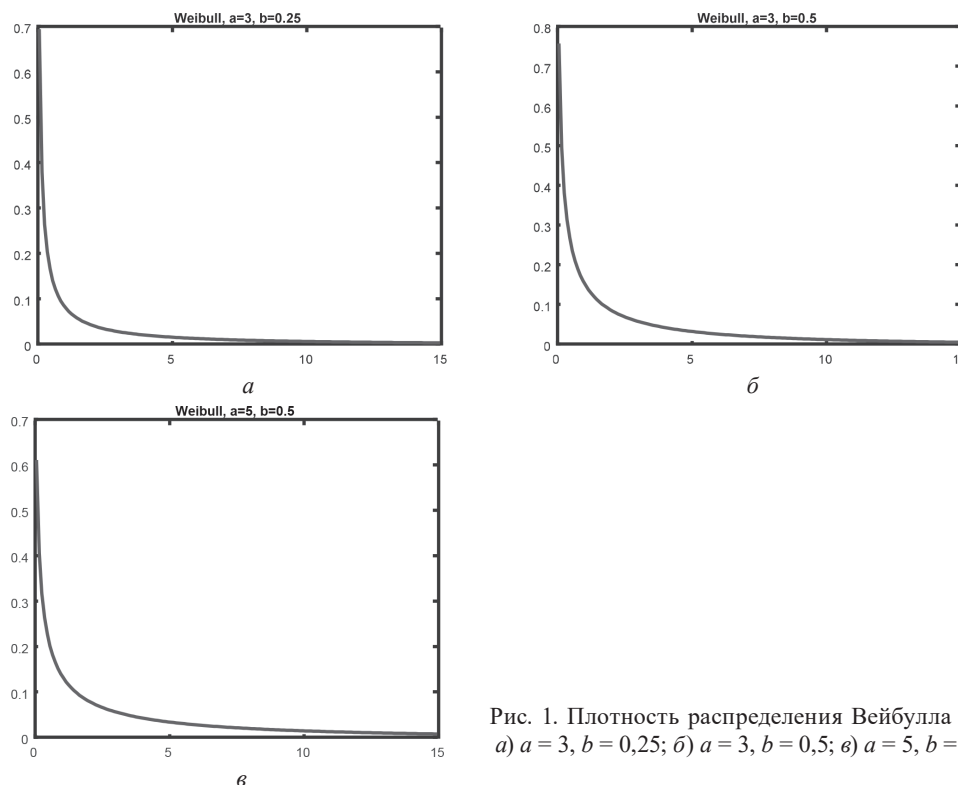


Рис. 1. Плотность распределения Вейбулла при
а) $a = 3, b = 0,25$; б) $a = 3, b = 0,5$; в) $a = 5, b = 0,5$

- LOEN – локальная энтропия.
- SFIL – максимум после свертки изображения с одномерным поворачивающимся фильтром Гаусса [8].
- SVD – локальные оценки на основе сингулярных чисел матрицы [9].
- TENG – градиент Собела в квадрате [8].
- WAVS – сумма трех вейвлет-коэффициентов первого уровня после преобразования изображения [8].

2. Распределение Вейбулла

Связь распределения Вейбулла с естественными изображениями неоднократно исследовалась в научных публикациях. Так, в [10] показано, что распределение модулей градиента в естественных изображениях согласуется с плотностью распределения Вейбулла. В [11] говорится, что распределение Вейбулла хорошо описывает некоторые характеристики изображений естественных сцен. В [12] показано, что реакция мозга человека на естественные изображения коррелирует со статистиками распределения Вейбулла для воспринимаемого изображения. В [13] рассматривалась оценка качества изображения с неполной информацией об эталоне на основе статистик распределения Вейбулла.

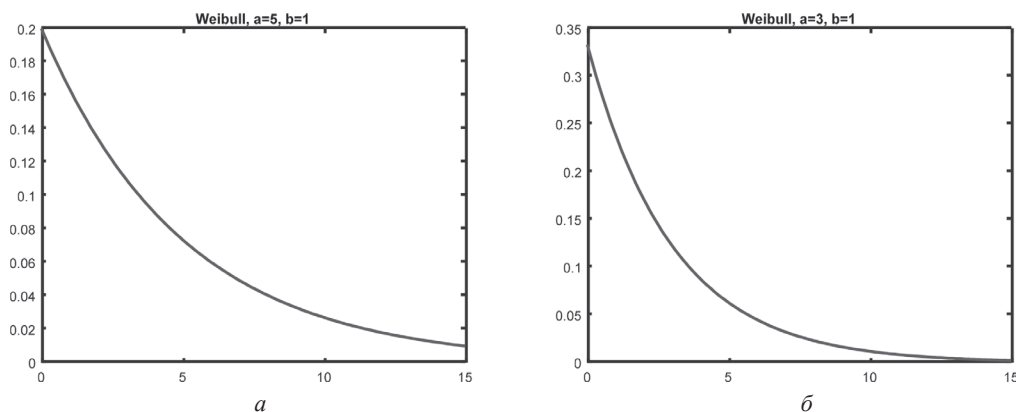
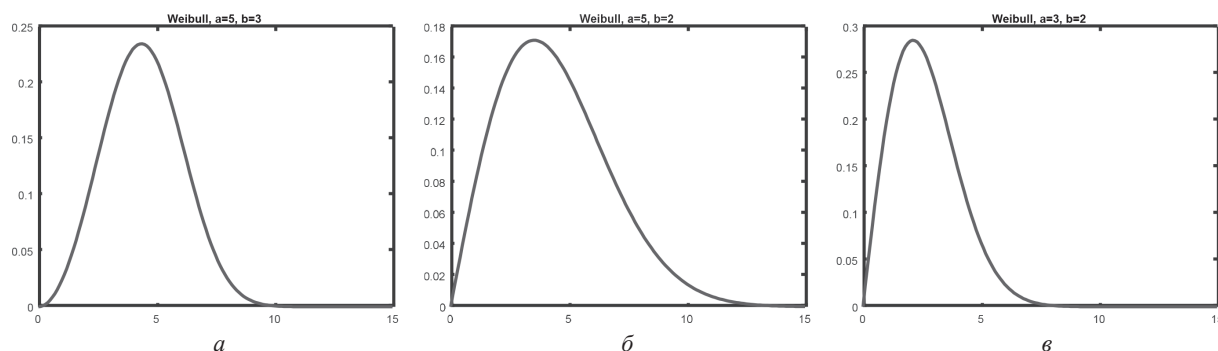
Гистограммы многих локальных оценок, используемых в мерах качества локального типа, имеют схожие формы. Исследуем в данной статье гипотезу об аппроксимации распределения локальных оценок качества с помощью кривой плотности распределения Вейбулла $f(x)$ и применении в виде глобальной оценки качества параметра формы и параметра масштаба этой кривой.

Распределение Вейбулла – это семейство абсолютно непрерывных распределений. Оно имеет два параметра: a – масштаб, b – форма. Плотность распределения Вейбулла описывается формулой:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a} \right)^b},$$

где $x > 0, a > 0, b > 0$.

Распределение Вейбулла достаточно гибкое по сравнению со многими используемыми вероятностными распределениями. Так, нормальное распределение тоже характеризуется двумя параметрами (среднее значение и среднеквадратическое отклонение), однако при фиксированном втором параметре и различных значениях первого форма кривой плотности распределения остаётся без изменений. В то же время изменение каждого из параметров рас-

Рис. 2. Плотность распределения Вейбулла при а) $a = 5, b = 1$; б) $a = 3, b = 1$ Рис. 3. Плотность распределения Вейбулла при а) $a = 5, b = 3$; б) $a = 5, b = 2$; в) $a = 3, b = 2$

пределения Вейбулла заметно меняет кривую плотности. Параметр масштаба a сдвигает кривую влево и вытягивает её вверх. Рассмотрим вид кривой в зависимости от значения параметра формы b .

При $b < 1$ функция плотности строго убывает, плотность стремится к бесконечности при $x \rightarrow 0_+$ и к нулю при $x \rightarrow \infty$ (рис. 1).

При $b = 1$ распределение становится экспоненциальным, плотность стремится к $1/a$ при $x \rightarrow 0_+$ и далее строго убывает (рис. 2).

При $b > 1$ плотность стремится к 0 при $x \rightarrow 0_+$, возрастает до значения моды, а затем убывает (рис. 3).

Приведём ещё два примера гибкости распределения Вейбулла. Во-первых, при некоторых параметрах плотность распределения Вейбулла очень близка к плотности нормального распределения. Например, график функции плотности распределения Вейбулла с параметром формы $b = 3,44$ очень похож на график функции плотности нормального распределения, за исключением хвостов распределения [14]. Во-вторых при $b = 1$ распределение Вейбулла становится экспоненциальным распределением.

Многие явления в природе хорошо описываются нормальным распределением [15]. Тем

не менее, есть причина использовать вместо него распределение Вейбулла при анализе распределения локальных оценок. Дело в том, что нормальное распределение симметрично, а распределение локальных оценок асимметрично.

Итак, в силу вышеуказанных причин для дальнейшей работы с гистограммами локальных оценок было выбрано распределение Вейбулла.

3. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования выполнялись на двух группах изображений. Первая – это 17 стандартных тестовых изображений из базы [16]. Вторая включала отобранные в сети интернет 14 цифровых фотографий пяти разных сцен, полученных с разным фокусным расстоянием (для анализа качества изображений одной сцены с разной четкостью ее элементов). На данном этапе исследований оценки вычислялись для полутоновых представлений изображений.

Для вычисления оценок использовались меры локального типа, описанные в разделе 1 данной статьи, для которых можно построить гистограмму локальных оценок. Вместо среднего значения локальных оценок использова-



Рис. 4. Пример тестового изображения «bridge» после гамма-коррекции яркости при параметре γ , равном 0,25, 0,75, 1 (совпадает с исходным изображением), 1,25 и 3,3, соответственно

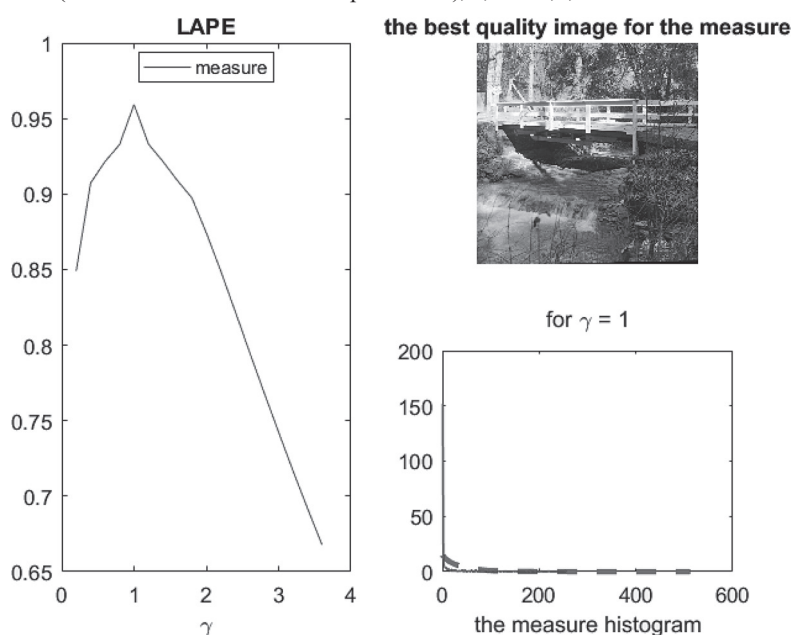


Рис. 5. Выбор лучшего варианта после гамма-коррекции изображения «bridge»: слева график параметра формы при различных значениях параметра γ , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок LAPE

лась их гистограмма. Далее гистограмма аппроксимировалась распределением Вейбулла с помощью функции `fitdist` пакета MATLAB. Эта функция по исходным данным подбирает распределение из требуемого семейства распределений с помощью метода максимального правдоподобия. Далее анализировалось, что предпочтительнее использовать в качестве глобальной оценки: параметр формы или параметр масштаба распределения Вейбулла. Было выполнено 5 типов экспериментов, описанных ниже.

3.1. Оценка качества после гамма-коррекции изображений

Гамма-коррекция изображения является популярным методом нелинейного изменения яркости [17].

В данной статье была выполнена оценка качества 18 вариантов каждого тестового изображения первой группы, полученных путем

гамма-коррекции с параметром γ , изменяющимся от 0,2 до 3,6 с шагом 0,2 по формуле:

$$newIm(i, j) = 255 \left(\frac{Im(i, j)}{255} \right)^\gamma,$$

где (i, j) – координаты пиксела, Im – исходное изображение, $newIm$ – новое изображение.

Это преобразование формирует ряд изображений от светлого до темного с нелинейно изменяющейся яркостью. На рис. 4 приведён пример такого ряда при различных значениях параметра γ . Наиболее качественные с визуальной точки зрения изображения находятся в середине ряда, значит, графики значений мер качества для такого ряда должны иметь экстремумы при значении $\gamma = 1$ (см. рис. 5–6, справа).

Подобные графики строились для каждого тестового изображения и обоих исследованиях параметров распределения Вейбулла. Графики невозможно совместить, т. к. они представлены в разных диапазонах значений.

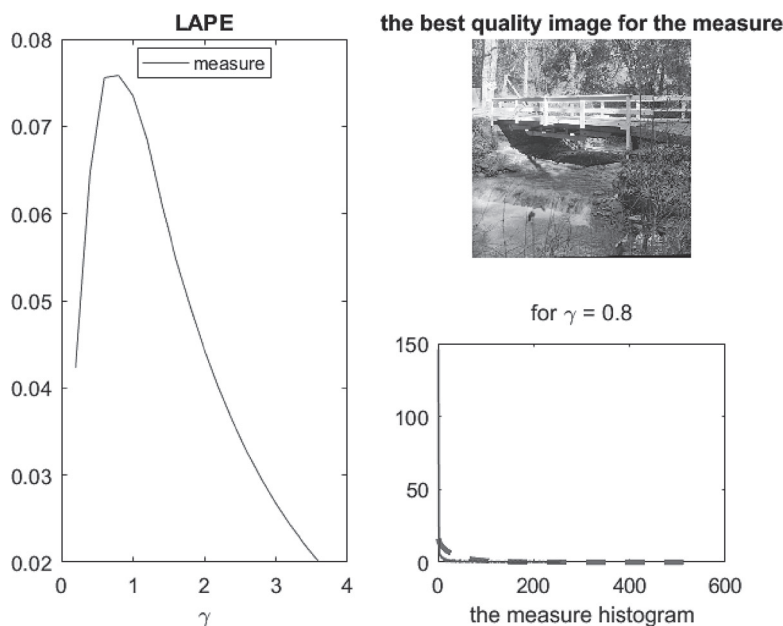


Рис. 6. Выбор лучшего варианта после гамма-коррекции изображения «bridge»: слева график параметра масштаба при различных значениях параметра γ , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок LAPE

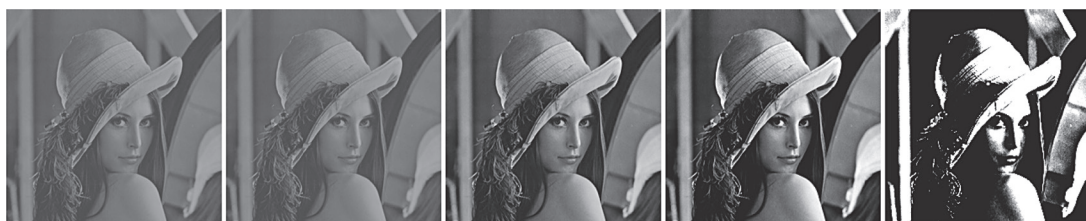


Рис. 7. Примеры изменения контраста изображения «lena» (в центре – оригинальное)

3.2. Оценка качества после изменения контраста изображений

Было сформировано 13 вариантов каждого изображения первой группы с разными коэффициентами контраста k от 0,2 до 2,6 с шагом 0,2. Яркость каждого пиксела (i, j) изменялась согласно формуле:

$$newIm(i, j) = k(Im(i, j) - 127,5) + 127,5.$$

Как и в предыдущем случае, предполагалось, что визуально наиболее качественное изображение является исходным, т. е. соответствует коэффициенту контраста $k = 1$. На рис. 7 приведены изображения с изменённым в различной степени контрастом.

3.3. Оценка качества после линейного приращения яркости изображений

Для каждого изображения первой группы выполнялось преобразование яркости изображений по формуле:

$$newIm(i, j) = Im(i, j) + c.$$

Иначе говоря, к значению яркости каждого пиксела (i, j) добавлялась константа c (с учетом ограничений диапазона $[0-255]$), принимающая значения от -100 до $+100$ с шагом 25 (см. рис. 10). Снова предполагаем, что визуально лучшим является исходное изображение, т. е. при $c = 0$.

3.4. Оценка качества после размытия изображений

Для каждого изображения первой группы выполнялось размытие изображений стандартным фильтром Гаусса [17] по формуле:

$$G_{\sigma} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднеквадратическое отклонение.

Значение σ при этом изменялось от 0 до 4,0 с шагом 0,75 (см. рис. 13). Полагаем, что субъективно наиболее качественными являются те из полученных изображений, у которых величина σ близка к нулю, т. е. которые ближе всего к исходным.

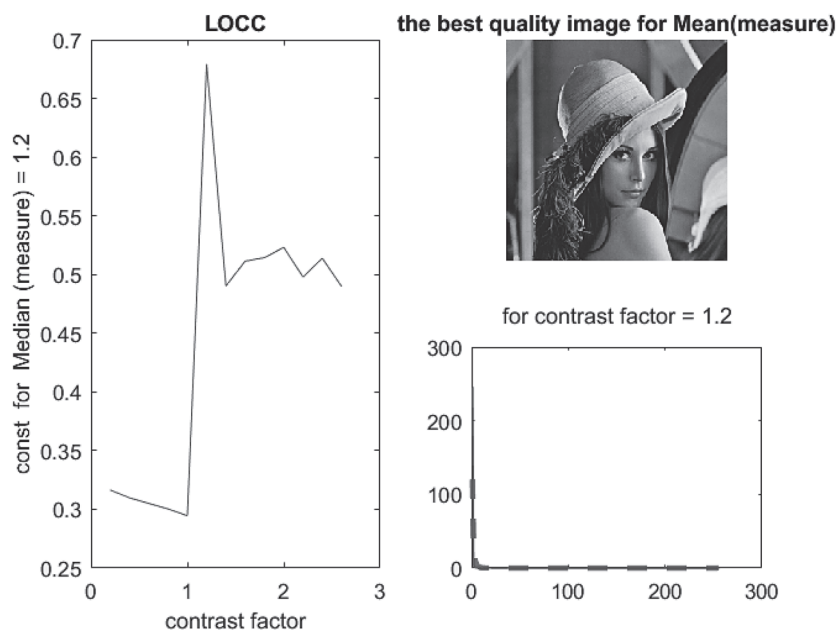


Рис. 8. Выбор лучшего варианта после изменения контраста изображения «lena»: слева график параметра формы при различных значениях параметра k , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок LOCC

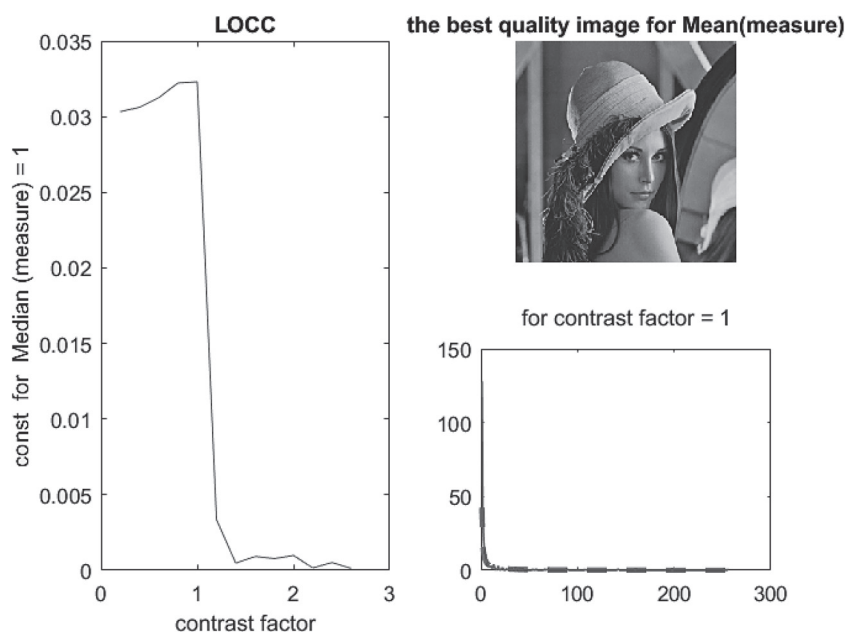


Рис. 9. Выбор лучшего варианта после изменения контраста изображения «lena»: слева график параметра масштаба при различных значениях параметра k , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок LOCC



Рис. 10. Примеры изображения «houses» после линейного изменения яркости от -100 до +100 с шагом 25 (в центре исходное изображение)

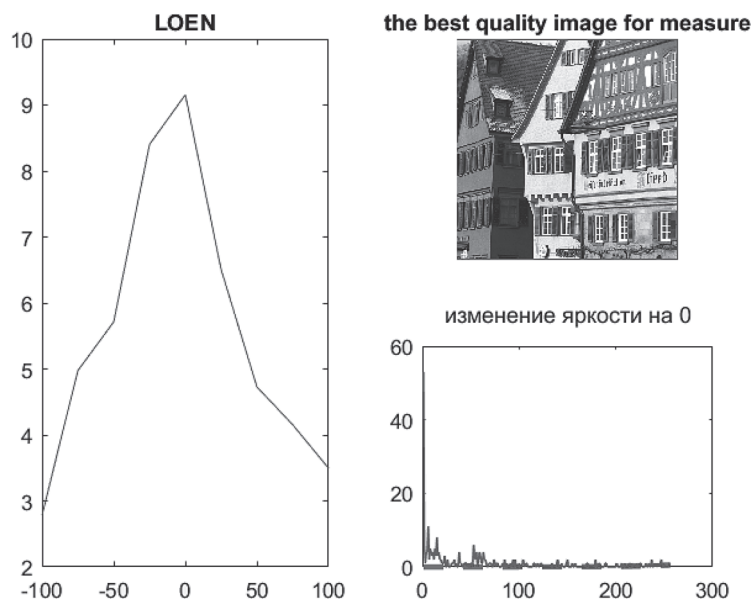


Рис. 11. Выбор лучшего варианта после изменения яркости изображения «houses»: слева график параметра формы при различных значениях параметра s , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок LOEN

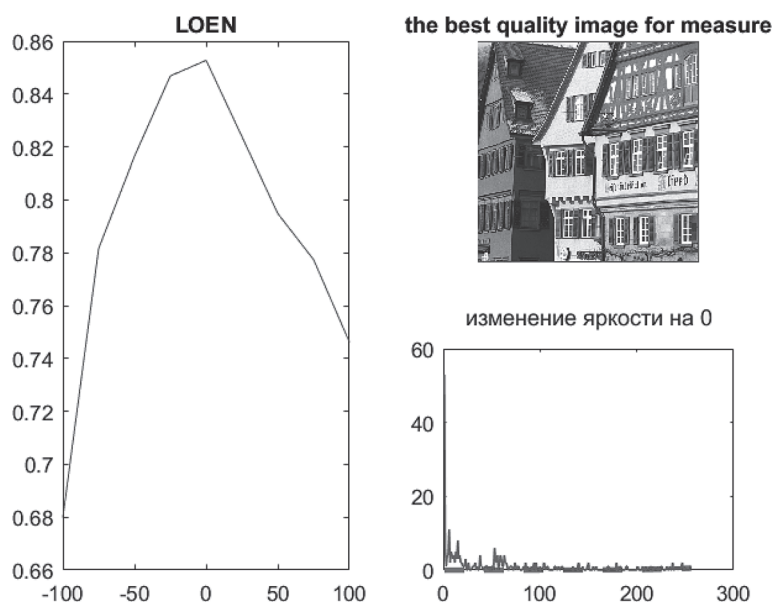


Рис. 12. Выбор лучшего варианта после изменения яркости изображения «houses»: слева график параметра масштаба при различных значениях параметра s , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок LOEN



