

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА**
№ 3, 2016

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE**
No 3, 2016



**Международный
Научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Федор Иванович Пантелеенко

Редакционная коллегия

В. Ф. Голиков (зам. главного редактора),
В. А. Богущ, Т. В. Борботько, Р. Венерстен (Швеция),
В. А. Ганэ, Н. Н. Гурский, Ю. М. Захарик, Э. Г. Лазаревич,
А. А. Лобатый, В. А. Мищенко, А. Патрин (Польша),
И. А. Сатиков, В. В. Старовойтов, П. П. Урбанович,
А. Н. Чичко, В. Б. Байбурын (Россия),
Е. И. Никифорович (Украина)

**International
Science and Technique Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National Technical
University

Editor-in-chief

Phyodor Panteleenko

Editorial board

V. Golikov (deputy editor-in-chief),
V. Bogush, T. Borbotko, P. Venersten (Sweden),
V. Ganeh, N. Gurskiy, J. Zaharik, E. Lazarevich,
A. Lobaty, V. Mishchenko, A. Patrin (Poland),
I. Satikov, V. Starovoytov, P. Urbanovich,
A. Chichko, V. Bayburin (Russia),
E. Nikiforovich (Ukraine)

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

SYSTEM ANALYSIS

**Золотой С. А., Архипова Н. А., Корзун В. М.,
Костюченко В. Д., Куприянец, О. Э., Соболев А. Л.**
Автоматизированная система оперативного анали-
за реализуемости дистанционного зондирования
земли..... 4

**Zolotoy S. A., Arkhipova N. A., Korzun V. M.,
Kastsyuchenka V. D., Kupryianets V. Э., Sobal A. L.**
Automated system of the operational analysis of the
feasibility of earth remote sensing 4

Рыбак В. А., Шокар Ахмад
Аналитический обзор и сравнение существующих
технологий поддержки принятия решений..... 11

Rybak V.A., Shokr Ahmad
Analysis and comparison of existing decision support
technology 11

Невдачина О. В., Полоневич А. П., Артюшик А. С.
Исследование эффективности применения нечетко-
го регулятора с двумя входами в системе активного
управления очередью пакетов в сетях TCP/IP..... 19

Nevdachyna O. V., Polonevych A. P., Artyuschyk A. S.
Study the effectiveness applications of fuzzy controller
with two entrances in the system of active queue ma-
gement the packets in tcp/ip networks 19

Иванов Ю. Д., Лозка Б. В., Козлюк Е. О.
Составная модель источника ошибок в дискретных
каналах преобразования данных..... 26

Ivanov Y., Lozka B., Kozljuk E.
Composite model error sources in discrete channels of
data conversion..... 26

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**Опейко О.Ф.**

Управление по выходу с пропорционально-дифференцирующим адаптивным регулятором 35

Михайлов В.Г.

Запись бинарных данных на SD карту arduino due ... 40

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ****Попова Ю. Б.**

Классификация автоматизированных систем управления обучением 51

Кондратёнок Е. В., Кондратёнок В. А.

Статистический синтез системы поддержки принятия решений, проведенный с учетом оценки интенсивности взаимодействия обучающихся и среды обучения 59

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS**Opeiko O.F.**

Output control with adaptive-proportional differential controller 35

Mikhailov V

Cand.Tech.Sci. (Engineering), lead engineer of Open Stock Company «Midivisana» 40

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN
EDUCATION****Popova Y. B.**

Classification of learning management systems 51

Kondratyionok E., Kondratyionok V.

Decision support system statistical synthesis, based on an assessment carried out with the intensity of interaction teach and the learning environment 59

Ответственный секретарь редакции

Лакин В. И.

Executive secretary of the editorial board

V. Lakin

Адрес редакцииул. Франциска Скорины 25/3, Минск, 220114,
Республика Беларусь

Тел. +375 17 267-66-84

e-mail: CA_PI@bntu.by

Editorial board address25/3 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 11.10.2016. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 3,27. Тираж 100 экз. Заказ 880.

Отпечатано в БНТУ. Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.
220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

© Системный анализ и прикладная информатика, 2016

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 629.78:528.855

Н. А. АРХИПОВА, С. А. ЗОЛОТОЙ, В. М. КОРЗУН, В. Д. КОСТЮЧЕНКО,
О. Э. КУПРИЯНЕЦ, А. Л. СОБОЛЬ.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Геоинформационные системы» НАН Беларуси (УП «Геоинформационные системы»)

В статье рассматривается аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли, являющийся составной частью Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли. Целью разработки аппаратно-программного комплекса является создание автоматизированной системы оперативного анализа реализуемости заказов на космическую съемку с учетом ресурсов двух космических аппаратов, обеспечивающей поддержку принятия решений на преддоговорном этапе коммерческой деятельности. Задача автоматизации процесса оперативного анализа реализуемости заказов дистанционного зондирования Земли решается с использованием подходов многокритериальной оптимизации. Созданный аппаратно-программный комплекс позволяет увеличить скорость и качество выполнения расчетов, а также повысить точность оценки возможности космической съемки с привлечением ресурсов двух космических аппаратов за указанный период времени. Аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли прошел апробацию для двух спутников и может быть в дальнейшем использован в качестве основы для проведения оперативного анализа реализуемости с учетом ресурсов нескольких космических аппаратов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, многокритериальная оптимизация, космический аппарат, баллистическая информация.

Введение

На этапе, предшествующем заключению договора на получение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), проводится анализ возможности осуществить космическую съемку, удовлетворяющую требованиям потребителя. Происходит итерационное взаимодействие с потребителем и оценка возможности съемки с учетом требований заказчика, ограничений по углу съемки и высоте Солнца, характеристик и баллистической информации космических аппаратов при рациональном и эффективном использовании всех имеющихся ресурсов.

В настоящее время для получения данных ДЗЗ все чаще привлекаются группировки космических аппаратов, которые могут состоять из спутников, различных по характеристикам

бортовой аппаратуры [1, 2]. В этих условиях актуальной становится задача автоматизации оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ с учетом использования ресурсов более одного космического аппарата.

Разработка системы

В УП «Геоинформационные системы» создан аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли (АПК АР) [3], который является автоматизированной системой оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ. Комплекс разработан с использованием подходов многокритериальной оптимизации [4–8]. АПК АР предназначен для поддержки

принятия решений при преддоговорном оперативном анализе реализуемости выполнения заказов ДЗЗ с привлечением ресурсов двух космических аппаратов, у которых совпадают целевые параметры, высота и наклонение орбиты.

1. Постановка задачи проектирования системы

Для автоматизации процесса оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ была использована упрощенная математическая модель планирования работы целевой аппаратуры космических аппаратов ДЗЗ.

Рассмотрим постановку общей задачи построения плана космической съемки заказов различных потребителей с использованием ресурсов нескольких космических аппаратов [9]. Эта задача является задачей многокритериальной оптимизации, в которой частными критериями оптимальности является среднеквадратичное отклонение от функций потребностей конкретных потребителей данных ДЗЗ.

Пусть множество возможных решений $X \subset E^3$ состоит из векторов $x = \{x_i\}_{i=1}^3$ трехмерного Евклидова пространства, где x_1, x_2 – географические координаты центра сегмента, который снимается, $x_3 = t$ – время съемки.

Задача многокритериальной оптимизации плана проведения космической съемки состоит в определении такого решения $x^* \in X$, которое при заданных условиях, связях и ограничениях оптимизирует векторнозначную функцию эффективности планирования, зависящую от векторного аргумента

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x) = \arg \min_{x \in X} \left(y(x) - \hat{y}(x) \right)^2 \quad (1)$$

при заданных условиях $r \subset R$ и ограничениях

$$s \left(\hat{y}(x) \right) \leq S, \quad (2)$$

которые для каждого космического аппарата обусловлены техническими характеристиками целевой аппаратуры.

В соотношении (1): $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s$ – безразмерная векторнозначная функция потребностей s различных потребителей в спутниковой информации, $\hat{y}(x) = \{\hat{y}_k(x)\}_{k=1}^s$ – реальная степень удовлетворения потребностей потребителей в информации ДЗЗ.

Условия, которые описываются вектором r , заданным на множестве возможных факторов R , представляют собой статистические и прогностические данные относительно условий съемки, например, облачность.

В соотношении (2): $s \left(\hat{y}(x) \right)$ – объем информации, который определяется количеством возможных снимков, $S \in R$ – имеющийся бортовой ресурс (объем бортового запоминающего устройства) космических аппаратов, который необходимо рационально распределить между потребителями. Принадлежит множеству R , которое определяет факторы (условия, связи и ограничения), влияющие на решение задачи планирования.

Таким образом, во множестве R учитываются метеоусловия, характеристики целевой аппаратуры космических аппаратов, ограничения по углу съемки и высоте Солнца, баллистическая информация, зоны видимости для передачи целевой информации со спутников.

Типовая задача планирования решается на сутки. На практике полигон может быть снят за несколько недель или месяцев в зависимости от его площади. В АПК АР решается задача оценки возможности выполнения заказа за продолжительный промежуток времени. Это отличие позволяет упростить многокритериальную задачу планирования космической съемки и при прогнозировании срока выполнения заказа не учитывать метеоусловия, зоны видимости для передачи целевой информации со спутников, состояние платформы и целевой аппаратуры. Основными характеристиками для определения качества и эффективности съемки являются значение крена космического аппарата и угла возвышения Солнца над горизонтом.

Для оценки эффективности съемки системой ДЗЗ используется совокупная ценность информации, полученной в результате съемки наземных объектов в соответствии с заказами:

$$J_{i,m_i,k} = \left(1 - \frac{|\theta_{i,m_i,k}|}{\theta_{\max i}} \right) \frac{\delta_{i,m_i,k}^{sun}}{\delta_{\max k}^{sun}} P_{i,k}, \quad (3)$$

$$i = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; m_i = \overline{1, M_i},$$

где i – номер спутника; k – номер заказа; m_i – номер витка i -го спутника; M_i – количество витков i -го спутника в интервале времени

прогнозирования; $J_{i,m_i,k}$ – эффективность выполнения съемки k -го заказа i -м спутником на m_i -м витке; $\theta_{i,m_i,k}$ – угол между надирной линией и направлением на объект съемки; $\theta_{\max i}$ – максимально возможный угол между надирной линией и направлением на объект; $\delta_{i,m_i,k}^{sun}$ – угол возвышения Солнца над горизонтом; $\delta_{\max k}^{sun}$ – максимально возможный угол возвышения Солнца над горизонтом (параметр заказа); $p_{i,k}$ – весовой коэффициент, выражающий важность выполнения k -го заказа i -м спутником при идеальных условиях (съемке в надир с максимальным углом Солнца). Чем ближе к надирной линии осуществляется съемка и чем лучше освещенность снимаемого сегмента, тем качественнее получается снимок, и увеличивается ценность целевой информации.

Суммарный критерий оптимальности съемки:

$$j = \sum_{i=1}^N \sum_{m_i=1}^{M_i} \sum_{k=1}^K J_{i,m_i,k} \cdot u_{i,m_i,k} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где $u_{i,m_i,k}$ – управляющий параметр равен «1», если проводится съемка i -м спутником k -го заказа на m_i -м витке, или «0», если не проводится съемка i -м спутником k -го заказа на m_i -м витке.

В процессе расчета плана съемки для каждого i -го спутника определяется матрица $U_i = \{u_{m_i,k}\}$, которая максимизирует критерий (4).

2. Пример реализации

Рассмотрим на примере механизм максимизации критерия оптимальности съемки. Пусть необходимо оценить возможность выполнения двух заказов ($K = 2$) за трое суток с привлечением ресурсов 2-х космических аппаратов ($N = 2$). Каждый из аппаратов за это время совершит 46 оборотов вокруг Земли ($M_1 = M_2 = 46$). Космический аппарат $i = 1$ на витке $m_1 = 24$ может осуществить съемку одного из двух заказов с различными углами крена. Для выбора наиболее ценной съемки, необходимо произвести расчеты по формуле (3) с использованием числовых значений таблице. Значения весовых коэффициентов: $p_{1,1} = 0,6$; $p_{1,2} = 0,4$.

По формуле (3) вычисляются значения $J_{1,24,1} = 0,3310$; $J_{1,24,2} = 0,1239$. Так как ценность съемки первого заказа выше, для максимизации критерия (4) управляющему параметру $u_{1,24,1}$ присваивается значение «1», $u_{1,24,2} =$

Значения параметров для расчета эффективности съемки двух заказов на одном витке

Параметр	Значение для $k = 1$ (в радианах)	Значение для $k = 2$ (в радианах)
$\theta_{i,m_i,k}$	$\theta_{1,24,1} = 0,0183$	$\theta_{1,24,2} = 0,1737$
$\theta_{\max i}$	$\theta_{\max 1} = 0,3491$	$\theta_{\max 1} = 0,3491$
$\delta_{i,m_i,k}^{sun}$	$\delta_{1,24,1}^{sun} = 0,9146$	$\delta_{1,24,2}^{sun} = 0,9143$
$\delta_{\max k}^{sun}$	$\delta_{\max 1}^{sun} = 1,5708$	$\delta_{\max 2}^{sun} = 1,5708$

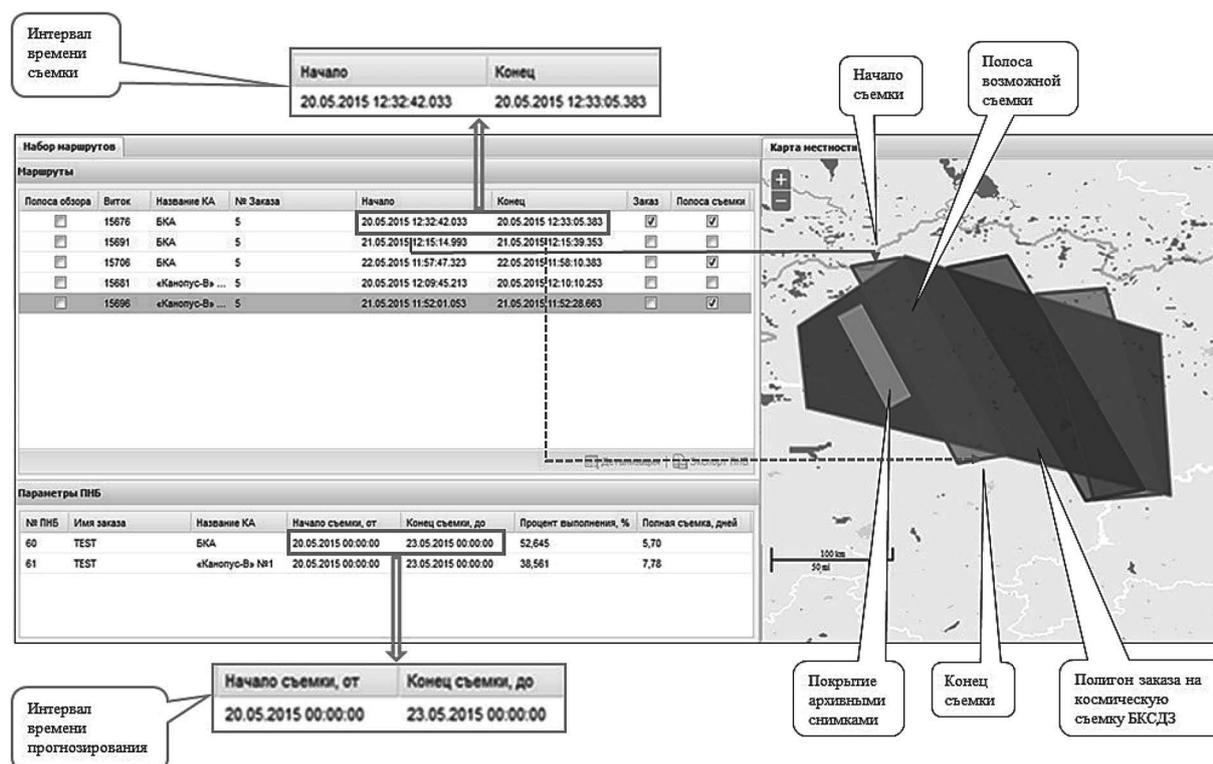
значение «0». Аналогичным образом выполняются расчеты для каждого витка. Если на m_i -м витке отсутствует пересечение полосы обзора i -го космического аппарата с полигонами заказов и съемка невозможна, эффективность съемки $J_{i,m_i,k}$ для каждого заказа полагается равной «0». Если на m_i -м витке съемка нецелесообразна, так как не выполняются требования потребителей, управляющим элементам $u_{i,m_i,k}$, $k = 1, K$, при свайваются значения «0».

3. Результат решения поставленной задачи

В результате решения задачи находятся интервалы времени съемки и координаты полос возможной съемки полигона заказа, которые зависят от крена и баллистической информации спутников, угла Солнца. Формируется покрытие полосами возможной съемки области полигона, оставшейся после покрытия архивными снимками, качество которых удовлетворило заказчика. Пример визуализации решения задачи приведен на рис. 1. На карте отображаются геопривязанный полигон заказа, покрытие полигона заказа архивными снимками и полосами возможной съемки.

На основе сформированного покрытия полигона заказа прогнозируются сроки выполнения заказа: вычисляются процент покрытия полигона заказа за время интервала прогнозирования и ожидаемое время полного покрытия полигона заказа. Результат отображается в виде таблицы: имя заказа, название космического аппарата, время начала, время окончания прогнозирования, длительность интервала прогнозирования, процент покрытия полигона заказа за время интервала прогнозирования, ожидаемое время полного покрытия полигона заказа.

Специалист по работе с потребителями анализирует результат расчета и, в случае не-



Табличное и графическое представление прогнозируемых полос съемки двумя космическими аппаратами

возможности за допустимое время прогнозирования осуществить покрытие всей территории полигона, рекомендует клиенту изменить параметры заказа (ограничения по углу съемки, по высоте Солнца, интервал времени прогнозирования). После обсуждения и согласования с потребителем модифицируются необходимые параметры заказа, и расчет производится снова с учетом изменившихся условий и ограничений.

4. Характеристика программного комплекса

Разработанный в УП «Геоинформационные системы» АПК АР входит в состав Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ) и обеспечивает поддержку принятия решений на преддоговорном этапе коммерческой деятельности БКСДЗ.

АПК АР является частью наземного сегмента БКСДЗ и взаимодействует с некоторыми смежными службами с целью получения от них прогнозной баллистической информации, границ полигонов ранее отснятых территорий и архивных снимков. После проведения оперативного анализа и принятия решения о заключении договора в АПК АР формируется заказ

на космическую съемку ДЗЗ и передается в смежные службы для дальнейшей обработки.

Архитектура специального программного обеспечения (СПО) АПК АР ориентирована на структуру наземного сегмента БКСДЗ и учитывает специфику преддоговорного этапа коммерческой деятельности, а также возможности и эффективное использование технической инфраструктуры (телекоммуникации, компьютерное оборудование). СПО АПК АР функционирует в рамках клиент-серверной архитектуры на базе WEB-технологий. Специалист по работе с потребителями получает доступ к СПО АПК АР через браузер после централизованной авторизации.

Основные программные компоненты уровня приложений СПО АПК АР строятся на основе современных технологий с открытыми кодами и с учетом стандартов взаимосвязи для открытых систем.

СПО АПК АР в соответствии с функциональным назначением подразделяется на три подсистемы:

- формирования заказа на космическую съемку БКСДЗ;
- оперативного анализа реализуемости заказа ДЗЗ;

– формирования отчета по оперативному анализу реализуемости заказа ДЗЗ.

АПК АР обеспечивает графическое представление на карте различных объектов: геопривязанного полигона заказа, полигонов ранее отснятых снимков, подспутниковых точек с направлением движения и полос обзора космических аппаратов. После проведения расчета реализуемости и получения результата возможно отображение полос прогнозируемой космической съемки на карте. Графическое представление данных осуществляется при взаимодействии с картографическим сервером БКСДЗ по протоколу Open Geospatial Consortium (OGC) Web MAP Service (WMS).

АПК АР тестировался для Белорусского космического аппарата и российского космического аппарата «Канопус-В № 1», входящих в состав российско-белорусской орбитальной группировки и имеющих схожие характеристики. В настоящее время АПК АР успешно

функционирует в составе БКСДЗ. Его применение позволяет специалисту по работе с потребителями сократить время на проведение оперативного анализа, помогает оценить сроки выполнения заказа и принять решение о заключении договора на предоставление данных ДЗЗ.

Заключение

Созданный аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли предназначен для автоматизации проведения оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ на преддоговорном этапе коммерческой деятельности БКСДЗ. АПК АР прошел апробацию для двух спутников и может быть в дальнейшем использован в качестве основы для проведения оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ с учетом ресурсов нескольких космических аппаратов.

Литература

1. **Дарнопых В. В.** Автоматизация параметрического анализа целевого функционирования космических систем дистанционного зондирования Земли / В. В. Дарнопых, И. В. Усовик // Электронный журнал «Труды МАИ» [Электронный ресурс]. – 2011. – Выпуск № 47. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/upload/iblock/d83/avtomatizatsiya-parametricheskogo-analiza-tselevogo-funktsionirovaniya-kosmicheskikh-sistem-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli.pdf>. – Дата доступа: 26.02.2016.
2. **Дарнопых В. В.** Автоматизированный программный комплекс для параметрического анализа и оптимизации планирования целевого функционирования космических систем ДЗЗ / В. В. Дарнопых, И. В. Усовик // Электронный журнал «Труды МАИ» [Электронный ресурс]. – 2013. – Выпуск № 65. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/upload/iblock/b04/b0489e8abd6dfc68189905fb36860979.pdf>. – Дата доступа: 26.02.2016.
3. **Костюченко В. Д.** Оперативный анализ реализуемости заказов ДЗЗ при прогнозировании сроков их выполнения / В. Д. Костюченко, А. В. Савитский, А. Л. Соболев // Шестой Белорусский космический конгресс. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – Т. 2. – С. 178–181.
4. **Ковтун В. С.** Выбор оптимальных вариантов маршрутов съемок для космической системы дистанционного зондирования Земли / В. С. Ковтун, А. В. Строченкин, В. Н. Фролов // Космическая наука и технологии, 2014. – № 1 (4). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energia.ru/ktt/archive/2014/03-2014/03-08.pdf>. – Дата доступа: 24.02.2016.
5. **Безняков А. М.** Методика оптимального планирования применения космических аппаратов Дистанционного зондирования Земли в обзорном режиме / А. М. Безняков, В. И. Горбулин, Д. Л. Каргу, А. С. Фадеев, В. И. Щербаков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета № 1 (39), 2013. – С. 39–45. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/view/120>. – Дата доступа: 25.02.2016.
6. **Darnopykh V. V.** Optimization of target functioning plans and constellations of satellite observation and communication systems. / V. V. Darnopykh, V. V. Malyshev // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/profile/Valeriy_Darnopykh/publication/275638455_Optimization_of_target_functioning_plans_and_constellations_of_satellite_observation_and_communication_systems/links/5540c1b90cf2b7904369bf01.pdf. – Date of access: 25.02.2016.
7. **Згуровский М. З.** Системный анализ: проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 744 с.
8. **Струченков В. И.** Методы оптимизации в прикладных задачах / В. И. Струченков. – М.: Солон-пресс, 2009. – 320 с.
9. **Куссуль Н. Н.** Оптимизация процессов принятия решений в экспертных системах планирования работы целевой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Н. Н. Куссуль, С. Л. Янчевский, А. Н. Кравченко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 64–75. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/2011v8n3/64-75.pdf. – Дата доступа: 24.02.2016.