Рис. 13. Примеры изображения «bridge», размытого фильтром Гаусса (слева – исходное изображение)

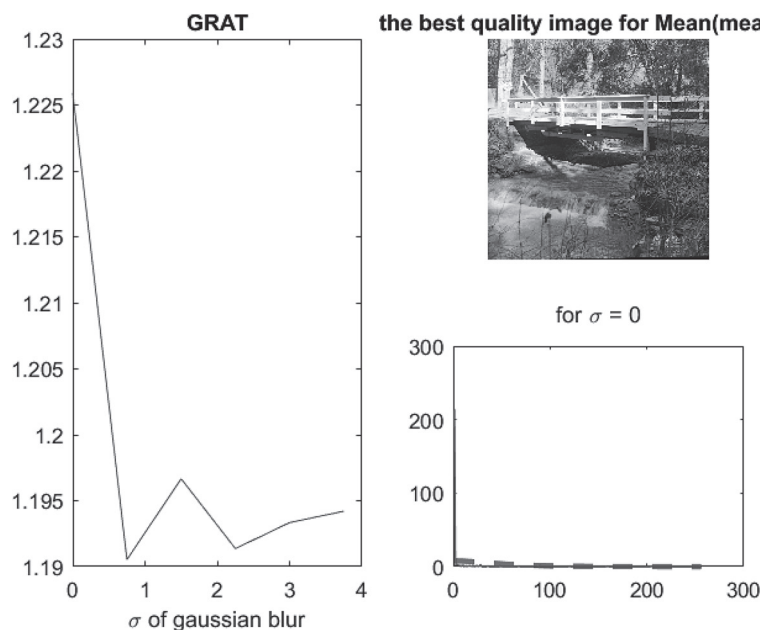


Рис. 14. Выбор лучшего варианта после размытия изображения «bridge»: слева график параметра формы при различных значениях параметра σ , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок GRAT

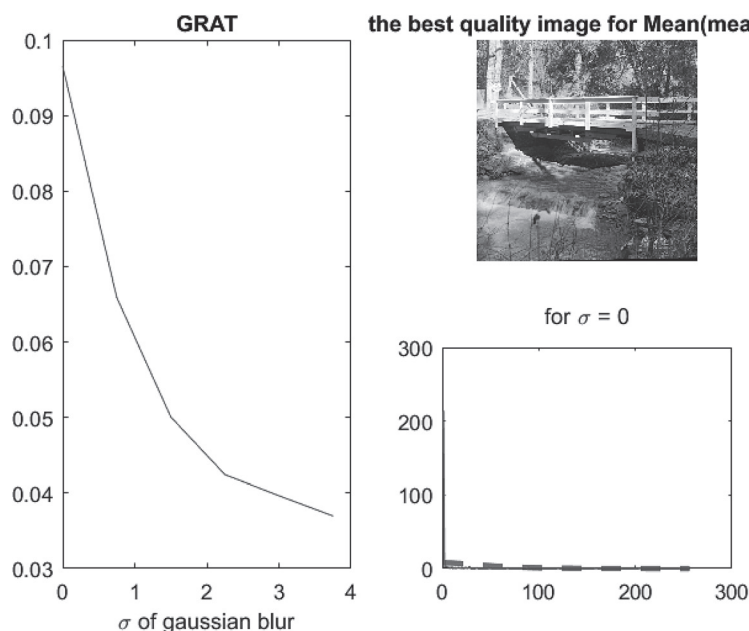


Рис. 15. Выбор лучшего варианта после размытия изображения «bridge»: слева график параметра масштаба при различных значениях параметра σ , справа – изображение, соответствующее наибольшему значению параметра и гистограмма локальных оценок GRAT

Для изображения, показанного на рис. 14–15, максимальные значения обоих параметров соответствуют не размытому изображению, т. е. наиболее качественному. Однако значение параметра масштаба уменьшается на 47% для $\sigma = 1$, а значение параметра формы только на 3%. Этот факт говорит о большей строгости параметра масштаба по сравнению с параметром формы.

3.5. Оценка качества изображений с разной глубиной резкости

В данной серии экспериментов исследовались пары изображений второй группы, полученных фотографированием одной сцены с разными фокусными расстояниями (см. рис. 16).

Визуально изображения f11 и f22 очень похожи, но получены с использованием разных фокусных расстояний (f11 и f22). Отличия



Рис. 16. Пример изображений, полученных фотографированием с фокусными расстояниями $f5$ и $f32$ (верхний ряд), $f11$ и $f22$ (нижний ряд)

слегка заметны в резкости деталей заднего плана.

Для изображений, показанных на рис. 16 максимальные значения обоих параметров соответствуют правому изображению как наиболее качественному. Однако, разница в значениях параметра масштаба равна 37%, а в значениях параметра формы 1,3%. Этот факт говорит о большей строгости параметра масштаба по сравнению с параметром формы.

4. Анализ полученных результатов

В табл. 1 и 2 собраны результаты исследований пяти типов, перечисленных выше, где для глобальной оценки качества берётся соответственно параметр формы и параметр масштаба распределения Вейбулла, полученного про аппроксимации гистограмм локальных оценок. Если количественная оценка меры совпала с визуальной или была очень близка к ней,

Таблица 1. Сопоставление визуальной оценки качества и параметра формы

№	мера	№ исследования				
		1	2	3	4	5
1	BREN	++?+++	000000	---	---	+++++++
2	FFT	--+-	---	--+-	+++++	+++++
3	GDER	?-+++	000000	-?-???	---	+++++
4	GLVM	+?-?++	000000	---	--+-	+++++
5	GRAE	++?+++	---	---	--+-	+++++
6	GRAT	++?+++	---	---	--+-	+++++
7	HELM	---	---	---	---	+++++
8	LAPE	+?++++	---	-?-???	+++++	+++++
9	LAPL	+?-?++	?-?-?-	--?-+	---	+++++
10	LAPM	+?+?++	-?-	--?-	---	+++++
11	LOCC	--?-	+++?++	+???++	+++++	+++++
12	LOEN	+++++	+++++	++-??+	+++++	+++++
13	SFIL	?-+++	000000	--?-+	---	+++++
14	SVD	---	---	---	+++++	+++++
15	TENG	+?+?++	000000	--?-	--+-	+++++
16	WAVS	+?-?++	000000	++???	---	+++++

Таблица 2. Сопоставление визуальной оценки качества и параметра масштаба

№	мера	№ исследования				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
1	BREN	??+--	000000	---	---	+++++
2	FFT	--+-	---	--??	+++++	+++++
3	GDER	++?+?	000000	?---	---	+++++
4	GLVM	+?+-+	000000	---	---	+++++
5	GRAE	?+++?	--?-	---	+-----	+++++
6	GRAT	++++-	--?-	---	+?++++	+++++
7	HELM	-+---	---	---	---	+++++

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
8	LAPE	++-++	---	---	-??-+?	+++++++
9	LAPL	+++--	?---	---	---	+++++++
10	LAPM	+??-++	---	---	---	+++++++
11	LOCC	-+--	++++++	---	++++++	+++++++
12	LOEN	++++++	+++--	++-??+	++++++	+++++++
13	SFIL	+???+-	000000	?---	---	+++++++
14	SVD	---	---	---	++++++	+++++++
15	TENG	+?+-+	000000	---	---	+++++++
16	WAVS	+?-?-	000000	---	---+	+++++++

записан знак «+», в противном случае «-». Когда максимальное значение меры соответствовало пологому пику либо было почти правильным, ставился знак «?». Ноль ставился, когда для всех вариантов изображения в исследованиях одного типа значения меры были равными либо практически равными.

Исследования проводились на изображениях размером 512×512 пикселей на персональном компьютере Asus K501-UXDM-112. Характеристики компьютера: процессор Intel Core i7 6500U с тактовой частотой 2500 МГц, объём оперативной памяти 6 Гб, операционная система Windows 10. Программы выполнялись в среде Matlab R2016b.

В результате выполненных сравнительных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследование № 1 (гамма-коррекция) оказалось довольно простым: только 4 меры (FFT, HELM, LOCC, SVD) дали преимущественно неправильные ответы.

2. Практически все меры на тестовых изображениях показали плохой результат в исследовании № 2 (изменение контраста). Более того, на многих мерах (отмечены как «0» в таблицах) полученные параметры совпадали вплоть до нескольких знаков после запятой даже при самых сильных изменениях контраста. В то же время меры LOCC и LOEN обычно правильно определяли качественное изображение даже в этом случае.

3. Ещё более сложным оказалось исследование № 3 (линейное изменение яркости). При выборе параметра формы в качестве глобальной оценки лишь меры LOEN, LOCC и WAVS показывают хорошие результаты, а GDER и LAPE – удовлетворительные. Если же использовать как глобальную оценку параметр масштаба, то хорошо работает лишь мера LOEN. Остальные

меры в обоих случаях неправильно определяют наиболее качественное изображение.

4. Гораздо более простым было исследование № 4 (размытие изображения). Меры FFT, LOCC, LOEN, SVD дают корректные результаты при использовании обоих параметров; GRAE, GRAT можно использовать только при выборе параметра масштаба, а не формы; LAPE лучше работает для параметра формы, чем для параметра масштаба. Остальные меры в обоих случаях работают плохо.

5. Наиболее лёгким оказалось исследование № 5 (изображения одной сцены с различной глубиной резкости). Все использованные меры правильно определяют более качественное изображение.

6. Худшие результаты показала мера HELM, а при использовании параметра масштаба – также меры BREN, SFIL, WAVS, плохо сработавшие на всех исследованиях, кроме № 5.

7. Интересная особенность проявилась у мер FFT и SVD. Эти меры показали неверные результаты на исследованиях № 1–3, но всегда выдавали правильный результат в исследовании № 4 (размытие изображений).

8. Корректность оценки сильно зависит не только от меры или типа теста, но и от тестируемого изображения.

9. Лучшую корреляцию с визуальными оценками качества показали меры LOEN и LOCC (выделены жирным в таблице).

5. Выбор наиболее качественного из последовательности изображений одной сцены

Значительная часть получаемых изображений представляет собой серию. Это относится к камерам наблюдения, системам автоматической регистрации и сериям фотографий. Часто в таких случаях нам не требуется хранить все



Рис. 17. Четыре образца изображений из серии I



Рис. 18. Четыре образца изображений из серии II

полученные изображения: достаточно лишь выбрать одно из нескольких, сделанных за короткое время. Благодаря этому для хранения получаемых изображений требуется меньше памяти.

Логичным выглядит выбор изображения, которое было бы наилучшим по качеству из полученных. Заметим, что в данной ситуации использовать субъективные (человеческие) оценки не представляется возможным: так, в камерах наблюдения используется частота

в 10–30 кадров в секунду. Поэтому закономерно использовать компьютерные алгоритмы оценки качества. Главными требованиями в таком случае будут высокая скорость работы и согласованность с субъективными оценками качества.

В данном разделе описаны эксперименты, использующие описанный выше подход с распределением Вейбулла. Эксперименты проводятся на трёх сериях изображений (I, II, III), по 15 в каждой (см. примеры на рис. 17–19).



Рис. 19. Четыре образца изображений из серии III

Эти изображения не являются кадрами из последовательности видео, однако сделаны с малыми временными интервалами; на них присутствуют одни и те же объекты. В то же время от изображения к изображению в пределах одной серии наблюдаются перепады резкости, освещённости, фокусировки и т. д. и, как следствие, изменения качества изображения. Кроме того, ракурсы, с которых сделаны фотографии, слегка различаются. По этой причине данные последовательности представляют больший интерес, чем, к примеру, кадры видеонаблюдения. Так, в видеокдрах качество и другие характеристики изображений мало отличаются от кадра к кадру.

Оценим визуально качество этих изображений. В первой серии лучшими являются изображения 1, 6, 7, 8, 9, 15. Из них 7 и 15 субъективно хуже по качеству, чем остальные. Во второй серии – это изображения 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 15. Из них субъективно худшего качества изображения 5, 8, 9, 10, 15. В третьей серии – это изображения 1, 2, 8, 9, 10, 11, 12, 15. Из них субъективно худшие – 8, 9, 11, 12, 15.

В результате проведённых экспериментов было показано преимущество параметра масштаба кривой Вейбулла перед параметром формы (табл. 3). В таблице записаны номера лучших изображений из I, II и III серий согласно максимальным значениям параметров масшта-

ба и формы для мер, описанных в разделе 1. Результаты указаны для параметра масштаба a , затем для параметра формы b . В последних столбцах для каждой серии приведён лучший параметр. Знак $\sim$ означает, что качество изображений примерно одинаковое.

Таблица 3. Выбор лучшего из серии изображений

Название меры	Лучший снимок согласно параметру a			Лучший снимок согласно параметру b			Лучший параметр		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
LAPE	6	10	2	12	15	4	a	a	$\sim$
HELM	7	5	9	12	14	8	a	a	$\sim$
GRAE	6	10	10	15	15	15	a	a	a
GDER	8	2	12	12	10	12	a	a	$=$
BREN	9	3	1	12	15	15	a	a	a
LAPL	6	10	2	12	15	15	a	a	a
SVD	6	8	1	6	8	1	$=$	$=$	$=$
LOEN	6	4	10	6	4, 10	4	$=$	$=$	$\sim$
LOCC	15	15	15	12	14	8	b	b	b
GRAT	6	10	11	15	15	15	a	a	a
LAPM	9	9	2	12	15	15	a	a	a
SFIL	8	4	12	12	10	12	a	a	$=$
TENG	9	4	10	12	10	12	a	a	a
WAVS	6	10	2	12	10	4	a	$=$	$\sim$
GLVM	6	3	10	12	10	12	a	a	a
FFT	6	2	10	6	2	10	$=$	$=$	$=$

На рис. 20 показаны лучшие изображения из серии III, отобранные мерой LAPL согласно максимуму параметра формы (слева) и параметра масштаба (справа). Субъективно правое



Рис. 20. Лучшие изображения для меры LAPL при параметре формы (слева) и параметре масштаба (справа)

изображение является более качественным, чем левое. Табл. 3 подтверждает превосходство параметра масштаба как оценки качества для большинства сравниваемых изображений. Оказалось, что для всех исследованных мер (кроме LOCC) параметр масштаба лучше, чем параметр формы определяет наиболее качественное изображение. Из рассмотренных мер чаще всего неудовлетворительные результаты давали CURV, GRAT, HELM, LOCC. Меры, на которых изображение плохого качества ни разу не было названо лучшим: BREN, FFT, GLVM, LAPM, LOEN, SFIL, SVD, TENG. Эти меры и предлагается использовать для вычисления локальных оценок качества, гистограммы которых далее аппроксимируются распределением Вейбулла. Лучшим изображением будет то, для которого при аппроксимации гистограммы локальных оценок качества распределением Вейбулла параметр масштаба достигает максимума.

Заключение

Результаты исследований, описанные в разделе 3 данной статьи, продемонстрировали хорошую аппроксимацию кривой Вейбулла гистограммы локальных оценок, вычисленных разными мерами качества. Для глобальной оценки качества изображений применялся параметр формы и параметр масштаба этой кри-

вой, во многих случаях результаты коррелировали с визуальными оценками качества. В то же время существующие функции оценки качества изображений не обеспечивают должного уровня комплексности оценивания или ориентированы на конкретные типы искажений.

Из экспериментов в разделе 5 следует, что при использовании предлагаемого подхода к оценке качества на последовательности изображений, сделанных за короткий промежуток времени, параметр масштаба лучше соотносится с субъективным качеством изображения, чем параметр формы этого распределения.

Итак, ни одна из использованных мер не является универсальной для поставленной цели, т. е. способной в полном соответствии с визуальными оценками идеально для разных типов искажений и на любых изображениях оценить качество последних. Поэтому перспективным направлением исследования представляется комбинация нескольких лучших мер. Такой подход является задачей многопараметрической оптимизации, которую можно решить, например, с использованием искусственных нейронных сетей и других алгоритмов машинного обучения.

Таким образом, все исследованные меры относятся к классу контекстно-независимых и не могут полностью совпадать с визуальной оценкой качества изображений. Следует разра-

батывать меры качества, учитывающие контекст содержания и формирующие оценки, отличные от средней величины множества локальных оценок.

Работа частично выполнена в рамках проекта БРФФИ Ф18МС-028.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старовойтов, В. В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений.— Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1997. Starovoitov, V. V. Lokal'nye geometricheskie metody cifrovoj obrabotki i analiza izobrazhenij.— Minsk: In-t tehn. kibernetiki NAN Belarusi, 1997.
2. Caviedes, J. et al. Impairment metrics for digital video and their role in objective quality assessment // Visual Communications and Image Processing, Perth, Australia, 30 May 2000. — P. 791–800.
3. Lin, W., Kuo, C. C. J. Perceptual visual quality metrics: A survey // Journal of Visual Communication and Image Representation, 2011. — V. 22. — №. 4. — P. 297–312.
4. Mittal, A., Moorthy, A. K., Bovik, A. C. No-reference image quality assessment in the spatial domain // IEEE Transactions on Image Processing. — 2012. — V. 21. — №. 12. — P. 4695–4708.
5. Chandler, D. M. Seven challenges in image quality assessment: past, present, and future research // ISRN Signal Processing. — 2013. — V. 2013, 53p.
6. Manap, R. A. Shao L. Non-distortion-specific no-reference image quality assessment: A survey // Information Sciences, 2015. — V. 301. — P. 141–160.
7. Старовойтов В. В., Старовойтов Ф. В. Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений // Системный анализ и прикладная информатика, 2017. — № 1. — С. 24–32.
8. Pertuz S., Puig D., Garcia M. A. Analysis of focus measure operators for shape-from-focus // Pattern Recognition, 2013. — V. 46. — № 5. — P. 1415–1432.
9. Старовойтов В. В. Сингулярное разложение матриц в анализе цифровых изображений // Информатика. 2017. № 2. С. 77–90.
10. Geusebroek J. M. The stochastic structure of images // Int. Conference on Scale-Space Theories in Computer Vision. — Springer Berlin Heidelberg, 2005. — С. 327–338.
11. Geusebroek J. M., Smeulders A. W. M. A six-stimulus theory for stochastic texture // International Journal of Computer Vision. — 2005. — Т. 62. — №. 1–2. — С. 7–16.
12. Scholte S. H., et al. Brain responses strongly correlate with Weibull image statistics when processing natural images // Journal of Vision, 2009. — V. 9. — № 4. — P. 29–44.
13. Xue W., Mou X. Reduced reference image quality assessment based on Weibull statistics // 2010 Second International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), Trondheim, 2010, pp. 1–6.
14. Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных: ГОСТ Р 50779.27–2017. — Введ. 10.08.17. — Москва: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2017. — 62 с.
15. Lyon A. Why are Normal Distributions Normal? // The British Journal for the Philosophy of Science, 2014 — Т. 65. — Вып. 3. — С. 621–649.
16. База стандартных тестовых изображений: Signal and Image Processing Institute,
17. University of Southern California, CA. Режим доступа: [http:// sipi.usc.edu/database/database.php? volume=misc, 44 images, tiff](http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc,44images,tiff). Дата доступа: 10.02.2017.
18. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. — Москва: Техносфера, 2012. — 1104 с.

Поступила
11.07.2018

После доработки
16.08.2018

Принята к печати
31.08.2018

Starovoitov F. V., Starovoitov V. V.

PARAMETERS OF THE CURVE OF LOCAL ESTIMATE DISTRIBUTION AS IMAGE QUALITY MEASURES

This article focuses on selecting the best quality image from the series without the reference image. The results of studies of a new approach to digital image quality assessment, based on the local quality estimates distribution, are presented. One of the parameters of such a distribution is proposed to be used as a measure of image quality. 16 quality measures of the images described in the scientific literature have been selected. It is shown that the scale parameter of the Weibull distribution is a more accurate global quality measure for the set of local estimates than the mean value. A number of experiments have been carried out to confirm the correctness of such an estimate and its correlation with visual estimates of image quality. Such estimates are very important for a) quality assessment of automatically generated photographs, b) selection of parameters for enhancement-oriented image transformations, such as brightness changes, compression of the dynamic range of brightness, conversion to the grayscale representation, and others.

Keywords. Image quality assessment, no-reference measure, gamma correction, linear change of brightness, contrast, focal length, blur, Weibull distribution.



Старовойтов Фёдор Валерьевич, магистр техники и технологии. В июне 2018 года защитил магистерскую диссертацию по теме «Автоматическая оценка качества цифровых изображений на этапе их регистрации» в МИДО БНТУ.



Старовойтов Валерий Васильевич, доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси. Лауреат премии Ленинского комсомола БССР и Государственной премии Республики Беларусь. С 2000 г. преподаёт по совместительству в разных университетах курсы, связанные с обработкой и анализом цифровых изображений. Сфера научных интересов: обработка и анализ цифровых изображений, полученных в разных участках электромагнитного спектра. Опубликовал более 150 работ в научных журналах и трудах конференций, 3 монографии. Индекс Хирша по данным scholar.google.com равен 13. Подготовил 6 кандидатов наук.

УДК 533.69

А. Д. ЧОРНЫЙ, А. Н. ЧИЧКО, Ю. В. ЖУКОВА, И. Г. КУХАРЧУК,
А. Ф. МЕЛЕЦ, В. А. МАЛКИН

ВЕРИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОХООБТЕКАЕМЫХ ТЕЛ, ДВИЖУЩИХСЯ В ВОЗДУХЕ ПРИ БОЛЬШИХ ЧИСЛАХ МАХА

Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси
РПУП «Завод точной электромеханики»

Представлены результаты верификации численной модели, используемой при моделировании движущихся в воздухе плохообтекаемых тел (конус с различными углами при вершине и составного тела «конус-цилиндр»), для расчета аэродинамических характеристик при различных числах Маха $1.5 < M < 5$ и нулевом угле атаки. Показано удовлетворительное согласование результатов численного моделирования и данных физического эксперимента.

Ключевые слова. Аэродинамика, плохообтекаемые тела, компьютерное моделирование.

Введение

Для проектирования летательных аппаратов различного назначения широкое распространение получили численные методы компьютерного моделирования аэродинамических процессов. Как показывает опыт ведущих аэродинамических лабораторий и конструкторских бюро, численные методы моделирования аэродинамических процессов позволяют существенно сократить материальные затраты на проектирование летательных объектов за счет снижения объема лабораторных и натурных экспериментов.

При использовании численных методов для летательного объекта важнейшим является вопрос об адекватности физико-математических моделей, используемых в программном обеспечении. Особенно актуальны эти задачи при расчетах движения сверхзвуковых летательных аппаратов в условиях турбулентности.

Цель и задачи

Целью настоящей работы является верификация результатов численного моделирования полей скоростей, давлений и температур системы «движущийся объект – воздушная

среда», на основе сравнительного анализа аэродинамических характеристик плохообтекаемого тела, обтекаемого сверхзвуковым потоком с известными экспериментальными и расчетными данными.

Для численного моделирования был использован подход, заключающийся в решении стационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, (уравнений Рейнольдса) – метод RANS [1], уравнения неразрывности и уравнения энергии.

Уравнения Рейнольдса являются незамкнутыми, то есть необходимо каким-то образом определить рейнольдсовы напряжения. Для этих целей в настоящем исследовании была использована двухпараметрическая модель турбулентности – модель переноса сдвиговых напряжений Ментера в стандартной формулировке [1]. Как показывает наш опыт моделирования турбулентных течений (дозвуковых и сверхзвуковых), модель сформулирована и реализована таким образом, что позволяет учитывать как процессы, происходящие в пограничных слоях около стенок, так и особенности развития свободных течений. В данном случае как раз и реализуется подобная ситуация – суще-

ствует пристеночное течение у поверхности обтекаемого тела с формированием относительно большой следовой области за ним.