References

1. **Darnopyh V. V.** Automation parametric analysis of the functioning of the target space systems for remote sensing of the Earth / V. V. Darnopyh, I. V. Usovik // *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»* [Electronic resource]. – 2011. – No. 47. – Mode of access: <http://www.mai.ru/upload/iblock/d83/avtomatizatsiya-parametricheskogo-analiza-tselevogo-funktsionirovaniya-kosmicheskikh-sistem-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli.pdf>. – Date of access: 26.02.2016.
2. **Darnopyh V. V.** The automated software system for parametric analysis and optimization of the target operation of space systems for Earth remote sensing planning / V. V. Darnopyh, I. V. Usovik // *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»* [Electronic resource]. – 2013. – No. 65. – Mode of access: <http://www.mai.ru/upload/iblock/b04/b0489e8a6d6dfc68189905fb36860979.pdf>. – Date of access: 26.02.2016.
3. **Kastsyuchenka V. D.** Real-time analysis of ERS requests feasibility for its deadline prediction / V. D. Kastsyuchenka, A. V. Savitsky, A. L. Sobal // *The 6th Belarusian Space Congress – Minsk: UIIP NAS of Belarus, 2014. – Vol. 2. – P. 178–181.*
4. **Kovtun V. S.** Choosing optimal survey routes for Earth remote sensing space system. / V. S. Kovtun, A. V. Strochenkin, V. N. Frolov // *Space science and technology, 2014. – No. 1 (4).* [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.en-ergia.ru/ktt/archive/2014/03–2014/03–08.pdf>. – Date of access: 24.02.2016.
5. **Beznyakov A. M.** Methods of optimal planning of using Earth remote sensing space modules in the survey mode / A. M. Beznyakov [et al.] // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta № 1 (39), 2013. – C. 39–45.* [Electronic resource]. – Mode of access: <http://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/view/120>. – Date of access: 25.02.2016.
6. **Darnopykh V. V.** Optimization of target functioning plans and constellations of satellite observation and communication systems. / V. V. Darnopykh, V. V. Malyshev // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/profile/Valeriy_Darnopykh/publication/275638455_Optimization_of_target_functioning_plans_and_constellations_of_satellite_observation_and_communication_systems/links/5540c1b90cf2b7904369bf01.pdf. – Date of access: 25.02.2016.
7. **Zgurovskij M. Z.** System analysis: problems, methodology, application / M. Z. Zgurovskij, N. D. Pankratova. – Kiev: Naukova dumka, 2005. – 744 p.
8. **Struchenkov V. I.** Optimization methods in applied problems / V. I. Struchenkov. – Moscow: Solon-press, 2009. – 320 p.
9. **Kussul N. N.** Optimization-based decision support in expert systems for payload tasking / N. N. Kussul, S. L. Yanchevsky, A. N. Kravchenko // *Current problems in remote sensing of the Earth from space, 2011. – Vol .8. – No. 3. – P. 64–75.* [Electronic resource]. – Mode of access: http://d33.infospace.ru/d33_conf/2011v8n3/64–75.pdf. – Date of access: 24.02.2016.

Поступила
18.05.2016

После доработки
04.07.2016

Принята к печати
15.09.2016

N. Arkhipova, S. Zolotoy, V. Korzun, V. Kastsyuchenka, V. Kupryianets, A. Sobal

AUTOMATED SYSTEM OF THE OPERATIONAL ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF EARTH REMOTE SENSING

The article scopes the hardware and software of the information system for pre-contractual real-time analysis of requests feasibility for supplying of Earth remote sensing data, which is an integral part of the Belarusian Space System for Earth Remote Sensing. The main purpose of the development of this information system is the creation of computer-aided system for real-time analysis of customers' requests feasibility by using the resources of two space vehicles. This system is a decision support system in the pre-contractual phase on the everyday business practice. This automation activity is solved using multicriteria optimization approaches. The created information system allows to speed-up calculations and increase its quality as well as to augment the precision of assessment of space images acquisition by including the resources of two satellites during the requested period of time. This system has passed the evaluation test for both satellites and may be further used as the base for real-time analysis of requests feasibility taking into account the resources of several space vehicles.

Keywords: *Earth remote sensing, multicriteria optimization, space vehicle, ballistic information.*



Архипова Надежда Александровна – инженер-программист УП «Геоинформационные системы»

Nadezhda Arkhipova – Software Engineer at UE Geoinformation Systems



Золотой Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор УП «Геоинформационные системы», e-mail: gis@gis.by

Sergey Zolotoy – Candidate of Engineering Sciences, Director at UE Geoinformation Systems



Корзун Валерия Михайловна – младший научный сотрудник УП «Геоинформационные системы», e-mail: valeria_korzun@mail.ru

Valerija Korzun – Research Assistant at UE Geoinformation Systems



Костюченко Валентин Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник УП «Геоинформационные системы», e-mail: val27kas@gmail.com

Valiantsin Kastsiuchenka – Candidate of Engineering Sciences, Docent, Senior Research Officer at UE Geoinformation Systems



Куприянец Ольга Эдуардовна – начальник сектора УП «Геоинформационные системы», e-mail: o.kupryianets@tut.by

Volha Kupryianets – Head of Sektor at UE Geoinformation Systems



Соболь Александр Леонидович – ведущий инженер-программист УП «Геоинформационные системы», e-mail: Animal_1990@mail.ru

Aliaksandr Sobal – Leading Software Engineer at UE Geoinformation Systems

Работа выполнена в рамках создания аппаратно-программного комплекса преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли (АПК АР) и модернизации специального программного обеспечения АПК АР по договорам № 17/2013-М/2014-25-021 и № 12/2015-М/2015-25-096 на выполнение опытно-конструкторской работы по модернизации Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли.

УДК 004.942:656.615

В. А. РЫБАК, ШОКР АХМАД

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Белорусский национальный технический университет

В статье приводятся результаты аналитического обзора и сравнения наиболее распространённых технологий поддержки принятия управленческих решений: метод анализа иерархий, нейронные сети, теория нечётких множеств, генетические алгоритмы и нейро-нечёткое моделирование. Указаны достоинства и недостатки данных подходов. Определены сферы их применения. Показано, что метод анализа иерархий хорошо работает при условии полной начальной информации, но в силу необходимости сравнения экспертами альтернатив и выбора критериев оценки обладает высокой долей субъективизма. Для задач прогнозирования в условиях риска и неопределённости обоснованным представляется использование теории нечётких множеств и нейронных сетей. Также рассмотрена технология принятия коллективных решений, применяемая как на всеобщих выборах, так и в группе экспертов. Она позволяет сократить время на согласительные совещания для достижения консенсуса путём предварительного анализа всех мнений, представляемых на плоскости в виде точек. При этом согласованность мнений определяется расстояниями между ними.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, нейронные сети, теория нечётких множеств, генетические алгоритмы, поддержка принятия решений

Введение

В связи с постоянно увеличивающимся объёмом информации, которая циркулирует и используется людьми в различных сферах жизнедеятельности, возрастает роль автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР). При этом в настоящее время нет общепризнанной классификации СППР, как и не существует универсальной системы, способной решить любую задачу.

Хотя сегодня разработаны и обоснованы многие эффективные инструменты для поддержки принятия управленческих решений, остаётся открытым вопрос об их использовании на местах лицами, принимающими решения (ЛПР). Чаще всего решения принимаются без использования СППР, основываясь лишь на опыте ЛПР и его интуиции.

Не претендуя на всеобъемлющее описание существующих СППР, далее будут рассмотрены некоторые известные инструменты, использование которых во многом снижает долю субъективизма при принятии решений, и тем самым повышая их эффективность.

1. Метод анализа иерархий

Так, метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским математиком Томасом

Саати, не даёт ЛПР однозначный ответ, а скорее предоставляет инструмент сравнения и оценивания рассматриваемых альтернатив. Суть данного метода заключается в том, что для выбора наиболее предпочтительного сценария из нескольких имеющихся эксперт (или группа) определяет ряд критериев, по которым в дальнейшем сравниваются попарно исходные альтернативы. При этом оценочная шкала, как правило, состоит из девяти уровней, которые отражают предпочтения от наименьшего до неоспоримого. Результаты сравнения записываются в матрицу A , где значение на пересечении i -ой строки и j -го столбца отражает оценку ЛПР о предпочтительности i -ой альтернативы над j -ой, а элемент $A_{ji} = 1/A_{ij}$. Важность критериев в процессе использования МАИ может либо ранжироваться для выделения наиболее значимых признаков, либо может быть одинаковой.

В результате матричного анализа данный метод позволяет выделить наиболее предпочтительную альтернативу исходя из оценок и значимости критериев, выбранных ЛПР. Схематично процесс использования МАИ представлен на рис. 1 [1].

Несмотря на кажущуюся простоту и линейность данного метода он является доста-

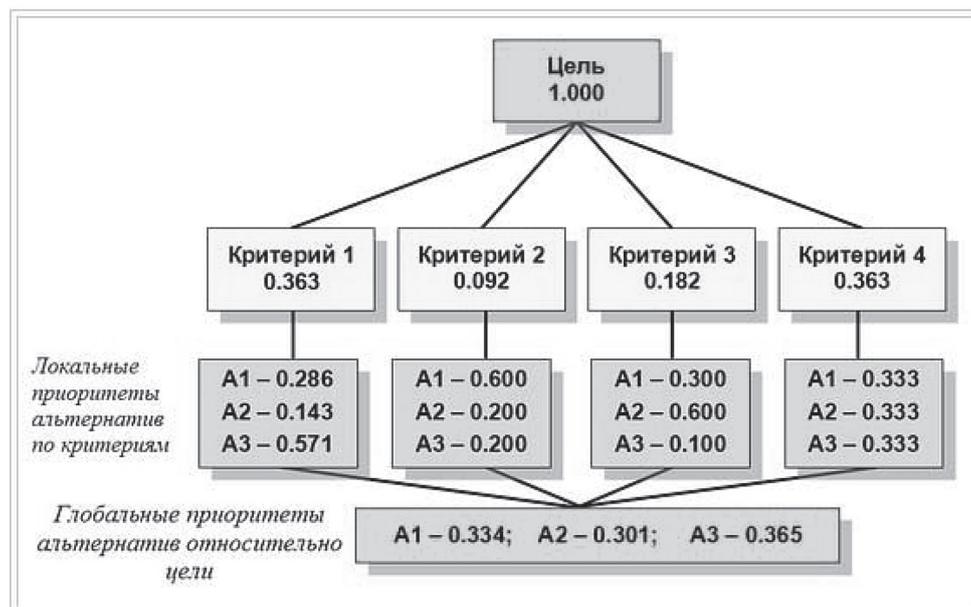


Рис. 1. Схема получения решений МАИ

точно действенным инструментом, и использовался, например, при определении внешней политики США по отношению к Китаю в прошлом веке. Кроме того, около ста китайских университетов предлагают курсы по основам МАИ, и многие соискатели научных степеней выбирают МАИ в качестве объекта научных и диссертационных исследований. Опубликовано более 900 научных статей по данной тематике. Существует китайский научный журнал, специализирующийся в области МАИ. Раз в два года проводится Международный симпозиум, посвященный МАИ (International Symposium on Analytic Hierarchy Process, ISANP), на котором встречаются как ученые, так и практики, работающие с МАИ. В 2007 году симпозиум проходил в Вальпараисо, Чили, где было представлено более 90 докладов ученых из 19 стран, включая США, Германию, Японию, Чили, Малайзию, и Непал [1].

К достоинствам данного метода можно отнести простоту и однозначность получаемых результатов. МАИ можно рекомендовать к применению во многих сферах деятельности, включая государственное управление и ведение бизнеса.

К недостаткам можно отнести условность выполняемых сравнений и выбор критериев. Также данный метод не эффективен для прогнозирования и принятия решений в условиях риска и неопределенности.

Для преодоления указанных изъянов можно использовать технологию нейро-нечеткого

моделирования (ННМ), объединяющую в себе два элемента искусственного интеллекта – нейронные сети (НС) и теорию нечетких множеств (ТНМ).

2. Нейронные сети

Нейронные сети являются попыткой искусственно воссоздать структуру головного мозга, состоящую из отдельных клеток – нейронов. Выделяют НС с различным количеством входов, выходов и слоев. В упрощенном виде НС можно представить схемой (рис. 2), на которой имеется два входа, один выход и один нейрон [5].

Алгоритм использования НС включает в себя два этапа. На первом, называемом обучением, сеть подстраивается на специально подобранных примерах путем подбора весов связей, чтобы входные сигналы максимально были связана с выходным по требуемому правилу. Далее, обученная НС используется по назначению.

Применение нейронных сетей особенно эффективно для решения следующего типа задач: распознавание образов, аппроксимация функций, прогнозирование числовых рядов.



Рис. 2. Структура НС на основе линейной модели

При этом важную роль играет подбор и формирование обучающей выборки, определение количества тренировочных эпох, избегание проблемы переобученности [2].

3. Теория нечетких множеств

Теория нечетких множеств, возникшая на основании трудов Лотфи Заде, предлагает использовать особую логику, когда множество может описывать такие понятия, как «достаточно большое значение», «средний рост», «высокая стоимость» с использованием функций принадлежности. При этом под нечётким множеством A понимается совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$, причём функция принадлежности (характеристическая функция), указывает в какой степени (мере) элемент x принадлежит нечёткому множеству A .

Над нечеткими множествами возможны ряд операций, подробно описанных в учебниках по искусственному интеллекту, поэтому остановимся подробнее на сфере применения ТНМ.

Для многих приложений, связанных с управлением технологическими процессами, необходимо построение модели рассматриваемого процесса. Знание модели позволяет подобрать соответствующий регулятор (модуль управления). Однако часто построение корректной модели представляет собой трудную задачу, требующую иногда введения различных упрощений. Применение ТНМ для управления технологическими процессами не предполагает знания моделей этих процессов. Следует только сформировать правила поведения в формате нечетких условных суждений типа IF – THEN [3].

При этом в процессе решения большинства прикладных задач регулирования информацию, необходимую для построения и реализации системы управления, можно разделить на две части: численную (количественную), получаемую с измерительных датчиков, и лингвистическую (качественную), поступающую от эксперта. Значительная часть нечетких систем регулирования использует второй вид знаний, чаще всего представляемых в форме базы нечетких правил [8].

В случае, когда возникает необходимость спроектировать нечёткую систему, но в наличии имеются только численные данные, мы

сталкиваемся с серьёзными проблемами. Одним из путей их решения считаются так называемые нейро-нечеткие системы. Они обладают многими достоинствами, однако сдерживающим моментом является длительность наполнения их знаниями в процессе итеративного обучения [3].

4. Нейро-нечеткое моделирование

Реализация нейро-нечеткого моделирования возможна на основе нейронных сетей с добавлением ТНМ. При этом в отличие от классических НС в процессе обучения системы подбираются не веса связей, а нечёткие правила и функции принадлежности. Очевидно, что при этом возникает необходимость в переводе чисел из четкой системы в нечеткую (фазификация) и наоборот (дефазификация).

На рис. 3 представлена структура нейро-нечеткой системы, используемой для прогнозирования числовых рядов [4].

Как видно из рис. 3 данная система имеет кроме входного и выходного слоев дополнительные слои, включая слой нечётких правил. Как показано в [4] данная система, при использовании в качестве инструмента поддержки принятия решений, с меньшей погрешностью по сравнению с другими моделями (линейной и квадратичной регрессией) способна прогнозировать ожидаемые курсы валют. При этом с увеличением количества нечетких правил и нейронов в первом слое увеличивается и точность обучения нейронной сети, однако наращивание числа нейронов упирается в ограничения вычислительных мощностей и время, необходимое для обучения системы. Поэтому обоснованным представляется использование для каждого входного сигнала от трех до семи нейронов во входном слое [4].

К достоинствам нейро-нечеткого моделирования можно отнести возможность использовать лингвистические данные, которыми чаще всего оперируют эксперты. Однако недостатком технологии является необходимость наращивания количества слоев и правил для достижения приемлемой точности, что приводит к дополнительным временным затратам, и требует существенных вычислительных мощностей [2].

5. Генетические алгоритмы

Рассматривая СППР с использованием элементов искусственного интеллекта, необходимо также обсудить генетические алгоритмы

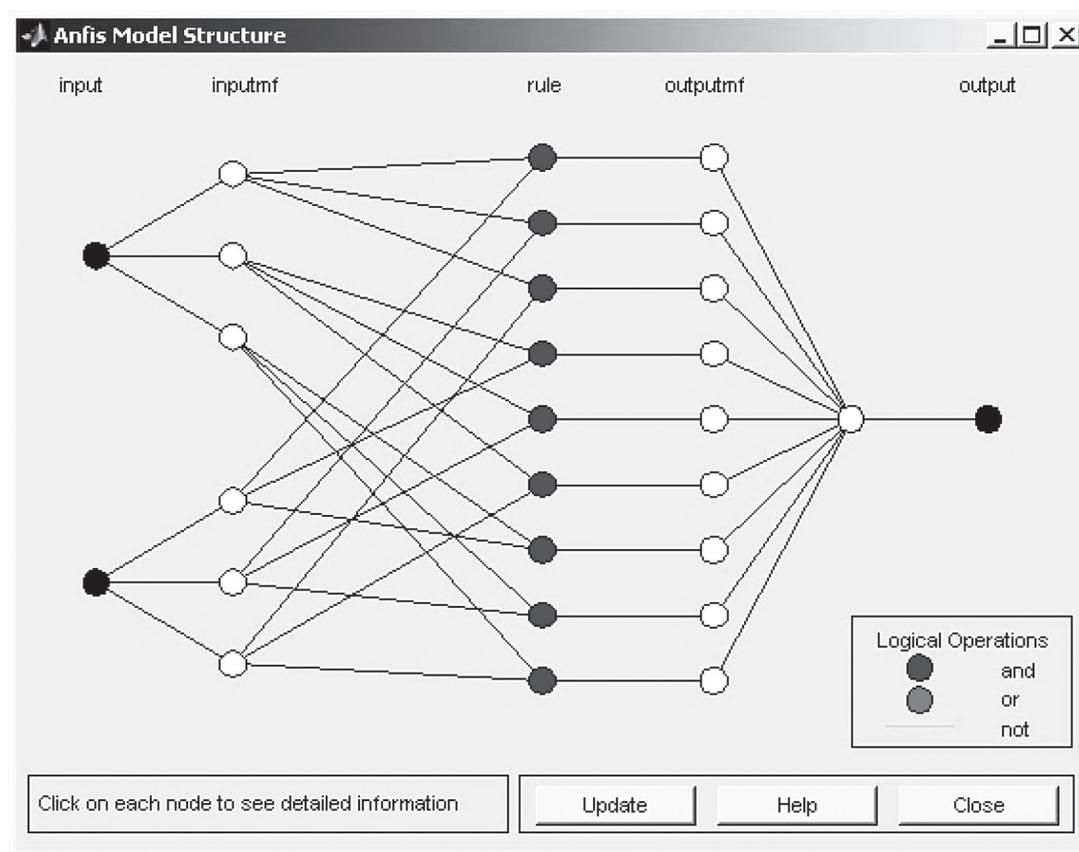


Рис. 3. Структура нейро-нечеткой системы

(ГА), которые как и НС являются технологией, моделирующей естественные процессы в природе. С использованием ГА эффективно решаются задачи оптимизации и нахождения локальных экстремумов.

Генетические алгоритмы – это процедуры поиска, основанные на механизмах естественного отбора и наследования. В них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. Они отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами. В частности, генетические алгоритмы:

- 1) обрабатывают не значения параметров самой задачи, а их закодированную форму;
- 2) осуществляют поиск решения, исходя не из единственной точки, а из их некоторой популяции;
- 3) используют только целевую функцию, а не её производные, либо иную дополнительную информацию;
- 4) применяют вероятностные, а не детерминированные правила выбора.

Перечисленные четыре свойства, которые можно сформулировать также как кодирова-

ние параметров, операции на популяциях, использование минимума информации о задаче и рандомизация операций приводят в результате к устойчивости генетических алгоритмов и к их превосходству над другими широко применяемыми технологиями.

Основной (классический) генетический алгоритм (также называемый элементарным или простым генетическим алгоритмом) состоит из следующих шагов:

- 1) инициализация или выбор исходной популяции хромосом;
- 2) оценка приспособленности хромосом в популяции;
- 3) проверка условия остановки алгоритма;
- 4) селекция хромосом;
- 5) применение генетических операторов;
- 6) формирование новой популяции;
- 7) выбор «наилучшей» хромосомы.

Достоинством ГА является то, что с их помощью можно осуществлять поиск по заданным критериям приемлемого, а не единственного оптимального решения в пространстве, ландшафт которого является негладким (содержит несколько экстремумов) [9].

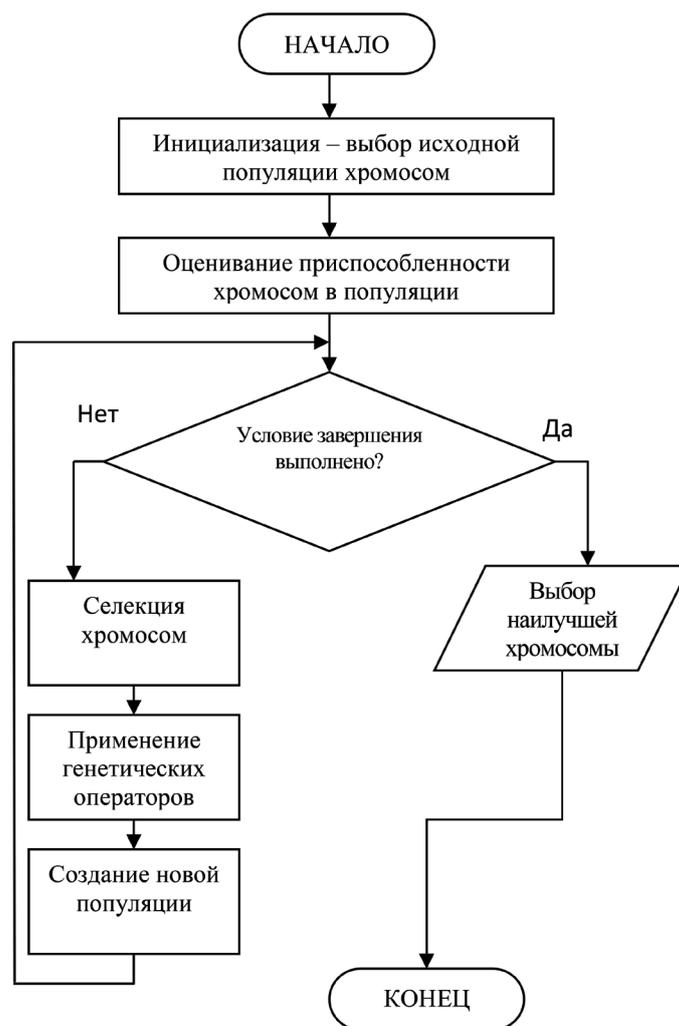


Рис. 4. Блок-схема основного генетического алгоритма

К недостаткам данной технологии можно отнести трудно формализуемую Fitness-функцию, раннюю сходимость алгоритма и погрешность, вызванную вероятностью градиентного спуска именно к локальному, а не глобальному экстремуму.