Для численного решения вышеуказанных уравнений использовался газодинамический решатель Fluent 18.2 из пакета прикладных программ ANSYS. С помощью Fluent 18.2 было проведено численное моделирование обтекания плохообтекаемых тел сверхзвуковым потоком вязких газов с учетом влияния турбулентности на основе метода конечных объемов и с привлечением решателей на основе расчета давления или плотности. Был использован решатель на основе расчета плотности, как специально разработанный для задач сверхзвуковой газовой динамики.

Задача расчета аэродинамических коэффициентов плохообтекаемых тел связана с численным трехмерным моделированием распределения скорости (v_{ijkl}), плотности (ρ_{ijkl}), температуры (T_{ijkl}) и давления (R_{ijkl}) для системы «движущийся объект – воздушная среда» во времени. С этой целью рассматривалась модель обтекания тел различной геометрической формы сверхзвуковым установившемся потоком сжимаемого газа – воздуха (число Маха $1,5 < M < 5$).

По значениям v_{ijkl} , ρ_{ijkl} , T_{ijkl} , R_{ijkl} , вычисленных RANS-методом, рассчитывались функции сил и моментов, с помощью которых вычислялись аэродинамические коэффициенты.

Число Рейнольдса, построенное по хорде, скорости набегающего потока и коэффициенту кинематической вязкости воздуха, взятой при температуре окружающей среды, составляло порядка 10^7 . Этот факт означает, что набегающий поток являлся турбулентным.

Граничные условия ставились следующим образом. На входе в расчетную область устанавливались число Маха, статическое давление и статическая температура (параметры окружающей среды). Интенсивность турбулентности задавалась 1%, гидравлический диаметр соответствовал хорде изучаемого тела. На выходной границе расчетной области задавалось статическое давление (давление окружающей среды) и для сходимости итерационного процесса задавалась полная температура возвратного течения, которая равна температуре торможения, рассчитанной по газодинамическим функциям при заданных условиях окружающей среды

и числе Маха. На стенках тела, контактирующих с окружающей средой, ставились условие прилипания (равенство нулю скоростей) и условие теплоизоляции (тепловой поток равен нулю – сопряженная задача распространения тепла по материалу стенок не решалась). На боковой поверхности расчетной области ставились условия симметрии для всех параметров.

Теплофизические характеристики окружающей среды задавались: для плотности – зависящими от давления и температуры, с помощью уравнения состояния совершенного газа; для вязкости в зависимости от температуры, с помощью закона Сазерленда.

Объект исследования

В качестве объектов исследования рассматривались плохообтекаемые тела – конус с различными углами при вершине ($\theta = 10^\circ$ и $\theta = 15^\circ$) и составное тело «конус–цилиндр».

Первым тестовым телом для расчета аэродинамических характеристик являлся конус с полууглом 10° и 15° при вершине (рис. 1, а). Численное моделирование проведено для числа Маха M от 1,5 до 5. Для окружающей среды применялись нормальные условия по температуре и давлению ($P_\infty = 1$ атм., $T_\infty = 293$ К), поскольку доступные экспериментальные данные, используемые для сравнительного анализа, получены при баллистических опытах или в аэродинамических трубах при реализации близких условий.

В качестве второго тестового тела было выбрано составное тело «конус–цилиндр» (рис. 1, б). Угол при вершине конуса составлял $\theta = 11^\circ$, длина цилиндра – $L_{cyl} = 7d$, где d – диаметр цилиндра.

Для оценки адекватности численных моделей турбулентности использованы экспериментальные и аналитические данные различных исследователей, которые были получены за последние 70 лет [2–10]. Эти данные использованы нами, так как они продолжают являться научной базой для совершенствования аэродинамических методов и проверки моделей, предлагаемых для расчета летательных объектов.

Аэродинамические характеристики конуса

На рис. 2, 3 представлена визуализация течения воздуха около острого конуса с параметрами $\theta = 10^\circ$ и длиной $L = 1$ м при $M = 1,5$

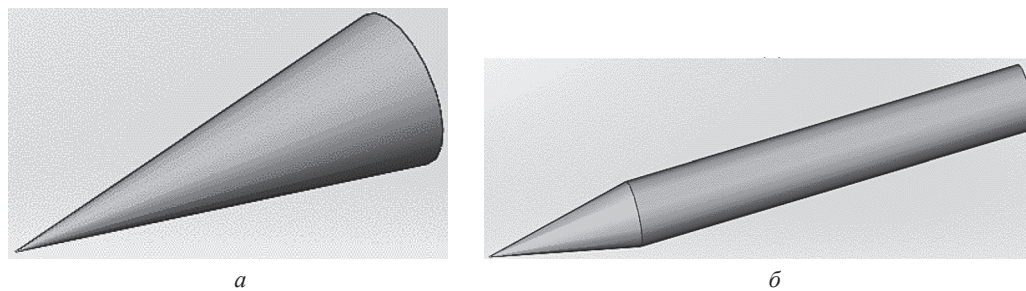


Рис. 1. Конус (а), составное тело «конус – цилиндр» (б)

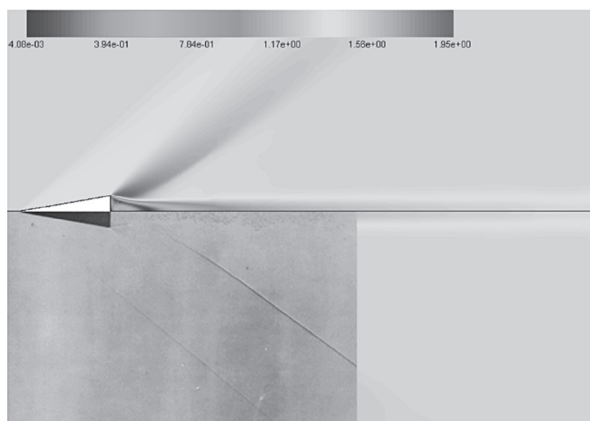


Рис. 2. Структура течения вблизи острого конуса с $\theta = 10^\circ$ при $M = 1.5$ (теневая фотография – эксперимент [2], цветовая шкала – локальное распределение числа Маха, полученное в численном моделировании)

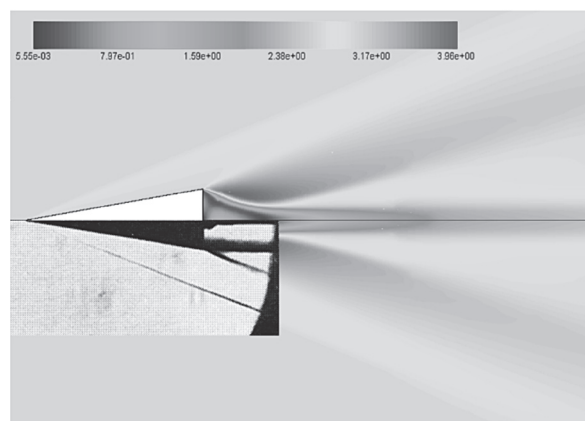


Рис. 3. Структура течения вблизи острого конуса с $\theta = 10^\circ$ при $M = 3$ (теневая фотография – эксперимент [3], цветовая шкала – локальное распределение числа Маха, полученное в численном моделировании)

и $M = 3$. Как видно, результаты численного моделирования (в цветовой шкале приведено распределение локального числа Маха) достаточно хорошо отражают экспериментальные теневые фотографии визуализации течения [2, 3] около конуса с согласованием границ газодинамических особенностей воздушного потока.

На приведенных распределениях хорошо заметны скачки уплотнения, волны разрежения и вихревой след в донной области. Расчетное положение головного скачка уплотнения и зоны разрежения на донном срезе совпадает с экспериментальными результатами [2, 3].

Изображение поля течения около конуса включает область за кормовой частью объекта, за которой наблюдается зона пониженного давления и вихревой след позади конуса. Вихревой след, формирующий за объектом область относительно слабо движущегося воздуха в виде усеченного конуса, имеет четко выраженные границы. За этой областью форма следа изменяется, он становится цилиндрическим. От конической части следа отходит ударная волна практически с коническим фронтом. Приведенные результаты расчета поля течения воздуха в обла-

сти кормовой части конуса хорошо согласуются с картиной визуализации, полученной экспериментально. Форма застойной области с образованием возвратно-циркуляционной зоны, области присоединения и вихревого следа, полученные в численном моделировании, практически совпадают с экспериментальными данными.

На рис. 4 приведено сравнение коэффициента продольной силы C_{xb} , действующей на объект без учета донного сопротивления, с экспе-

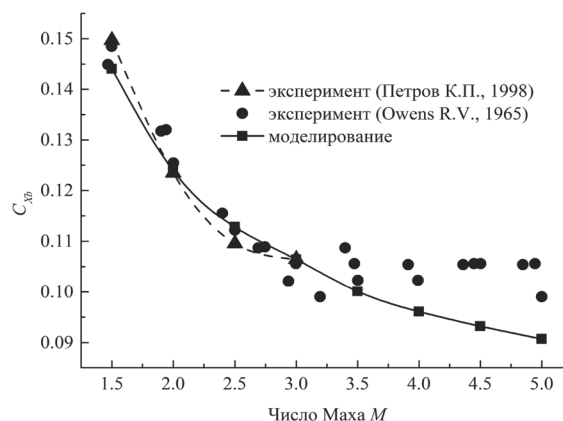


Рис. 4. Коэффициент C_{xb} в зависимости от M : сравнение результатов численного моделирования с экспериментом [3] и [4]

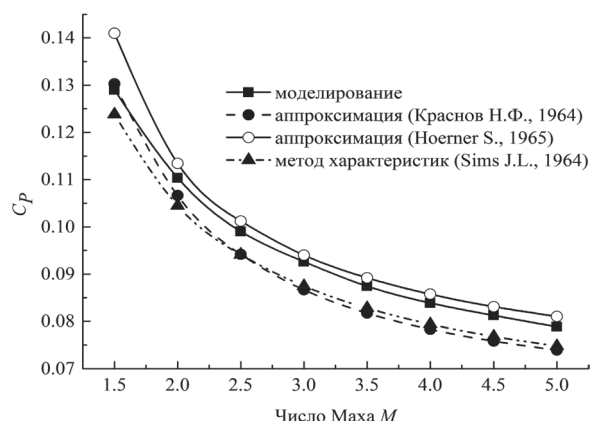


Рис. 5. Коэффициент C_p в зависимости от M : сравнение результатов численного моделирования с данными, полученными по методу характеристик [5], с аналитическими аппроксимациями [6, 7]

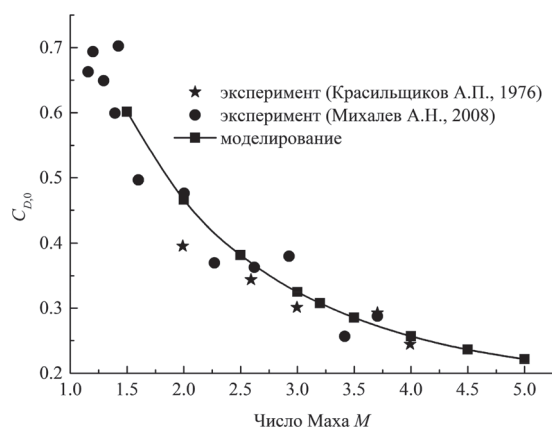


Рис. 7. Коэффициент сопротивления $C_{D,0}$ в зависимости от числа Маха M : сравнение результатов численного моделирования с экспериментом [9, 10]

риментальными данными работы [3, 4] в зависимости от числа Маха M .

Рис. 5 иллюстрирует сопоставление коэффициента волнового сопротивления C_p , полученного в численном моделировании, с результатами [5], полученными методом характеристик, и с аналитическими зависимостями [6] и [7], полученными через обобщение экспериментальных данных.

Как видно из рис. 4 и 5, приведенные результаты расчета коэффициентов сопротивления достаточно хорошо согласуются с экспериментальными и аналитическими данными в рассматриваемом диапазоне числа Маха. Подобные по точности результаты получены при численном моделировании обтекания конуса с полууглом $\theta = 15^\circ$. Сравнение теневой фотографии [8] и визуализации изображения течения при числе Маха $M = 3,2$ указывает на доста-

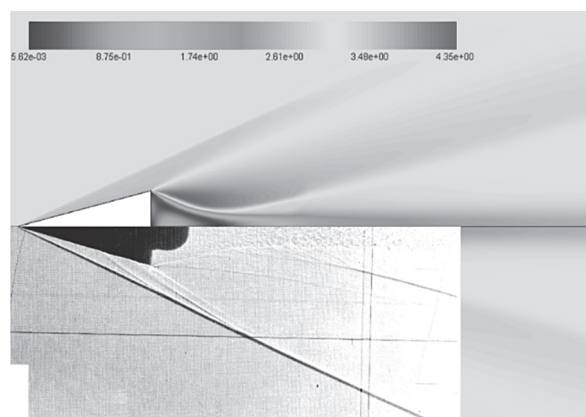


Рис. 6. Структура течения воздуха вблизи острого конуса с $\theta = 15^\circ$ при $M = 3,2$ (теневая фотография – эксперимент [8], цветовая шкала – локальное распределение числа Маха, полученное в численном моделировании)

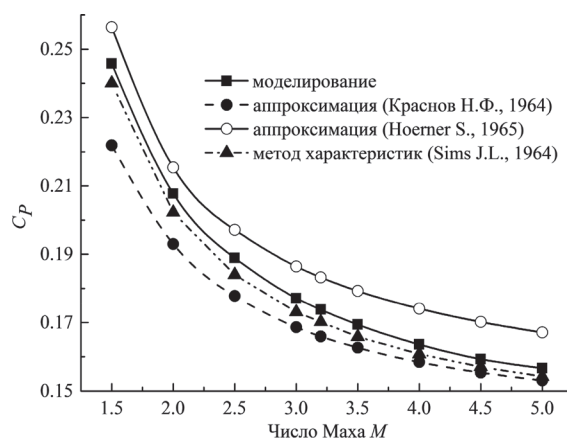


Рис. 8. Коэффициент C_p в зависимости от M : сравнение результатов численного моделирования с данными, полученными по методу характеристик [5], с аналитическими аппроксимациями [6, 7]

точно хорошее подобие полученных распределений (рис. 6). Этот факт отражается и в рассчитанных коэффициентах полного и волнового сопротивления (рис. 7, 8).

Аэродинамические характеристики составного тела «конус–цилиндр»

Приведенные результаты расчета коэффициентов сопротивления объекта «конус–цилиндр», полученные в численном моделировании, достаточно хорошо согласуются с доступными экспериментальными данными в исследуемом диапазоне числа Маха как для всего тела, так и его составных частей (рис. 9–10).

Заключение

Проведен численный расчет аэродинамических коэффициентов сопротивления тестовых тел («конус», «конус–цилиндр») с помощью

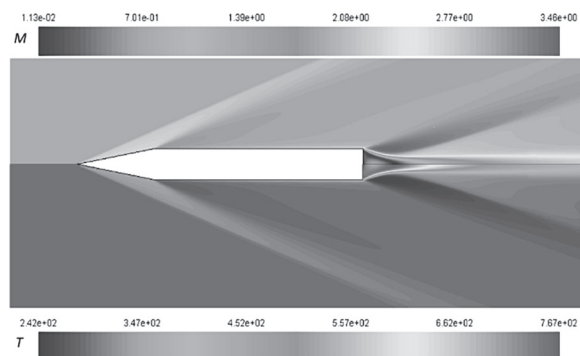


Рис. 9. Результат моделирования течения воздуха вблизи составного тела «конус–цилиндр» при $M = 3$: сверху – распределение локального числа Маха, снизу – статическая температура

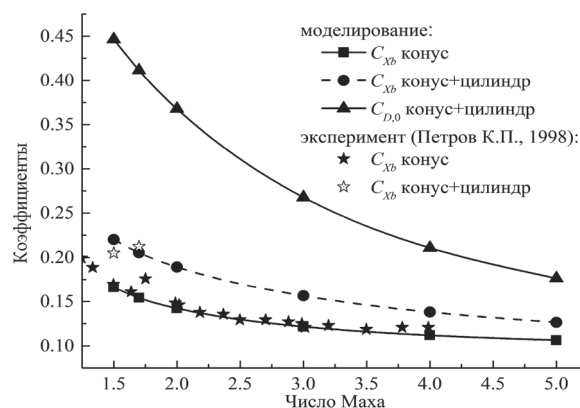


Рис. 10. Коэффициенты сопротивления составного тела «конус–цилиндр» в зависимости от M : сравнение моделирования с экспериментом [4]

к- ω SST модели Ментера, реализованной в программе ANSYS Fluent 18.2.

При нулевом угле атаки в диапазоне чисел Маха $1,5 < M < 5$ как на качественном (рис. 2, 3, 6, 9), так и на количественном уровне (рис. 4,

5, 7, 8, 10) получено удовлетворительное согласование экспериментальных (аналитических) данных работ [2–10] и расчетных данных, полученных авторами с помощью к- ω SST модели Ментера и ANSYS Fluent 18.2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilcox D. C. Turbulence modeling for CFD. La Canada, California: DCW Industries Inc, 1998. – 537 p.
2. Мельников А. П. Аэродинамика больших скоростей / А. П. Мельников. – М.: Воениздат, 1961. – 424 с.
3. Owens R. V. Aerodynamic characteristics of spherically blunted cones at Mach number from 0.5 to 5.0. – Washington: NASA TN D-3088, 1965.
4. Петров К. П. Аэродинамика тел простейших форм. – М.: Факториал, 1998. – 432 с.
5. Sims J. L. Tables for supersonic flow around right circular cones at zero angle of attack, NASA SP-3004. – Washington: Office of Scientific and Technical Information, NASA, 1964. – 421 p.
6. Краснов Н. Ф. Аэродинамика тел вращения. – М.: Машиностроение, 1964. – 573 с.
7. Hoerner S. Fluid-dynamic drag, published by the author, 1965. – 455 p.
8. Альбом сверхзвуковых течений / Под ред. П. И. Ковалев, Н. П. Менде. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2011. – 251 с.
9. Красильщиков А. П., Носов В. В. О некоторых особенностях аэродинамических характеристик конусов в вязком гиперзвуковом потоке // Аэромеханика. – М.: Наука, 1976. – Р. 199–207.
10. Михалев А. Н. Аэродинамические характеристики и параметры донной области конуса при транзвуковых скоростях // Теплофизика и аэромеханика, 2008, том 15, № 3, с. 471–479.

REFERENCES

1. Wilcox D. C. Turbulence modeling for CFD. La Canada, California: DCW Industries Inc, 1998. – 537 p.
2. Melnikov A. P. Aerodynamics of high speeds / A. P. Melnikov. – M.: Military Publishing House, 1961. – 424 p.
3. Owens R. V. Aerodynamic characteristics of spherically blunted cones at Mach number from 0.5 to 5.0. – Washington: NASA TN D-3088, 1965.
4. Petrov K. P. Aerodynamics of simplest form bodies. – M.: Factorial, 1998. – 432 p.
5. Sims J. L. Tables for supersonic flow around right circular cones at zero angle of attack, NASA SP-3004. – Washington: Office of Scientific and Technical Information, NASA, 1964. – 421 p.
6. Krasnov N. F. Aerodynamics of rotation bodies. – M.: Publishing House of Mechanical Engineering, 1964. – 573 p.
7. Hoerner S. Fluid-dynamic drag, published by the author, 1965. – 455 p.
8. Album of supersonic flows / Ed. by P. I. Kovalev, N. P. Mende. – Saint-Petersburg: Polytechnic University Press, 2011. – 251 p.
9. Krasilshchikov A. P., Nosov V. V. Some features of aerodynamic characteristics of cones in the viscous hypersonic flow // Aeromechanics. – M.: Science, 1976. – P. 199–207.
10. Mikhalev A. N. Aerodynamic characteristics of the cone bottom region at transonic velocity // Thermophysics and Aeromechanics, 2008, Vol. 15, No. 3, pp. 471–479.

Поступила
06.04.2018

После доработки
16.08.2018

Принята к печати
31.08.2018

*A. D. CHORNY, A. N. CHICHKO, Yu. V. ZHUKOVA, I. G. KUKHARCHUK, A. F. MELETS,
V. A. MALKIN*

**VERIFICATION OF THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODEL
FOR CALCULATION OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS
OF BLUFF BODIES MOVING IN AIR AT LARGE MACH NUMBERS**

The verification results of the computer simulation model for calculation of aerodynamic characteristics of bluff bodies (cone with different apex angles and a «cone–cylinder» body) moving in air at different Mach number and zero angle of attack are presented. It is shown that numerical simulation results fairly agree with physical experiment data.

Keywords. *Aerodynamics, bluff bodies, computer simulation.*

УДК 621.391.25

О. Г. ШЕВЧУК, В. Ю. ЦВЕТКОВ

ВЫДЕЛЕНИЕ ПРЯМЫХ КОНТУРНЫХ ЛИНИЙ НА АЭРОИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕВКЛИДОВА ФОРМ-ФАКТОРА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Разработан алгоритм выделения прямых контурных линий на основе евклидова форм-фактора. Сущность алгоритма заключается в детектировании прямых контурных линий в результате сравнения с единицей значения евклидова форм-фактора, учитывающего сумму евклидовых расстояний между смежными пикселями, образующими контурную линию, при расчете ее длины. Показано, что разработанный алгоритм позволяет повысить стабильность выделения линий и быстродействие по сравнению с алгоритмом Хафа.

Введение

Актуальной задачей обработки аэроизображений является выделение прямых линий для последующего поиска объектов. Для детектирования линий и их отрезков на аэроизображениях широко используются алгоритмы, основанные на преобразовании Хафа [1] и вычислении градиента (алгоритм LSD – Line Segment Detection) [2]. Недостатками алгоритма Хафа являются высокая вычислительная сложность и обнаружение ложных линий в местах высокой плотности пикселей, недостатком алгоритма LSD – разбиение плавной линии (линии с небольшой кривизной) на большое число изолированных фрагментов, что затрудняет параметризацию и поиск объектов. Устранить данные недостатки позволяет использование форм-фактора для поиска прямых контурных линий. Алгоритм выделения прямых линий на основе форм-фактора (FFLD – Form Factor Line Detection) [3] позволяет выделять изолированные контурные линии, не имеющие пересечений. При этом форм-фактор определяется как отношение размера контурной линии, вычисляемого по известным координатам ее конечных точек, к длине контурной линии, определяемой суммой образующих ее контурных точек:

$$f_2 = r_2 / s_2, \quad (1)$$

где $r_2 = \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2}$ – размер контурной линии; $s_2 = \sum_{k=1}^K t(k)$ – длина контурной линии; $(y_1, x_1), (y_2, x_2)$ – координаты конечных точек контурной линии; $t(k) = \{1; 1, 2; 1, 5\}$ – коэффициент кривизны, зависящий от маски к которой принадлежит пиксел (рис. 1); K – количество пикселей в контурной линии.

Алгоритм обеспечивает уменьшение вычислительной сложности выделения прямых контурных линий за счет обработки относительно небольшого числа контурных пикселей с сохранением первоначальной формы контура. Недостатком алгоритма FFLD является пропуск некоторых линий при условии наличия у нее скопления более 3 пикселей в окрестности Мура, что приводит к потере устойчивости детектирования при изменении условий видеорегистрации. Устранение данного недостатка возможно за счет вычисления длины контурной линии как суммы евклидовых расстояний между смежными пикселями, образующими данную линию.