Рассматривая существующие технологии принятия решений, видится целесообразным обратиться также к механизмам коллективных решений, например, описанным О. И. Ларичевым [6], и берущие своё начало в системах голосования.

Как отмечает автор, существующие уже более 200 лет процедуры выявления победителя на выборах обладают рядом противоречий, выявленных еще Кондорсе и Борда [6]. Систематическое исследование всех возможных систем голосования провел в 1951 г. Кеннет Эрроу из Стенфордского университета [7]. Он поставил вопрос в наиболее общем виде: можно ли создать такую

систему голосования, чтобы она была одновременно рациональной (без противоречий), демократической (один человек – один голос) и решающей (позволяла осуществить выбор)? Вместо попыток изобретения такой системы Эрроу предложил набор требований, аксиом, которым эта система должна удовлетворять. Эти аксиомы были интуитивно понятны, приемлемы с точки зрения здравого смысла и допускали математическое выражение в виде некоторых условий.

Определив пять аксиом – желательных свойств системы голосования, Эрроу доказал, что системы, удовлетворяющие этим аксиомам, обладают недопустимым с точки зрения демократических свобод недостатком: каждая из них является правилом диктатора – личности, навязывающей всем остальным избирателям свои предпочтения [6].

Для перенесения опыта и улучшения метода выявления предпочтений из сферы всеоб-

щего голосования в сферу группового принятия решений, О. И. Ларичев предлагает следующую технологию, состоящую из трех основных этапов: определение списка критериев, разработка шкал оценки по критериям, сбор информации. При этом объекты и члены группы представляются на плоскости точками, расстояние между которыми отражает степень согласия (совпадение мнений).

Заключение

Таким образом, рассмотренные выше технологии поддержки принятия решений позволяют использовать математический аппарат и элементы искусственного интеллекта для

нахождения оптимального решения, отвечающего заданным характеристикам.

Результаты выполненного анализа будут использованы в рамках диссертационного исследования по разработке системы поддержки принятия управленческих решений для обработки параметров инновационных проектов, выполняемого авторами. В частности планируется разработать и реализовать автоматизированную систему, позволяющую в рамках ограниченности финансирования оценивать и выбирать наиболее эффективные инновационные проекты с точки зрения обоснованных эколого-экономических показателей и указывать пути повышения экологичности посредством реализации предлагаемых мероприятий [10].

Литература

1. **Метод** анализа иерархий [Электронный ресурс] // https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_анализа_иерархий (дата обращения: 12.07.2016).
2. **Рыбак, В. А.** Методы принятия решений в экологии / В. А. Рыбак. – GmbH, 2014. – 367 с.
3. **Рутковская, Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
4. **Рыбак, В. А.** Интеллектуальная поддержка принятия решений на рынке Форекс / В. А. Рыбак, Х. М. Сулайман // Информатика. – 2014. – № 4(44). – С. 52–58.
5. **Рыбак, В. А.** Методологические основы принятия решений для управления природоохранной деятельностью / В. А. Рыбак. – Мн.: РИВШ, 2009. – 274 с.
6. **Ларичев, О. И.** Теория и методы принятия решений / О. И. Ларичев. – М., 2000. – 296 с.
7. **Arrow K. J.** Social Choice and individual values. N. Y.: Wiley, 1951.
8. **Рыбак, В. А.** Использование теории нечетких множеств для оценки эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий / В. А. Рыбак // Инженерный вестник. – 2010. – № 1. – С. 86–93.
9. **Рыбак, В. А.** Применение генетических алгоритмов для решения задач оптимизации качества окружающей среды / В. А. Рыбак // Системный анализ и прикладная информатика.-2015. – № 2. – С. 65–70.
10. **Войтов, И. В.** Научно-методические основы анализа и оценок технологического прогнозирования развития новых высокотехнологичных промышленных производств: монография / И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак.- Мн., 2015. – 532 с.

References

1. **Method** of analyze of hierarchy [Electronic resource] // https://ru.wikipedia.org/wiki/Method_of_analyze_of_hierarchy (data access: 12.07.2016).
2. **Rybak, V. A.** Method of decision in ecology / V. A. Rybak. – GmbH, 2014. – 367 s.
3. **Rutkovskaja, D.** Neuronal nets, genetic algorithm and fuzzy systems: Per. s pol'sk. / D. Rutkovskaja, M. Pilin'skij, L. Rutkovskij. – М.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 452 s.
4. **Rybak, V. A.** Intelligent decision support system on the market Forex / V. A. Rybak, H. M. Sulajman // Informatics. – 2014. – № 4(44). – S. 52–58.
5. **Rybak, V. A.** Methodological base of decision in environmental protection / V. A. Rybak. – Мн.: RIVSh, 2009. – 274 s.
6. **Larichev, O. I.** Theory and methods of decisions / O. I. Larichev. – М., 2000. – 296 s.
7. **Arrow K. J.** Social Choice and individual values. N. Y.: Wiley, 1951.
8. **Rybak, V. A.** Using of fuzzy sets theory for estimation of ecological and economic effectiveness of environmental protection / V. A. Rybak // Inzhenernyj vestnik. – 2010. – № 1. – S.86–93.
9. **Rybak, V. A.** Using of genetic algorithms for solving of tasks of optimization of quality environmental / V. A. Rybak // System analysis and applied information science. – 2015. – № 2. – S. 65–70.
10. **Vojtov, I. V.** Scientific-methodologically base of analyze and estimation technological forecasting of development of new industrial projects: monographic / I. V. Vojtov, M. A. Gatih, V. A. Rybak. – Мн., 2015. – 532 s.

Поступила
13.07.2016

После доработки
22.07.2016

Принята к печати
15.09.2016

Rybak V. A., Shokr Ahmad

ANALYSIS AND COMPARISON OF EXISTING DECISION SUPPORT TECHNOLOGY

Belarusian National Technical University

The article presents the results of an analytical review and comparison of the most common managerial decision support technologies: the analytic hierarchy method, neural networks, fuzzy set theory, genetic algorithms and neural-fuzzy modeling. The advantages and disadvantages of these approaches are shown. Determine the scope of their application. It is shown that the hierarchy analysis method works well with the full initial information, but due to the need for expert comparison of alternatives and the selection of evaluation criteria has a high proportion of subjectivity. For problems in the conditions of risk and uncertainty prediction seems reasonable use of the theory of fuzzy sets and neural networks. It is also considered technology collective decision applied both in the general election, and the group of experts. It reduces the time for conciliation meetings to reach a consensus by the preliminary analysis of all views submitted for the plane in the form of points. At the same time the consistency of opinion is determined by the distance between them.

Keywords: *hierarchy analysis method, neural networks, fuzzy set theory, genetic algorithms, decision support systems*



Рыбак Виктор Александрович – доцент кафедры «Информационных систем и технологий», кандидат технических наук, Минск, 220013, Беларусь, ул. Ф. Скорины, 25/3, БНТУ, тел.+ 375 29 677 43 38;

Rybak V. A. Research interests: decision support systems including artificial intelligence. e-mail: 6774338@tut.by



Шокр Ахмад – аспирант кафедры «Информационных систем и технологий», Минск, 220114, Беларусь, ул. Ф. Скорины 25/3, учебный корпус 20, БНТУ,

Shokr Ahmad. Research interests: decision support system for industrial projects

УДК 004.715

О. В. НЕВДАЧИНА А. П. ПОЛОНЕВИЧ А. С. АРТЮЩИК

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ДВУМЯ ВХОДАМИ В СИСТЕМЕ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДЬЮ ПАКЕТОВ В СЕТЯХ TCP/IP

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

В статье представлен подход к решению проблемы перегрузок в сетях TCP/IP. Предложен нечеткий регулятор с двумя входами для системы активного управления очередью пакетов в сетях TCP/IP и исследовано его использование в данных системах при случайном изменении нагрузки трафика. Предложенный регулятор имеет два входа, один из которых это значение разницы между текущей длиной очереди, а второй – разница между текущим уровнем использования буфера. На выходе нечеткого регулятора вычисляется значение вероятности отбрасывания пакетов. Математическая модель системы активного управления очередью, которая исследуется, представлена в интерактивной системе MATLAB, где так же продемонстрированы процессы, происходящие в данной системе при случайном изменении нагрузки трафика. Результаты исследований показывают, что AQM-система с нечетким регулятором с двумя входами достаточно стабильно поддерживает заданную текущую длину очереди при достаточно малых значениях вероятности отбрасывания/маркировки пакетов (при желаемом размере очереди $q_0 = 200$ пакетов, среднее значение вероятности отбрасывания/маркировка не больше $3,5 \cdot 10^{-3}$ или меньше 0,35% пакетов отбрасывается или маркируется из общего числа поступающих пакетов). Полученные в работе результаты позволяют повысить эффективность функционирования и эксплуатации сетей TCP/IP в результате повышения качества передачи данных. Это происходит за счет внедрения предложенного регулятора при проектировании новых более эффективных маршрутизаторов для сетей и минимизации задержки информации.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, TCP/IP, активное управление очередью, AVO, AQM, очередь пакетов, MATLAB.

Введение

Для решения проблем уменьшения высокой задержки из-за полных очередей в сетях TCP/IP применяется стратегия Активное управление очередью – Active Queue Management (AQM). При AQM уведомления о перегрузке производятся отбрасыванием (или маркировкой) поступающих пакетов прежде, чем очереди маршрутизаторов станут полными. Другими словами, AQM использует принцип обратной связи: оконечные хосты реагируют на отбрасывание маркировки пакетов в очередях маршрутизатора, уменьшая их скорость передачи.

Традиционные методы, применяющиеся в сетях TCP/IP не могут полностью решить проблему борьбы с перегрузками с удовлетворительным качеством, в то время как нечеткая логика обеспечивает неаналитический подход к проектированию динамических и быстрых

схем управления для решения проблемы. Применение нечетких регуляторов, то есть регуляторов работающих на базе нечеткой логики, для управления различными объектами, демонстрирует их высокую эффективность и в ряде случаев существенные преимущества перед линейными цифровыми регуляторами [1].

Задача данной статьи – исследование работы AQM-системы при использовании в качестве регулятора перегрузок нечеткого регулятора с двумя входами. Для оценки динамики работы будет проведено измерение текущей длины очереди и вероятности маркировки отбрасывания пакетов при изменяющейся случайным образом длине очереди пакетов.

1. Описание работы нечеткого регулятора с двумя входами

На рис. 1 представлен нечеткий регулятор, который имеет два входа:

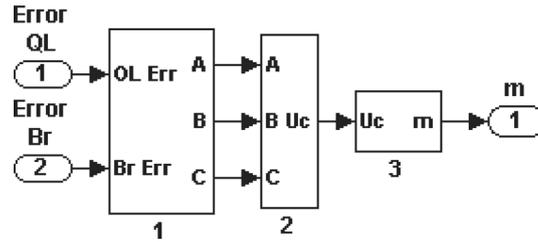


Рис. 1. Блок схема нечеткого регулятора с двумя входами

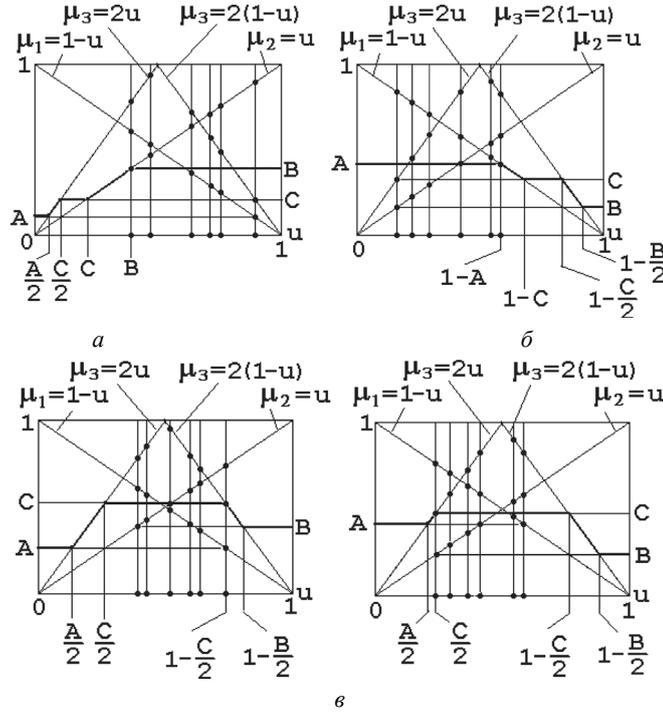


Рис. 2. Универсальные множества

1. Разницу между текущей длиной очереди (queuelength – QL) и желаемым значением длины очереди (target queue length – TQL)

2. Разницу между текущим уровнем использования буфера (bufferusage ratio – Br) и желаемым уровнем использования буфера (target buffer usage ratio – TBr)

Данный регулятор имеет один выход – вероятность отбрасывания пакетов (packet-dropping probability – Pd). Регулятор вычисляет вероятность отбрасывания пакетов $Pd \equiv m$, согласно первой разнице (Error QL), второй разнице (Error Br) и набору нечетких правил. Регулятор представим в виде последовательного соединения трех блоков (см. рис. 1): формирователя величин $A(t)$ и $B(t)$ (блок 1), блока сравнения величина A и B и расчета u_c (блок 2) и блока нормировки выходной переменной (блок 3).

Для упрощения проектирования регулятора примем, что блоки 1 и 2 имеют идентичные

треугольные функции принадлежности с тремя термами, которые расположены на универсальном множестве $[0, 1]$ (см. рис. 2, где показаны три конфигурации «результатирующей фигуры»):

$$A \leq C \leq B, A \geq C \geq B \text{ и } \begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases} \quad (1)$$

$$u_c = \frac{B/2 + (A^3 - 4B^3 + 3C^3)/24}{B + (A^2 - 2B^2 + C^2)/4} \text{ при } A \leq C \leq B. \quad (2)$$

$$u_c = \frac{A/2 - (2A^2 - B^2 - C^2)/4 + (4A^3 - B^3 - 3C^3)/24}{A - (2A^2 - B^2 - C^2)/4} \text{ при } A \geq C \geq B. \quad (3)$$

$$u_c = \frac{C/2 + (B^2 - C^2)/4 + (A^3 - B^3)/24}{C + (A^2 + B^2 - 2C^2)/4} \text{ при } \begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases} \quad (4)$$

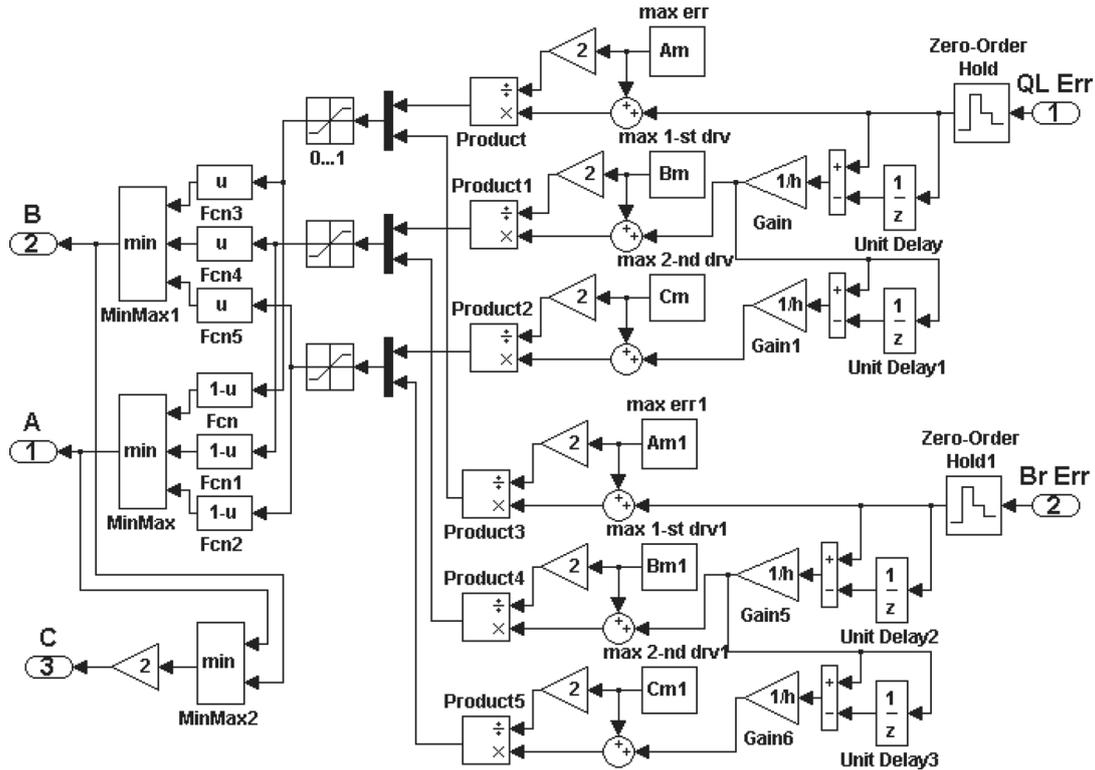


Рис. 3. Формирователь величин

Формирователь величин $A(t)$, $B(t)$ и $C(t)$ данного регулятора показан на рис. 3.

В формирователе ошибки рассогласования **QL Error** и **Br Error** квантуются аналого-цифровыми преобразователями АЦП и АЦП1 (**Zero-OrderHold** и **Zero-Order Hold1**) с шагом квантования (шагом поступления данных в нечеткий регулятор) h . Квантованные ошибки $\theta_{ql}(k)$ и $\theta_{br}(k)$ с выхода АЦП и АЦП1, их первая $\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)] / h$ и вторая $\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)] / h$ разности подаются на вход блока нормировки входных переменных. На выходе блоков **Product** – **Product5** структурной схемы формирователя величин **A(t)**, **B(t)** и **C(t)** получаем переменные u_i (соответственно $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$). Элементами ограничения (**Saturation**) моделируем универсальное множество $U = [0, 1]$, на которое поступают переменные $u_i, i = 1, 6$. В блоках **Fcn**, **Fcn1**, **Fcn2** записываем аналитические выражения для функций принадлежности $\mu_1(u)$, а в блоках **Fcn3**, **Fcn4**, **Fcn5** – аналитические выражения для функций принадлежности $\mu_2(u)$. На выходе блоков **Fcn**, **Fcn1**, **Fcn2** получаем переменные $\mu_1(u_i)$ (соответственно $\mu_1(u_1), \mu_1(u_2), \mu_1(u_3), \mu_1(u_4), \mu_1(u_5), \mu_1(u_6)$), а на выходе блоков **Fcn3**, **Fcn4**, **Fcn5** получаем

переменные $\mu_2(u_i)$ (соответственно $\mu_2(u_1), \mu_2(u_2), \mu_2(u_3), \mu_2(u_4), \mu_2(u_5), \mu_2(u_6)$).

Блок сравнения величин $A(t)$, $B(t)$ и $C(t)$ и расчета u_c (блок 2 на рис. 1) проектируется на основании формул (2), (3), (4) и показан на рис. 4.

На выходе делителя **Product** формируется величина u_c на основании формулы (2) при $A \leq C \leq B$. На выходе делителя **Product1** формируется величина u_c на основании формулы (3) при $A \geq C \geq B$. На выходе делителя **Product2** формируется величина u_c на основании формулы (4) при $\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$.

Переключатели **Switch1** замыкают верхние контакты при условии $A \leq C \leq B$, когда на средних контактах этих переключателей сигналы положительные (в блоках **Switch1** параметр **Threshold** = 0.000001). При условии $A \geq C \geq B$, когда на средних контактах переключателей **Switch** и **Switch1** сигналы отрицательные, переключатели замыкают нижние контакты.

Переключатели **Switch2** и **Switch3** замыкают верхние контакты при условии $\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$, когда на средних контактах этих переключате-

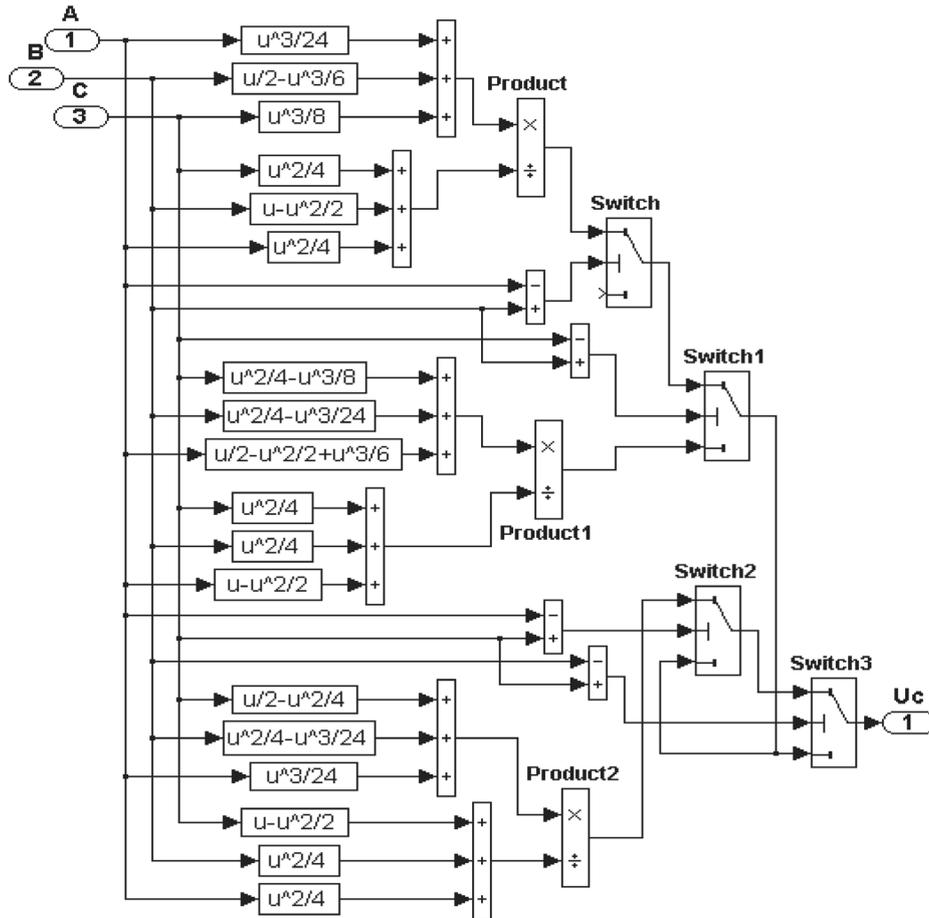


Рис. 4. Блок сравнения величин

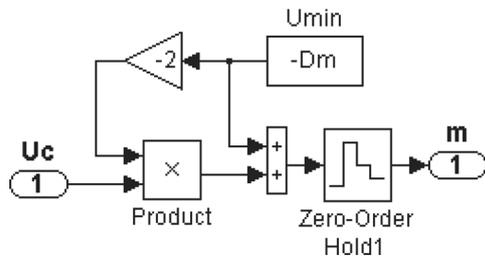


Рис. 5. Блок нормировки выходной переменной

лей сигналы положительные (в блоках Switch2 и Switch3 параметр Threshold = 0.000001).

2. Исследование работы системы Активного управления очередью пакетов с предложенным регулятором.

Для анализа работы системы активного управления очередью пакетов ее можно представить как систему управления с обратной связью [2–3], где в качестве AQM-закона управления может быть использован любой регулятор. Его основная задача заключается в поддержании очереди пакетов на минимальном уровне, не допуская наступления перегрузки. Общая схема данной системы представлена на рис. 6 [4].

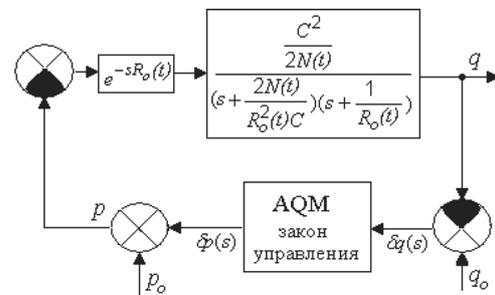


Рис. 6. Общая схема системы активного управления очередью пакетов

Динамика объекта описывается передаточной функцией, которая представляет собой отношение по Лапласу переменной «длина очереди» к переменной «вероятность отбрасывания маркировки пакета» и имеет вид:

$$G(s) = P(s)e^{-sR_o} = \frac{C^2 \left(s^2 - \frac{6}{R_o} s + \frac{12}{R_o^2} \right)}{\left(s + \frac{2N}{R_o^2 C} \right) \left(s + \frac{1}{R_o} \right) \left(s^2 + \frac{6}{R_o} s + \frac{12}{R_o^2} \right)} \quad (5)$$

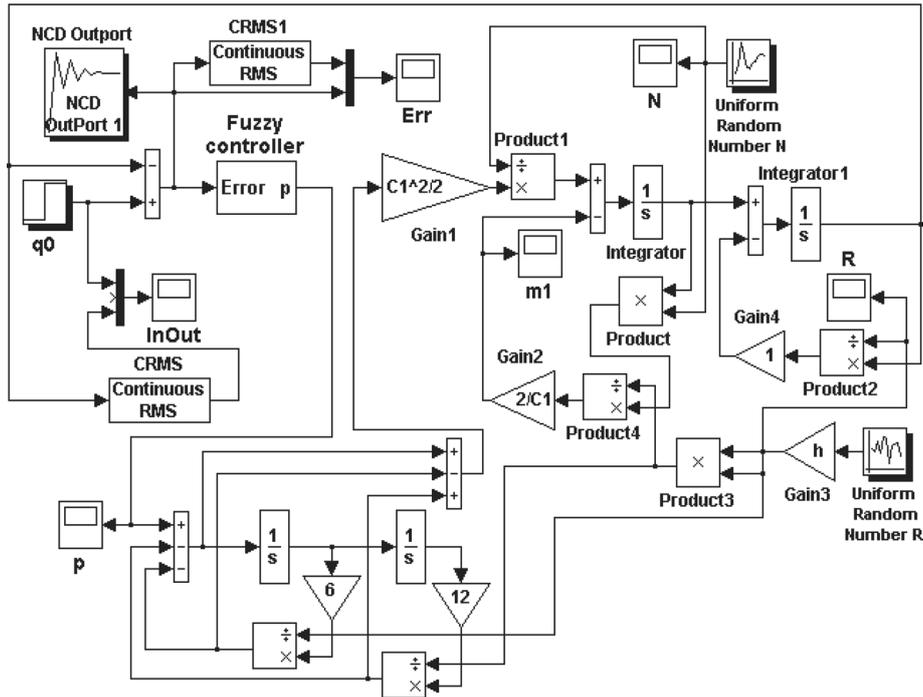


Рис. 7. Модель AQM системы

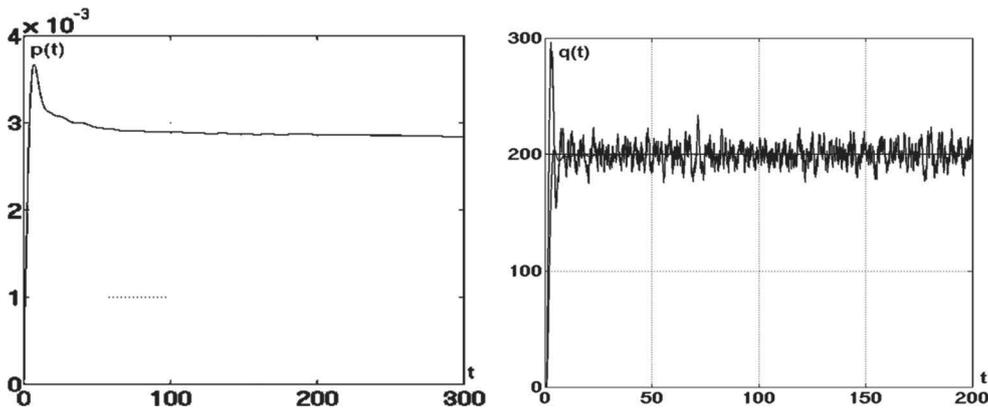


Рис. 8. Вероятность отбрасывания/маркировки пакетов $p(t)$ и текущая длина очереди $q(t)$

где C – емкость связи (пакеты/сек) R_0 – время следования туда и обратно, N – коэффициент нагрузки (число TCP сессий). Передаточную функцию звена запаздывания аппроксимируется с помощью функции Паде второго порядка [5].

На рис. 7 представлена AQM-система с нечетким регулятором (Fuzzy Controller) как система с переменными параметрами при случайном изменении нагрузки трафика (случайном изменении числа сессий TCP и случайном изменении времени следования туда и обратно – round trip time RTT) на основе интерактивной системы MATLAB [6].

В интерактивной системе MATLAB можно представить модель объекта управления соединением звеньев с изменяющимися случайным

образом параметрами $N(t)$ и $R(t)$. Усилительное звено $C^2 / 2 / N(t)$ моделируется блоками усилителем Gain1 и делителем Product1, на верхний вход которого поступает сигнал $N(t)$. Аперриодическое звено $[s + 2N(t) / R_0^2(t) / C]$ моделируется интегратором Integrator, охваченным отрицательной обратной связью, которая включает умножитель Product, делитель Product 4 и усилителя Gain2. Аперриодическое звено $[s + 1 / R_0(t)]$ моделируется интегратором Integrator1, делителем Product 2 и усилителем Gain4.

Нечеткий регулятор настраивается на минимальную динамическую ошибку $\theta(t) = q_0 - q(t)$, Шаг квантования (шаг поступления данных в нечеткий регулятор) $h = 0,01c$. Желаемый размер очереди выбран 200 пакетов.

При настройке нечеткого регулятора были получены следующие параметры:

$$\text{alf0} = 10^{(-5)}; h = 0.01; Am = 196; \\ Bm = 315; Dm = 2800$$

Процессы в AQM системе, скорректированной рассмотренным FC-регулятором с идентичными входными и выходными треугольными функциями принадлежности представлены на рис. 8.

Заключение

Предложен нечетко регулятор с двумя входами для систем активного управления очередью и исследована система с данным регулятором. Нечеткий регулятор обеспечивает высокое быстродействие и установку очереди

пакетов максимально приближенную к желаемой.

Проведенные исследования показывают, что AQM-система с нечетким регулятором с двумя входами достаточно стабильно поддерживает заданную текущую длину очереди при достаточно малых значениях вероятности отбрасывания/маркировки пакетов (при желаемом размере очереди $q_0 = 200$ пакетов, среднее значение вероятности отбрасывания/маркировка не больше $3,5 \cdot 10^{-3}$ или меньше 0,35% пакетов отбрасывается или маркируется из общего числа поступающих пакетов). Поэтому, предложенный нечеткий регулятор целесообразно применять для предотвращения перегрузки на сеть с пакетной передачей данных.

Литература

1. Невдачина О. В., Полоневич А. П. Застосування нечіткого регулятора в системі активного управління чергою. – u-conferences.org/CSPS, 2015.
2. Hollot C. V., Misra V., Towsley D., Gong W. B. «Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows». IEEE/ACM Transactions on Automatic Control, Vol. 47, no. 6, pp. 945–959, June 2002.
3. Hollot C. V., Misra V., Towsley D., Gong W. B. «On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows», in Proceedings of IEEE INFOCOM'2001, April 2001, 1726–1734.
4. Гостев В. И., Кунах, Н. И., Невдачина, О. В., Кучер С. В. Активное управление очередью пакетов в IP-сетях на базе нечеткой логики // VI Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» COMINFO'2010 – Livadia. 04–08 жовтня 2010 р. Крим, Ялта-Лівадія. – С. 65–66.
5. Гостев В. И., Кунах, Н. И., Невдачина, О. В., Артюшик, А. С. Аппроксимация комплексной передаточной функцией звена ПАДЕ n-го порядка (приближением ПАДЕ n-го порядка) звена чистого запаздывания для AQM-систем // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. – №. 1. – С. 79–85.
6. Гостев В. И., Скуртов С. Н., Невдачина О. В., Кротов В. Д. Нечеткое активное управление очередью в узко-специализированной радиосвязи // Сучасна спеціальна техніка. – 2011. – №. 3. – С. 66–79.
7. Гостев В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.

References

1. Nevdachyna O. V., Polonevych A. P. Applying fuzzy controller in the system of active queue management. – U-conferences. org/CSPS, 2015.
2. Hollot C. V., Misra V., Towsley D., Gong W. B. «Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows». IEEE/ACM Transactions on Automatic Control, Vol. 47, no. 6, pp. 945–959, June 2002.
3. Hollot C. V., Misra V., Towsley D., Gong W. B., «On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows», in Proceedings of IEEE INFOCOM'2001, April 2001, 1726–1734.
4. Gostev V. I., Kunakh N. I., Nevdachyna O. V., Kucher S. V. Active queue management packets in IP-networks based on fuzzy logic // VI International Scientific Conference «Modern information and communication technologies» COMINFO'2010 – Livadia. 04–08 October 2010. Crimea, Yalta Livadiya. – S. 65–66.
5. Gostev V. I., Kunakh N. I., Nevdachyna O. V., Artyushchik A. S. Approximation of the complex transfer function of the link PADE n-th order (PADE approximation of n-th order) link pure delay for AQM-systems // Modern special equipment. – 2013. – №. 1. – P. 79–85.
6. Gostev V. I., Skurtov S. N., Nevdachyna O. V., Krotov V. D. Fuzzy active queue management in a highly specialized radio communications // Modern special equipment. – 2011. – №. 3. – P. 66–79.
7. Gostev V. I., Design of fuzzy controllers for automatic control systems. – SPb.: BHV-Petersburg, 2011. – 416 p.

Поступила
11.07.2016

После доработки
20.07.2016

Принята к печати
15.09.2016

O. V. Nevdachyna, A. P. Polonevych, A. S. Artyuschyk

STUDY THE EFFECTIVENESS APPLICATIONS OF FUZZY CONTROLLER WITH TWO ENTRANCES IN THE SYSTEM OF ACTIVE QUEUE MANAGEMENT THE PACKETS IN TCP/IP NETWORKS

University of Telecommunications Kiev

The paper presents an approach to solving the overloading problem in TCP/IP networks. Offered fuzzy controller with two inputs for system of active queue management packages in TCP/IP networks, and investigated its use in these systems with a random change of traffic load. Proposed controller has two inputs, one of which is the value of the difference between the current queue length and the second – the difference between the current level of usage of the buffer. The output of the fuzzy controller calculates the probability of discarding packet.

Mathematical model system of active queue management that is studied is presented in an interactive MATLAB system, in wherein also is demonstrated the processes occurring in the system with a random change of traffic load. The research results show that the AQM-system with fuzzy controller with two entrances stable enough maintains the desired current length the queue for sufficiently small values of the probability of dropping/markings packets (at acceptable size of queue $q_0 = 200$ packets, the average probability of dropping / marking is not more than $3,5 \cdot 10^{-3}$ or less 0,35% packets is discarded or marked from the total number of incoming packets). The results obtained will help improve the efficiency of the functioning and operation of TCP / IP networks by increasing data transmission quality. this happens due introduction of the proposed controller at the design of new, more efficient routers for networks to minimize the delay of information.

Keywords: fuzzy control, TCP/IP, an active queue management, AAO, AQM, packet queue, MATLAB.

НИР 0114U000398



Невдачина Ольга. Доцент кафедры Коммутационных систем Государственного университета телекоммуникаций. В 2010 году окончила Государственный университет информационно - коммуникационных технологий и получила степень магистра. В 2014 году получила степень кандидата технических наук в Государственном университете телекоммуникаций, Киев, Украина. Основное направление научной деятельности - системы активного управления очередью в сетях TCP/IP.

Nevdachina Olga associate professor of department of switching systems of the State University of Telecommunications. In 2010 graduated from the State University of Information and Communication Technology and received a master's degree. In 2014, earned a Ph.D. in the State university of Telecommunications, Kiev, Ukraine. The main direction of scientific activity-system active queue management in TCP/IP networks.



Полоневич Андрей. Инженер ЦКУ «МТС Украина». В 2010 году окончил Государственный университет информационно - коммуникационных технологий и получил степень магистра. В 2014 году получил степень кандидата технических наук в Государственном университете телекоммуникаций, Киев, Украина. Основное направление научной деятельности - системы активного управления очередью в сетях TCP/IP

Polonevych Andrii engineer MCC "MTS Ukraine". In 2010 graduated from the State University of Information and Communication Technology and received a master's degree. In 2014, earned a Ph.D. in the State university of Telecommunications, Kiev, Ukraine. The main direction of scientific activity-system active queue management in TCP/IP networks.



Артющик Александр. В 1992 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище ПВО имени Покрышкина, Киев, Украина. В настоящее время является аспирантом государственного университета телекоммуникаций. Основное направление научной деятельности - алгоритмы оптимизации для активного управления очередью в TCP/IP.

Artyuschyk Oleksandr received the M.S. degree from the Kiev Military Academy of Electronic Engineering named after Pokryshkin, Kyiv, Ukraine, in 1992. Currently he is postgraduate student of state University of telecommunications. His research interests include Optimization algorithms for active queue management in TCP/IP.

УДК 004.942

Ю. Д. ИВАНОВ, Б. В. ЛОЗКА, Е. О. КОЗЛЮК

СОСТАВНАЯ МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА ОШИБОК В ДИСКРЕТНЫХ КАНАЛАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ

Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

Разработана составная модель источника ошибок в реальных дискретных каналах преобразования данных, основанная на совместном использовании канала с независимыми ошибками и обобщенного канала с коррелированными ошибками, образующими пакеты на фоне независимых ошибок. Организация пакетных ошибок в таком обобщенном канале основана на реализации принципа сжатия отдельных участков фоновых независимых ошибок, что вызывает образование участков, полностью свободных от ошибок. Наличие таких безошибочных участков в канале преобразования не отражает реальные процессы образования ошибок, что приводит к необходимости совместного использования обобщенного канала с пакетными ошибками и канала с независимыми фоновыми ошибками, что обеспечивает присутствие фоновых ошибок на всех участках, кроме пакетов. Такой подход к организации потока ошибок естественным образом соответствует природе образования ошибок в реальных каналах преобразования данных. Кроме того, корректное определение длин пакетов ошибок в составной модели источника ошибок позволяет максимально полно использовать корректирующие свойства кодов при согласовании длин кодовых комбинаций и пакетов ошибок, исправляемых кодами

Ключевые слова: дискретные каналы, модели ошибок, независимые ошибки, пакеты ошибок, цепочки пакетов ошибок

Введение

В общем случае ошибки реальных дискретных каналов преобразования данных имеют, как правило, зависимый, коррелированный характер, что определяет их стремление к образованию пакетов.

Статистические данные [1, 2] определяют наиболее общие особенности реальных каналов преобразования данных:

1. Вероятность возникновения длинных пакетов ошибок меньше, чем коротких пакетов;
2. Средняя вероятность ошибки на бит информации для различных каналов преобразования различна;
3. Длины пакетов ошибок определяются геометрическим законом распределения.

Методы математического моделирования потока ошибок с целью определения параметров корректирующих кодов, максимально согласованных с вероятностными характеристиками ошибок в каналах преобразования данных, наиболее распространены в настоящее время.

Согласование параметров корректирующих кодов и вероятностных характеристик ошибок

пользование логической избыточности кодовых комбинаций кода [3] для наиболее полной коррекции независимых и пакетных ошибок различной длины при всех вероятностях появления.

Понятно, что коррекции должны подлежать, в первую очередь, те каналные ошибки, которые имеют максимальную вероятность появления на длине кодовой комбинации.

Максимальной вероятностью появления обладают ошибки, появляющиеся в пределах как одиночных пакетов ошибок, так и пакетов, объединенных в цепочки пакетов.

Для сравнения обобщенные статистические данные определяют средние вероятности появления независимых каналных ошибок на уровне $P_e \leq 5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-5}$, а пакетные ошибки могут появляться с вероятностью $\epsilon \geq 5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-1}$ [4].

Отсюда видно, что вероятность появления пакетных ошибок значительно выше вероятности появления независимых ошибок.

Очевидно следует вывод о необходимости исправления пакетных ошибок в пределах кодовых комбинаций корректирующих кодов,

поскольку вероятность их появления превышает вероятности независимых (квазинезависимых) канальных ошибок.

Кроме того, длина пакета ошибок, либо их цепочки в общем случае, должна быть согласована с длиной кодовой комбинации корректирующего для их полного исправления в пределах кодовых комбинаций.

Задача состоит в разработке модели источника ошибок, генерирующего независимые (фоновые) канальные и зависимые (пакетные) ошибки с длиной, согласованной с размером кодовой комбинации, что позволит обеспечить максимально полное исправление этих ошибок.

Такой подход к построению модели ошибок задает целенаправленный выбор соответствующего корректирующего кода.

Основная часть

Известные модели каналов Гильберта, Попова и Турина, Беннета-Фройлиха [5] в различной степени имитируют механизм образования потока ошибок, адекватный естественному процессу появления ошибок в реальных каналах преобразования данных.

Однако, все указанные модели не учитывают зависимый характер ошибок в пакетах и не способствуют их согласованию с размером кодовой комбинации корректирующего кода, предлагающего исправление в целом пакетов ошибок в пределах длины кодовой комбинации, и не обеспечивают рекомендации по выбору конкретного метода коррекции.

Максимально обобщенный способ описания потока ошибок в канале положен в основу модели [6], обладает следующими свойствами:

1. Для организации потока ошибок различных уровней зависимости в виде последовательностей цепочек пакетов использован способ сжатия фоновых ошибок.

2. Расчет параметров модели не сложно выполнить на основе экспериментальных данных.

3. Предложенный многоуровневый механизм образования ошибок схож естественному процессу появления ошибок в канале преобразования.

Предложенная обобщенная модель [6] в большей степени соответствует требованию простоты аналитических выражений и допускает простую программную реализацию.

Последовательность ошибок в обобщенных моделях каналов разбиваются на отрезки двух типов – цепочки пакетов ошибок и промежутки между ними, причем ошибки возникают как в пакетах с вероятностью ε , так и в промежутках между цепочками ошибок при средней вероятности ошибки на бит P_e .

Как правило, $\varepsilon > P_e$, причем длины пакетов l и промежутков λ подчиняются одномерным распределениям $P(l)$ и $P(\lambda)$, что полностью задает статистику ошибок при независимых длинах пакетов l и длинах промежутков λ [5].

Принципиальным для обобщенной модели [6] является то, что в промежутках между пакетами ошибки невозможны, а сами они являются совокупностью независимых ошибок, появляющихся с вероятностью $\varepsilon < 0,5$.

Обобщение модели канала предусматривает реализацию следующих основных положений.

1. Фоновые ошибки, порождаемые каналом при независимом механизме их появления с вероятностью P_e , происходят на всех участках такого обобщенного канала, в том числе и в промежутках между пакетами ошибок.

Кроме того, наличие пакетных ошибок не должно исключать возможности появления фоновых канальных ошибок в пределах цепочек пакетов.

2. Механизм организации пакетов ошибок и их цепочек подобен обобщенной модели, описанной в [5], т. е. механизм образования коррелированных участков осуществляется путем объединения (сжатия) фоновых ошибок. Такой механизм организации пакетов ошибок задает их коррелированность по определению, что не отражено в обобщенной модели.

Таким образом, прослеживается необходимость реализации как канала с независимыми ошибками, появляющихся с вероятностью P_e , так и канала пакетных ошибок и цепочек пакетов ошибок с заданными вероятностными характеристиками.

3. Механизмом взаимодействия фоновых и пакетных ошибок служит процедура аддитивного объединения каналов с независимыми и пакетными ошибками путем посимвольного сложения по логическому «или» соответствующих ошибочных бит этих двух каналов.

Посимвольное сложение осуществляется таким образом, что ошибки в составном кана-

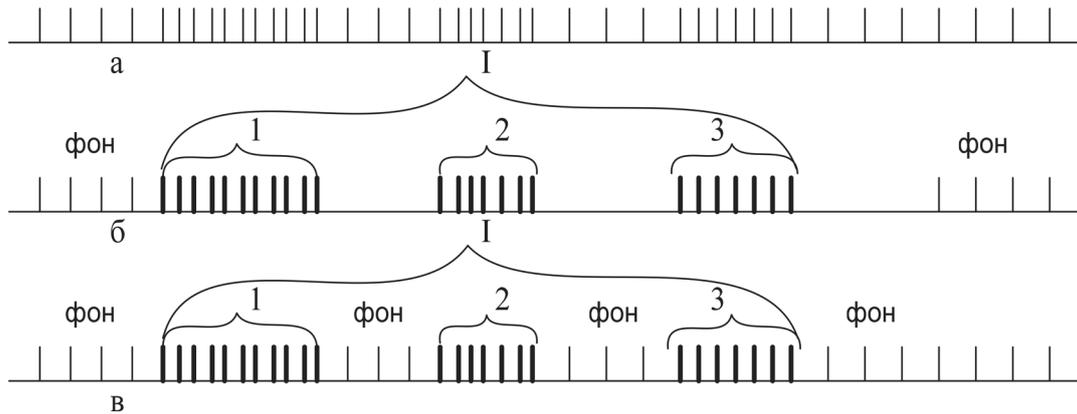


Рис. 1. Схема объединения каналов: *a* – канал с независимыми ошибками, *б* – обобщенный канал с пакетными ошибками, *в* – составной канал, *1–3* – пакеты ошибок, *I* – цепочка пакетов ошибок, фон – участок независимых ошибок

ле появляются тогда, когда они имеют место либо в канале с независимыми ошибками или с пакетными ошибками, либо в обоих каналах одновременно.