Цель работы – разработка алгоритма поиска изолированных прямых контурных линий, обеспечивающего повышение устойчивости

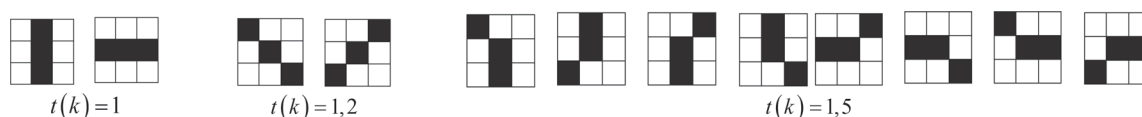


Рис. 1. Коэффициент кривизны и маски к которым он относится

детектирования за счет определения параметров линии на основе евклидовых расстояний.

Алгоритм детектирования прямых линий на основе евклидова форм-фактора

Для повышения устойчивости детектирования прямых контурных линий предлагается определять их параметры с помощью евклидова форм-фактора, вычисляемого с помощью выражения:

$$f_{2y} = r_2 / s_{2y}, \quad (2)$$

где

$$s_{2y} = \sum_{k=1}^{K-1} \sqrt{(y(k) - y(k+1))^2 + (x(k) - x(k+1))^2} -$$

евклидова длина контурной линии; $(y(k), x(k))$ – координаты k -ого пиксела контурной линии; K – количество пикселей в контурной линии.

Предлагается алгоритм поиска прямых контурных линий на основе евклидова форм-фактора (DLBEFF – Detection Of Lines Base On Euclidean Form Factor). Сущность алгоритма заключается в детектировании прямой контурной линии в результате сравнения с единицей значения евклидова форм-фактора, учитывающего сумму евклидовых расстояний между смежными пикселями, образующими контурную линию, при расчете ее длины, с предварительной нормализацией по толщине выделенных контуров изображения.

Исходными данными для алгоритма является полутоновое изображение

$$I = i(y, x)_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)},$$

где $i(y, x) = 0, 255$ – значение пиксела на изображении; $y = 0, Y-1$, $x = 0, X-1$ – координаты пиксела изображения; Y, X – размеры изображения по вертикали и горизонтали. Алгоритм DLBEFF из следующих шагов:

1. Высокочастотная фильтрация изображения. Осуществляется с использованием алгоритма Канни [4]. В результате формируется бинарная матрица $P = \|p(x, y)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ образов выделенных контуров, где $p(x, y) = \{0, 1\}$ – значение пиксела.

2. Сегментация контуров (разбиение на фрагменты). Сегментация матрицы P осуществляется алгоритмом выращивания областей [5]. В результате формируется матрица сегментации

$$I_S = \|i_S(y, x, n)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)},$$

где $n = [1, N_s]$, N_s – число выделенных контуров.

3. Нормализация контурных линий. Для уточнения линий используется алгоритм нормализации контурных линий по толщине на основе масочного анализа локальных ориентаций их фрагментов [6].

4. Выделение сегментированных контурных элементов с двумя концевыми точками, линий. Из множества $L_S = \{l_S(n)\}_{(n=1, N_s)}$ сегментированных контурных элементов, включающего замкнутые, пересекающиеся и разомкнутые контурные элементы, выделяется подмножество $L_2 = \{l_2(n)\}_{(n=1, N_2)}$ контурных линий, которые имеют две концевые точки, где N_2 – число сегментированных контурных линий с двумя концевыми точками.

5. Определение длин сегментированных контурных линий. Для каждой контурной линии $l_2(n) = \{X(n), Y(n)\}_{(n=1, N_2)}$, имеющей две концевые точки, определяется число $s_{2y}(n)$ образующих данную линию контурных пикселей $p(y, x)$ с помощью выражения

$$s_{2y}(n) = \sum_{i=0}^{K-2} \sqrt{(x(i) - x(i+1))^2 + (y(i) - y(i+1))^2},$$

6. Определение размеров сегментированных контурных линий. Для каждой контурной линии $l_2(n)$, имеющей две концевые точки, вычисляется расстояние $r_2(n)$ между концевыми точками (размер контурной линии) с помощью выражения

$$r_2(n) = \sqrt{(y_1(n) - y_2(n))^2 + (x_1(n) - x_2(n))^2},$$

где $(y_1(n), x_1(n)), (y_2(n), x_2(n))$ – координаты концевых точек контурной линии $l_2(n)$.

7. Вычисление форм-фактора линии. Для каждой контурной линии $l_2(n)$, имеющей две концевые точки, вычисляется значение форм-фактора $f_{2y}(n)$ линии с помощью выражения

$$f_{2y}(n) = r_2(n) / s_{2y}(n).$$

8. Анализ форм-фактора линии. Для каждой контурной линии $l_2(n)$, имеющей две концевые точки, значение ее форм-фактора $f_{2y}(n)$ сравнивается с единицей. Близость значения $f_{2y}(n)$ линии к единице оценивается в результате сопоставления заданного порога $T_c = 0,2$ [7], определяющего кривизну линии, с модулем разности, вычисляемым с помощью выражения $|1 - f_{2y}(n)|$. Контурная линия $l_2(n)$ является прямой, если выполняется следующее условие

$$|1 - f_{2_3}(n)| \leq T_c.$$

В результате работы алгоритма формируется множество $L_D = \{l_D(n)\}_{(n=1, N_D)}$ изолированных прямых контурных линий, где N_D – их количество.

Экспериментальные исследования

Разработанный алгоритм реализован на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV 3.0. Эксперимент проведен на ЭВМ со следующими техническими характеристиками: процессор Intel(R) Core(TM) i5–2320 CPU @ 3,0 ГГц; ОЗУ – 4 Гб; тип системы – 64-разрядная операционная система Windows 7. Для анализа алгоритмов DLBEFF и FFLD использовалось тестовое изображение размером 600×600 пикселей при изменении параметра $\mu = \|i, c, s, \alpha\|$ в графическом редакторе, где i – яркость, c – контраст, s – масштаб и α – поворот. Для анализа алгоритмов DLBEFF, LSD и Хафа использовались следующие изображения:

- с искусственно построенной линией, длиной 5, 11, 15, 25, 41, 65 и 101 пиксел с кривизной $kr = 0...3$ относительно идеальной прямой линии и повернутые в графическом редакторе на угол от 0 до 180 град относительно центра изображения;

- полученные с помощью видеокамеры и относящиеся к одному из типов, выделенных в соответствии с видом яркостной гистограммы [8] при изменении параметра μ в графическом редакторе.

В качестве критериев эффективности алгоритмов использованы стабильность результатов выделения прямых линий на изображении и среднее время работы алгоритмов.

Для оценки стабильности детектирования линий, их количество $K_i(\mu)$ на i -ом изображении при изменении одного из его параметров μ нормировалось относительно опорного изображения в соответствии с выражением:

$$S_i(\mu) = \frac{K_i(\mu)}{K_0},$$

где K_0 – количество выделенных линий на исходном изображении, $\mu = \|i, c, s, \alpha\|$, $i = [-50...50\%]$, $c = [-50...50\%]$, $s = [50...150\%]$, $\alpha = [-90...90^\circ]$ – для реальных изображений, $\alpha = [0...180^\circ]$ – для искусственной линии.

Значение характеристик $\Delta S(\mu) = S_{\max}(\mu) - S_{\min}(\mu)$ стабильности и среднее время обработ-

ки изображений для алгоритмов DLBEFF и FFLD приведены в табл. 1, из которой видно, что алгоритм DLBEFF стабильнее алгоритма FFLD в среднем на 8% при равном быстродействии.

Значение характеристики $\Delta S(\mu)$ стабильности выделения линий при повороте изображения с искусственно созданной линией для разработанного алгоритма и алгоритмов Хафа и LSD приведено в табл. 2, из которой видно, что предложенный алгоритм абсолютно стабилен к изменению угла поворота и незначительному изменению кривизны контурной линии. Средняя нормированная нестабильность выделения линий для алгоритма Хафа составляет 4,4, для алгоритма LSD – 0,5. Это связано с разбиением (алгоритм LSD) и множественным выделением (алгоритм Хафа) контурных линий при незначительной кривизне, что затрудняет дальнейшую их параметризацию.

Таблица 1. Характеристика $\Delta S(\mu)$ стабильности детектирования линий и среднее время работы для алгоритмов DLBEFF и FFLD

Алгоритм	Яркость	Контраст	Масштаб	Поворот	Время обработки, мс
DLBEFF	0,47	0,55	0,95	0,6	762
FFLD	0,51	0,6	1	0,65	770

Графики зависимости нормированного значения количества выделенных линий S_i от изменения параметра μ при использовании разработанного алгоритма и алгоритмов Хафа и LSD для реальных изображений представлены на рис. 2, значения $\Delta S(\mu)$ и время работы алгоритмов – в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что алгоритм DLBEFF в среднем стабильнее алгоритма Хафа в 1,8 раз при изменении яркости, в 6,3 раза при изменении контраста, в 2 раза при изменении масштаба и в 5,9 раз при повороте изображения. При этом разработанный алгоритм уступает в стабильности алгоритму LSD в 1,1 раз при изменении яркости, в 2,9 раз при изменении контраста и 1,9 раз при повороте изображения, однако в 1,13 раз стабильнее при изменении масштаба. Разработанный алгоритм DLBEFF в 3,8 раз превосходит в быстродействии алгоритм Хафа, однако уступает алгоритму LSD в 1,3 раза (табл. 3).

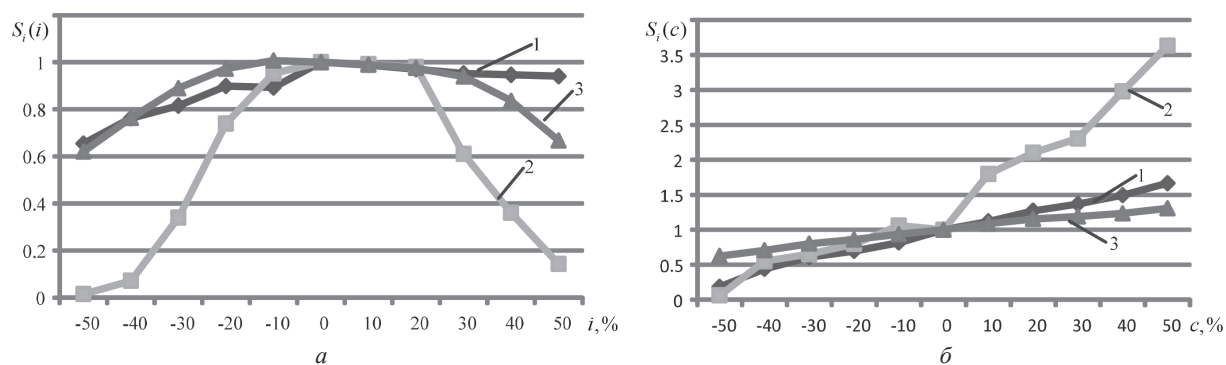


Рис. 2. Нормализованное значение $S_i(\mu)$ количества выделенных линий на изображении в зависимости от изменяемого его параметра для: а – 1-го типа изображений при изменении яркости; б – 2-го типа изображений при изменении контраста; 1 – алгоритм DLBEFF; 2 – алгоритм Хафа; 3 – алгоритм LSD

Т а б л и ц а 2. Характеристика $\Delta S(\mu)$ стабильности детектирования линий при повороте изображения с искусственно созданной линией

Длина линии, пиксел	5		11			15			
Кривизна, пиксел	0	1	0	1	2	0	1	2	3
Алгоритм DLBEFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Алгоритм Хафа	2	2	3	3	2	3	3	3	2
Алгоритм LSD	1	1	0	0	1	0	0	1	1
Длина линии, пиксел	25				41				
Кривизна, пиксел	0	1	2	3	0	1	2	3	
Алгоритм DLBEFF	0	0	0	0	0	0	0	0	
Алгоритм Хафа	4	4	3	3	6	6	4	4	
Алгоритм LSD	0	0	1	1	0	0	1	1	
Длина линии, пиксел	65				101				
Кривизна, пиксел	0	1	2	3	0	1	2	3	
Алгоритм DLBEFF	0	0	0	0	0	0	0	0	
Алгоритм Хафа	8	8	7	3	9	9	8	2	
Алгоритм LSD	0	0	1	1	0	0	1	1	

Т а б л и ц а 3. Характеристика $\Delta S(\mu)$ стабильности детектирования линий и среднее время работы для алгоритмов DLBEFF, LSD и Хафа

Алгоритм	Яркость	Контраст	Масштаб	Поворот	Время обработки, мс
DLBEFF	0,564	1,212	1,554	0,216	587,6
LSD	0,504	0,418	1,768	0,114	442,6
Хафа	1,04	7,664	3,066	1,274	2273,2

Заключение

Разработан алгоритм выделения прямых контурных линий на основе евклидова форм-фактора. Данный алгоритм отличается от известных детектированием прямых контурных линий в результате сравнения с единицей значения евклидова форм-фактора, учитывающего сумму евклидовых расстояний между смеж-

ными пикселями, образующими контурную линию, при расчете ее длины, с предварительной нормализацией по толщине выделенных контуров изображения. В отличие от алгоритмов Хафа и LSD предложенный алгоритм позволяет выделять контурные линии без фрагментации. Разработанный алгоритм обеспечивает повышение стабильности выделения линий: а) по сравнению с алгоритмом Хафа в 1,8 раз при изменении яркости, в 6,3 раза при изменении контраста, в 2 раза при изменении масштаба и в 5,9 раз при повороте изображения (при выигрыше в быстродействии в 3,8 раз); б) по сравнению с алгоритмом LSD в 1,13 раз при изменении масштаба (при проигрыше в быстродействии в 1,3 раза).

ЛИТЕРАТУРА

1. Duda, R. O. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures / R. O. Duda // Communication of the ACM. – 1972. – Vol. 15, № 1. – P. 229–246.

2. **LSD**: A Fast Line Segment Detector with a False Detection Control / R. Grompone von Gioi [et al.] // IEEE Transactions on Pattern. Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – Vol. 32, № 4. – P. 722–732.
3. **Бородин, О. Г.** Выделение изолированных прямых линий на изображениях с использованием форм-фактора / О. Г. Бородин, В. Ю. Цветков // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 1. – С. 41–45.
4. **Canny, J. A.** Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – Vol. 8, no. 6. – P. 679–698.
5. **Shih, F. Y.** Automatic seeded region growing for color image segmentation / F. Y. Shih, S. Cheng // Image and Vision Computing. Newark. – 2005. – № 23. – P. 877–886.
6. **Шевчук О. Г.** Нормализация контурных линий по толщине на основе масочного анализа локальных ориентаций их фрагментов / Шевчук О. Г., Цветков В. Ю. // Информатика. – 2016. – № 51. – С. 14–24.
7. **Шевчук О. Г.** Детектирование прямых линий на основе форм-фактора / Шевчук О. Г. // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. научно-технич. семинара, часть 2. Минск, апрель – декабрь 2016 г. / БГУИР. – Минск, 2016. – С. 61–67.
8. **Шевчук О. Г.** Детектирование прямых линий на изображении с использованием евклидова форм-фактора / Шевчук О. Г., Крамков Д. А. // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2017): доклады XVI Международной конференции. Минск, 16 ноября 2017 г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2016. – с. 167–173.

REFERENCES

1. **Duda, R. O.** Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures / R. O. Duda // Communication of the ACM. – 1972. – Vol. 15, № 1. – P. 229–246.
2. **LSD**: A Fast Line Segment Detector with a False Detection Control / R. Grompone von Gioi [et al.] // IEEE Transactions on Pattern. Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – Vol. 32, № 4. – P. 722–732.
3. **Borodina, O. G.** Isolation of isolated straight lines on images using a form factor / O. G. Borodin, V. Yu. Tsvetkov // Izv. ETU «LETI». – 2015. – No. 1. – P. 41–45.
4. **Canny, J. A.** Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – Vol. 8, no. 6. – P. 679–698.
5. **Shih, F. Y.** Automatic seeded region growing for color image segmentation / F. Y. Shih, S. Cheng // Image and Vision Computing. Newark. – 2005. – № 23. – P. 877–886.
6. **Shevchuk O. G.** Normalization of contour lines in thickness based on mask analysis of local orientations of their fragments / Shevchuk O. G., Tsviatkou V. Yu. // Informatics. – 2016. – № 51. – P. 14–24.
7. **Shevchuk O. G.** Detection of straight lines based on the form factor / Shevchuk O. G. // Telecommunications: networks and technologies, algebraic coding and data security: materials of the international. scientific and technical. seminar, part 2. Minsk, April – December 2016 / BSUIR. – Minsk, 2016. – P. 61–67.
8. **Shevchuk O. G.** Detection of straight lines in an image using the Euclidean form factor / Shevchuk O. G., Kramkov D. A. // Development of Informatization and the State System of Scientific and Technical Information (RINTI-2017): reports of the XVI International Conference. Minsk, 16 November 2017 – Minsk: OIPI NAS of Belarus, 2016. – P. 167–173.

Поступила
16.05.2018

После доработки
16.08.2018

Принята к печати
31.08.2018

A. G. SHAUCHUK, V. YU. TSVIATKOU

DETECTION OF DIRECT CONTROL LINES ON AEROVIEWS BASE ON EKKLIDOV FORM FACTOR

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, o.shevchuk@bsuir.by, vtsvet@bsuir.by

The algorithm of detection of direct contour lines base on euclidean form factor is presented. The essence of the algorithm is the detection of direct contour lines as a result of a comparison with unity of the value of the euclidean form factor, taking into account the sum of the euclidean distances between neighbors pixels forming the contour line, when its length is calculate. The developed algorithm makes it possible to increase the stability of the allocation of lines and the speed of response in comparison with the Hough algorithm is show.



Шевчук Оксана Геннадьевна Ассистент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР

Shevchuk Oksana Assistant of the Department of Infocommunication Technologies BSUIR

Email: o.shevchuk@bsuir.by



Цветков Виктор Юрьевич, д.т.н., доцент,

- заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий БГУИР,
- заведующий НИЛ 2.3 «Сетецентрические видеотехнологии и управление» НИЧ БГУИР

Tsviatkou Viktor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

- Head of the Department of Infocommunication Technologies BSUIR,
- Head of the NIL 2.3 «Network-centric video technologies and management» NIH BSUIR

Email: vtsvet@bsuir.by

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

INFORMATION SECURITY

УДК 004.72, 004.772

С. Н. ПЕТРОВ, Д. В. АХРАМЕНКО, С. М. ГОРОШКО, Т. А. ПУЛКО

РАЗГРАНИЧЕНИЕ ДОСТУПА В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗОВЫХ НАСТРОЕК СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Целью работы являлась разработка рекомендаций по защите локальной сети предприятия от несанкционированного доступа сотрудников (инсайдерских атак) на основе разграничения доступа, с использованием базовых настроек имеющегося оборудования. Предлагается использование профилей доступа на основе MAC-адресов (MAC-based Access Control). Рассмотрены проблемы защиты информации на физическом и канальном уровнях, а также наиболее распространенные типы атак. Дано описание, созданной для целей исследования, натурной модели локальной сети организации гостиничного бизнеса, включающей персональные компьютеры, модем ZTE ZXHN H208N с поддержкой функций WiFi-точки доступа и коммутатор DES-1210-52, который обеспечивал объединение указанных устройств в сеть.

Произведено контактное подключение к витой паре с использованием зажимов типа «крокодил» на линиях Tx и Rx. В качестве инструмента для тестирования на проникновение использовался ноутбук с дистрибутивом Kali Linux, утилита tcpdump, фреймворк bettercap, анализатор трафика Wireshark. Был рассмотрен вариант проведения сетевой атаки ARP-spoofing с базовыми настройками сетевого оборудования. Приведены результаты атаки и пассивного исследования модели сети. Рассмотрен вариант повторной атаки после активации и настройки функций привязки IP- и MAC-адресов (IP-MAC-Port Binding), а также аутентификации пользователей на основе стандарт IEEE 802.1X (MAC-Based 802.1X). Результаты доказали действенность выбранных мер защиты.

Ключевые слова. Информационная безопасность; тестирование на проникновение; анализ сетевого трафика; инсайдерские атаки; разграничение доступа, ARP-spoofing.

Введение

Согласно результатам исследования аналитического центра InfoWatch [1], в 2016 году центром было зарегистрировано 1556 случаев утечки конфиденциальной информации. В 61,8% случаях утечка информации произошла вследствие действий внутренних нарушителей, 33,9% из которых являлись действующими или бывшими (2,1%) сотрудниками организаций. На сетевой канал пришлось 69,5% зафиксированных утечек, причем подавляющее число случаев компрометации данных (более 90%) носило намеренный характер. Учитывая данные исследований компании InfoWatch, следует уделять внимание вопросам подбора новых сотрудников и контроля уже существующих, среди которых могут оказаться психологически слабые люди, таящие обиду на начальство. Так же стоит учитывать конкурентов, которые подкупают людей, в особенности системных

администраторов, для организации утечки информации.

Организации не всегда располагают денежными ресурсами на покупку лицензионного программного обеспечения, антивирусной защиты, межсетевых экранов актуального сетевого оборудования, не говоря о специализированных решениях наподобии систем управления учетными данными (IdM), систем предотвращения утечек конфиденциальной информации (DLP), систем анализ событий безопасности (SIEM) [2].

Целью работы являлось разработка рекомендаций по защите локальной сети предприятия с использованием базовых настроек имеющегося оборудования (без покупки специальных систем и средств) от несанкционированного доступа сотрудников (инсайдерских атак) на основе разграничения доступа. Разграничение прав доступа пользователей сети,

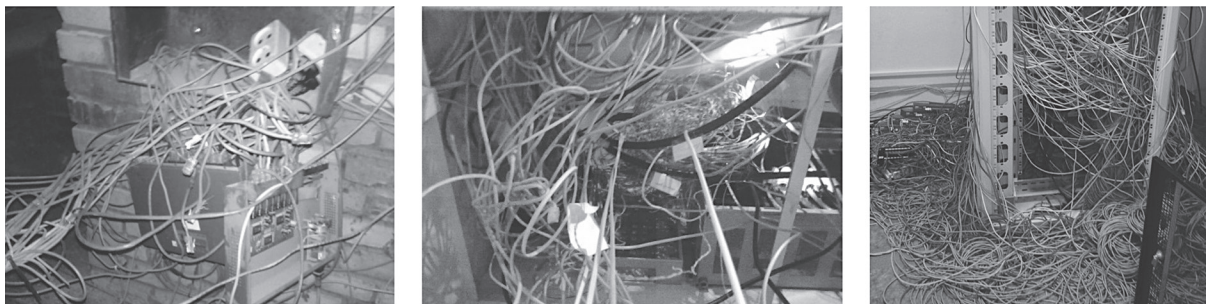


Рис. 1. Некорректно выполненный монтаж кабельной сети

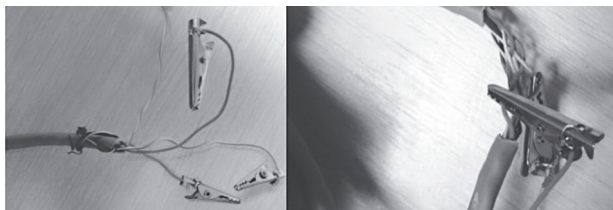


Рис. 2. Контактное подключение к витой паре

это настройки, связанные с сегментированием ЛВС-структуры на отдельные части и определение правил взаимодействия этих частей друг с другом. Предлагается использование профилей доступа на основе MAC-адресов (MAC-based Access Control).

Проблемы защиты информации на канальном уровне

Структурированная кабельная система предприятия охватывает все пространство здания, соединяет все средства передачи информации, такие как компьютеры, рабочие станции, сетевое оборудование, сервера, а так же включает в себя датчики пожарной и охранной сигнализации, видеокamеры системы видеонаблюдения, считыватели и контроллеры контроля доступа, телефонию. Все коммутационные узлы специальными магистралями объединяются в коммутационном центре здания. Сюда же подводятся внешние кабельные магистрали для подключения здания к глобальным информационным ресурсам, таким как телефония, интернет и т. п. [3].

В нормативной базе Республики Беларусь четко определены нормы и требования по монтажу систем безопасности, однако требования по монтажу локальных сетей проработаны менее детально. Кабельные коммуникации не всегда прокладываются с учетом требований безопасности, при этом подключение к сетевым коммуникациям может быть получено с минимальными усилиями (рис. 1).