Схема объединения каналов с независимыми ошибками и обобщенного канала с пакетными ошибками, представлен на рис. 1, соответствует составной модели источника ошибок.

Фоновые каналные ошибки обладают слабой коррелированностью, т. е. практически независимы (квазинезависимы). Появление каналных ошибок с большей вероятностью способствует увеличению их коррелированности и объединению в пакеты.

Известные модели, подразумевающие независимый характер появления фоновых и пакетных ошибок, явно не предназначены для согласованного использования канала и корректирующих кодов, поскольку большинство кодов не в состоянии исправлять достаточно длинные пакеты ошибок в целом из-за отсутствия согласования длин пакетов ошибок и объема кодовых комбинаций.

Пакетные ошибки уверенно исправляются при использовании структурно-логических кодов (СЛК), поскольку их высокая логическая избыточность и возможность организации объемных кодовых комбинаций позволяет согласовать пакетные ошибки и коды СЛК [7].

Составной канал находится в состоянии, при котором на фоне независимых ошибок, возникающих с вероятностью P_e , с вероятностью $P_{ц}$ могут появиться цепочки пакетов ошибок. В пределах цепочки пакетов могут возникнуть один или более пакетов ошибок.

В предлагаемой составной модели источника ошибок фоновые независимые ошибки появляются везде, за исключением пакетов ошибок (*1–3* рис. 1).

В отличие от обобщенной модели ошибок [6], в которой в пределах цепочек пакетов наряду с пакетами ошибок в обязательном порядке присутствуют и полностью безошибочные интервалы, составная модель источника ошибок не содержит безошибочных интервалов.

Составная модель (рис. 1, *в*), содержит только пакеты ошибок (*1–3*), объединенные в цепочки пакетов (*I*), и участки фоновых ошибок между пакетами.

Таким образом, построение составной модели источника ошибок основывается на следующих положениях.

1. Для определения состояния канала, т. е. наличия в канале фоновых ошибок, либо цепочки пакетов ошибок, производится сравнение текущего значения случайного числа α , генерируемого источником случайных чисел, и вероятностью возникновения цепочки пакетов $P_{ц}$.

Если

$$P_{ц} \geq \alpha, \quad (1)$$

то возникнет цепочка пакетов.

А если

$$P_{ц} < \alpha, \quad (2)$$

то присутствует фон независимых ошибок.

2. При нахождении канала в состоянии фона независимых ошибок, если

$$P_e \geq \alpha, \quad (3)$$

то возникает ошибка фона, т. е. единичный бит в последовательности ошибок.

При

$$P_e < \alpha, \quad (4)$$

ошибка в фоновой последовательности отсутствует, что отмечается нулевым битом в последовательности ошибок.

3. Как показано в [6], длины цепочек пакетов ошибок при геометрическом распределении определяются как

$$l_{\text{ц}} = \left[\frac{\ln(1-\alpha)}{\ln g_{\text{ц}}} \right] + 1, \quad (5)$$

где

$$g_{\text{ц}} = \frac{1}{l_{\text{ц}}}, \quad (6)$$

Здесь $\bar{l}_{\text{ц}}$ – средняя длина цепочки пакетов, определяемая опытным путем.

4. Пакеты ошибок возникают только в пределах цепочки пакетов.

В общем случае распределение длин пакетов ошибок l^{∇} подчиняется полигеометрическому закону, представляющего собой сумму геометрических распределений. При этом длины пакетов l^{∇} могут принимать значения нескольких типов. Для упрощения процесса моделирования источника ошибок считаем, что присутствуют пакеты только одного типа.

При этом, как показано в [6], длины пакетов ошибок определяются как

$$l^{\nabla} = \left[\frac{l(1-\alpha)}{\ln \gamma} \right] + 1, \quad (7)$$

где

$$\gamma = 1 - \frac{1}{l^{\nabla}}, \quad (8)$$

Под \bar{l}^{∇} понимается средняя длина пакета ошибок, определяемая опытным путем.

5. Пакетные ошибки появляются только в пределах пакета при выполнении условия

$$\varepsilon \geq \alpha, \quad (9)$$

Здесь ε является средней вероятностью ошибки в пакете.

6. Процесс возникновения пакетов ошибок в пределах цепочек основан на принципе сжатия во времени фоновых ошибок [6]. При таком перераспределении ошибок организуется коррелированный поток в пределах пакетов,

возникающих независимо на фоне канальных ошибок, возникающих также независимо.

7. При непосредственном посимвольном представлении ошибок соотношение между основными параметрами составной модели ошибок определяются как [5]:

$$P_e = \varepsilon P_{\text{ц}} P_{\text{пц}} \bar{l}_{\text{ц}} \bar{l}^{\nabla}, \quad (10)$$

где P_e – средняя вероятность ошибки в канале; ε – вероятность появления ошибки в пределах пакета коррелированных ошибок; $P_{\text{ц}}$ – вероятность возникновения цепочек пакетов; $P_{\text{пц}}$ – вероятность возникновения пакетов ошибок в пределах цепочки пакетов; $\bar{l}_{\text{ц}}$ – средняя длина цепочки пакетов ошибок; \bar{l}^{∇} – средняя длина пакета ошибок.

Средние длины цепочек пакетов и пакетов ошибок ($\bar{l}_{\text{ц}}$ и \bar{l}^{∇} соответственно), определяются на основе экспериментальных данных, а вероятности P_e , ε , $P_{\text{ц}}$, $P_{\text{пц}}$ – на основе статистических данных.

Таким образом, последовательность операций при реализации составной модели ошибок на основе пунктов 1–7, потактно представляется следующей блок-схемы (рис. 2).

После задания параметров канала P_e , ε , $P_{\text{ц}}$, $P_{\text{пц}}$, $\bar{l}_{\text{ц}}$, \bar{l}^{∇} и размера общего массива данных n , задаются начальные условия функционирования источника ошибок k , k_1 , k_2 .

Также задаются начальные значения цепочек и пакетов $l_{\text{ц}}$ и l^{∇} соответственно.

Затем выбирается число α_k , выданное генератором случайных чисел. Далее текущее значение номера k числа α_k сопоставляется с границей цепочки пакетов k_1 . Если текущее значение такта k находится в пределах цепочки пакетов ($k \leq k_1$), то, в соответствии с вероятностью возникновения цепочки пакетов $P_{\text{ц}}$, определяется длина цепочки $l_{\text{ц}}$. В пределах цепочки пакетов k_1 возможно возникновение пакетов ошибок с вероятностью $P_{\text{пц}}$. После определения длины возникшего пакета ошибок l^{∇} находятся пределы пакета k_2 .

Если текущее значение такта k находится в пределах пакета ($k \leq k_2$), то определяется возможность возникновения пакетных ошибок с вероятностью ε . При превышении тактом k пределов цепочки пакетов k_1 ($k > k_1$), возможно появление новой цепочки пакетов, в противном случае возникают фоновые ошибки с вероятностью P_e . При превышении теку-

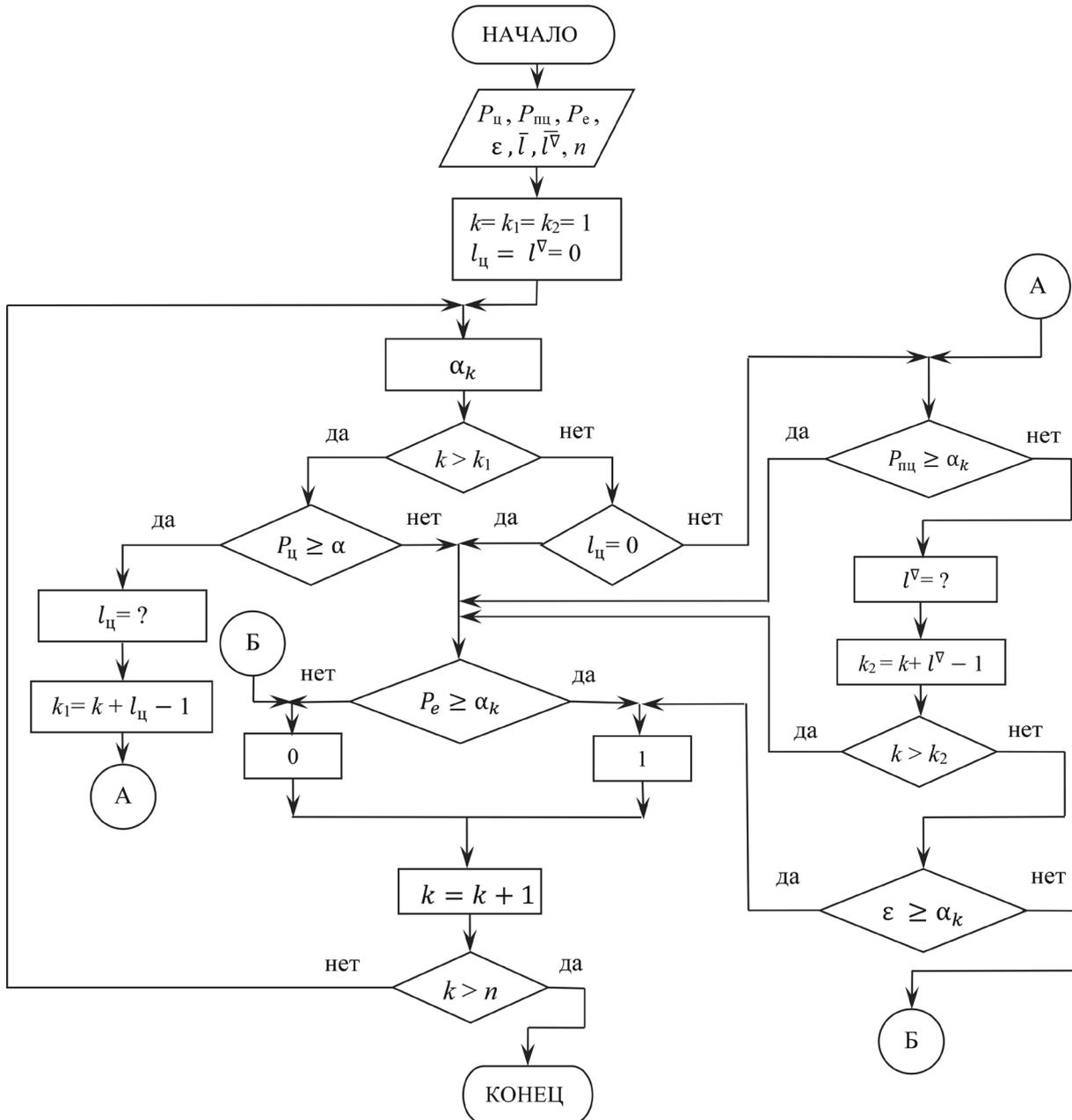


Рис. 2. Блок-схема алгоритма формирования потока ошибок для составной модели канала

щего значения k пределов пакета ошибок k_2 , возникают фоновые ошибки. Во всех случаях между пакетами ошибок возникают фоновые ошибки, как в пределах цепочки пакетов k_1 , так и вне ее.

Таким образом, ошибки с вероятностью ε возникают только в пределах пакета l^V , а за пределами пакетов присутствует фон независимых ошибок, возникающих с вероятностью P_e . Это основная отличительная черта предлагаемой составной модели источника ошибок.

Заключение

В работе рассмотрены положения реализации модели реальных дискретных каналов преобразования данных. С учетом недостатков существующих моделей источников ошибок разработана составная модель, объединяющая свойства независимых канальных (фоновых) и пакетных (коррелированных) ошибок, возникающих с большей вероятностью, чем средняя вероятность в канале преобразования.

Подробно представлен алгоритм определения состояния составного канала ошибок, от-

вечающий естественному процессу появления ошибок в реальном канале преобразования. Определенные параметры составной модели канала такие как: средняя вероятность ошибки P_e , длины цепочек пакетов ошибок $l_{ц}$, длины пакетов ошибок l^{∇} , вероятность пакетной ошибки ε , позволяют корректно согласовать канал

преобразования и корректирующий пакетные ошибки код. В качестве такого кода исправляющего пакетные ошибки, может быть использован код СЛК [7].

Разработанная составная модель источника ошибок может быть достаточно просто реализована программно.

Литература

1. Пуртов Л. П. Элементы теории передачи дискретной информации / Л. П. Пуртов [и др.] – Москва: Связь, 1972. – 232 с.
2. Blow, G. M. Archival Life of Tellurium-Based Materials for Optical Recording/ G. M. Blow, D. Y. Lou // J. of the Electrochemical Society. – 1984. Vol.131, № 1. – P. 146–154.
3. Крушный В. В. Основы теории информации и кодирования / В. В. Крушный – Снежинск: СГФТА, 2005, – 160 с.
4. Певнев, В. Я. Сравнительный анализ скорости работы помехоустойчивых кодов [Текст] / В. Я. Певнев, М. В. Цуранов // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 21 июня 2012 г.) / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь». – Минск: Акад. МВД, 2012. – С. 153–156
5. Блох, Э. Л. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации / Э. Л. Блох, О. В. Попов, В. Я. Турин, – Москва: Связь, 1971. – 312 с.
6. Иванов, Ю. Д. Моделирование потока ошибок в дискретном канале на основе принципа сжатия / Ю. Д. Иванов, И. В. Павлич. – Сборник научных трудов ОЭИС. Эффективные системы связи. – Одесса, 1988. – С.71–74.
7. Иванов Ю. Д. Метод структурно-логического кодирования инфимумных дизъюнктивных нормальных форм булевых функций в базе куба E^n / Ю. Д. Иванов, И. В. Пампуха, О. С. Захарова, Г. Б. Жиров. – Сборник научных работ Военного института Киевского национального университета им. Т. Шевченка, 2008 – С. 46–49.

References

1. Purto L. P. Jelementy teorii peredachi diskretnoj informacii / L. P. Purto [i dr.] – Moskva.: Svjaz', 1972. – 232 s.
2. Blow, G. M. Archival Life of Tellurium-Based Materials for Optical Recording/ G. M. Blow, D. Y. Lou // J. of the Electrochemical Society. – 1984. Vol.131, № 1. – P. 146–154.
3. Krushnyj V. V. Osnovy teorii informacii i kodirovanija / V. V. Krushnyj – Snezhinsk: SGFTA, 2005, –160 s.
4. Pevnev, V. Ya., Tsuranov, M. V. Sravnitel'nyi analiz skorosti raboty pomekhoustoichivykh kodov [Comparative analysis of the speed of error-correcting codes] Teoreticheskie i prikladnye problemy informatsionnoi bezopasnosti: tez. dokl. Mezhdunar. nauch.- prakt. konf. (Minsk, 21 iyunya 2012 g.) [Theoretical and applied problems of information security: proc. Dokl. Intern. scientific.-practical. Conf. (Minsk, June 21, 2012)], Minsk, Akad. MVD Publ., 2012, pp. 153–156.
5. Bloh, Je. L. Modeli istochnika oshibok v kanalah peredachi cifrovoj informacii / Je. L. Bloh, O. V. Popov, V. Ja. Turin, – Moskva: Svjaz', 1971. – 312 s.
6. Ivanov, Ju. D. Modelirovanie potoka oshibok v diskretnom kanale na osnove principa szhatija/ Ju. D. Ivanov, I. V. Pavlich. – Sbornik nauchnyh trudov OJeIS. Jeffektivnye sistemy svjazi. – Odessa, 1988. – S.71–74.
7. Ivanov Ju. D. Metod strukturno-logicheskogo kodirovanija infimumnyh dizjunktivnyh normal'nyh form bulevykh funkcij v baze kuba E^n / Ju. D. Ivanov, I. V. Pampuha, O. S. Zaharova, G. B. Zhirov. – Sbornik nauchnyh rabot Voennogo instituta Kievskogo nacional'nogo universiteta im. T. Shevchenka, 2008 – S. 46–49.

Поступила
09.08.2016

После доработки
14.09.2016

Принята к печати
15.09.2016

Y. Ivanov, B. Lozka, E. Kozljuk

COMPOSITE MODEL ERROR SOURCES IN DISCRETE CHANNELS OF DATA CONVERSION

Designed component model of the source of errors in real discrete channels of data conversion, based on the joint use of the channel within dependent generalized errors and channel with correlated errors pack image on the background of independent errors. Organization of burst errors in a channel based on the generalized implementation of the principle of compression of individual sections of the background in dependent error that causes the formation of plots, completely free of errors. The presence of such sites in infallible conversion channel does not reflect the actual processes of errors, which leads to the need to share the channel with generalized packet errors and channel errors independent background that provides the background presence of errors in all areas except the packet. Such an approach to error

stream naturally corresponds to the nature of the formation of errors in real data conversion channels. In addition to this, the correct determination of the length of burst errors in the composite model of the source of the error allows maximum use of corrective properties of the codes with the concurrence of the lengths of codewords and error packets, correctable codes.

Keywords: discrete channels, error model, independent error, error packets, error packets chains



Иванов Юрий Дмитриевич окончил Киевский институт инженеров гражданской авиации в 1965 году по специальности радиоинженер. Кандидат технических наук по специальности «Компьютерные системы».

Преподаватель Института информационной безопасности, радиоэлектроники и телекоммуникаций Одесского национального политехнического университета, доцент кафедры информационных технологий проектирования в электронике и телекоммуникациях.

Научные интересы включают в себя вопросы помехоустойчивого кодирования нетрадиционной логики, цифровая фильтрация, каналы преобразования дискретных данных теория алгоритмов.

Yuri D. Ivanov graduated from the Kiev Institute of Civil Aviation Engineers in 1965 with a degree in radio engineering. Candidate of Technical Sciences on a specialty «Computer systems».

Teacher Information Security Institute of Radio Electronics and Telecommunications Odessa National Polytechnic University, assistant professor of information design technologies in electronics and telecommunications.

His research interests include issues of error-correcting coding unconventional logic, digital filtering, digital TV conversion data the theory of algorithms.



Лозка Богдан Владимирович родился в 1992 году. Получил степень специалиста (с отличием) по специальности «Информационные технологии проектирования» в 2014 году в Одесском национальном политехническом университете, Украина.

С 2015 года является аспирантом по специальности «Компьютерные системы и компоненты», работает программистом.

Научные интересы включают в себя методы имитационного моделирования информационных систем, теория алгоритмов, дискретная обработка информационных данных.

Lozka Bogdan Vladimirovich was born in 1992. He holds a professional (with honors), specialty «aided design engineer» in 2014 at the Odessa National Polytechnic University, Ukraine.

From 2015, she is a graduate student in the specialty «Computer systems and components», works a programmer. His research interests include methods of simulation modeling of information systems, the theory of algorithms, discrete processing information data.



Козлюк Евгения Олеговна родилась в 1992 году. Получила степень магистра в 2016 году в Одесском национальном политехническом университете, Украина.

Научные интересы: технологии проектирования, алгоритмы повышения помехоустойчивости и надежности систем передачи информации, каналы преобразования дискретных данных.

Работает программистом-разработчиком.

Kozlyuk Eugene O. was born in 1992. He received a master's degree in 2016 at the Odessa National Polytechnic University, Ukraine.

Research interests: design technology, algorithms improve noise immunity and reliability of data transmission systems, digital data conversion channels.

It works as a programmer-developer.

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

О. Ф. ОПЕЙКО

УПРАВЛЕНИЕ ПО ВЫХОДУ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМ АДАПТИВНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Белорусский национальный технический университет

Целью работы является увеличение точности и запаса устойчивости в системе с пропорционально- дифференцирующим (ПД) регулятором и неопределенностью параметров объекта посредством адаптации. Адаптивный регулятор должен обеспечить улучшение точности за счет увеличения коэффициента усиления пропорционального канала регулятора, если ошибка ненулевая. Следовательно, с уменьшением ошибки адаптация становится менее интенсивной, и система сохраняет устойчивость в соответствии с прямым методом Ляпунова. Разработан метод параметрического синтеза для адаптивного ПД-регулятора, основанный на локализации корней на комплексной плоскости. Представлен пример расчета с результатами моделирования, показывающий корректность разработанного метода. Адаптивный ПД- регулятор позволяет повысить точность регулирования без потери устойчивости. Канал адаптации, поскольку выполняет интегрирование ошибки регулирования, способен обеспечить астатизм без интегратора в основном контуре. Адаптивный ПД- регулятор эффективен для систем, работающих преимущественно в переходных режимах, основным требованием в которых является получение апериодических процессов. В системах, где преобладает длительный режим и возмущения ограничены, адаптивный ПД- регулятор позволяет обеспечить статическую точность и устойчивость, однако отработка возмущений может оказаться продолжительной.

Ключевые слова: адаптация, параметрическая неопределенность, пропорционально- дифференцирующий (ПД) регулятор, параметрический синтез, устойчивость.

Введение

Проблема робастного синтеза [1], то есть синтеза управления такого, чтобы показатель качества находился в допустимых пределах при ограниченных внутренних (параметрических) и внешних возмущениях может быть решена в классе адаптивных систем. Метод скоростного градиента [2–4] позволяет обеспечить устойчивость процесса адаптивного управления выбором функции Ляпунова.

Регуляторы пропорционально-интегро-дифференцирующие (ПИД) и их разновидности широко применяются ввиду простой структуры и функциональности [5, 6, 7]. Наличие интегрирующего звена в регуляторе обеспечивает точность, но снижает быстродействие системы и запас устойчивости. Системы с П или ПД регуляторами свободны от этого недостатка, однако требуемая точность может быть достигнута в них лишь путем увеличения коэффициента усиления, что так же снижает запас устойчивости. Остается актуальным применение адаптации ПД-регулятора для уменьше-

ния ошибки регулирования в условиях внешних и параметрических возмущений.

Целью работы является параметрической синтез канала адаптации для настройки параметров ПД-регулятора по сигналу ошибки регулирования вызванной параметрическими и внешними возмущениями объекта. Для этого необходим расчет исходных параметров ПД-регулятора основного контура для линеаризованной редуцированной модели объекта по заданным корням характеристического полинома и синтез канала адаптации по условиям обеспечения устойчивости и качества.

Синтез канала адаптации

Объект управления должен быть представлен линеаризованной редуцированной моделью не более второго порядка по условию разрешимости задачи модального управления в системе с ПД-регулятором. Вследствие использования при синтезе регулятора линеаризованной редуцированной модели объекта управления [7] показатели качества синтези-

рованной системы неизбежно будут отличаться от требуемых показателей, что выражается увеличением ошибки регулирования. Адаптивное управление методом скоростного градиента [2–4] позволит организовать устойчивый процесс настройки параметров регулятора в направлении требуемых показателей качества. Система описывается дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

В качестве объекта управления для адаптации рассматривается синтезированный замкнутый контур с ПД регулятором, дифференцирование принимается идеальным, A , B – постоянные матрицы, $B = (0, 1)^T$. Собственные значения $s_{1,2} = -\alpha_0 \pm j\omega_0$ матрицы A определяются по требуемому времени регулирования t_0 и ограничению на колебательность, $\alpha_0 = (3\pi/4 \div 3)t_0$, $\omega_0 \leq \alpha_0$. Характеристический полином, с учетом обозначения $r_0^2 = \alpha_0^2 + \omega_0^2$, принимает вид

$$N_{02}(s) = \det(sI - A) = s^2 + 2\alpha_0 s + r_0^2. \quad (2)$$

Характеристическому полиному соответствует матрица [8]

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{12} & q_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\alpha_0 r_0^2 & r_0^2 \\ r_0^2 & 2\alpha_0 \end{bmatrix}.$$

Эта матрица является положительной, так как удовлетворяет критерию Сильвестра при условии $r_0^2 < 4\alpha_0^2$. Следовательно, если $u = 0$, то для системы (1) функция Ляпунова $V = x^T Qx$ является положительно определенной, а ее производная

$$\dot{V} = \dot{x}^T Qx + x^T Q\dot{x} = x^T A^T Qx + x^T QAx < 0$$

отрицательна, поскольку система заведомо устойчива. Канал адаптивного управления строится в соответствии с выражением

$$u = -c^T x = -c_1 x_1 - c_2 x_2 \quad (3)$$

В этом случае движение рассматривается в расширенном пространстве переменных x объекта и настраиваемых параметров c , а функция Ляпунова принимается в виде $V_A = x^T Qx + c^T \Lambda c$, где $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2)$ – положительная диагональная матрица. Производная от функции Ляпунова в силу системы (1) с учетом (3) принимает вид

$$\begin{aligned} \dot{V}_A &= \dot{x}^T Qx + x^T Q\dot{x} = \\ &= x^T (A - Bc^T)^T Qx + x^T Q(A - Bc^T)x + c^T \Lambda c + \\ &+ c^T \Lambda \dot{c} = \dot{V} - x^T (cB^T Q + QBc^T)x + c^T \Lambda c + c^T \Lambda \dot{c}. \end{aligned}$$

Для отрицательности \dot{V}_A достаточно, чтобы

$$-x^T (cB^T Q + QBc^T)x + \dot{c}^T \Lambda c + c^T \Lambda \dot{c} = 0,$$

поскольку $\dot{V} < 0$. Здесь

$u_S = B^T Qx = x^T QB = q_{12}x_1 + q_{22}x_2 = r_0^2 x_1 + 2\alpha_0 x_2$ – скалярная величина, и настройка параметров ПД-регулятора соответствует условию $-c^T u_S x + c^T \Lambda \dot{c} = 0$, или $\Lambda \dot{c} = u_S x$. Разностное уравнение настройки принимает вид

$$\Lambda(c_{k+1} - c_k) = u_S x_k. \quad (4)$$

Последнее уравнение с учетом $x_{2,k} = (x_{1,k} - x_{1,k-1})/T_S$ записывается в виде двух скалярных уравнений

$$\lambda_1(c_{1,k+1} - c_{1,k}) = T_S u_{Sk} x_{1,k},$$

$$\lambda_2(c_{2,k+1} - c_{2,k}) = u_{Sk}(x_{1,k} - x_{1,k-1}).$$

Последнее уравнение преобразуется к виду

$$c_{2,k+1} - c_{2,k} = \lambda_2^{-1} (T_S^{-1} \lambda_1 (c_{1,k+1} - c_{1,k}) - u_{Sk} x_{1,k-1}).$$

Установившееся состояние возможно при $u_S = r_0^2 x_1 + 2\alpha_0 x_2 \equiv 0$ и, следовательно, при

$$c_{2,k+1} - c_{2,k} = \lambda_1 T_S^{-1} \lambda_2^{-1} (c_{1,k+1} - c_{1,k})$$

Отсюда следует, что параметры λ_1 , λ_2 , которые определяют интенсивность адаптации, должны удовлетворять условию

$$\lambda_1 / (T_S \lambda_2) \geq 2\alpha_0 / r_0^2. \quad (5)$$

Если в основном контуре управления ошибка регулирования $x_1 \equiv 0$, либо $u_S = q_{12}x_1 + q_{22}x_2 = r_0^2 x_1 + 2\alpha_0 x_2 \equiv 0$, то, в соответствии с (4), коэффициенты c сигнала управления (3) постоянны, и адаптация отсутствует. Если в основном контуре ошибка регулирования $x_1 \neq 0$ и $u_S \neq 0$, что происходит по причине внешних и параметрических возмущений, происходит настройка параметров c до достижения $x_1 \equiv 0$.

Результаты моделирования

Структура моделируемой системы представлена на рис. 1. На входе системы действует периодический входной сигнал. На входе ПД-регулятора (звено PD) сигнал задания сравнивается с сигналом y обратной связи по выходной величине объекта управления, представленного передаточной функцией Kp . Звено Ko отражает немоделируемую динамику, не учтенную при синтезе. На вход звена адаптации $ADAPT$ поступает вектор x ошибки регу-

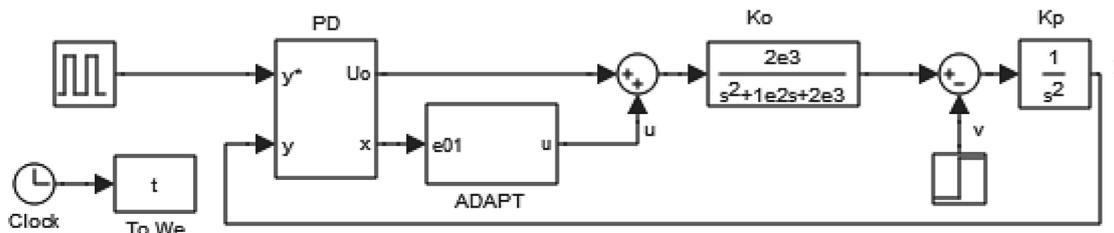


Рис. 1. Структура системы управления

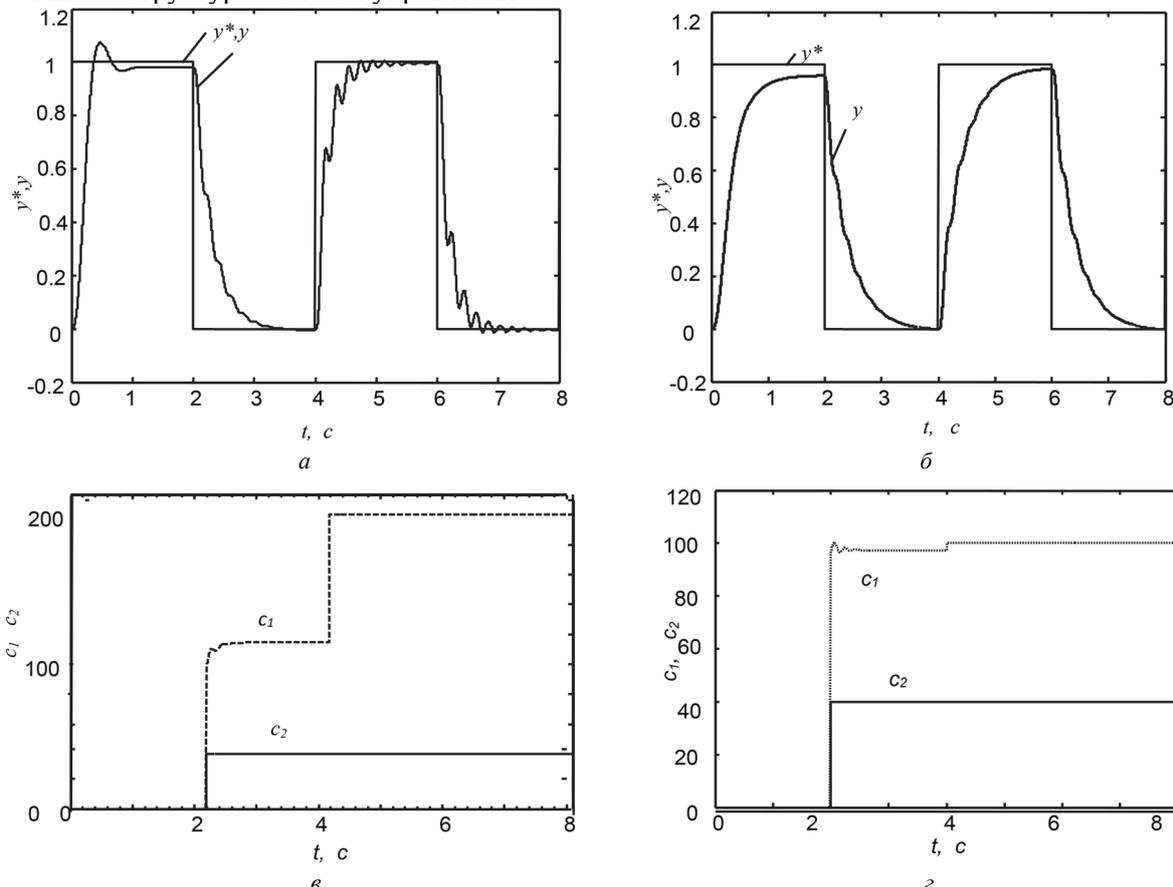


Рис. 2. Процессы в системе при повторяющемся ступенчатом воздействии на входе, а, б – изменение сигнала задания и выходной величины, в, з – процессы настройки параметров; а, в – при $\alpha_0 = 5, r_0^2 = 50$; б, з, – при $\alpha_0 = 5, r_0^2 = 25$

лирования и ее производной. Звено адаптации ADAPT функционирует в соответствии с уравнением (4). Сигнал (3) адаптивного управления суммируется с сигналом управления основного контура.

Сигналы настройки параметров C должны быть ограничены так, чтобы спектральный радиус ρ_C матрицы $A_C = A - Bc^T$ замкнутой системы (с учетом контура адаптации) не превосходил допустимого значения ввиду наличия немоделируемой динамики K_0 в системе.

На рис. 2 представлен процесс в системе с контуром адаптации, не моделируемая часть имеет ПФ $K_0 = \frac{2 \cdot 10^3}{s^2 + 100s + 2 \cdot 10^3}$, возмущаю-

щее воздействие $v = 1$, задающее воздействие $y^* = 1$ приложено в момент времени $t = 0,5c$, а контур адаптации начинает функционировать при $t = 2c$.

Шаг расчета сигнала управления в регуляторе равен значению $T_S = 0,001c$. Уровни ограничения сигналов настройки ПД-регулятора приняты в виде выражений $c_1 \in [-2\alpha_0, 8\alpha_0]$, $c_2 \in [-r_0^2, 4r_0^2]$. Параметры, определяющие интенсивность адаптации в соответствии с выражением (5), приняты $\lambda_1^{-1} = 5$, $\lambda_2^{-1} = 0.005$.

На рис. 2, б, в показаны процессы при $c_1 = r_0^2 = 50, c_2 = 2\alpha_0 = 10$, а на рис. 2, з, д – для параметров, равных $c_1 = r_0^2 = 25, c_2 = 2\alpha_0 = 10$, то есть при различных значениях спектраль-

ного радиуса r_0 матрицы расчетной замкнутой системы.

Уменьшение r_0 позволило значительно уменьшить колебания в системе, что видно из сравнения процессов на рис. 2, ε , δ и подтверждает правильность предложенного метода параметрического синтеза.

Настройка параметров, как видно из выражения (4) и графиков, тем интенсивнее, чем больше ошибка регулирования.

Сравнение результатов моделирования при различных расчетных настройках параметров управления подтверждает, что при наличии внешних и параметрических возмущений, а также немоделируемой динамики следует ограничить спектральный радиус синтезируемой системы, чтобы пренебрежение не моделируемой динамикой (наличием звеньев с малыми постоянными времени в контуре) было правомерно.

Результаты моделирования системы с адаптивным ПД-регулятором показывают, что ин-

тенсивность настройки убывает с уменьшением ошибки регулирования.

Заключение

Адаптивный ПД-регулятор позволяет повысить точность регулирования без потери устойчивости. Канал адаптации, поскольку выполняет интегрирование ошибки регулирования, способен обеспечить астатизм без интегратора в основном контуре.

Адаптивный ПД-регулятор эффективен для систем, работающих преимущественно в переходных режимах, основным требованием в которых является получение апериодических процессов.

В системах, где преобладает длительный режим и возмущения ограничены, адаптивный ПД-регулятор позволяет обеспечить статическую точность и устойчивость, однако отработка возмущений может оказаться продолжительной.

Литература

1. Поляк Б. Т., Щербаков П. С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука. 2002. – 303 с.
2. **Избранные** главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б. Р. Андриевский, А. Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2000. – 475 с.
3. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах М., 1990. –378 с.
4. Blanchetti F. High-Gain Adaptive Control: A derivative-Based Approach / F. Blanchetti, T. Parisini, F. A. Pellegrino and G. Pin // IEEE Transaction on AC, Vol. 54 no. 9 2009. P, 2164–2169.
5. Опейко О. Ф. Адаптивное векторное управление асинхронным электродвигателем. // Энергетика. Изв. высш. учебных заведений и энергетических объединений СНГ.– 2012. – № 4. – 2012. с. 29–33.
6. Astrom K. J. Advanced PID Control / K. J. Astrom, T. Hagglund. – North Carolina: ISA, 2006. – 461 p.
7. Опейко О. Ф. Design of a Linear System Using a Semplified Plant Model // Autom. Remote Control. 2005. Vol. 66. no. 1. P. 24–30.
8. Jury E. I. Inners and Stability of Dynamic Systems. /A Willey-Interscience Publications, John Willey & Sons. New York-London-Sydney-Toronto, 1974.

References

1. Polyak B. T, Shcherbakov P. S. Robust Stability and Control. – Moscow: Nauka. 2002. – 303 p. (in russian).
2. **Choice** Chapters of Control Theory with Examples on MATLAB / B. R. Andrievsky, A. L. Fradkov – SPeterurg.: Nauka, 2000. – 475 p. (in russian).
3. Fradkov A. L. Adaptive Control in Complex Systems Moscow, 1990.-378 p. (in russian).
4. Blanchetti F. High-Gain Adaptive Control: A derivative-Based Approach / F. Blanchetti, T. Parisini, F. A. Pellegrino and G. Pin // IEEE Transaction on AC, Vol. 54 no. 9 2009. P, 2164–2169.
5. Опейко О. Ф. Adaptive Vector Control of Induction Motor. // Energetikaa. – Proceeding of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations. – 2012. – № 4. – 2012. p. 29–33.
6. Astrom K. J. Advanced PID Control / K. J. Astrom, T Hagglund. – North Carolina: ISA, 2006. – 461 p.
7. Опейко О. Ф. Design of a Linear System Using a Semplified Plant Model // Autom. Remote Control. 2005. Vol. 66. no. 1. P. 24–30.
8. Jury E. I. Inners and Stability of Dynamic Systems. / A Willey-Interscience Publications, John Willey & Sons. New York-London-Sydney-Toronto, 1974.

Поступила
30.05.2016

После доработки
08.06.2016

Принята к печати
15.09.2016

Opeiko O. F.

OUTPUT CONTROL WITH ADAPTIVE-PROPORTIONAL DIFFERENTIAL CONTROLLER

Belarusian National Technical University

Abstract. The goal of this article is to improve accuracy and stability margin for system with proportional differential (PD)-controllers and parameters uncertainty by means of adaptation. The adaptive controller must produce the accuracy improving by increasing the proportional gain of controller; when the error is non zero. Consequently, the error decrease, adaptation become less intensive, and the system maintain the stability. This is provided by the correctly constructed Lapunov function. The method of parametric synthesis for adaptive PD-controller is developed based on roots location on complex plane. The numerical example of synthesis is presented with simulation results, which demonstrate the correctness of developed method. The adaptive PD-controller allow accuracy improving with stability retaining, i. e. the adaptivity is able to replace the integrator by proportional gain tuning. The adaptive PD-controller is especially helpful for systems, working with inputs variability, and when the exponential dynamic is of importance. In cases, when disturbances are restricted, the adaptive PD-controller provides the stability and accuracy, but slowly operation.

Keywords: *Adaptation, parameters uncertainty, proportional differential (PD)-controllers, parametric synthesis, stability.*



Опейко Ольга Федоровна – доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», к. т. н., БНТУ. Сморговский тракт 10 кв. 180, Минск 220068, Р. Беларусь.

Д. т. (17) 2 33 62 52; welcome 39 977 41 89 email oopeiko@bntu.by

Opeiko O. F. Received the E. E. degree from the Belorussian National Technical University (BNTU),

Minsk, R Belarusussia, in 1970 and the Ph. D. degree from the BNTU, Minsk, in 1975. Her research interests include control, modeling, analysis and simulation of electrical drive, and robotics.

УДК 004.9:681.3

В. Г. МИХАЙЛОВ

ЗАПИСЬ БИНАРНЫХ ДАННЫХ НА SD КАРТУ ARDUINO DUE

ООО «Мидивисана», г. Минск

Дан краткий обзор микроконтроллеров семейства Arduino, их характеристик и областей применения. Отмечена важность записи параметров исследуемого объекта для отладки систем управления на микроконтроллерах Arduino. Единственной возможностью регистрации параметров в семействе Arduino является запись на SD-карту в текстовом режиме с использованием функций `print()`, `write()`. Рассмотрены проблемы, связанные с записью бинарных данных на SD-карту на микроконтроллере Arduino Due. Проведен анализ способов записи бинарных данных на SD-карту Arduino Due, возникающих проблем с неочисткой памяти от предыдущей программы, приводящей к возможности дублирования данных на SD-карте, наличие ошибочной точки зрения об ограничении объемов записи данных и необходимости использования устаревших SD-карт. Рассмотрены пути устранения отмеченных недостатков. Проведена оценка быстродействия различных подходов записи информации на SD-карту. На основании проведенных исследований предложен подход уплотнения записываемой информации за счет преобразования бинарных данных побайтно в символьный массив в коде ASCII без увеличения их объема и записи блоками по 240 байт. Это позволяет максимально использовать возможности стандартной функции `write()` Arduino и специфику организации памяти SD-карт и увеличить быстродействие более чем в 1100 раз по сравнению с записью в символьном виде по одному байту.

Отмечено, что использование предлагаемых на форумах решений исключения дублирования данных из-за неочистки памяти не обеспечивает полноты их устранения. Для Arduino Due для очистки памяти необходимо использования специального программатора или установка новой программы загрузки.

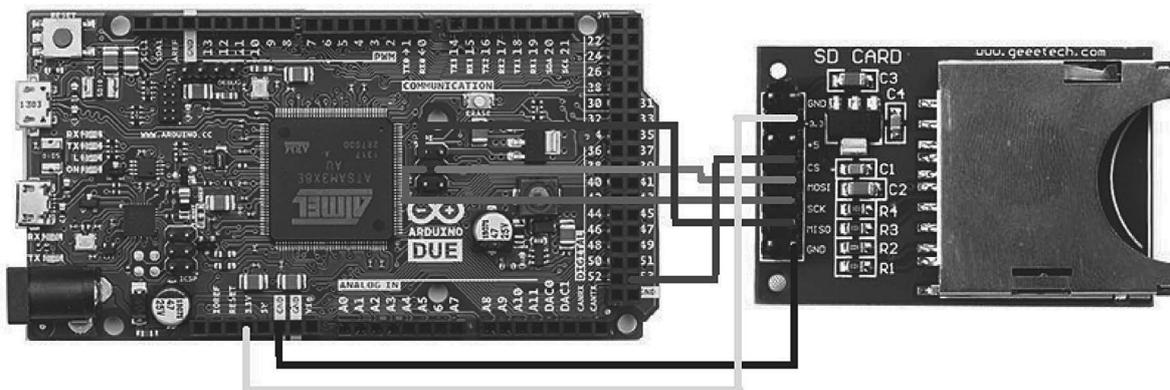
Ключевые слова: микроконтроллер Arduino Due, SD-карта, запись бинарных данных, программа.

Введение

Сейчас все более широко для задач автоматизации различных объектов применяются микроконтроллеры (МК) семейства Arduino [1, 2]. В следствии их производства в КНР, они имеют низкую стоимость (15–25 \$), благодаря чему они получают все более широкое применение.

Линейка микроконтроллеров Arduino включает 8-ми, 32-ти разрядные модули. Они име-

ют малые габариты и малое потребление тока. И широко используются в различных системах управления игрушек, роботов, квадрокоптеров, систем умного дома и других устройств. Имеют неплохие перспективы для использования и в других областях. Наиболее производительным является Arduino Due, представляющий собой 32-ти разрядный микроконтроллер с тактовой частотой 84 МГц, показанный на рисунке.



Общий вид Arduino Due с SD-модулем и схема их соединения

Он имеет габариты 53x103x15 мм, масса – 35 г. В Arduino Due имеется 12 аналоговых входов АЦП и два аналоговых выхода 12-битного цифро-аналогового преобразователя. Необходимо также отметить, что плата Arduino Due имеет еще 54 цифровых выводов, которые могут работать в качестве входа или выхода сигналов, а также выводить 8-битные аналоговые значения в виде ШИМ-сигнала. Программирование модулей Arduino осуществляется с помощью языка C, C++ в среде Windows, Linux, Perl. Имеются большое количество различных датчиков и устройств для Arduino и бесплатных библиотек для них. Вместе с тем следует отметить, что программные средства написаны в основном под 8-ми битные микроконтроллеры. Это не в полной мере пока позволяет использовать возможности 32-ти разрядного Arduino Due.

Кроме того для Arduino Due нет стандартного устройства (SD Shield), устанавливаемого сверху на плату. Из-за чего приходится использовать более простое устройство SD-карты с подключением проводами. Следует также отметить, что на Arduino Due не работает очистка памяти от предыдущей программы, что приводит к ее запуску и возможно дублирование данных в одноименных файлах.

Важную роль в процессе отладки систем управления на микроконтроллерах играет регистрация параметров исследуемого объекта, которую можно осуществить путем записи их на SD-карту. Однако запись бинарных данных на SD-карту [3–9] на микроконтроллерах представляет определенные трудности из-за ограниченных возможностей стандартной библиотеки SD, более рассчитанной на использование старых карт объемом 2, 4 Гб класса 2–4 и запись текстовой информации. А сейчас все больше распространены SD-карты (10 класс) стандарта SDHC и SDXC объемом соответственно до 32 Гб и более 64 Гб.

В Arduino запись на SD-карту в текстовом режиме производится с использованием функций **print()**, **write()** [3–8]. Максимальная длина записываемой строки соответственно 127, 255 байт. В тоже время многие регистрируемые параметры имеют бинарный вид (**int** 2 байта на 8-ми и 4 байта на 32 битных МК и **float**, **long** – 4 байта). Низкая скорость записи на SD-карту существенно ограничивает производи-

тельность системы управления. Если их (например, **float**) преобразовать в текстовый формат, то 4 байта **float** будут в среднем соответствовать 11–12 байтам текста с разделителем. И если необходимо произвести запись блока из 4 параметров, то реально в текстовом режиме можно записать блок кратный только 5-ти. В тоже время при использовании бинарных данных кратность могла быть равна 15-ти (при записи блока 240 байт).