Объектом исследования является предприятие гостиничного бизнеса, а именно кабельная структурированная система предприятия, включающая системы видеонаблюдения и контроля доступа, а также локальную сеть. Информацией ограниченного доступа являются: персональные данные посетителей; данные кредитных карт; данные о разработках; бухгалтерская информация; иные документы для служебного пользования.

Для исследовательских целей была создана натурная модель локальной сети, включающая персональные компьютеры, модем ZTE ZXHN H208N с поддержкой функций WiFi-точки доступа и коммутатора DES-1210-52, который обеспечивал объединение указанных устройств в сеть.

Произведено контактное подключение к витой паре с использованием зажимов типа «крокодиль» на линии Tx и Rx (рис. 2). В качестве инструмента для тестирования на проникновение использовался ноутбук с дистрибутивом Kali Linux [4], утилита tcpdump, фреймворк bettercap, анализатор трафика Wireshark.

Наиболее возможными атаками внутри локальной сети предприятия являются: подмена DHCP-сервера, отказ в обслуживании DoS (часто используют совместно с подменой DHCP-сервера), разновидности атак типа «человек посередине» (например ARP-spoofing), неавторизованный доступ. Для проведения такого рода атак можно использовать миниатюрные одноплатные компьютеры Raspberry Pi с уста-



Рис. 3. Схема проведения атаки ARP-spoofing

Интерфейс: 192.168.1.130 --- 0xc			Интерфейс: 192.168.1.130 --- 0xc		
адрес в Интернете	Физический адрес	Тип	адрес в Интернете	Физический адрес	Тип
192.168.1.1	34-4d-ea-82-9d-e8	динамический	192.168.1.1	08-00-27-44-3f-f3	динамический
192.168.1.3	94-de-80-09-08-1c	динамический	192.168.1.3	94-de-80-09-08-1c	динамический
192.168.1.5	08-00-27-44-3f-f3	динамический	192.168.1.5	08-00-27-44-3f-f3	динамический
192.168.1.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	статический	192.168.1.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	статический
224.0.0.22	01-00-5e-00-00-16	статический	224.0.0.22	01-00-5e-00-00-16	статический
224.0.0.251	01-00-5e-00-00-fb	статический	224.0.0.251	01-00-5e-00-00-fb	статический
224.0.0.252	01-00-5e-00-00-fc	статический	224.0.0.252	01-00-5e-00-00-fc	статический
239.255.255.250	01-00-5e-7f-ff-fa	статический	239.255.255.250	01-00-5e-7f-ff-fa	статический

а

б

Рис. 4. ARP-таблица жертвы: а – до проведения атаки; б – после проведения атаки

новленным дистрибутивом Kali Linux, ЖКИ дисплеем, коммутатором и питанием от аккумуляторной батареи или через PoE-сплиттер (Power over Ethernet, обеспечивает питание по сети Ethernet) [5].

Пассивный анализ сети [6], заключающийся в анализе трафика, сборке пакетов, исходящих от узлов сети для определения их составляющих, активных соединений, работающих протоколов, используемых портов, позволил получить список посещенных пользователем web-ресурсов. В случае если передаваемый в сети трафик не шифруется (использование http или ftp протоколов), то с помощью анализатора сети можно получить логины и пароли от коммутирующего оборудования. Пассивный анализ сети является весьма распространенным методом для определения топологии и построения карт сети, а также определения операционной системы, установленной на исследуемом хосте, посредством стека протоколов TCP/IP.

В случае несанкционированного подключения к сети видеонаблюдения можно получать изображение, логины и пароли непосредственно от видеокамер и серверов видеонаблюдения, так как для передачи видео часто используются протоколы без шифрования, а ло-

гины и пароли передаются по протоколу http. В случае подключения к системе контроля доступа злоумышленник может получить доступ к серверам и управлять физическими точками доступа, а именно отключить важные точки прохода.

Результаты тестирования натурной модели сети

В качестве примера «активного исследования» сети рассмотрим результат проведения атаки на канальном уровне типа Man In The Middle, а именно ARP-spoofing [7].

Модель сети и схема проведения атаки приведена на рис. 3.

На рис. 4 приведены ARP-таблицы жертвы: а – до проведения атаки б – после проведения атаки

Из рисунка видно, что в процессе атаки начальный MAC-адрес модема 34-4d-ea-82-9d-e8 был изменен на 08-00-27-44-3f-f3. После проведения атаки в сети появились 2 машины с одинаковым MAC-адресом 08-00-27-44-3f-f3 и различными IP-адресами 192.168.1.1 (модем) и 192.168.1.5 (злоумышленник).

Используя сетевой анализатор трафика Wireshark можно просматривать действия жертвы в сети (рис. 5), например, просмотреть список


```

23.64.224.47 e1879.e7.akamaiedge.net
88.212.196.75 counter.yadro.ru
104.16.93.188 crl.comodoca.com.cdn.cloudflare.net
217.20.155.13 www.ok.ru
213.180.204.186 music.yandex.ru
217.69.139.201 mail.ru
86.57.205.218 clients.l.google.com
86.57.205.148 www3.l.google.com

```

а

```

74 74 70 3a 2f 2f 31 39 32 2e 31 36 r: http: //192.16
31 2f 0d 0a 41 63 63 65 70 74 2d 45 8.1.1/.. Accept-E
69 6e 67 3a 20 67 7a 69 70 2c 20 64 ncoding: gzip, d
74 65 0d 0a 41 63 63 65 70 74 2d 4c eflate.. Accept-L
61 67 65 3a 20 72 75 2d 52 55 2c 72 anguage: ru-RU,r
30 2e 39 2c 65 6e 2d 55 53 3b 71 3d ...q=0.9. en-US;q=
65 6e 3b 71 3d 30 2e 37 0d 0a 0d 0a 0.8,en;q =0.7...
68 6e 75 6d 3d 26 61 63 74 69 6f 6e frashnum =&action
69 6e 26 46 72 6d 5f 4c 6f 67 69 6f =login&F rm_Login
6e 3d 32 26 55 73 65 72 6e 61 6d 65 token=2& Username
69 6e 26 50 61 73 73 77 6f 72 64 3d =admin&P assword=
6e admin

```

б

Рис. 5. Анализ поведения жертвы в сети: а) список посещенных пользователем web-ресурсов, б) логины и пароли от коммутационного оборудования

```

root@dosi:~# ping 192.168.1.130
PING 192.168.1.130 (192.168.1.130) 56(84) bytes of data.
^C
--- 192.168.1.130 ping statistics ---
145 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 147433ms

root@dosi:~# ping 10.90.90.93
PING 10.90.90.93 (10.90.90.93) 56(84) bytes of data.
From 93.85.253.101 icmp_seq=1 Time to live exceeded
From 93.85.253.101 icmp_seq=2 Time to live exceeded
From 93.85.253.101 icmp_seq=3 Time to live exceeded
From 93.85.253.101 icmp_seq=4 Time to live exceeded
From 93.85.253.101 icmp_seq=5 Time to live exceeded
From 93.85.253.101 icmp_seq=6 Time to live exceeded
From 93.85.253.101 icmp_seq=7 Time to live exceeded
^C
--- 10.90.90.93 ping statistics ---
7 packets transmitted, 0 received, +7 errors, 100% packet loss, time

```

а

Host List x		
IP Address	MAC Address	Description
192.168.1.1	34:4D:EA:82:9D:E8	
fe80::686d:7fc8:faad:4f08	54:04:A6:2E:20:F3	
fe80::91bc:5348:49eb:aa58	94:DE:80:09:08:1C	
192.168.1.48	94:DE:80:09:08:1C	

б

Рис. 6. Результаты повторной атаки ARP-spoofing: а – выполнение команды ping между злоумышленником и жертвой; б – список хостов отображенных в bettercap

посещенных пользователем web-ресурсов (рис. 5, а), извлечь логины и пароли от коммутационного оборудования (рис. 5, б).

Настройка функций безопасности на сетевом оборудовании

В некоторых случаях коммутаторы могут значительно ослабить угрозы информационной безопасности. Ниже перечислены решения, рекомендуемые к использованию для снижения вероятности утечки конфиденциальной информации на базе оборудования D-Link [8].

Функция IP-MAC-Port Binding (IMPB) разработана для управления подключением узлов в офисных и ЕТТН-сетях (Ethernet To The Home). Позволяет контролировать доступ компьютеров в сеть на основе анализа их IP- и MAC-адресов и порта подключения, таким образом, позволяет бороться с атаками типа ARP-spoofing.

Механизм действия IMPB позволяет пользователям получать доступ к сети в случае совпадения MAC- и IP-адреса компьютера, портов подключения коммутатора с «белым» списком, созданным администратором сети (режим работы ARP mode). В случае если указанные выше параметры отличаются от внесенных в список, коммутатор блокирует MAC-адрес соответствующего узла и заносит его в «черный» список (с отметкой Drop).

Для проверки эффективности IMPB был создан «белый» список, после чего проведены манипуляции с Kali Linux, аналогичные описанным выше. Результаты повторной атаки ARP-spoofing приведены на рис. 6. Результат выполнения команды ping между злоумышленником и жертвой (рис. 6, а), список хостов отображенных в bettercap (рис. 6, б).

Из рис. 6 видно, что после активации и настройки IP-MAC-Port Binding, злоумышленник не может подключиться к хосту жертвы и провести атаки типа ARP-spoofing.

Стандарт IEEE 802.1X позволяет контролировать доступ и не позволять неавторизованным устройствам подключаться к локальной сети через порты коммутатора. Коммутаторы D-Link поддерживают две версии реализации этого стандарта: Port-Based 802.1X и MAC-Based 802.1X. Для развертывания системы аутентификации 802.1X необходим сервер аутентификации RADIUS, коммутатор с поддержкой стандарта и настройка протокола EAP (Extensible Authentication Protocol) на целевом компьютере.

Помимо использования функции IP-MAC-Port Binding, в числе предлагаемых мер по защите от ARP-spoofing предлагается использовать статические ARP-таблицы на ключевых узлах, а также IP-адрес с маской и DNS. Также

предлагается разделение локальной сети на несколько виртуальных сетей (VLAN), так как в случае, когда VLAN состоит из одного компьютера, проведение атаки становится невозможным.

Заключение

Вопрос обеспечения конфиденциальности и доступности данных, передаваемых по сетям предприятий, по-прежнему остаются актуальными. Этому способствуют простота несанкционированного подключения к локальной сети в совокупности с доступностью в открытом до-

стуге богатого инструментария для пентестинга, например Kali Linux с набором утилит, анализаторы трафика типа Wireshark, а также методических материалов по тестированию (проведению атак в том числе). Используя sniffеры, можно анализировать списки посещенных URL и хостов HTTP/S, данные, отправленные методом POST, куки и прочие учетные данные. Настройка функций безопасности маршрутизаторов и коммутаторов снижает вероятность проведения сетевых атак, что продемонстрировано на примере оборудования D-Link, которое было атаковано посредством ARP-spoofing.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Глобальное** исследование утечек конфиденциальной информации в 2016 году [Электронный ресурс]: Аналитический центр InfoWatch. 2017. Режим доступа: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/InfoWatch_global_report_2014.pdf. – Дата доступа: 10.04.2018.
2. **Обзор** мирового и российского рынка SIEM-систем 2017 [Электронный ресурс]: Анастасия Сапрыкина, обозреватель Anti-Malware.ru. 2017. Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/overview-global-and-russian-market-siem#. – Дата доступа: 10.04.2018.
3. **Информационные** технологии. Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования: ГОСТ Р 53246–2008 – Введ. – 25.12.2008. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 72 с.
4. **Kali Linux Revealed. Mastering the Penetration Testing Distribution** [Электронный ресурс]: Raphaël Hertzog, Jim O’Gorman, Mati Aharoni. 2017. Режим доступа: <https://kali.training/downloads/Kali-Linux-Revealed-1st-edition.pdf/>. – Дата доступа: 10.04.2018.
5. **Пять** шагов, чтобы построить портативную станцию хакера из Raspberry Pi и Kali Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://infoweb.org.ua/portativnuyu-stantsiyu-hakera-iz-raspberry-pi-i-kali-linux>. – Дата доступа: 10.04.2018.
6. **Пассивный** анализ сети [Электронный ресурс]: Stephen Barish. 2008. Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/analytics/350448.php>. – Дата доступа: 10.04.2018.
7. **ARP-spoofing** в Kali Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://defcon.ru/network-security/3731/>. – Дата доступа: 10.04.2018.
8. **D-Link DES-3028/DES-3028P/DES-3052/DES-3052P** Управляемые коммутаторы 10/100Мбит/с Fast Ethernet Версия I [Электронный ресурс]: Руководство пользователя. 2007. Режим доступа: http://ftp.dlink.ru/pub/Switch/DES-3028-3052/Description/DES-3028_28P_52_52P_Manual_v1_01_RUS.pdf/. – Дата доступа: 10.04.2018.

REFERENCES

1. **Global’noe** issledovanie utechek konfidencial’noj informacii v 2016 godu [Jelektronnyj resurs]: Analiticheskij centr InfoWatch. 2017. Rezhim dostupa: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/InfoWatch_global_report_2014.pdf. – Data dostupa: 10.04.2018.
2. **Obzor** mirovogo i rossijskogo rynka SIEM-sistem 2017 [Jelektronnyj resurs]: Anastasija Saprykina, obozrevatel’ Anti-Malware.ru. 2017. Rezhim dostupa: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/overview-global-and-russian-market-siem#. – Data dostupa: 10.04.2018.
3. **Informacionnye** tehnologii. Sistemy kabel’nye strukturirovannye. Proektirovanie osnovnyh uzlov sistemy. Obshhie trebovaniya: GOST R 53246-2008 – Vved. – 25.12.2008. – Moskva: Standartinform, 2009. – 72 s.
4. **Kali Linux Revealed. Mastering the Penetration Testing Distribution** [Jelektronnyj resurs]: Raphaël Hertzog, Jim O’Gorman, Mati Aharoni. 2017. Rezhim dostupa: <https://kali.training/downloads/Kali-Linux-Revealed-1st-edition.pdf/>. – Data dostupa: 10.04.2018.
5. **Pjat’ shagov**, chtoby postroit’ portativnuju stanciju hakera iz Raspberry Pi i Kali Linux [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://infoweb.org.ua/portativnuyu-stantsiyu-hakera-iz-raspberry-pi-i-kali-linux>. – Data dostupa: 10.04.2018.
6. **Passivnyj** analiz seti [Jelektronnyj resurs]: Stephen Barish. 2008. Rezhim dostupa: <https://www.securitylab.ru/analytics/350448.php>. – Data dostupa: 10.04.2018.
7. **ARP-spoofing** v Kali Linux [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://defcon.ru/network-security/3731/>. – Data dostupa: 10.04.2018.
8. **D-Link DES-3028/DES-3028P/DES-3052/DES-3052P** Upravljajemye kommutatory 10/100Mbit/c Fast Ethernet Version I [Jelektronnyj resurs]: Rukovodstvo pol’zovatelja. 2007. Rezhim dostupa: http://ftp.dlink.ru/pub/Switch/DES-3028-3052/Description/DES-3028_28P_52_52P_Manual_v1_01_RUS.pdf/. – Data dostupa: 10.04.2018.

Поступила
05.05.2018

После доработки
16.08.2018

Принята к печати
31.08.2018

S. N. Petrov, D. V. Ahramenko, S. M. Goroshko, T. A. Pulko

ACCESS CONTROL IN A LOCAL NETWORK USING THE BASIC CONFIGURATION OF NETWORK DEVICES

The Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

The article focused on recommendations for the local network protection from unauthorized access of employees (insider attacks) on the basis of access control, using the basic settings of existing equipment. The use of MAC-based access profiles (MAC-based Access Control) is proposed. The problems of information security at the physical and channel levels, as well as the most common types of attacks are considered. For research purposes, a mockup of a typical local area network was created, including personal computers, ZTE ZXHN H208N modem with support WiFi-access point and the switch DES-I210-52, which connected these devices to the network.

Made contact connection to the twisted-pair with clips on the lines Tx and Rx. Kali Linux, tcpdump, bettercap, Wireshark are using as a tools for penetration testing. The network attacks ARP-spoofing with the basic settings of network equipment is discussed. The results of the attack and passive study of the network model are presented. The attack was repeated after activation and configuration IP-MAC-Port Binding, as well as authentication of users based on IEEE 802.1 X standard (MAC-Based 802.1 X). The results proved the effectiveness of the chosen protective actions.

Keywords. Information security; penetration testing; network traffic analysis; insider attacks; access control, ARP-spoofing.



Петров Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры защиты информации БГУИР. Область научных интересов: информационная безопасность.

220013, Республика Беларусь, Минск, ул. П. Бровки, 6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Тел: + 37517 2938558; E-mail: petrov@bsuir.by

Petrov Sergei Nikolaevich, Ph. D., Assoc. Prof., Associate Professor of Information Security department BSUIR. Scientific interests: information security.



Ахраменко Дмитрий Викторович, магистрант кафедры защиты информации БГУИР («Методы и системы защиты информации, информационная безопасность»). Окончил БНТУ по специальности «Техническое обеспечение безопасности». Область научных интересов: информационная безопасность, администрирование сетей и оптимизация.

E-mail: d.ahramenko@mail.ru

Ahramenko Dmitriy Viktorovich, master student of Information Security department BSUIR («Methods and systems of information protection, information security»). Graduated from BNTU «Technical security». Scientific interests: information security, network administration and optimization.



Горошко Сергей Максимович, аспирант кафедры защиты информации БГУИР. Окончил БГУИР по специальности «Радиоэлектронные системы», магистратуру по специальности «Радиотехника, в том числе системы и устройства радиолокации, радионавигации и телевидения». Область научных интересов: информационная безопасность, цифровая обработка сигналов. E-mail: status777777@mail.ru

Goroshko Sergei Maximovich, postgraduate student of BSUIR. Graduated from BSUIR «Radioelectronic systems», Master of Technical Sciences «Radio engineering, including systems and devices of radar, radio navigation and television». Scientific interests: information security, digital signal processing.



Пулко Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры защиты информации БГУИР. Область научных интересов: информационная безопасность, радиопоглощающие покрытия.

220013, Республика Беларусь, Минск, ул. П. Бровки, 6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

Тел: + 37517 2938558; E-mail: pulko@bsuir.by

Pulko Tatsiana Alexandrovna, Ph. D., Assoc. Prof., Associate Professor of Information Security department BSUIR. Scientific interests: information security, radio-absorbing coatings.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

УДК 378.014.61

В. П. БЕЛЯЕВ, В. А. ШИЯН

МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ КОМПЛЕКС О ПРИНЦИПЕ СОЗДАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ

Белорусский государственный технологический университет

Благодаря развитию компьютерных технологий информационные и технические средства дают в образовательном процессе положительные результаты. Создаваемые обучающие комплексы изучаемого материала повышают качество его восприятия. В статье рассмотрено использование компьютерной графики на примере создания электронного мультимедийного комплекса интерактивного характера. Мультимедийный комплекс реализует три основных принципа мультимедиа: представление информации с помощью комбинации множества воспринимаемых человеком сред; наличие нескольких сюжетных линий в содержании продукта; художественный дизайн интерфейса и средств навигации. Использовалась оболочка на основе HTML плюс JavaScript и совокупность мультимедийной работы – AdobeFlash плюс ActionScript.

Ключевые слова. Компьютерная графика, электрические машины, магнитное поле.

Введение

Новые информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) внедряются во все сферы жизнедеятельности человека, в том числе и в образовательную среду, где в процессе изучения особенно технических дисциплин целесообразно делать упор не на заучивание, а на понимание происходящих процессов. Одним из приёмов обучения выступает электронный мультимедийный комплекс по изучаемой дисциплине, обеспечивающий наглядность и практическую реализацию изучаемого объекта. Специализированная информационно-образовательная среда, базирующаяся на таких мультимедийных изделиях, может обеспечить дистанционное обучение техническим дисциплинам, в учебные планы которых входит лабораторный комплекс. В системе высшего инженерно-технического образования компьютерная подготовка обучающегося является необходимым условием полноценного учебного процесса. Приобщение обучающегося к решению проблем и задач ИКТ в образовательной среде формирует у него креативные личностные установки, воспитывает ответственность, терпение, настойчивость и аккуратность. Интерактивные мультимедийные изделия более эффективны, индивидуализированы, обладают повышенной наглядностью и более «производительны» [1].

При его создании целесообразно следовать некоторым дидактическим принципам, таким как содержательность, доступность, научность, последовательность, наглядность и т. п. Использование мультимедийных изделий позволяет при изложении материала дисциплины визуализировать определённые стороны технических процессов, особенно в лабораторном цикле, которые обучающийся не имеет возможности увидеть на физическом объекте. С другой стороны, сам физический объект представляется без достаточной детализации, иногда в стилизованном виде, что не даёт обучающемуся действительного представления о нём. Однако в познавательном плане это целесообразно. Именно мультимедийный комплекс аккумулировал в себе три основных принципа мультимедиа: представление информации с помощью комбинации множества воспринимаемых человеком сред; наличие нескольких сюжетных линий в содержании продукта; художественный дизайн интерфейса и средств навигации. Разработанные аналогично предлагаемому мультимедийные изделия используются при формировании электронных учебно-методических комплексов. Предлагаемый к рассмотрению мультимедийный комплекс предназначен для визуализации возникновения вращающегося магнитного поля асинхронной машины, позволяет на-

глядно ознакомиться с принципом его получения, отразить реверсивность вращения ротора двигателя и ознакомиться со схемой его управления. Для создания данного комплекса использовался программный пакет *Adobe Flash*. Сначала разберёмся с теоретическими основами рассматриваемого вопроса, кратко описав принцип работы асинхронной машины [2].

Основная часть. Назначение и принцип действия асинхронной машины

Асинхронная машина – основной преобразователь электрической энергии в механическую. Это объясняется простотой её конструкции, надёжностью её эксплуатации и высоким значением коэффициента полезного действия. В асинхронной машине одни обмотки размещают на статоре, а другие – на роторе. Между ротором и статором имеется воздушный зазор, который для улучшения магнитной связи между обмотками минимален (не более 0,5 мм). Обмотки статора это трёхфазная обмотка, катушки каждой фазы размещают равномерно по окружности статора со сдвигом в пространстве на 120° (геометрических градусов). Фазы обмотки статора *AX*, *BY* и *CZ* соединяют по схеме звезда (*Y*) или треугольник (Δ) и подключают к сети трёхфазного тока [2]. Обмотки ротора выполняют трёхфазной или многофазной и размещают равномерно вдоль окружности ротора. Фазы её в простейшем случае замыкают накоротко. При питании обмоток статора трёхфазным переменным напряжением, каждое из которых сдвинуто относительно друг друга на 120° (электрических градусов), в них возникают токи, создающие магнитные поля. Такая взаимная комбинация пространственного и временного изменения магнитных полей создаёт в конечном действии **результрующий вектор** вращающегося магнитного поля статора [3]. Частота вращения (синхронная) этого поля определяется выражением $n_1 = 60f_1/p$ ($\omega = 2\pi f_1/p$). Если ротор неподвижен или частота его вращения меньше синхронной, то вращающееся магнитное поле пересекает проводники обмоток ротора и индуцирует в них ЭДС. Направление ЭДС, индуцированной в проводниках ротора при вращении магнитного потока Φ по часовой стрелке, определяется согласно правилу правой руки. При этом проводники ротора перемещаются относительно по-

тока Φ против часовой стрелки. Активная составляющая тока ротора совпадает по фазе с индуцированной ЭДС. На проводники с током, расположенные в магнитном поле, действуют электромагнитные силы, направление которых определяется правилом левой руки. Суммарное усилие $F_{\text{рез}}$, приложенное ко всем проводникам ротора, образует электромагнитный момент $M_{\text{элм}}$, увлекающий ротор за вращающимся магнитным полем статора. Если этот момент больше тормозного, создаваемого приводимым во вращение механизмом и внутренними силами трения, то ротор приходит во вращение. Установившаяся частота вращения ротора n_2 соответствует равенству электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем, и указанного тормозного момента.