Для управления быстродействующими объектами, такими как БЛА, квадрокоптеры важную роль играет быстродействие системы управления, зависящее, как от тактовой частоты микроконтроллера, его разрядности, так и времени записи на SD-карту. По данным работы [3], чтобы считать 6 байт из 3-х осевого акселерометра, библиотека гироскопа посылает адрес читаемого регистра и затем ждет. Шина I2C большинства гироскопов и акселерометров/магнетометров работает на частоте 100 КГц. В то же время сами сенсоры могут отдавать данные, например, 5000 раз в секунду. При такой частоте опроса сенсоров на 8-битном МК с рабочей частотой 16 МГц (Arduino Uno, Mega и другие) времени на обработку данных сенсоров, поступающих на огромной скорости практически не остается. При большой частоте опроса гироскопа или акселерометра Arduino можно использовать только как транслятор сигналов от сенсора через UART (аппаратно-последовательный порт) на внешний компьютер. Рассчитывать на выполнение каких-либо 32-ти битных вычислений, включая численное интегрирование и фильтрацию сигнала с датчиков ускорений гироскопа MPU6050 для определения угла наклона на самой Arduino (16 МГц, 8-ми битной) в такой ситуации не приходится. Поэтому возникла необходимость поиска путей повышения скорости записи на SD-карту, чтобы последняя не тормозила процесс управления быстродействующим объектом. Исходя из соображений быстродействия в своих исследованиях ориентировался на Arduino Due (84 МГц). Учитывалась тенденция, что в ближайшем будущем полностью произойдет переход на 32-разрядные микропроцессоры, чья большая вычислительная мощность позволит создавать новые интересные устройства, платы типа Arduino Due станут еще более востребованными.

С учетом всего этого в работе было акцентировано внимание на исследование путей записи бинарных данных на SD и возможности повышения производительности процесса записи, представляющих существенный практический интерес.

1. Особенности записи данных на SD-карты для МК Arduino

Особенностью записей на большинство SD-картах на МК, не использующих файловую систему, является специфическая организация их структуры хранения данных, при которой в начале ищется свободный блок (512 Кб либо 1024 Кб), в него вносятся данные и затем перезаписывается весь этот блок. С учетом этого целесообразно готовить и записывать данные на SD-карту блоком 512 Кб, а не по одному байту. Также следует учитывать, что используемые в Arduino функции `write()`, `print()` могут записывать информацию только в символьном виде. Функция `write()` может записать символьную строку объемом только 255 байт, а `print()` – 127 байт в коде ASCII. Это связано с использование в функции `size_t write (const uint8_t *buf, size_t size)` переменной `uint8_t *buf` (8-ми битного числа). Исходя из этого вытекает, что информацию целесообразно записывать с помощью функции `write()` блоком максимальным близким к 255 байт. Запись по одному байту, как предлагается в работах [7–10] не рациональна и непроизводительна. Она не обеспечивает требуемое минимальное время регистрации данных и управления быстродействующим объектом, например, квадрокоптером – 26 ms. И тем более 4-х, 6-ти, 8-ми параметров. Поэтому рассмотрим возможные пути уплотнения информации и повышения быстродействия записи на SD-карте, тем более что большинство регистрируемых параметров носят бинарный характер, а символьную информацию или режим можно закодировать в цифровом виде.

2. Запись информации в символьном виде

Для записи информации в символьном виде на один параметр (`float`, `long`) требуется 11–12 символов с разделителем. Отсюда получается, в строке 255 байт можно записать только 5 блоков по 4 параметра ($4 \times 11 - 12 = 220 - 240$ символов). Наиболее худшим вариантом является запись по одному байту, что снижает производительность более чем в 1100 раз, т. к. для каждого символа требуется вначале найти блок,

изменить его, а затем перезаписать. Это не позволяет использовать такой подход при регистрации данных и управления квадрокоптером, БЛА, роботом, станками.

3. Запись информации в бинарном виде

Бинарные данные (`float`, `long`, `int`) на 32-разрядном Arduino Due занимают 4 байта. Более целесообразным представляется для них использовать запись в символьный массив с преобразованием бинарных данных путем считывания побайтно в коде ASCII, при котором `float`, `long`, `int` будет занимать те же 4 байта, а четыре параметра 16 байт. Благодаря чему можно сократить объем информации в 3 раза по сравнению с символьным видом. Дополнительно можно уплотнить запись, если записывать информацию блоками, максимально приближаясь к объему символьной строки 255 байт. Для `float` (`long`, `int`) это 240 байт. Преобразование можно реализовать с помощью разработанной функции `zfl_bs` (см. исходный текст программы).

При заполнении символьной строки до максимально возможного (240 байт), она записывается на SD-карту с помощью стандартной функции `write()` и цикл повторяется.

Для удобства преобразования данные организованы в виде структуры `struct`. Это позволяет облегчить их обработку, преобразование через ссылочный механизм, не увеличивая объема информации.

Записанный на SD-карте массив в дальнейшем может быть считан с помощью функции языка C `fread()` и занесен в структуру. И далее при необходимости соответствующий образом обработан и использован. Например, использован в качестве исходных данных и сравнения при моделировании на Matlab/Simulink. И таким образом может быть проверена и отлажена система управления реальным объектом.

Программа реализации считывания 4-х параметров, записи их на SD-карту приведена ниже.

Алгоритм программы следующий: считываются данные с датчиков (в данном случае имитатора), их параметры заносятся в структуру, преобразуются и записываются в символьный массив блоками по 16 байт. При заполнении массива 240 байт производится запись на SD-карту и цикл повторяется. При достижении определенного объема файла, он

Таблица 1. Программа записи 4-х значений float на SD-карту

<pre> #include <SPI.h> #include <SD.h> #include <string.h> #include <stdio.h> struct dd { float d1; float d2; float d3; float d4; byte bs[240]; int blz; int kbz; int zsb; long kbf; }; struct dd fd; void zfl_bs(struct dd *d); void zbl_sd(struct dd *d); int j, ibl, kbf, kw,nf,mkf, kd; //kf count write file unsigned long time1, time2; File mF; char nfl[24]; char s1[24]; //----- void setup() { //----- int i; //---- Clear memory MC /* Serial.begin(1200); while(Serial.available()) Serial.read(); Serial.end(); delay(5000); */ j=0; nf=0; //number file kbf=500; // count block in file mkf=3; // max count file kw=0; // count write fd.blz=240; fd.kbz=16; // 4*4; time1=0; kd=0; pinMode(53, OUTPUT); //fd.bs[fd.blz]=0; // Open serial communications and wait for port to open: </pre>	<pre> //----- void loop() { // my program char s1[20]; int i; //----- //----- increse number file while (j<=mkf) { if (kd==0) { nfl[0]='\0'; itoa(j,nfl,10); strcat(nfl,"test.txt"); mF = SD.open(nfl, FILE_WRITE); kd=1; Serial.println("File open"); if (j>0) fd.d1=j; } //if (kw%kbf==0&&kw==kbf) if (kw==kbf) { j++; //nf=0; mF.close(); Serial.println("File close"); kd=0; kw=0; time2 = millis(); Serial.print("Time write - "); Serial.println(time2); } fd.d1=1; fd.d2=2; fd.d3=3; fd.d4=4; //----- //fd.bs[0]='\0'; //fd.zsb=0; //----- for (i=0;i<ibl;i++) { fd.d1+=0.001; fd.d2+=0.001; fd.d3+=0.001; fd.d4+=0.001; zfl_bs(&fd); </pre>
---	---

<pre> Serial.begin(250000); while (!Serial) { ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only } Serial.print("Initializing SD card..."); if (!SD.begin(53)) { Serial.println("initialization failed!"); return; } else Serial.println("initialization done."); //while (!Serial); time2=0; ibl=fd.blz/fd.kbz; sprintf(s1,"%ld %ld %ld\n",ibl,fd.zsb,fd.blz); Serial.print(s1); //----- if (j==mkf) { time2 = millis(); Serial.print("Time write - "); Serial.println(time2); Serial.println("Record File done."); } } // End Setup </pre>	<pre> } zbl_sd(&fd); //if (kj%kbf==0) //mF.close(); //j++; } //mF.close(); } //----- // Record float in struct bs void zfl_bs(struct dd *d) { int i; byte *yf, *ys; yf=(byte *)&d->d1; ys=(byte *)&d->bs[0] + d->zsb; if (d->zsb!=d->blz) { for (i=0;i<d->kbz;i++) *ys++=*yf++; d->zsb= d->zsb + d->kbz; } else { d->bs[0]='\0'; d->zsb=0; } } //----- // Record data in File void zbl_sd(struct dd *d) { int i,t,m; byte *yf, *ys; byte z; //bl=d->blz; z=240; if (d->zsb==d->blz) { mF.write((const uint8_t *)d->bs, z); kw++; } // if (d->zsb==d->blz) } } //----- </pre>
<pre> #include <SPI. h> #include <SD. h> #include <string. h> #include <stdio. h> struct dd { </pre>	<pre> // ----- void loop() { // my program char s1[20]; int i; </pre>

<pre>float d1; float d2; float d3; float d4; byte bs[240]; int blz; int kbz; int zsb; long kbf; }; struct dd fd; void zfl_bs(struct dd *d); void zbl_sd(struct dd *d); int j, ibl, kbf, kw, nf, mkf, kd; // kf count write file unsigned long time1, time2; File mF; char nfl[24]; char sl[24]; // _____ void setup() { // _____ int i; // — Clear memory MC /* Serial.begin(1200); while(Serial.available()) Serial.read(); Serial.end(); delay(5000); */ j= 0; nf= 0; // number file kbf= 500; // count block in file mkf= 3; // max count file kw= 0; // count write fd. blz= 240; fd. kbz= 16; // 4*4; time1 = 0; kd= 0; pinMode(53, OUTPUT); // fd. bs[fd. blz]= 0; // Open serial communications and wait for port to open: Serial.begin(250000); while (! Serial) { ; // wait for serial port to connect. Needed for na- tive USB port only } Serial.print(«Initializing SD card...»);</pre>	<pre>// _____ // _____ increase number file while (j<=mkf) { if (kd== 0) { nfl[0]='\0'; itoa(j, nfl,10); strcat(nfl,»test. txt«); mF = SD. open(nfl, FILE_ WRITE); kd= 1; Serial.println(«File open»); if (j>0) fd. d1 =j; } // if (kw%kbf== 0&&kw==kbf) if (kw==kbf) { j++; // nf= 0; mF. close(); Serial.println(«File close»); kd= 0; kw= 0; time2 = millis(); Serial.print(«Time write – «); Serial.println(time2); } fd. d1 = 1; fd. d2 = 2; fd. d3 = 3; fd. d4 = 4; // _____ // fd. bs[0]='\0'; // fd. zsb= 0; // _____ for (i= 0; i<ibl; i++) { fd. d1 += 0.001; fd. d2 += 0.001; fd. d3 += 0.001; fd. d4 += 0.001; zfl_bs(&fd); } zbl_sd(&fd); // if (kj%kbf== 0) // mF. close(); // j++;</pre>
---	---

```

if (! SD. begin(53)) {
Serial. println(«initialization failed!»);
return;
}
else
Serial. println(«initialization done.»);
// while (! Serial);
time2 = 0;
ibl=fd. blz/fd. kbz;
sprintf(s1,»%ld%ld%ld\n», ibl, fd. zsb, fd. blz);
Serial. print(s1);

// -----
if (j==mkf)
{
time2 = millis();
Serial. print(«Time write – «);
Serial. println(time2);
Serial. println(«Record File done.»);
}
} // End Setup
}
// mF. close();
}

// -----
// Record float in struct bs
void zfl_bs(struct dd *d)
{
int i;
byte *yf, *ys;
yf=(byte *)&d->d1;
ys=(byte *)&d->bs[0] + d->zsb;
if (d->zsb!=d->blz)
{
for (i= 0; i<d->kbz; i++)
*ys++=*yf++;
d->zsb= d->zsb + d->kbz;
}
else
{
d->bs[0]='\0';
d->zsb= 0;
}
}

// -----
// Record data in File
void zbl_sd(struct dd *d)
{
int i, t, m;
byte *yf, *ys;
byte z;
// bl=d->blz;
z= 240;
if (d->zsb==d->blz)
{
mF. write((const uint8_t *)d->bs, z);
kw++;
} // if (d->zsb==d->blz)
}
// -----

```

закрывается, открывается новый файл с соответствующим номером и так далее. Такой подход позволяет повысить надежность регистрации данных и сохранить большую часть информации при сбоях аппаратуры.

4. Оценка эффективности предлагаемого способа записи данных на SD-карту

Исследование проводилось с помощью SD-карт 2 класса (512 кб, неизвестный производи-

тель, 2004 г. вып.), 4 класса (4 Гб, 133 mb/c, Transcend, 2008 г. вып.), 10 класса (32 Гб, 200 mb/c, Transcend, 2016 г. вып.).

Результаты предлагаемого способа записи бинарных данных на SD-карту сведены в таблицу. Здесь же для сравнения приведены данные по записям в виде символьной информации 4-х параметров и влияние типа SD-карты на быстродействие записи.

Т а б л и ц а 2. Сравнительные результаты записи на SD-карты

Время записи файла 240000 байт, ms	В бинарном виде блоком 16 байт * 15, 60000 параметров, ms	В символьном виде, блоком 4 параметра (46 байт) * 5, 20000 параметров, ms	В символьном виде по одному байту, для файла 240000 байт, ms
<i>На SD-карте 32 Гб</i>			
Полное время, ms	2581	2620	1032400
Приведенное время записи на один параметр float, ms	0,043	0,131	47,3
<i>На SD-карте 4 Гб</i>			
Полное время, ms	7701	8020	3080400
Приведенное время записи на один параметр float, ms	0,128	0,401	141,2
<i>На SD-карте 512 кб</i>			
Полное время, ms	10258	10270	4103200
Приведенное время записи на один параметр float, ms	0,172	0,51	188

Как видно из таблицы наиболее эффективным способом является запись бинарных данных блоком кратным 15-ти. Приведенное время на один параметр составляет 0,043 ms. При символьной форме записи время одного параметра составляет 0,128 ms. При бинарном и символьном способах записи данных блоком время минимально и не нарушает управление быстродействующим объектом (например, квадрокоптером – 26 ms.).

Как было выяснено существенное влияние на время записи оказывает тип и класс используемой SD-карты. Наиболее лучшие результаты показывает SD-карта 10 класса. У SD-карты 2 класса (512 мб) наиболее низкие результаты. SD-карта 4 класса (4 Гб) имеет несколько лучшие результаты по сравнению с SD-картой 4 класса (4 Гб). И все же они (SD карты 2, 4 класса) считаю менее годятся для регистрации быстродействующих процессов управления (БЛА, квадрокоптерами и т. п.). Последние лучше использовать для регистрации более медленных процессов, например, станками, роботами.

Как показали проведенные эксперименты SDHC карты 10 класса (32 Гб, 200 ms/c) прекрасно работают с модулями Arduino. И непонятна ошибочная точка зрения, что для Arduino подходят только устаревшие SD-карты до 4 Гб, которые сейчас уже не выпускаются. Возможно причиной такого утверждения является неправильный подсчет объема памяти из-за ограничения значности типа long [6] при использовании стандартной программы CardInfo.ino, показывающей объем памяти менее 2 Гб

на картах более 4 Гб. Необходимо также учитывать, что SDHC-карты рассчитаны на напряжение питания 3,3 В, в то время как устаревшие на 5 В. И чтобы не вывести из строя SD-карту необходимо питать ее от отдельного стабилизатора либо использовать делитель напряжения на сопротивлениях. У Arduino Due имеется собственный стабилизатор на 3,3 В, с помощью которого питался блок SD. На SDHC-карты можно записать до 32 Гб информации, что вполне достаточно для многих задач. SDXC-карты (> 64 Гб) на Arduino не работают.

Необходимо упомянуть об имеющейся нерешенной проблеме очистки памяти от ранее загруженной программы в Arduino Due [9]. На сайтах для очистки памяти от ранее загруженной предыдущей программы (применительно в основном для Arduino Uno) предлагалось:

- использование кнопки очистки памяти, удерживая ее 5 сек;
- введение в программу задержки delay (5000);
- запуск программы-пустышки;
- использовать USB-порт для программирования в силу некоторых особенностей процесса очистки памяти микроконтроллера.

Но на Arduino Due все это не работает. Единственным решением является использование специального программатора для очистки памяти либо обновление программы загрузки МК [3]. В качестве временного решения можно рекомендовать использование записи в различные каталоги для отладочной и рабочей программы.

Заключение

С модулями Arduino целесообразно использовать современные карты SDHC 10 класса, 32 Гб, которые обеспечивают наибольшее быстродействие и могут записывать до 32 Гб информации.

2. Устаревшие SD карт 2, 4 класса имеют более низкое быстродействие (в 3–4 раза ниже чем у SDHC карт).

3. Запись информации на SD карты в символьном виде менее эффективна. Она приводит к снижению быстродействия в 3 раза по сравнению с бинарным способом.

4. На основании проведенных исследований предлагается подход уплотнения записываемой информации за счет преобразования бинарных данных побайтно в символьный массив в коде ASCII без увеличения их объема и записи блоками по 240 байт. Это позволяет максимально использовать возможности стандартной функции write() Arduino и специфику организации памяти SD карт и увеличить быстродействие более чем в 1100 раз по сравнению с записью в символьном виде по одному байту.

5. Предложена и апробирована программа циклического считывания информации с датчиков и записи их параметров на SD-карты в бинарном виде, которая обеспечивает наибольшее быстродействие их записи и уплотнение информации.

5. Предложена и апробирована программа циклического считывания информации с датчиков и записи их параметров на SD-карты в бинарном виде, которая обеспечивает наибольшее быстродействие их записи и уплотнение информации.

Литература

1. **32-разрядные** платы Arduino [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://mcucpu.ru/index.php/platformy-8-bit/arduino/95-arduino32bit> – Дата доступа: 12.05.2016.
2. **Arduino Due** Общие сведения [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://arduino.ua/ru/hardware/Due>. – Дата доступа: 17.05.2016
3. **Материалы** форума Вопросы по гироскопу MPU 6050 [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://forum.amperka.ru/threads/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B-%D0%BF%D0%BE-%D0%B3%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%83-mpu-6050.1467/>. – Дата доступа: 22.05.2015..
4. **Модуль SD** карты и Arduino [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://arduino-diy.com/arduino-SD-karta>. – Дата доступа: 19.05.2016.
5. **Материалы** форума. Запись данных с датчика DHT11 на SD карту? [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://arduino.ru/forum/programirovanie/zapis-dannykh-s-datchika-dht11-na-sd-kartu>. – Дата доступа: 25.10.2016.
6. **Подключение** и использование SD карты с Arduino [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://uscr.ru/podklyuchenie-i-ispolzovanie-sd-karty-c-arduino/>. – Дата доступа: 24.05.2016.
7. **Запись/чтение** на SD-карту с Arduino [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://cxem.net/arduino/arduino2.php> – Дата доступа: 24.05.2016.
8. **Подключение SD** карт к Arduino [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.poprobot.ru/home/podkluceniesdkartkarduino> – Дата доступа: 24.05.2016
9. **Проблема** загрузки в плату. Помощь по загрузке: [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#upload>. – Дата доступа: 20.05.2016.
10. **Arduino**: Работаем с SD картами [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://zhitenev.ru/arduino-rabotaem-s-sd-kartami/>. – Дата доступа: 20.05.2016.

References

1. **32-bit** boards Arduino [the Electronic resource]. – 2016. – the Mode доступа: <http://mcucpu.ru/index.php/platformy-8-bit/arduino/95-arduino32bit>. – Access Date: 5/12/2016.
2. **Arduino Due** the general convergence [the Electronic resource]. – 2016. – the Mode доступа: <http://arduino.ua/ru/hardware/Due> – Access Date: 5/17/2016.
3. **Materials** of a forum Questions on gyroscope MPU 6050 [the Electronic resource]. – 2010. – the Access mode: <http://forum.amperka.ru/threads/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B-%D0%BF%D0%BE-%D0%B3%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%83-mpu-6050.1467/>. – Access Date: 5/22/2015.
4. **SD** unit of a card and Arduino [the Electronic resource]. – 2016. – the Mode доступа: <http://arduino-diy.com/arduino-SD-karta>. – Access Date: 5/19/2016.
5. **Materials** of a forum Data record from sensor DHT11 on SD a card? [An electronic resource]. – 2016. – the Mode доступа: <http://arduino.ru/forum/programirovanie/zapis-dannykh-s-datchika-dht11-na-sd-kartu>. – Access Date: 10/25/2016.
6. **Connection** and usage SD of a card with Arduino [the Electronic resource]. – 2016. – the Access mode: <https://uscr.ru/podklyuchenie-i-ispolzovanie-sd-karty-c-arduino/>. – access Date: 5/24/2016.
7. **Record/reading** on a SD-card with Arduino [the Electronic resource]. – 2016. – the Access mode: <http://cxem.net/arduino/arduino2.php>. – Access Date: 5/24/2016.
8. **Connection SD** of cards to Arduino [the Electronic resource]. – 2016. – the Access mode: <http://www.poprobot.ru/home/podkluceniesdkartkarduino>. – Access Date: 5/24/2016.

9. A **loading** problem in a board of Arduino. The help on loading: [the Electronic resource]. – 2016. – the Access mode: <http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#upload>. – Access Date: 5/20/2016.

10. **Arduino**: Working with SD Card: [the Electronic resource]. – 2016. – the Access mode: <http://zhitenev.ru/arduino-rabotaem-s-sd-kartami/>. – Access Date: 5/20/2016.

Поступила
06.09.2016

После доработки
12.09.2016

Принята к печати
15.09.2016

Vladimir Mikhailov

CAND. TECH. SCI. (ENGINEERING), LEADING ENGINEER OF OPEN STOCK CO «MIDIVISANA» MINSK, REPUBLIC BELARUS

*The short review of microcontrollers of family Arduino, their characteristics and application fields is given. Importance of record of parameters of researched object is marked to produce debugging of control systems on microcontrollers Arduino. Unique possibility of registration of parameters in family Arduino is record on SD a card in an alpha mode with usage of functions **print ()**, **write ()**. The problems connected to record of the binary data on SD a card on microcontroller Arduino Due are considered. The analysis of methods of record of the binary data on SD card Arduino Due, originating problems with neo-cleaning of memory from the previous program leading to possibility of duplication of the data on SD to a card, presence of the erratic point of view about restriction of volumes of data record and necessity of usage become outdated SD cards is carried out. Ways of elimination of the marked lacks are considered. The estimation of high-speed performance of various approaches of a data recording on SD a card is led. On the basis of the led researches the approach of multiplexing of the writeable information at the expense of conversion of the binary data is offered is byte-serial in a character array in code ASCII without magnification of their volume and record by units on 240 byte. It allows to use as much as possible standard function possibilities write () Arduino and specificity of the organization of memory SD of cards and to increase high-speed performance more than in 1100 times in comparison with record in a character type on one byte.*

It is marked that usage of decisions of an exception of duplication of the data offered at forums does not provide completeness of their elimination. For Arduino Due for storage cleaning it is necessary usages of the special programmer or setting of the new program of loading.