Покажем на рис. 1 эпюры питающего обмотки статора трёхфазного напряжения и графическое построение результирующего вектора вращающегося магнитного поля статора. На рис. 1, *a* эпюры трёхфазного питающего обмотки статора двигателя напряжения, и моменты времени, для которых выполнено построение результирующего вектора МДС, рис. 1, *b, c, d, e*. Положение результирующего вектора при переходе от t_1 к t_2 к t_3 и к t_4 показывают направление вращения этого вектора в сторону той обмотки, в которой МДС нарастает, в данном случае в сторону обмотки фазы *A*. Рассмотренный режим работы асинхронной машины является *двигательным* и соответствует $0 \leq n_2 < n_1$. Относительную разность (неравенство) частот вращения магнитных полей статора и ротора называют *скольжением*: $s = (n_1 - n_2)/n_1$ или $s = (\omega_1 - \omega_2)/\omega_1$. При двигательном режиме $1 > s > 0$. Только при указанном условии в проводниках обмоток ротора индуцируется ЭДС и возникает *электромагнитный момент*. Поэтому машину называют *асинхронной* (её ротор вращается не синхронно с вращением магнитного поля статора).

Приёмы проектирования электронного мультимедийного стенда

При разработке мультимедийного комплекса использовались средства мультимедиа, которые позволили включить в текст векторную графику. Для разработки интерактивной версии изделия был использован пакет *Adobe Flash CS5.5*. Он позволяет создавать динами-

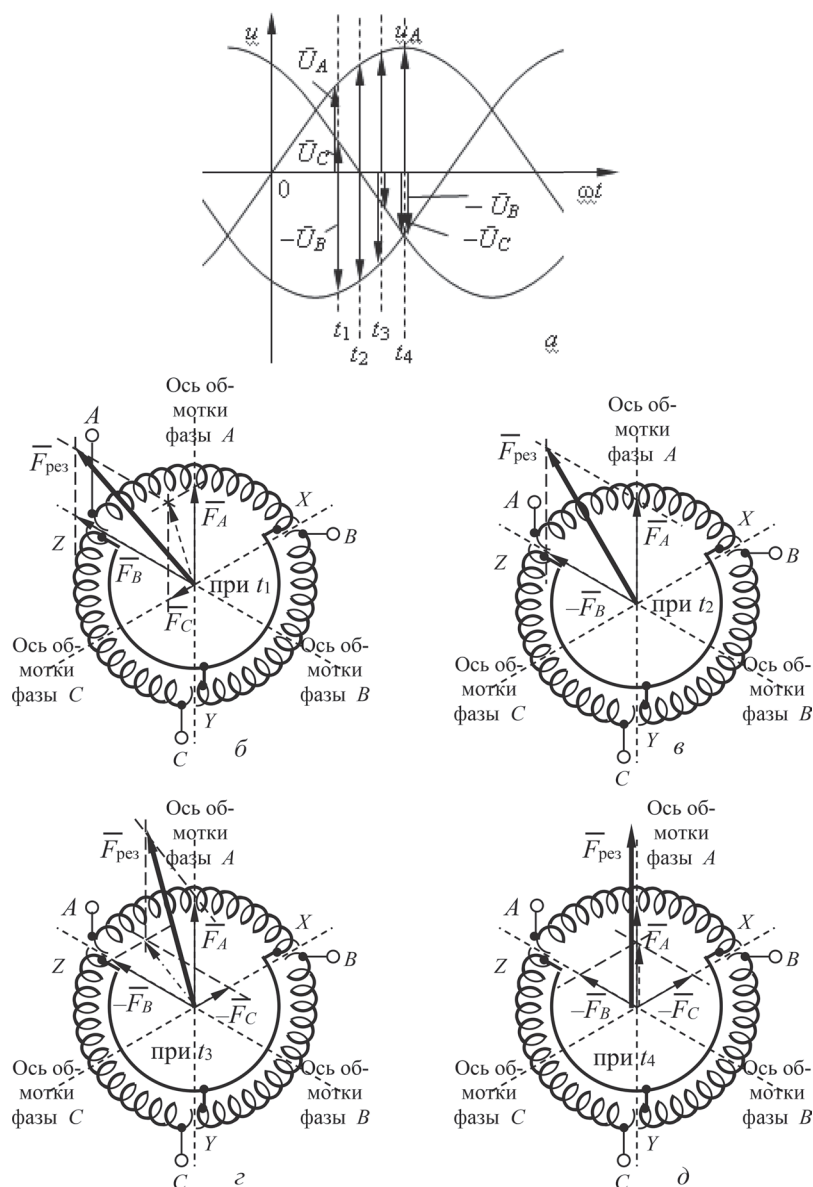


Рис. 1. Эпюры трёхфазного напряжения питания обмоток статора и графическое образование результирующего вектора МДС

ческие (анимация) и статические объекты, а также позволяет связать их между собой с помощью языка *Action Script*. Каждый компонент, входящий в мультимедийный комплекс, создаётся отдельно, имеет уникальное имя в библиотеке объектов.

Для создания *Flash*-анимации сначала необходимо произвести установки общих параметров, таких как частота смены кадров, размеры окна, используемого для отображения анимации, цвет фона, и некоторые другие. Затем определиться какие именно объекты должны присутствовать на этой сцене и последовательно поместить каждый из объектов на новый слой, это необходимо для того, чтобы

в процессе работы была возможность отредактировать ранее созданный объект с наименьшим влиянием для всей анимации [4].

При построении любой *Flash*-анимации используется объектно-ориентированный подход. Это означает, что все элементы фильма интерпретируются как объекты того или другого типа, для каждого из которых заданы некоторые свойства и определен набор допустимых операций. Например, для объекта «Текст» должен быть установлен размер символов, способ начертания, цвет и т. д. Текст можно определенным образом редактировать, вырезать; копировать и т. п. То же самое можно сказать о графических изображениях. Тем не менее,

при работе с *Flash* вместо понятия «объект» чаще используется термин символ (*Symbol*). Основное различие между ними состоит в том, что символ представляет собой своеобразный шаблон объекта с определенным набором свойств. Символ хранится в специальной библиотеке символов (*Library*) и может быть многократно использован как в одной и той же анимации, так и в нескольких, поэтому объекты, которые используются в анимации неоднократно, были созданы как новые символы. Каждая новая копия символа, называется экземпляром символа (*Instance*). Экземпляр наследует все свойства самого символа, и между ними устанавливается связь: при изменении свойств символа соответствующие изменения автоматически применяются ко всем его экземплярам. Очевидно, что такой подход существенно экономит силы и время при создании анимации. Кроме того, механизм символов позволяет сократить и размер анимации: если в нем используется несколько экземпляров символа, то информация о его свойствах не дублируется. Вместе с тем, имеется возможность изменять некоторые свойства конкретного экземпляра, что не влияет на свойства символа-оригинала. Особый тип символа представляет собой кнопка. Она характеризуется двумя специфическими свойствами. Во-первых, кнопка может отображаться по-разному в зависимости от того, в каком из возможных состояний она находится. Во-вторых, пользователь может интерактивно взаимодействовать с кнопкой, используя мышь. Описание вида и свойств кнопки осуществляется с использованием временной шкалы, которая при работе с кнопкой приобретает специфический вид. Начальный этап создания кнопки такой же, как при создании любого другого символа. Используйте команду *Insert > New Symbol*. В диалоговом окне *Symbol Properties* задайте имя создаваемого символа и установите для него тип кнопки (*Button*), при этом вид временной шкалы изменится. Она содержит четыре кадра, которые не нумерованы, а имеют специфические имена и специфическое назначение.

Динамика в *Flash*-анимации обеспечивается за счёт того, что в течение некоторого интервала времени изменяются те или иные свойства экземпляра (например, координаты, цвет, размер, прозрачность и т. д.), то есть изменяет-

ся состояние экземпляра. С каждым состоянием экземпляра связан отдельный кадр фильма (*Frame*). Кадр, соответствующий изменению состояния экземпляра, называется ключевым кадром (*Keyframe*). Ключевой кадр сам рассматривается как объект соответствующего типа, свойства которого пользователь может изменять. Для ключевых кадров предусмотрены специальные функции и команды. Динамика смены кадров фильма описывается с помощью временной диаграммы (*Timeline*). В качестве параметров временной диаграммы можно указывать частоту смены кадров, моменты начала и завершения движения объектов и т. д.

Состояние каждого из объектов может изменяться независимо от других, либо вообще оставаться неизменным (если, например, некоторый объект используется в качестве фона). Чтобы упростить описание поведения различных элементов фильма, каждый из них помещается, как правило, на отдельный слой (*Layer*). В данной работе используется только одна сцена, которая представляет собой определенное сочетание слоев. Также при создании анимации использовались средства языка *Action Script* – объектно-ориентированный язык программирования, один из диалектов *ECMAScript*, который добавляет интерактивность, обработку данных и многое другое в содержимое *Flash*-приложений [5].

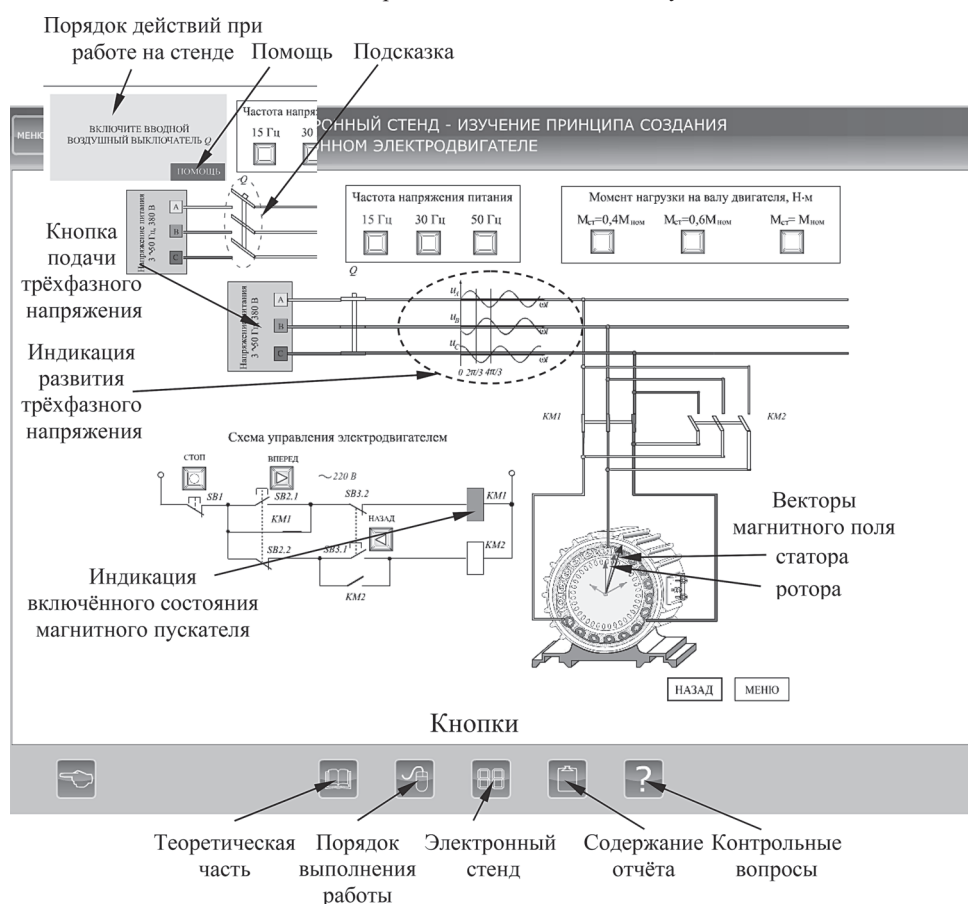
Навигация по электронному мультимедийному комплексу

Для запуска мультимедийного приложения необходимо при помощи *Flash*-плеера запустить данный ролик или два раза кликнуть на мультимедийном файле. Открытие электронного изделия (электронного стенда) выполняется выходом на титульную страницу, рис. 2. Она содержит статическую рекламную информацию о принадлежности продукта университету – БГТУ, факультету – ПиМ, кафедре – ПОиСОИ с логотипом автора, тема продукта и кнопка со световой аббревиатурой ЭПМ (электрооборудование полиграфических машин).

Переход в меню стенда осуществляется наведением мышью курсора на эту кнопку и кликаньем по ней левой клавишей мыши, рис. 2. Для полноценной работы в комплексе он оснащен учебно-методическим материалом, содер-



Рис. 2. Презентационное окно – Титул

Рис. 3. Скриншот схемы моделирования магнитного поля при частоте питающего напряжения $f_{пит} = 15$ Гц и $M_{ст} = 0$

жащим теоретические сведения, порядок выполнения работы на стенде, собственно электронный мультимедийный стенд, содержание отчетности по работе на стенде и контрольные вопросы. Указанные разделы оснащены соответствующими кнопками, позволяющими пользоваться этим материалов в любой последовательности: при подготовке к работе на стенде, при работе на нем и т. п., рис. 3. Например, имеется кнопка подачи трёхфазного напряжения питания. Оно появляется на схеме после наведения на неё курсора мышь и кли-

канья левой клавишей мыши. Квадраты с обозначением фаз напряжения питания окрасятся в цвета в соответствии с ГОСТом. Это обозначает, что на стенде имеется напряжение.

Порядок выполнения работы предписывает обучающемуся алгоритм включения аппаратов мышью. Для облегчения ориентирования по электронному стенду кнопкой «Помощь» вызываются подсказки, которые помогают направить обучающегося на выполнения правильных действий при работе со схемой, рис. 3. При несоответствующем указанному алгоритму

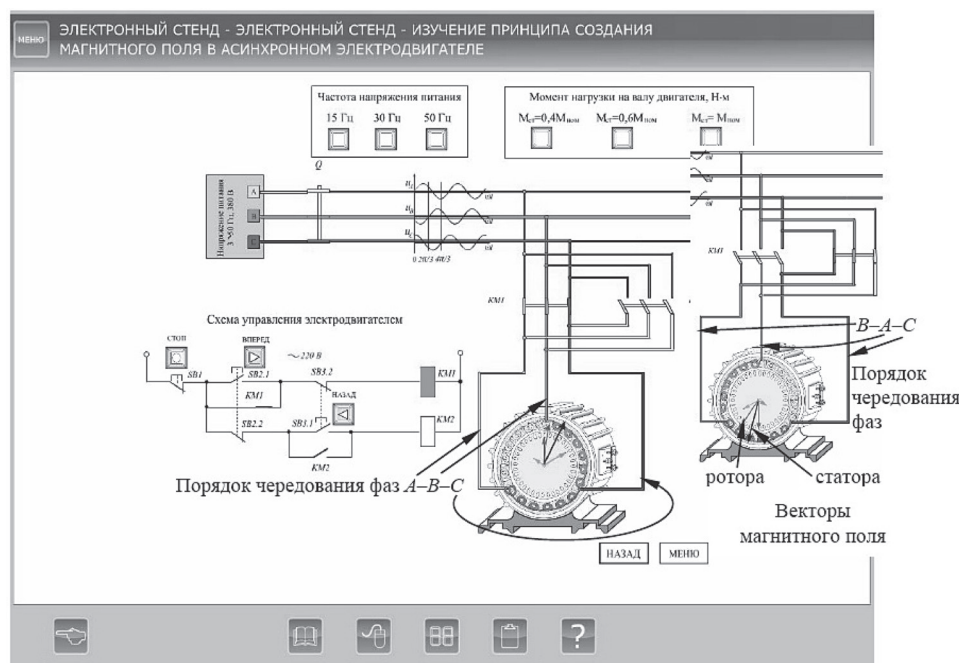


Рис. 4. Скриншот схемы моделирования магнитного поля при частоте питающего напряжения $f_{\text{пит}} = 15 \text{ Гц}$ и $M_{\text{ст}} = M_{\text{ном}}$

управлении стендом выставляется окно «Неправильно управляете». Для расширения познаний в области создания вращающегося магнитного поля и достоверности функционирования мультимедийной модели были созданы три режима вращения при $f_{\text{пит}} = 15 \text{ Гц}$; $f_{\text{пит}} = 30 \text{ Гц}$; $f_{\text{пит}} = 50 \text{ Гц}$, а также три режима, совместных с предыдущими, при $M_{\text{ст}} = 0$; $M_{\text{ст}} = 0,5M_{\text{ном}}$; $M_{\text{ст}} = M_{\text{ном}}$. Это позволяет убедиться обучающемуся в справедливости выражений $\omega = 2\pi f_1/p$ и $s = (\omega_1 - \omega_2)/\omega_1$. Первое подтверждается скоростью вращения результирующих векторов магнитного поля, второе – углом между результирующими векторами магнитного поля статора и ротора, рис. 3, 4.

Демонстрация реализации технологии получения результирующих векторов так, как показано на рис. 2, где изображается изменение амплитуды МДС каждой фазы в соответствии с изменением амплитуды питающего синусоидального трёхфазного напряжения (индикация развития трёхфазного напряжения, рис. 3), на анимационной модели показаны вектора, амплитуда и знак которых изменяется, а их цвет совпадает с цветом обмотки фазы, рис. 4. При работе с мультимедийной моделью обучающийся знакомится с аппаратурой и схемой реверсивного управления электродвигателем. Изменение направления вращения вала (реверс электродвигателя), в частности, достигается из-

менением порядка чередования фаз питающего обмотки статора напряжения. Изменение порядка чередования фаз приводит к изменению направления вращения магнитного поля и, как следствие, к изменению направления вращения вала электродвигателя. Это осуществляется переключением силовых контактов магнитных пускателей и показывается обучающемуся цветовой гаммой обозначения фаз питающего напряжения.

Все приёмы демонстрации вращения результирующих векторов при разных заданиях $f_{\text{пит}}$ и $M_{\text{ст}}$ сохраняются. Включённое состояние магнитного пускателя индицируется зелёным цветом его обмотки, например КМ1, рис. 4.

Заключение

Оценивая созданный на основе компьютерной графики мультимедийный комплекс, сформируем некоторые выводы:

- мультимедийные программы позволяют при изложении материала дисциплины визуализировать определённые стороны технических процессов, особенно в лабораторном цикле, которые обучающийся не имеет возможности увидеть на физическом объекте (например, изменение амплитуды составляющих обобщенного вектора магнитного поля, изменение порядка чередования фаз, изменения скольжения в функции нагрузки и т. п.).

– комплекс обладает определённым интеллектуальным уровнем, поскольку предоставляет компьютерную среду, которая анализирует и адекватно реагирует на действия обучающегося. При создании стенда были разработаны собственные методики составления элементов модели, что придаёт гибкость управлению моделью;

– электронный мультимедийный комплекс оказывает целенаправленное влияние на подготовку обучающегося. Разработанный мультимедийный комплекс прошёл апробацию

и внедрён в цикл лабораторных работ по дисциплине «Электрооборудование полиграфических машин»;

– созданному образовательному комплексу присущи: модульность, интегративность, социальность, параллельность, асинхронность, что создаёт его пригодность для всех форм обучения, в том числе и для дистанционного обучения, также для обучения обслуживающего производственного персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов В. А. Macromedia Flash MX / В. А. Дронов. – СПб.: СПб. Петербург, 2003. – 848 с.
2. Костенко, М. П. Электрические машины: Часть 2. Машины переменного тока / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – Изд. 3 перераб., Ленинград, Энергия, 1973, – 648 с.
3. Структуры систем управления автоматизированным электроприводом / О. П. Ильин [и др.] // – Минск: «Наука и техника», 1978. – 368 с.
4. Лапин, П. Самоучитель Flash MX / П. Лапин. – Издательский Дом ПИТЕР, 2003. – 153 с.
5. Гурвиц, Майкл. Использование Macromedia Flash MX / Майкл Гурвиц, Лора Мак-Ксйб. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 704 с.

REFERENCES

1. Dronov, V. A. Macromedia Flash MX / V. A. Dronov. SPb.: SPb. Petersburg, 2003. – 848 p.
2. Kostenko, M. P. Electric machines: Part 2. Alternating current machines / M. P. Kostenko, L. M. Piotrovsky. – Ed. 3 revised, Leningrad, Energy, 1973, – 648 s.
3. The structures of control systems for automated electric drives / O. P. Ilyin [and etc.] // – Minsk: «Science and Technology», 1978. – 368 s.
4. Lapin, P. Self-instruction Flash MX / P. Lapin. Publishing House Peter, 2003. – 153 s.
5. Hurwicz, Michael. Using Macromedia Flash MX / Michael. Hurwicz, Laura McCabe. – M.: Publishing house «William», 2003. – 704 s.

Поступила
06.05.2018

После доработки
16.08.2018

Принята к печати
31.08.2018

Belyaev V. P., Shiyani V. A.

MULTIMEDIA COMPLEX ON THE PRINCIPLE OF CREATING A MAGNETIC FIELD IN AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

bksisa@rambler.ru, vladislavshyian@gmail.com

Thanks to the development of computer technologies, information and technical means give positive results in the education process. The created training complexes of the studied material increase the quality of its perception. The article considers the use of computer graphics on the example of creating an electronic multimedia complex of an interactive nature. The multimedia complex realizes three basic principles of multimedia: the presentation of information through a combination of many perceived environments; presence of several storylines in the content of the product; Artistic design of the interface and navigation tools. We used an HTML-based shell plus JavaScript and a collection of multimedia work – Adobe Flash plus ActionScript.

Беляев Валерий Петрович, выпускник Белорусского политехнического института, кандидат технических наук, доцент кафедры полиграфического оборудования и систем обработки информации Белорусского государственного технологического университета. Научные интересы в области регулируемого электропривода переменного тока, управления им полупроводниковыми преобразователями.

Шиян Владислав Андреевич, студент Белорусского государственного технологического университета. Научные интересы в области управляемого электропривода переменного тока и интеллектуальных технологий в образовательном процессе.

УДК 004:378(476)

Н. В. ЛАПИЦКАЯ¹, С. Г. ШУЛЬДОВА¹, Г. Ф. САРКИСЯН²

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ ПОКОЛЕНИЯ 3+ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ ИТ-ПРОФИЛЯ

*¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,**²Белорусский государственный университет*

Статья посвящена вопросам разработки учебного плана нового поколения для ИТ-специальности. Для определения состава базовых профессиональных компетенций проанализированы требования ведущих ИТ-компаний и международные стандарты. Предложена модель подготовки инженера-программиста в виде графа формирования компетенций. Модель позволяет определить траекторию и трудоёмкость формирования компетенции, а также оптимизировать учебный план специальности.

Ключевые слова. Учебный план, компетенция, знания, дисциплина, программное обеспечение, технологии.

Введение

В контексте включения Республики Беларусь в процесс формирования Европейского пространства высшего образования [1], в системе высшего образования произошли существенные изменения: осуществлен переход от квалификационной к компетентностной модели специалиста, разработаны и внедрены методические инструкции по расчету трудоёмкости образовательных программ высшего образования и оформлению образовательных стандартов с использованием системы зачетных единиц (кредитов). Республиканским советом ректоров учреждений высшего образования принято решение о подготовке комплекта документов, обеспечивающих переход на стандарты высшего образования поколения 3+ [2].

Настоящая статья посвящена вопросам формирования состава базовых профессиональных компетенций для выпускника профиля 6-05-0612-01 Программная инженерия специальности 1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий и разработке примерного учебного плана поколения 3+ данной специальности на основе модульно-компетентностного принципа.

Определение состава базовых профессиональных компетенций выпускника специальности 1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий

Высокие требования к уровню подготовки специалистов в области информационных технологий и приближение высшего образования к требованиям международных стандартов обуславливают необходимость анализа требований работодателей и зарубежных квалификационных систем для определения состава базовых профессиональных компетенций.

Перечень базовых знаний программиста компании Google [3] включает

- базовый курс компьютерных наук;
- объектно-ориентированное программирование: языки C++, Java, Python;
- веб-программирование и верстка: языки JavaScript, CSS, HTML, Ruby, PHP;
- методы тестирования и отладки;
- дискретная математика;
- алгоритмы и структуры данных;
- основы операционных систем;
- методы трансляции и компиляции;
- технологии искусственного интеллекта;
- защита информации (криптография);

– параллельное программирование.

Профессионалы Яндекса в качестве условий для отбора на стажировку в свою компанию определяют необходимыми знания в следующих предметных областях [4]: математика; программирование; алгоритмы и структуры данных; системное администрирование; тестирование. Дополнительно выделены знания конкретных языков программирования, а также знания в области искусственного интеллекта.

Представляет интерес матрица компетентности программиста [5], в которой необходимые знания и умения формируются по разделам (компьютерные науки, программная инженерия, программирование) и уровням, знание для каждого уровня является кумулятивным. Дополнительно к обозначенным выше требованиям, в матрице присутствуют знания баз данных и систем управления базами данных, технологии разработки программного обеспечения. В сформированном российскими ИТ-специалистами необходимом теоретическом минимуме программиста [6] в отдельные позиции выделены численные методы, оптимизация, теория информации, а также компьютерная графика и дизайн.

Международный опыт подготовки ИТ-специалистов консолидирован в рекомендациях Компьютерного сообщества Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronic Engineers Computer Society, IEEE-CS) и Ассоциации по вычислительной технике (The Association for Computing

Machinery, ACM) по преподаванию информатики и программной инженерии в университетах Computing Curricula (CC) для каждого профиля подготовки [7]. Для профиля «Программная инженерия» руководящим является документ CC Software Engineering 2016 (SE 2016), основным содержанием которого выступает спецификация объема знаний – SEEK (Software Engineering Education Knowledge) знаний [8].

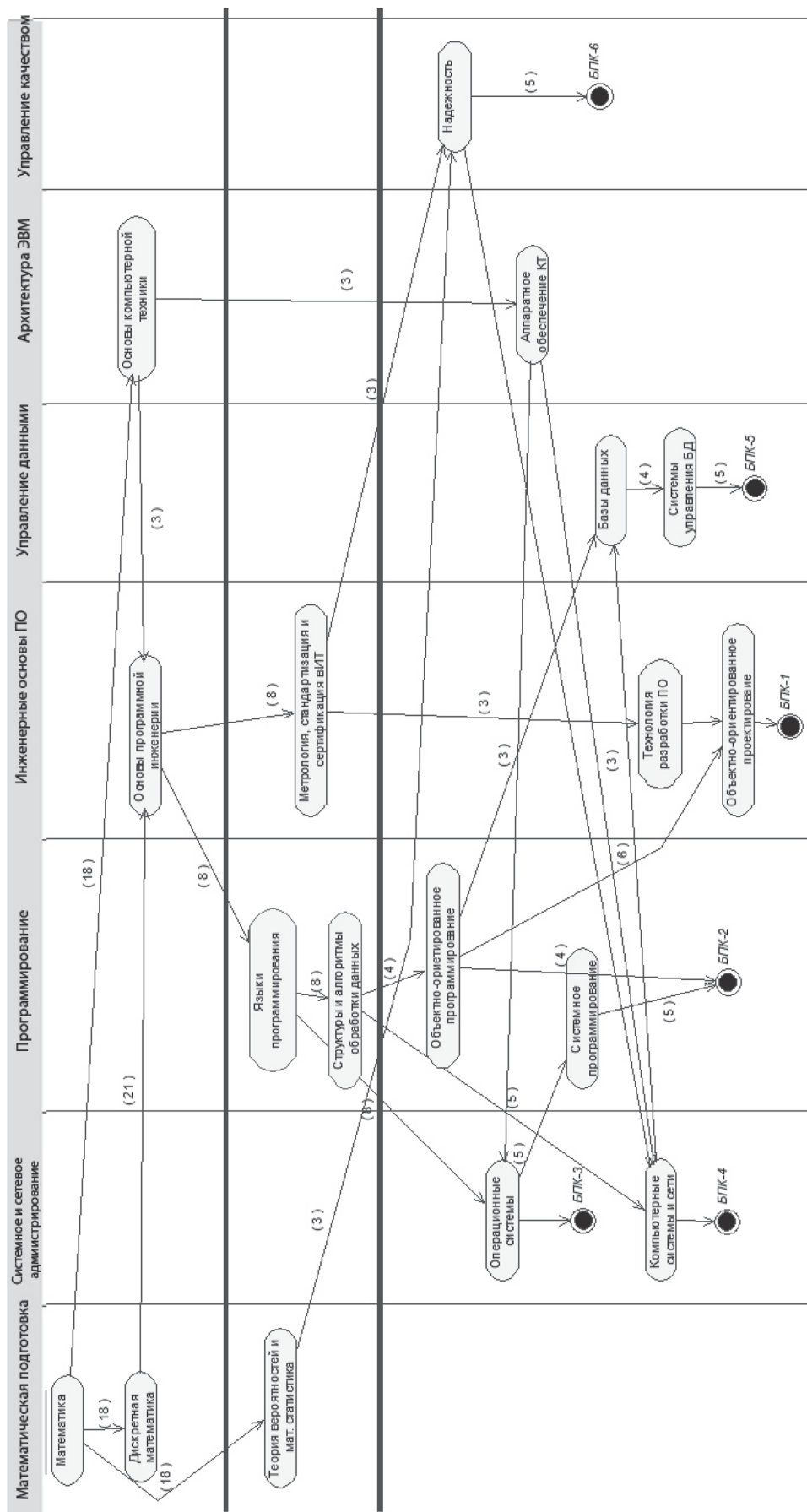
В табл. 1 представлены результаты сопоставления компетенций специалиста по профилю «Программная инженерия» и профессиональные компетенции производственной деятельности выпускника специальности 1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий согласно ОСВО 1-40 01 01-2013 [9].

Знания в CC представлены в иерархическом виде: на верхнем уровне расположены предметные области (areas), которые подразделяются на разделы или модули знаний (units), последние разбиваются на темы (topics). SEEK включает десять предметных областей знаний [8]:

- основы компьютинга (CMP),
- основы математики и инженерии (FND),
- профессиональная практика (PRF),
- моделирование и анализ программного обеспечения (MAA),
- проектирование программного обеспечения (DES),
- верификация и аттестация программного обеспечения (VAV),
- эволюция программного обеспечения (EVL),

Таблица 1. Сравнение компетенций CC Software Engineering и ОСВО 1-40 01 01-2013

CC Software Engineering	ОСВО 1-40 01 01-2013
Владение методами и средствами разработки программного обеспечения, удовлетворяющего требованиям надежности;	ПК-1. Владеть современными технологиями анализа предметной области и разработки требований к создаваемым системам и программным средствам.
	ПК-2. Владеть современными технологиями проектирования сложных систем и программных средств.
	ПК-3. Проводить технико-экономическую оценку вариантов проекта.
	ПК-4. Программировать на профессиональном уровне с учетом ресурсов и возможностей конкретного компьютера, требований стандартов, ограничений проекта.
	ПК-5. Использовать автоматизированные средства разработки программных средств.
Разработка комплектов тестов; Разработка и реализация методов тестирования и испытания программных комплексов;	ПК-6. Владеть современными технологиями тестирования, отладки, верификации, аттестации и оценки качества программных средств.
Управление процессами жизненного цикла программных систем	ПК-7. Управлять процессами жизненного цикла программных средств.
Интеграция и сопровождение программных систем	ПК-11. Владеть методами эффективной эксплуатации программных средств.



Граф формирования компетенций по областям знаний

Таблица 2. Области знаний и соответствующие базовые профессиональные компетенции

Область знаний/дисциплины	Профессиональные компетенции
Инженерные основы ПО Основы программной инженерии Верификация и сертификация ПО Технология разработки ПО Объектно-ориентированное проектирование	БПК-1. Владеть методами и средствами производства и эксплуатации программного обеспечения заданного качества в соответствии с действующими стандартами ПО (интегральная компетенция).
Программирование Языки программирования Структуры и алгоритмы обработки данных Объектно-ориентированное программирование Системное программирование	БПК-2. Программировать на профессиональном уровне с учетом ресурсов и возможностей персонального компьютера, требований стандартов, ограничений проекта (интегральная компетенция).
Архитектура вычислительных систем и системное администрирование Основы компьютерной техники Аппаратное обеспечение компьютерной техники Операционные системы Компьютерные сети	БПК-3. Знать принципы функционирования и структуры современных операционных систем и применять их в профессиональной деятельности (интегральная компетенция). БПК-4. Владеть методами и техникой построения, конфигурирования и администрирования компьютерных сетей
Управление данными Базы данных Системы управления базами данных	БПК-5. Владеть знаниями в области теории баз данных и практическими навыками управления данными и структурами данных
Управлением качеством ПО Надежность ПО	БПК-6. Осуществлять оценку надежности программного обеспечения, планирование и проведение испытаний программного обеспечения с использованием инструментальных средств поддержки процессов ЖЦ ПО.

- процессы разработки программного обеспечения (PRO),
- качество программного обеспечения (QUA),
- управление программными проектами (MGT).

Формирование компетенций в образовательном процессе

На основе проведенного анализа, определены следующие области знаний для формирования базовых профессиональных компетенций и определения состава дисциплин:

- инженерные основы ПО;
- программирование;
- архитектура вычислительных систем;
- системное администрирование;
- управление данными;
- управление качеством ПО.

В табл. 2 сведены базовые профессиональные компетенции в соответствии с областями знаний, и дисциплины, при изучении которых они формируются.

Диаграмма деятельности, моделирующая процесс подготовки инженера-программиста на I-ой ступени высшего образования согласно

примерному учебному плану нового поколения, представлена на рисунке. Диаграмма содержит дополнительно дисциплины математической подготовки, которые формируют универсальные компетенции, являющиеся фундаментом для формирования базовых профессиональных.

Данную диаграмму можно интерпретировать как граф формирования компетенций по областям знаний, и на его основе определять траекторию формирования каждой компетенции, а, обозначив вес ребра как число зачетных единиц дисциплины, то и трудоёмкость. Это позволит решить, например, задачу определения состава дисциплин при заданной ограниченной трудоёмкости и обеспечении формирования максимального количества компетенций.

Заключение

Таким образом, изложенный подход к проектированию учебного плана нового поколения обеспечит реализацию модульно-компетентностного принципа и позволит оптимизировать программы подготовки ИТ-специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жук А. И. Высшее образование Республики Беларусь от Болонского процесса к европейскому пространству высшего образования / А. И. Жук // Вышэйшая школа – 2010. — № 5. — С. 3–9.

2. **Решение** Республиканского совета ректоров учреждений высшего образования от 16.06.2016 г. № 2 [Электронный ресурс] // Республиканский совет ректоров учреждений высшего образования. Режим доступа: <http://srrb.niks.by/>. – Дата доступа: 15.03.2018.
3. **Technical Development Guide** [Electronic resource] // Google Careers: – Mode of access: <https://www.google.com/about/careers/students/guide-to-technical-development.html>. – Date of access: 15.03.2018.
4. **Собеседование** в Яндекс [Electronic resource] // Mode of access <https://yandex.ru/jobs/ya-interview>. – Date of access: 15.03.2018.
5. **Programmer Competency Matrix** [Electronic resource] // Mode of access: <http://www.starling-software.com/employment/programmer-competency-matrix.html>. – Date of access: 15.03.2018.
6. **Попельшев, И.** Теоретический минимум для программиста [Электронный ресурс] // И. Попельшев. – Режим доступа: <http://codeforces.com/blog/entry/1594>. – Дата доступа: 15.03.2018.
7. **Сухомлин, В. А.** Международные образовательные стандарты в области информационных технологий / В. А. Сухомлин // Прикладная информатика– № 1 (37), 2012. С. 33–55.
8. **Software Engineering 2014 (SE2014).** Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering / A Volume of the Computing Curricula Series // The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society. [Электронный ресурс]. – 23.02.2015. – Режим доступа: <https://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>. – Дата доступа: 15.03.2018.
9. Образовательный стандарт Республики Беларусь. Высшее образование. Первая ступень. 1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий. ОСВО 1-40 01 01–2013. – Введ. 30.08.2013. – Минск: М-во образования Респ. Беларусь, 2013. – 29 с..

REFERENCES

1. **Zhuk A. I.** Higher Education of the Republic of Belarus from the Bologna Process to the European Higher Education Area / A. I Zhuk // The High School – 2010. – № 5. – С. 3–9.
2. **Decision** of the Republican Council of Rectors of Higher Education Institutions from 16.06.2016. № 2 [Electronic resource] // Republican Council of Rectors of Higher Education Institutions. – Mode of access: <http://srrb.niks.by/>. – Date of access: 15.03.2018.
3. **Technical Development Guide** [Electronic resource] // Google Careers: –Mode of access: <https://www.google.com/about/careers/students/guide-to-technical-development.html>. – Date of access: 15.03.2018.
4. **Interview** in Yandex [Electronic resource] // Mode of access <https://yandex.ru/jobs/ya-interview>. – Date of access: 15.03.2018.
5. **Programmer Competency Matrix** [Electronic resource] // Mode of access: <http://www.starling-software.com/employment/programmer-competency-matrix.html>. – Date of access: 15.03.2018.
6. **Popelyshev, I.** Theoretical minimum for programmer [Electronic resource] / I. Popelyshev. – Mode of access: <http://codeforces.com/blog/entry/1594>. – Date of access: 15.03.2018.
7. **Suhomlin, V. A.** International educational standards for information technology / V. A. Suhomlin // Applied Informatics – № 1 (37), 2012. С. 33–55.
8. **Software Engineering 2014 (SE2014).** Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering / A Volume of the Computing Curricula Series // The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society. [Electronic resource] – 23.02.2015. – Mode of access: <https://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>. – Date of access: 15.03.2018.
9. **Higher education.** First degree. Speciality 1–40 01 01 Information Technology Software. ESHE 1–40 01 01–2013. – Enter. 30.08.2013. – Minsk: Ministry of Education of the Republic of Belarus, 2013. – 29 с.

Поступила
06.04.2018

После доработки
10.07.2018

Принята к печати
31.08.2018

Lapickaja N. V., Shuldova S. G., Sarkisjan G. F.

TO THE QUESTION OF DEVELOPMENT CURRICULUM OF GENERATION 3+ FOR THE IT PROFESSION

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics Belarusian State University
lapan@bsuir.by, shsg@bsuir.by*

The article is devoted to the development of a new generation curriculum for the IT profession. The requirements of leading IT companies and international standards were analyzed to determine the composition of the core competencies. A model for the training of a software engineer in the form of a graph of the formation of competencies is proposed. The model makes it possible to determine the trajectory and labor intensity of forming competencies, and also to optimize the curriculum of the specialty.

Keywords. Curriculum, competence, knowledge, discipline, software, technology.

Лапицкая Наталья Владимировна, заведующая кафедрой программного обеспечения информационных технологий БГУИР, кандидат технических наук, доцент.

Шульдова Светлана Георгиевна, доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий БГУИР, кандидат технических наук.

Саркисян Гаяне Феликсовна, старший преподаватель кафедры информационных технологий БГУ, магистр технических наук.

УДК 37.031.4

Л. А. ЛИПНИЦКИЙ, Т. В. ПИЛЬГУН

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Белорусский государственный университет,
Белорусский национальный технический университет

В статье указана необходимость развития у учащихся инновационного мышления и роль в этом аддитивных технологий, описаны история развития аддитивных технологий, области применения 3D-принтеров и используемые в них материалы, получаемые с помощью них прототипы. Указано, что аддитивные технологии позволяют значительно ускорить работы по проектированию и дизайну, позволяют учащимся реально оценить результаты своей работы, увеличить интерес к обучению, изменить способы представления своей работы к защите. Рассмотрены наиболее перспективные и доступные для использования в образовании технологии FDM, применяющую печать расплавленной в термоголовке пластиковой нитью, и SLA, использующая для печати фотополимерные смолы. Отмечено активное использование 3D-принтеров в зарубежных учебных центрах. Описаны работа по созданию собственного 3D-принтера в БНТУ, создание лаборатории компьютерного моделирования и быстрого прототипирования в ПГУ, использование 3D-принтеров в БГТУ, БГУ, БГУИР, БрГТУ. Указаны задачи, поставленные учеными БНТУ по созданию отечественных 3D-принтера. Описана работа по созданию ответственного 3D-принтера. Даны характеристики полученных в результате исследований в БНТУ 3D-принтеров, их преимущества. Описано использование разработанных 3D-принтеров в образовательном процессе БНТУ. Отмечены положительные моменты от внедрения аддитивных технологий в учебную и научно-исследовательскую жизнь вузов Беларуси и указано на необходимость их широкого использования в образовательном процессе, указано, что использование аддитивных технологий в университетах изменит образ мышления учащихся, их подход к учебе и формированию новых идей.

Ключевые слова. Аддитивные технологии, 3D-принтер, 3D-печать.

Современный мир заставляет ежегодно сталкиваться с большим числом технологических новинок и научных инноваций, умение и владение которыми позволяет быть на гребне научно-технического прогресса. В современных условиях скорейшее создание инновационного продукта является жизненно важным для успешного развития любого наукоемкого производства. Мировые производители поняли, что в стремительно меняющемся мире, чтобы быть на лидирующих позициях, надо максимально оперативно воплощать новые идеи в работоспособные решения. Это невозможно без генерации этих идей и без новых технических решений для скорейшего воплощения их в жизнь. Поэтому развитие у учащихся инновационного мышления должно стать приоритетной задачей современного образования. Безусловно, такой подход должен быть связан с применением в образовании современных достижений науки и технологий. Особое внимание стоит

уделить аддитивным технологиям или 3D-печати. Они являются одним из лучших технических решений для ускорения реализации различных новых идей.

Аддитивные технологии относительно недавно, но очень активно начали входить в нашу реальность, хотя история создания этих технологий насчитывает десятки лет. Только в 2005 году появились 3D-принтеры с относительно высоким качеством печати. В последнее десятилетие 3D-принтеры все активнее начали внедряться в различные сферы деятельности. В настоящее время они используют для печати различные материалы, их количество на сегодня превысило сотню (АВС пластик, гипс, бумага, металл, бетон, акрил, различные типы полимерных материалов, шоколад и т. д.). Из огромных машин 3D-принтеры превратились в более компактные, самые меньшие из которых легко помещаются на рабочем столе, а их стоимость снизилась в десятки раз, став

вполне доступной для широкого круга пользователей, в том числе для образования. Печатаемые ими модели отличаются высокой прочностью и могут применяться для создания готовых изделий. Есть предпосылки, что в ближайшие годы 3D-печать сможет занять заметную нишу в таких сферах, как машино- и автомобилестроение, архитектура, строительство, геоинформационные системы, медицина, производство одежды и обуви, пищевая промышленность, производство упаковки, сувениров, игрушек и др. При этом изготовить можно практически все: дома, автомобили, предметы искусства, прототипы и концептуальные модели будущих потребительских товаров или их конструктивные детали, образцы для тестирования, протезы для стоматологии и других сфер медицины и многое другое. Изготовление может осуществляться в виде единичных образцов или носить характер мелкосерийного производства.

Такие быстрые темпы развития аддитивных технологий сделали неизбежным необходимость широкого внедрения ее и в образовательный процесс [1]. Если еще несколько лет назад среди преподавателей обсуждался вопрос, зачем это нужно в образовании, то сегодня 3D-печать не является чем-то необычным. Становится все очевиднее. Что предоставляемая учащимся возможность доступа к технологии 3D-печати позволяет превратить их из разработчиков нереализованных идей в создателей инновационных решений, прикоснуться к реальному производству, где 3D-печать станет обязательной составной частью технологического процесса.

Традиционно проектирование и производство рассматриваются как отдельные направления деятельности. Проектировщик или дизайнер создают модель на компьютере или бумаге, которую затем передают производителю для тестирования, и в случае обнаружения недостатков последний возвращает ее обратно на доработку. Такой процесс не только занимает значительное время, но создает дополнительные препятствия в скорейшей реализации новых идей. Использование техники 3D-печати позволяет значительно ускорить этот процесс. Если обычно от возникновения идеи до ее воплощения в прототип проходит как минимум несколько месяцев, то с помощью 3D-принтера

образец можно изготавливать буквально за один день. В результате срок от разработки решения до его опытного испытания или оценки образца сокращается до недели. То есть процесс работы ускоряется в разы или даже десятки раз. Это относится и к образовательному процессу. Что важно, при этом экономится не только время, но и появляются возможности у учащихся увидеть результаты своей работы не только на бумаге или экране монитора, но в виде реальной твердой копии и провести ее испытание уже в течение одного учебного семестра.

Совершенствуя процесс образования, аддитивные технологии развивают у учащихся в образное мышление, приучают их к 3D-программированию и проектированию. 3D-печать значительно увеличивает интерес к процессу обучения, так как дает возможность учащимся почувствовать себя настоящим инноватором. Одновременно это дает возможность для преподавателя сделать учебный процесс наглядным и показать учащемуся результат овеществления его труда. Создав на компьютере модель, учащийся тут же может начать процесс ее изготовления и уже через несколько часов держать ее в руках. Получив модель они могут не только воочию увидеть результат своей разработки, проверить ее на собираемость, эргономику и работоспособность, но и понять все ли сделано правильно, нет ли ошибок, требует ли решение доработки, или оно готово для запуска в производство, т.к. на бумаге или компьютере невозможно порой заметить все неточности или изъяны. Свои профессиональные навыки с помощью аддитивных технологий могут совершенствовать будущие инженеры, дизайнеры, архитекторы, медики и учащиеся многих других специальностей. Кроме того, у студентов появляется возможность представить свои курсовые и дипломные проекты не в виде обычных чертежей и эскизов, а в виде реальных трехмерных моделей: деталей двигателя, зданий, элементов дизайна, внутренних органов человека и т. д. Поэтому для университета установка 3D-принтера позволит не только поднять его общий престиж, но и подготовить будущих специалистов, способных выполнять реальные задачи.

При этом внушительных затрат на покупку самого оборудования и на его дальнейшее использование не потребуется. Развитие техно-

логий достигло такого уровня, когда 3D-принтеры уже становятся широко распространенными и общедоступными. Подавляющая часть техники построена на типовых контроллерах и производится с бесплатным программным обеспечением. В результате рынок доступных 3D-принтеров уже стал насыщен, а цены на них – адекватны. В настоящее время возможно приобрести 3D-принтер до одной тысячи долларов, в пределах 2,5 тыс. долларов принтер будет обеспечивать достаточно высокое качество прототипов.

Какие же технологии могут являться наиболее подходящими для учебного заведения, учитывая стоимость принтеров и небольшой объем производства?

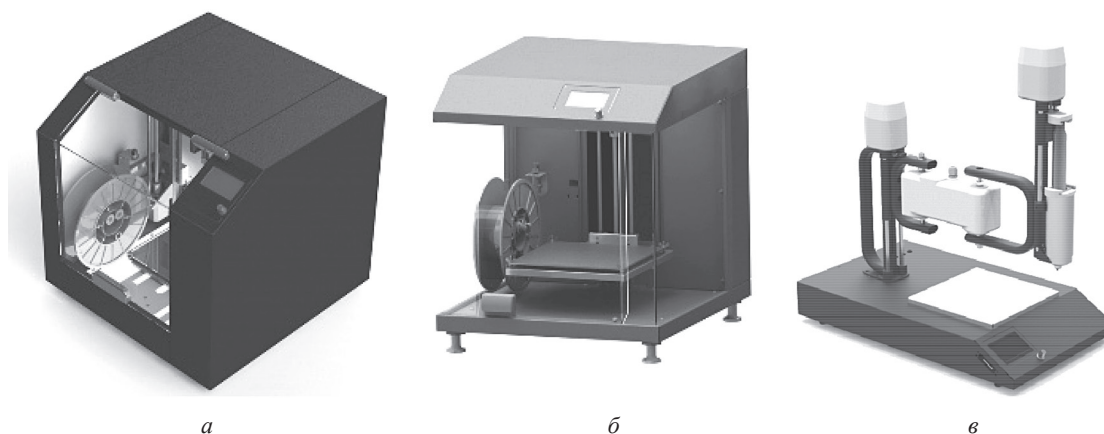
Наиболее доступной является технология FDM [2]. Конечная стоимость принтера составит до 3 тыс. долларов в зависимости от комплектации. Технология представляет печать расплавленной в термоголовке пластиковой нити. Минимальная толщина слоя, наносимого FDM-принтерами, как правило, составляет более 50 микрон. Практически же разрешение находится в обратной зависимости от скорости нанесения слоев. Технология позволяет достигать и более высоких показателей точности путем снижения скорости печати. Размер изготавливаемых изделий зависит от жесткости рамы, и точность оборудования не пострадает даже при печати довольно больших изделий.

Другой по доступности является технология – микро-SLA [2]. В данном случае стоимость окажется выше – от 7,2 тыс. до 10 тыс. долларов. Но это будет очень хорошее оборудование, работающее с фотополимерными смолами. Это оборудование разрабатывалось изначально для крупных промышленных предприятий, которые могли себе позволить потратить на 3D-принтер миллион долларов. Но сейчас появились уже более доступные устройства микро-SLA, которые могут установлены в любом помещении, поскольку экологически безопасны. SLA-технология отличается высокой точностью печати. Толщина слоя составляет 15 микрон, что в несколько раз меньше толщины человеческого волоса. Таки параметры позволяют задействовать подобные принтеры при изготовлении образцов мелких и высокоточных деталей или медицинских протезов. Скорость печати также относительно высока:

время изготовления одной модели может составлять лишь нескольких часов, хотя это зависит от размера прототипа и количества одновременно используемых лазерных головок. Готовые изделия могут обладать различными механическими свойствами в зависимости от характеристик фотополимера: Существуют имитаторы твердых термопластиков, резины и других материалов. Как правило, печать осуществляется веществом одного цвета, но ограничений палитры не существует. Что касается размеров изделий, то в недорогих принтерах размер рабочей области печати не превышает 150×150×150 мм. В дорогих установках применяется система обратной связи, позволяющая достигать при желании размеров моделей до 1,5 м.

Ведущие мировые учебные центры уже давно поняли, что 3D-принтер – это отличный инструмент для подготовки высококлассных специалистов. И поэтому процессы внедрения аддитивных технологий в европейских университетах идет достаточно быстрыми темпами. Они активно применяются и в таких известных вузах России, как МГУ, МГТУ им. Баумана, МИСиС, МИФИ и многих других [3], [4], [5], [6].

В Беларуси это процесс также набирает свои обороты. Уже несколько вузов имеют собственные установки 3D-печати. В Полоцком государственном университете создана лаборатория компьютерного моделирования и быстрого прототипирования для будущих дизайнеров, архитекторов и инженеров, оснащенная 3D-сканером RangeVision и 3D-принтер Stratasys Mojo [8]. В БГТУ на кафедре механики материалов и конструкций с помощью 3D-принтера ShareBot NG и 3D-сканера David SLS изготавливаются и исследуются различные полимерные вещества [9]. А в перспективе здесь запланирована подготовка специалистов по новой специальности «Производство изделий на основе трехмерных технологий». В БГУ на базе библиотеки открылся центр научного творчества ФабЛаб, в которой с помощью 3D-принтера CubeX Trio студенты могут воплотить в жизнь свою научные и творческие стартапы [10]. В БГУИР на кафедре инженерной графики студенты осваивают методику создания компьютерных трехмерных изображений на базе 3D-принтера CubeX. В Брестском государствен-



Модельный ряд принтеров BY3D Premier, Premier HB и Prime

ном техническом университете и его филиале Политехническом колледже проводятся образовательные программы и научные исследования с использованием 3D-принтеров Felix и ShareBot NG.

Переход в мире на новые технологии создания моделей заставила задуматься специалистов Белорусского национального технического университета (БНТУ) пойти дальше, начав разработку отечественного аналога. Учитывая отсутствия опыта в разработки подобных устройств, а также первоначальный этап их внедрения в республики было решено начать научные исследования и создание отечественных 3D-принтеров с наиболее простых моделей. При этом предполагалось решить несколько задач. Во-первых, разрабатывая простые модели 3D-принтеров возможно отработать аддитивную технологию, чтобы в дальнейшем перейти к более сложным и специализированным устройствам. Во-вторых, создание простейших моделей позволит создать доступные по цене устройства, которые можно будет предлагать широкому кругу лиц и организаций, и особенно учебным заведениям. И, в-третьих, такое техническое решение позволит учащимся средних и высших учебных заведений легко разобраться в принципе действия 3D-устройств печати. Это в свою очередь будет способствовать быстрому освоению технологии подрастающим поколением, которое будет готово к ее приходу в различные сферы нашей жизни, а, главное поможет подготовить будущих специалистов, которые, обладая новыми знаниями, смогут сами разрабатывать новые технические решения, основываясь на технологии 3D-печати.

Начиная с 2014 года, учеными БНТУ начались разработки по созданию 3D-принтеров. Путем поэтапного совершенствования было достигнута возможность печати различными материалами, надежность работы и конструкционная жесткость устройств.

На сегодняшний день совершенствование и разработка новых решений ведется практически без применения дополнительного производства. По сути, этап разработки и создания новых устройств и отдельных их комплектующих проходит в рамках одной лаборатории. 3D-принтеры сами печатают значительную часть деталей для новых моделей, что позволяет быстро проверить их работоспособность и эффективность. Большая часть работ производится с участием студентов университета.

В результате, в настоящее время уже создано три модели принтеров серии BY3D, которые готовы к запуску в массовое производство. Это модель Premier (рисунок, а), печатающая пластиком прототипы размером до 200×200×200 мм. Модель Premier HB (рисунок, б), также печатающая пластиком прототипы размером до 300×300×300 мм. Обе модели имеют разрешающую способность 0,05 мм, скорость печати 25 см³/ч, вытяжное устройство и угольный фильтр для удержания вредных веществ, выделяющихся при плавлении пластика и мощность 400 Вт. Третья модель Prime (рисунок, в) использует принцип руки-манипулятора, с помощью которой осуществляется печать пищевыми пастами (шоколад, крем и другие аналогичные ингредиенты) прототипов размером до 200×200×100 мм. Указанная модель имеет разрешающую способность от 0,5 мм, скорость печати 160 мл/ч и мощность 250 Вт.

Основными преимуществами указанных принтеров являются:

- надежность и стабильность 3D-печати;
- широкий спектр настроек параметров печати;
- различные варианты 3D-принтеров для печати твердыми и жидкими компонентами.
- оснащение корпусных вариантов конструкций вытяжным устройством и угольным фильтром.
- изготовление деталей принтеров на современных станках с ЧПУ;
- защита от увлажнения катушки с материалом за счет расположения ее внутри подогреваемого корпуса.
- сервисное обслуживание, консультации и обучение пользователей;

Разработанные 3D-принтеры могут использовать не только стандартный для большинства подобных устройств PLA пластик, но и ABS, PVA, гибкие и светящиеся пластики, PETG, PC. Полученные с помощью 3D-принтеров детали обладают высокой точностью печати, позволяет создавать модели из нескольких сборных частей, которые точно соответствуют требуемым размерам и могут использоваться, как взаимодействующие движущиеся части. Долговечные надежные модели, полученные с помощью 3D-печати, полностью повторяющие особенности деталей и превосходные поверхностные характеристики, делают 3D-модели хорошо подходящими для создания и дублирования требуемых частей в силиконе и других отливочных материалах. Гладкие поверхности и жесткий материал создают модели, которые идеальны для изготовления форм, что обеспечивает уменьшение веса модели, снижение расходов на ее производство. Технология позволяет осуществить отливку любых материалов.

Созданные в лаборатории модели 3D-принтеров активно используются в настоящее время в учебном процессе. С помощью их студентами машиностроительного факультета и факультета информационных технологий и робототехники распечатываются детали и узлы машин и оборудования, а студентами архитектурного факультета – макеты зданий в рамках осуществляемого ими курсового и дипломного проектирования. Тем самым они уже изменяют мышление в вопросе решения проблемы моделирования и представления своих будущих решений. В рам-

ках общеобразовательного процесса в средних учебных заведениях организуются посещение учащимися лаборатории БНТУ, где они проявляют неподдельный интерес к разработкам, задают вопросы по технологии 3D-печати, выражают желание повторного посещения лаборатории.

Применение аддитивной технологии в образовательном процессе можно рассматривать с разных точек зрения: технической, педагогической и методической. В поддержку применения данной технологии в образовательном процессе выступают требования нормативных документов, в частности Макеты образовательного стандарта высшего образования первой и второй ступени [11, 12]. В них, в частности, указано, что специалисты, получающие образование, должны иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером, а педагогические кадры учреждения высшего образования должны владеть современными образовательными, в том числе информационными технологиями, необходимыми для организации образовательного процесса на должном уровне. Учреждение высшего образования должно располагать средствами обучения, необходимыми для реализации образовательных программ, включая приборы, оборудование, инструменты, учебно-наглядные пособия, компьютеры, компьютерные сети, аудиовизуальные средства и иные материальные объекты. Бесспорно, что специалист, владеющий самыми современными технологиями, будет востребован на рынке труда.

В связи с вышесказанным было проведено анкетирование студентов по выявлению знаний и навыков в области аддитивных технологий. Анализ результатов ответов учащихся позволил сделать следующие выводы: большинство студентов знают о существовании систем моделирования и 3D-печати, 85% учащихся знают некоторые модели 3D-принтеров, но не имеют знаний и навыков по работе с ними; 95% учащихся считают, что умение и знание на практике технологии 3D-печати необходимы: для успешного освоения технических дисциплин и для дальнейшей профессиональной деятельности. Это позволяет предположить, что внедрение в образовательный процесс аддитивных технологий повысит его эффективность, улучшит усвоение технических дисци-

плин и разовьет техническое мышление и понимание технологического процесса.

Хотя прогресс во внедрении аддитивных технологий в учебную и научно-исследовательскую жизнь вузов республики очевиден, но даже там, где 3D-принтеры уже есть, они еще не дошли до каждого факультета и кафедры, которые смогли бы по-новому взглянуть на процесс образования, изменить менталитет студента и сформировать основу высшего образования 21-го века. Все это приводит к мысли, которую авторы идеи создания отечественной 3D-индустрии ставили в начале своей работы. Необходимо не только создание своих аддитивных технологий печати, но и активное

внедрение их в учебный процесс, как средних, так и высших учебных заведений, чтобы данная технология смогла прийти до всех учащихся. Это поможет развивать их творческие способности и идеи, удовлетворять интеллектуальное любопытство, научиться внедрять свои проекты в жизнь, комбинировать материалы, которые они никогда раньше не пробовали, и создавать объекты с высокой точностью, детализацией и движущимися частями. И что не менее важно, такой подход поможет нам начать завоевывать утраченный имидж страны, создающей и развивающей наукоемкие производства. С приходом 3D-печати в образование оно никогда не сможет оставаться прежним.

ЛИТЕРАТУРА

1. Education. Learning by Making. – Режим доступа: <http://www.stratasys.com/industries/education>.
2. Калач Д. На грани массового спроса / Калач Д., Лебедев В. // Наука и инновации. – 2016. – № 2. – С. 23–25.
3. Брекалов В. Г., Терехова Н. Ю., Сафин Д. Ю. Применение технологии трехмерного прототипирования в образовательном процессе. / Брекалов В. Г., Терехова Н. Ю., Сафин Д. Ю. // Дизайн и технологии, 2012. – № 29 (71). – С. 118–123.
4. В МИСиС собрали самый большой в России 3D-принтер. – Режим доступа: <http://www.mskagency.ru/materials/2556906>.
5. Завершено создание Центра аддитивных и лазерных технологий СФТИ НИЯУ МИФИ – Режим доступа: <http://www.rosatom.ru/journalist/news/zavershen-sozdanie-tsentra-additivnykh-i-lazernykh-tehnologiy-sfti-niyau-mifi>.
6. Центра молодежного инновационного творчества в МГУ. – Режим доступа: <http://cmit.sciencepark.ru>.
7. Прикоснись к идеи Premier 3D – Режим доступа: <http://by3d.by>.
8. Открытие лаборатории компьютерного моделирования и быстрого прототипирования. – Режим доступа: <http://www.psu.by/index.php/sobytiya/9581-otkrytie-laboratorii-kompjuternogo-modelirovanija-i-bystrogo-prototipirovanija.htm>.
9. Производство изделий на основе трехмерных технологий. – Режим доступа: <https://www.belstu.by/news/university/bgtu-obyavlyat-nabor-na-novuyu-specialnost.html>.
10. Для научных поисков студентам БГУ предоставят 3D -принтер. – Режим доступа: <http://minsknews.by/blog/2014/04/24/dlya-nauchnyih-poiskov-studentam-bgu-predostavyat-3d-printer>.
11. Макет образовательного стандарта высшего образования I ступени. – Минск 2013 -21 с.
12. Макет образовательного стандарта высшего образования второй ступени (магистратуры). – Минск 2011–24 с.

REFERENCES

1. Education. Learning by Making. – Mode of access: <http://www.stratasys.com/industries/education>.
2. Kalach D. On the edge of mass demand / Kalach D., Lebedev V. // Nauka i innovacii. – 2016. – № 2. – p. 23–25.
3. Brekalov V. G., Terekhova N. Ju., Safin D. Ju. The use of three-dimensional prototyping technology in the educational process. / Brekalov V. G., Terekhova N. Ju., Safin D. Ju. // Dizain i tekhnologii, 2012 – № 29(71) – P. 118–123.
4. The biggest 3D printer was assembled in MISiS. – Mode of access: <http://www.mskagency.ru/materials/2556906>.
5. The center of additive and laser technologies was created in Snezhinsk Physics and Technology Institute of The National Research Nuclear University «MEPhI». – Mode of access: <http://www.rosatom.ru/journalist/news/zavershen-sozdanie-tsentra-additivnykh-i-lazernykh-tehnologiy-sfti-niyau-mifi>.
6. Youth Innovative Creativity Center at MSU. – Mode of access: <http://cmit.sciencepark.ru>.
7. Touch the idea of Premier 3D. – Mode of access: <http://by3d.by>.
8. The opening of the laboratory of computer modeling and fast prototyping. – Mode of access: <http://www.psu.by/index.php/sobytiya/9581-otkrytie-laboratorii-kompjuternogo-modelirovanija-i-bystrogo-prototipirovanija.htm>.
9. [Manufacturing of products based on the three-dimensional technology. – Mode of access: <https://www.belstu.by/news/university/bgtu-obyavlyat-nabor-na-novuyu-specialnost.html>.
10. 3D-Printer is given to students of BSU for scientific research. – Mode of access: <http://minsknews.by/blog/2014/04/24/dlya-nauchnyih-poiskov-studentam-bgu-predostavyat-3d-printer>.
11. Model of the educational standard of higher education of the first stage – Minsk 2013–21 p.
12. Model of the educational standard of higher education of the second stage (magistracy) Minsk 2011–24 p.

Поступила
13.06.2018

После доработки
16.08.2018

Принята к печати
31.08.2018

Lipnitski L. A., Pilgun T. V.

ADDITIVE TECHNOLOGIES AND THEIR PERSPECTIVES IN EDUCATION

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University,
Belarusian National Technical University*

The article describes the role of additive technologies in the development of innovative thinking among students, spheres of use of 3D-printers and prototypes created by means of 3D technology. It is specified that additive technologies allow to accelerate operations on design and prototyping considerably, allow students to estimate results of their research, to increase interest in learning, to change methods of presentation of their research for protection. The article presents the most perspective and available for use in education technologies. The FDM technology being the most available prints using the plastic thread melted in a thermohead, but has rather low resolution depending on the speed of plotting of layers. The SLA technology becoming more available to a wide circle of users lately uses photopolymeric resins for printing, has high accuracy and speed of printing that allows to create small and high-precision details and to imitate different materials. The article mentions the active use of 3D-printers in foreign training centers. It describes the creation of the own 3D-printer in Belarusian National Technical University, the creation of laboratory of computer simulation and rapid prototyping in Polotsk State University, the use of 3D-printers in Belarusian State Technological University, Belarusian State University, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Brest State Technological University. The positive impact from implementation of additive technologies in educational and R&D life of higher education institutions of Belarus and need of their wide use for educational process is specified. The article points that use of additive technologies at universities will change a mentality of students, their approach to study and creation of new ideas.

Keywords. Additive Manufacturing, 3D-printer, 3D-printing.



Липницкий Леонид Александрович – доцент Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова БГУ, кандидат технических наук. Основные направления научной деятельности – инновационные и энергосберегающие технологии.

Lipnitski Leanid – Ph. D., Associate Professor of International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University. In 1985 graduated from the Belarusian Institute of Mechanization of Agriculture. In 1995 got a Ph. D. in the Belarusian Agrarian Technical University. The main direction of scientific activity – innovative and energy efficient technologies.



Пильгун Татьяна Владимировна – доцент Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук. Основные направления научной деятельности – информационно-управляющие инновационные технологии, управление потоками в транспортных системах, информатизация и инновационное развитие транспортных систем.

Pilgun Tatiana – Ph. D., Associate Professor of Belarusian National Technical University. In 1985 graduated from the Kuibyshev Institute of Railway Engineers. In 1988 got a Ph. D. in All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport (Moscow). information-management innovative technologies, flow management in transport systems, informatization and innovative development of transport systems.

Уважаемые авторы,

Общими критериями для публикации статей в журнале являются актуальность, новизна материала и его ценность в теоретическом и/или прикладном аспектах.

С целью приведения элементов данных, содержащихся в журнале, в соответствие международным требованиям зарубежных аналитических информационных систем (индексов цитирования), используемых для оценки деятельности учреждений образования при расчете показателей в международных рейтингах университетов, редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции приближения к унифицированной системе цитирования научных публикаций SCOPUS,

С 2016 г. Редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции.

Правила для авторов

1. Общие требования

Материалы статей представляются на бумажном носителе (в двух экз.) по адресу: 220013, Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, корп. 20, каб. 508 (Петренко Юрий Николаевич) и в электронном виде e-mail: SA_PI@bntu.by. Телефон для справок: (017) 266 26 58.

Статья, представляемая на бумажном носителе, должна быть подписана всеми авторами. К статье прилагаются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество полностью, почтовый адрес, телефоны, адрес электронной почты, место работы, ученая степень и звание, должность. При наличии нескольких авторов должен быть указан автор, ответственный за переписку.

Статьи, поступившие в редакцию журнала, регистрируются в установленном порядке. Статьи, оформленные с нарушением приведенных правил, к рассмотрению редакцией не принимаются. Принятые статьи рецензируются.

При положительной рецензии статья предлагается к опубликованию.

Редакция не принимает статьи, опубликованные ранее в других журналах или научных изданиях.

Гонорар автору за публикацию статьи не выплачивается. Материалы, присланные в редакцию, авторам не возвращаются.

2. Правила оформления статей

2.1. Объем статей (с иллюстрациями) не должен превышать:

- для оригинальной статьи – 7 страниц (не более 8 иллюстраций);
- для краткого сообщения – 3 страниц (не более 2 иллюстраций).

Статья должна быть набрана с помощью текстового редактора Microsoft Word 2007.

Параметры страницы: формат А4 (высота 29,7 см., ширина – 21 см.); отступ для левого поля и поля сверху – 25 мм, правого и нижнего – 20 мм; нумерация страниц сверху в колонтитуле, со второй страницы, с выравниванием по правому краю.

Текст набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт. Межстрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ – 12 мм.

2.2. Индекс УДК набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по правому краю.

2.3. Фамилия и инициалы автора (авторов) в именительном падеже, должность, ученая степень и ученое звание печатаются шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, курсив, выравнивание – по левому краю.

2.4. Название статьи набирается шрифтом Arial, 12 пт, жирный, все прописные, выравнивание – по центру.

2.5. Полное название организации (организаций), в которой работает (учится) автор (авторы) набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, выравнивается по центру, После названия организации пропускается две строки, далее следует адрес (адреса) электронной почты, пропускается две строки.

2.6. Аннотация и ключевые слова (объем 200–250 слов на русском (англ.) языке статьи набирается шрифтом TimesNewRoman, 10 пт, межстрочный интервал 1,15 пт, курсив, выравнивается по центру. Аннотация должна содержать (рекомендованная структура): цель и задачи работы, методы исследований, ре-

зультаты, выводы. Аннотация должна быть пригодна для опубликования отдельно от статьи. Английский вариант не должен быть механическим переводом русского текста, а обеспечивать понимание сути работы для иностранных читателей;

После аннотации пропускается одна строка.

2.7. Текст статьи (набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, с абзацем, выравнивание – по ширине) должен содержать следующие элементы:

1) *введение* (может содержать: краткий обзор литературы по проблеме исследования, перечисление нерешенных ранее вопросов, постановку проблемы, цель исследований). Слово «Введение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2) *основная часть исследования* (возможно деление на подразделы), включающая графики и другой иллюстративный материал (при их наличии), при этом таблицы и рисунки не должны дублировать друг друга. Название каждого подраздела статьи печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

3) *Заключение* (формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ по сравнению с аналогами). Слово «Заключение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2.8. *Литература*. Список литературы оформляется шрифтом TimesNewRoman, 12 пт в соответствии с Инструкцией по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением президиума Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь 24.12.1997 № 178 (в редакции постановления ВАК Беларуси от 22.02.2006 № 2). www.edu.grsu.by/files/liter.doc.

Слово «Литература» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по левому краю.

Источники должны располагаться в порядке цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок в тексте должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В статьях на русском языке должно быть до 10 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. В англоязычных статьях должно быть до 30 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. Обзорные статьи должны включать до 50 ссылок, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования.

Список источников должен оформляться на русском и английском языках.

С целью повышения цитирования авторов в журнале проводится транслитерация русскоязычных источников с использованием официальных кодировок в следующем порядке: имена авторов транслитерируются латиницей, название статьи – смысловой транслитерацией (перевод на английский язык), название источника, где опубликована работа, транслитерируется латиницей, если у источника (журнала) нет официального названия на английском языке).

Для удобства транслитерации возможно использование онлайн-сервисов: <http://www.translit.ru>.

Все русскоязычные источники литературы должны быть представлены в транслитерированном варианте. За правильность приведенных в списке литературы данных ответственность несут автор(ы). В списке должны иметь место ссылки на издания, включенные в международные базы цитирования Scopus и Web of Science).

2.9. *После списка литературы* на русском и английском языках в статье на русском (англ.) языке должно следовать название статьи, список авторов, сведения о них и аннотация на английском (русском) языке.

Далее указывается: грант, гос. программа, тема госбюджетной НИР (№ Гос. регистрации) или иной документ, в рамках которой выполнена работа (или инициативная).

2.10. *Резюме авторов* (шрифтом TimesNewRoman, 10 пт.,) сопровождается фотографией (3×4 см.), JPG.

2.11. *Оформление формул*. Только сложные формулы должны быть набраны с помощью встроенного в MS Word редактора формул Equation. Просто буквы с индексами могут быть набраны без использования формульного редактора с помощью средств оформления MS Word. Латинские символы должны быть набраны курсивом, как в формулах, так и на рисунках, и в тексте, а русские и греческие – обычным текстом.

В редакторе формул должен быть установлен следующий размер символов: обычный символ – 11 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 17 пт., мелкий символ – 12 пт. Формулы выравниваются по центру страницы. При необходимости делать ссылки на формулы их следует нумеровать арабскими цифрами, помещенными в круглые скобки, в порядке упоминания. Номера формул выравниваются по правому краю страницы.