Keywords: microcontroller Arduino Due, SD Card, record of the binary data, the program.



Владимир Георгиевич Михайлов канд. техн. наук 05.05.03, 220005, Минск, ул. Пугачевская 24–8, ведущий инженер ООО «Мидивисана», г. Минск.

Специалист в области разработки систем CALS/PLM (PDM, ERP), программирования, автомобилестроения, моделирования динамических систем в пакетах MATLAB\SIMULIK, оценки напряженно-деформированного состояния в пакете ANSYS, испытаниям подвесок, рам ТС, пневматики, гидравлики, тензометрирования,

Tel.: + 375-(029)785–09–16. E-mail: sapr7@mail.ru.

Mikhailov Vladimir (S'72–M'76–SM'80) received the D. degree (Cand. Tech. Sci., mechanical Engineering) from the Belarussian Polytechnical institute of Belarus, Minsk, in 1982.

He was a Senior Research and Engineer-designer at Minsk Automobile plant, from 1972 to 1984, Leading Research, Chief of Research laboratory in CenterSystem, Minsk (design and development ERP) from 1984 to 1991, and was leading Engineer-designer at Minsk Wheel plant from 1994 to 2010, now a leading engineer of Open Stock Company «Midivisana», Republic Belarus, Minsk. His research interests include design and development of Software PDM, ERP, application Oracle on C++, PL/SQL, Java, programming MC, modeling dynamic systems, vibration.

The expert in the field of system engineering CALS/PLM (PDM, ERP), programming MC, motor industry, modeling of dynamic systems in packets MATLAB\SIMULIK (S-Function Builder), estimations of the intense-deformed state in packet ANSYS, to tests of suspension, frames of the vehicle, a pneumatics, hydraulics.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

УДК 004.942

Ю. Б. ПОПОВА

КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

Белорусский национальный технический университет

Использование информационных технологий и, в частности, автоматизированных систем управления обучением, увеличивает возможности как преподавателя, так и обучаемого, в достижении своих целей в образовательном процессе. Такие системы предоставляют учебный контент, помогают организовать и контролировать обучение, собирают статистику прогресса, а также могут учитывать индивидуальные особенности каждого пользователя системы. В настоящее время существует огромный перечень как платных, так и бесплатных систем, физически расположенных как на серверах учебных заведений, так и в облаке, предлагающих отличающиеся наборы функциональных возможностей с разной схемой лицензирования и стоимостью. Такое множество создает проблему выбора наилучшей системы. Данная проблема отчасти связана и с отсутствием полной классификации таких систем. Анализ более 30 самых распространенных в настоящее время автоматизированных систем управления обучением показал, что классификацию таких систем необходимо проводить по определенным признакам, в рамках которых могут быть рассмотрены однотипные системы. В качестве классификационных признаков автором предлагаются следующие: стоимость, набор функциональных возможностей, модульность, учет требований заказчика, интеграция контента, физическое расположение системы, адаптивность обучения. Рассматривая системы управления обучением в рамках указанных классификационных признаков и принимая во внимание современные тенденции их развития, можно определить основные требования к ним: функциональность, надежность, удобство использования, низкая стоимость, поддержка стандарта SCORM или Tin Can API, модульность, адаптивность. Согласно данным требованиям на кафедре программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем ФИТР БНТУ под руководством автора с 2009 г. идет разработка, использование и постоянное совершенствование собственной системы управления учебным процессом.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления обучением, LMS, система дистанционного обучения, системы обучения, электронное обучение.

Введение

Автоматизированные системы управления обучением (англ. Learning Management System, LMS) являются основой современного учебного процесса и используются для организации и проведения аудиторных и дистанционных занятий, разработки, управления и распространения учебных материалов с обеспечением совместного доступа. Создаются данные материалы в визуальной учебной среде с заданием последовательности изучения. В состав системы, как правило, входят различного рода индивидуальные задания, проекты для работы в малых группах и учебные элементы для всех студентов, основанные как на содержательной компоненте, так и на коммуникативной [1]. В русскоязычной литературе в качестве синонима LMS встречается термин СДО – система дистанционного обучения.

Многообразие имеющихся на сегодняшний день систем управления обучением создает проблему выбора наилучшей системы и одновременно позволяет выработать требования к ней. Поэтому данное исследование направлено на рассмотрение некоторых распространенных LMS, определение классификационных признаков, построение классификации таких систем и определение требований к ним.

Немного истории

В западной литературе первой LMS позиционируется система PLATO (Program Logic for Automatic Teaching Operations), появившаяся в 1960 году в Иллинойском университете в Урбана-Шампейн (США) [2]. Проект пережил несколько версий обновлений и использовался во многих колледжах и университетах по всему миру. PLATO был доступен для сту-

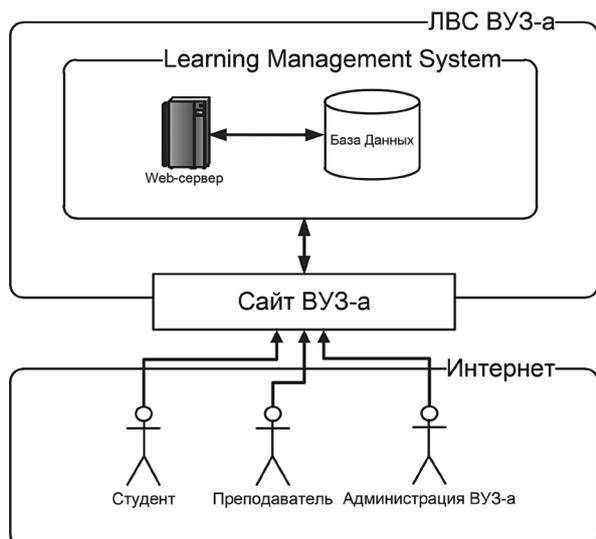


Рис. 1. Общая схема организации работы типичной LMS вуза

дентов по цене около 0,27\$ в час, поэтому использование в семестре обходилось приблизительно в 266\$ (5 дней в неделю и 16 недель в семестре). Затем появились COURSEWRITER от IBM (1965 г.), The Havering Computer Managed Learning System в Лондоне (1970 г.), первый виртуальный колледж Coastline Community College (США, 1976 г.), проект онлайн обучения CICERO в Open University (Великобритания, 1976 г.), образовательный проект Telidon в Athabasca University (Канада, 1979 г.) [3].

В 80-е годы прошлого столетия происходит значительное увеличение разработок в области систем управления обучением, появляется первая русскоязычная система «АСУ ВУЗ» – комплекс информационных автоматизированных систем управления высшими учебными заведениями, разработанный научно-исследовательским институтом высшей школы (НИИ ВШ) СССР. Данный комплекс централизованно внедрялся в крупнейшие вузы страны, имеющие наибольший технический и интеллектуальный потенциал. Всего охвачено проектом было более 50 учебных заведений [4]. В вычислительных центрах эти системы дорабатывались специалистами соответствующих вузов, создавались новые подсистемы. Эта тенденция продолжилась и в 1990-е годы, когда основной платформой для разработок стала IBM PC. Развитие научно-технического прогресса позволило применять новые информационные технологии в дальнейшем развитии систем автоматизации в вузах. Мно-

гие проекты реализовывались «с нуля», строились новые модели, учитывающие обновившиеся финансовые и другие механизмы. В результате сформировалось множество более или менее полноценных, но совершенно не совместимых друг с другом систем. Среди наиболее известных в то время систем можно выделить следующие: TLM (The Learning Manager), CSILE, SmartBoard, FirstClass.

Рассмотренные выше первые системы управления обучением конечно же не могут конкурировать с современными системами, однако именно они заложили фундамент и основные требования к ним.

Классификационные признаки систем управления обучением

В настоящее время существует множество систем управления обучением, причем каждая из них имеет как очевидные преимущества, так и недостатки, обусловленные разработками программных продуктов под определенные цели. Поскольку наибольшее использование таких систем предусматривается для высших учебных заведений, то схема организации работы в локальной вычислительной сети (ЛВС) может быть представлена в виде:

Анализ наиболее распространенных LMS (ePathLearning, CourseWork, Moodle, Sakai, E-xcellence, SharepointLMS, BlackBoard, Caroline, Dokeos, LAMS, Learn eXact, e-University, Eucalyptus, Desire2Learn, Edmodo, Education Elements, OpenClass, Schoology, Haiku learning, iSpring, Ilias, Odijoo, Scorm Cloud, Dnevnik.ru, MoyUniver.ru, Yaklass.ru, Coursera, ATutor, WebTutor, Efront и др.) позволяет сделать вывод о многообразии предлагаемых функциональных возможностей, о разных подходах к реализации, о возможности индивидуальной компоновки или даже разработки LMS, о разных схемах лицензирования и стоимости. Все это свидетельствует о том, что классификацию таких систем необходимо проводить по определенным признакам, в рамках которых будут рассматриваться однотипные системы. Набор требуемых для конкретного пользователя признаков сформирует критерии выбора наилучшей для него системы.

Предлагаются следующие классификационные признаки для систем управления обучением:

- a) стоимость;
- b) набор функциональных возможностей;
- c) модульность;
- d) учет требований заказчика;
- e) интеграция контента;
- f) физическое расположение системы;
- g) адаптивность процесса обучения.

Классификация систем управления обучением

Согласно указанным выше признакам проведем классификацию LMS:

a) *по стоимости систем* будем выделять платные системы управления обучением, свободно распространяемые бесплатные системы и частично платные системы.

Количество платных систем управления обучением стремительно увеличивается. На рынке присутствуют как российские программные продукты (например, Dnevnik.ru, MoyUniver.ru, Yakclass.ru), так и западные (SharePointLMS, BlackBoard, Desire2Learn и др.). Поскольку для знакомства с этими системами доступны только демонстрационные версии, то, на первый взгляд, все они обладают приблизительно одинаковым набором функциональных возможностей (предоставление учебного материала и проверка полученных знаний путем тестирования) и одинаковыми недостатками (высокой стоимостью и отсутствием гибкости, т. е. купленный продукт является «вещью в себе» и не подлежит самостоятельной модификации, а лишь за дополнительную оплату). Следует также отметить, что практически все западные системы управления обучением ориентированы на индивидуальный подход к учащемуся и не имеют возможности организовать учебные группы и подгруппы для проведения лабораторных или практических занятий. В Республике Беларусь в качестве коммерческой LMS известна e-University, разработанная компанией ИВА совместно с преподавателями БГУ. Эта система является программной платформой поддержки Интернет-образования, комплексом средств для организации учебного процесса и управления им, создания учебных курсов, интегрированной коммуникации [5]. Оценка по предмету выставляется по результатам прохождения всех тестов. Статистика позволяет ознакомиться с результатами тестирования, а также с текущим состоянием на одном или нескольких предметах.

Довольно большой перечень бесплатных систем управления обучением рассмотрен в [6]. В нашей стране самой распространенной из таких систем является Moodle (англ., Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), известная как виртуальная обучающая среда или как средство для создания динамических веб-сайтов для учащихся [7]. Система ориентирована, прежде всего, на организацию взаимодействия между преподавателем и учениками, хотя подходит и для организации традиционных дистанционных курсов, а также поддержки очного обучения. Moodle имеет возможности для масштабирования вплоть до нескольких сотен тысяч учащихся, может использоваться даже в начальной школе или при самостоятельном обучении. Существенным недостатком Moodle является не очень дружелюбный интерфейс системы: пользователь видит перед собой страницы, перегруженные разного рода ссылками, таблицами, командами. За счет этого существенно снижается скорость работы в системе, затрудняется процесс изучения этой системы и ее инструментов. Также следует добавить, что большинство бесплатных LMS поставляются с открытым исходным кодом, т. е. владея навыками программирования возможна модификация этих систем.

К частично платным будем относить системы, в которых базовая функциональность предлагается бесплатно, а за дополнительные опции требуется доплата. Особой популярностью здесь пользуется система Efront из-за широкого базового набора (форум, управление контентом, тестирование, дневник, глоссарий, библиотека файлов, внутренняя почта, чат, календарь, отчеты по урокам).

b) *по набору функциональных возможностей* можно выделить системы, которые поддерживают организацию всего учебного процесса (например, проведение разных видов аудиторных занятий, создание учебных групп/подгрупп, назначение индивидуальных проектов, тестирование/самотестирование), а также системы, которые только предоставляют образовательный контент и тестирование знаний.

Большинство систем обучения относятся к первому виду, среди них выделим Moodle, Sakai, e-University, Education Elements, Ilias, Odijoo, ScormCloud, Dnevnik.ru, MoyUniver.ru, Yakclass.ru, Efront.

Ко второму виду отнесем системы Claroline, Dokeos, LAMS, Learn eXact и, конечно же, самую распространенную в настоящее время Coursera, разработанную в Стэнфордском университете (США) и используемую в 28 странах мира с количеством пользователей более 10 млн. человек [8]. Следует отметить, что в литературе Coursera определяется не только как LMS, но и как образовательная платформа, а также как МООС (англ., Massive Open Online Course – Массовые Открытые Онлайн Курсы). Здесь существует возможность проходить обучение по физике, инженерным дисциплинам, гуманитарным наукам и искусству, медицине, биологии, математике, информатике, экономике и бизнесу. Контент подготовлен преподавателями из 140 университетов всего мира на 14 разговорных языках.

с) *по модульности* будем выделять автономные и модульные LMS. Первые реализуют традиционный подход к системе электронного обучения, при котором в одном приложении собраны все инструменты. По такому принципу разработано большинство LMS, поскольку по определению [1] так и должно быть. В настоящее время такой подход все чаще подвергается критике, и пропагандируются модульные, т. е. независимые системы, которые по отдельности могут выполнять те или иные функции систем управления обучением. Сравнительный анализ двух подходов подробно представлен в [9].

d) *по учету требований заказчика* будем выделять готовые программные продукты и разрабатываемые под заказ. Все упомянутые выше системы управления обучением являются готовыми программными продуктами, пользуясь которыми необходимо подстраиваться под их функциональные и нефункциональные возможности, придерживаться разного рода ограничений и следовать, так называемым, стандартным алгоритмам. Многие учебные заведения, принимая во внимание недостатки имеющихся платных и бесплатных систем управления обучением и желая учесть собственную специфику учебного процесса, прибегают к самостоятельной разработке таких автоматизированных систем либо делают индивидуальный заказ на разработку. Так поступили, например, в Harvard University и Massachusetts Institute of Technology (США), в Российском

энергетическом университете им. Г. В. Плеханова, в Высшей школе экономики (НИУ ВШЭ, Россия), в Санкт-Петербургском государственном медицинском университете им. акад. И. П. Павлова и во многих других. Можно отметить, что в последнее время наметилась тенденция на такие заказы, поскольку готовые системы, хотя и претендуют на термин «универсальность», но не всегда его реализуют.

В некоторой степени данный классификационный признак является частным случаем первого классификационного признака, поскольку разработка под заказ требует капиталовложений. Однако некоторые вузы или организации, занимающиеся обучением своих сотрудников, разрабатывают такие программные продукты своими силами. Такой подход особенно распространен в IT-компаниях, когда проще разработать свою автоматизированную систему, чем покупать «вещь в себе».

e) *по интеграции контента*. Как было указано выше, еще в 1990-е годы появилось множество систем управления обучением абсолютно не совместимых друг с другом. Это создавало и создает проблему интеграции контента, т. е. весь учебный материал, включая тесты, созданные в одной LMS, невозможно использовать в другой. Для решения этой проблемы в 2004 г. был разработан SCORM (англ. Shareable Content Object Reference Model) – сборник стандартов для электронных систем обучения, который обеспечивает совместимость компонентов курсов с разными системами. Продолжением этого стандарта является Tin Can API, направленный на поддержку работы с мобильными устройствами, с программами-симуляторами и обучающими играми. Таким образом, все имеющиеся системы можно разделить на поддерживающие стандарт SCORM/Tin Can API либо нет.

f) *по физическому расположению* имеющиеся LMS могут быть разделены на локальные, серверные и облачные.

Локальные системы управления обучением устанавливаются на каждый отдельный компьютер. Такой подход был особенно распространен до появления веб-технологий и создавал ряд неудобств, связанных с контролем знаний преподавателем. Несмотря на это, для самообучения локальные системы имеют право на существование. В некоторой степени мо-

бильные приложения, направленные на обучение, работают по такому же принципу: происходит установка программного обеспечения на мобильное устройство, сохраняется контент, тесты, и дальнейшее подключение к Интернет уже не требуется.

Серверные системы реализуют клиент-серверный подход, при котором LMS разворачивается на одном компьютере (сервере) и работает с пользователями (клиентами) через браузер (например, системы Moodle, e-University, LMS НИУ ВШЭ, Ilias, ATutor, WebTutor и многие другие). Таким образом, все учебные материалы, тесты, информация о пользователях, статистика их успеваемости и т. д. хранятся на сервере, а на локальных компьютерах пользователей отображаются сформированные сервером страницы. К недостаткам такого подхода можно отнести затраты на приобретение сервера, программного обеспечения для него и постоянного администрирования.

Появление облачных технологий привело к возможности реализации облачных LMS и появлению их огромного количества, включая платные и бесплатные (Coursera, iSpring, Edmodo, Odijoo, Scorm Cloud, TalentLMS, Docebo и др.). При таком подходе нет необходимости в приобретении и администрировании сервера, поскольку весь контент хранится «в облаке», предоставляемом, как правило, разработчиком системы. Несмотря на это преимущество, многие университеты хотят сохранить независимость своих систем управления обучением и продолжают использовать серверные реализации.

g) по адаптивности процесса обучения системы могут быть разделены на адаптивные (АОС) и неадаптивные. К первому виду относятся системы с обратной связью, при реализации которой происходит анализ знаний обучающегося на каждом этапе изучения материала и построение индивидуальной траектории обучения. Также могут быть учтены психофизические особенности индивидуумов. Следует отметить сложность разработки таких систем и не всегда высокую точность. В первую очередь это связано с трудностями формализации знаний. Некоторые модели представления знаний в обучающих системах были описаны в [10], а процесс обучения сформулирован в [11] как задача управления. Ученик при этом

выступает в качестве объекта управления (ОУ), а АОС выполняет функции устройства управления (УУ). На рис. 2 приняты следующие обозначения: Ψ – состояние внешней среды; Y – состояние ученика; I_Y, I_Y – соответствующие измерители; Ψ', Y' – результаты измерения величин Ψ, Y ; X – управляющие (обучающие и контролирующие) воздействия; D_x – ресурсы (ограничения на управление); Z^* – цель управления, состоящая в переводе ученика в требуемое состояние Y^* .

Во введенных обозначениях общее правило функционирования АОС в [11] представлено в следующем виде: АОС, получая на входе информацию о состоянии среды Y' и состоянии ученика Y' , а также информацию о цели Z^* и ресурсах D_x , выдает на выходе допустимое управление

$$X = A(Y', Y', Z^*) \in D_x,$$

переводящее ученика из текущего состояния в состояние, близкое к Y^* . Здесь A – алгоритм управления процессом обучения. Предполагая, что модель ученика, связывающая его наблюдаемые входы и выходы, имеет вид $Y' = M_L(Y', X)$, в [11] задача синтеза оптимального управления X^* с учетом μ^* , как символа некоторой меры близости, записывается в виде:

$$\begin{aligned} \min_X \mu(Y - M_L(Y', X)) = \\ = \mu(Y - M_L(Y', X^*)), X \in D_x. \end{aligned}$$

Большинство систем управления обучением являются неадаптивными вследствие причин, указанных выше. Правда, некоторые из них, например, Coursera, Ilias, Odijoo, после прохождения тестов могут указать, какие темы следует повторить.

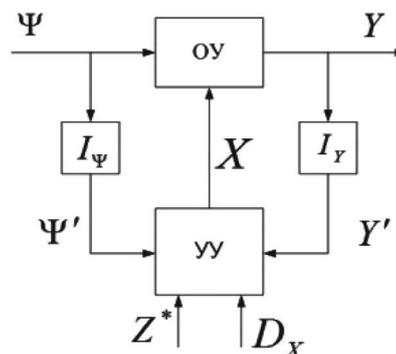


Рис. 2. Общая структура АОС [11]

Несмотря на сложность разработки адаптивных систем обучения, такой подход является крайне актуальным в настоящее время по причине развития непрерывного образования. Человек находится в этом процессе в течение всей своей жизни, хочет заниматься обучением в любом удобном для него месте, в любое свободное для него время, в кратчайшие сроки, не тратя при этом лишних средств.

Заключение

Проведенный анализ современных систем управления обучением позволил предложить их классификацию и выделить классификационные признаки, в рамках которых могут быть рассмотрены однотипные системы. Также был сделан вывод, что критериями выбора наилучшей системы могут быть эти же классификационные признаки, а точнее их некоторое сочетание, необходимое для каждого отдельного пользователя, заказчика или покупателя. Таким образом, классификационными признаками систем управления обучением, а также критериями их выбора могут быть: стоимость, набор функциональных возможностей, модульность, учет требований заказчика, интеграция контента, физическое расположение системы, адаптивность обучения.

Учитывая современные тенденции развития LMS, а также указанные выше критерии (или классификационные признаки) можно выделить основные требования к системам управления обучением, которые должны быть учтены при их разработке:

- функциональность (наличие в системе набора функций, отвечающего требованиям конкретного учреждения образования);
- надежность (способность выполнять свои функции 24 часа в сутки 7 дней в неделю, учитывая различную степень активности пользователей и доступность в любой момент времени);
- удобство использования системы обучения, включая дружественный интерфейс;
- низкая стоимость автоматизированной системы, как для учреждения образования, так и для обучающегося;
- поддержка стандарта SCORM или Tin Can API для миграции контента из одной системы управления обучением в другую;
- модульность системы для гибкой сборки нужной функциональности в рамках образовательного процесса;
- адаптивность системы к знаниям и психофизическим особенностям пользователей автоматизированной системы управления обучением.

Руководствуясь указанными выше требованиями, на кафедре программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем ФИТР БНТУ с 2009 года идет разработка, использование и постоянное совершенствование собственной системы управления учебным процессом [12]. В настоящее время актуальна уже третья версия системы, размещенная на сервере кафедры и доступная в локальной сети БНТУ по адресу [172.16.11.72:2016]. Данная автоматизированная система поддерживает работу в 4 функциональных ролях: администратор, преподаватель, студент и наблюдатель.

Литература

1. Ellis, Ryann K. Field Guide to Learning Management Systems // ASTD Learning Circuits [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www.astd.org/~media/Files/Publications/LMS_fieldguide_20091 – Дата доступа: 03.11.2015.
2. Josh Coates. The First LMS // Canvas Blog [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.canvaslms.com/blog/bid/148944/The-First-LMS#sthash.8a1F2aVf.IsQYtFhj.dpbs> – Дата доступа: 1.08.2016.
3. Justin Ferriman. History of the LMS // LearnDash [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.learndash.com/history-of-the-lms/> – Дата доступа: 1.08.2016.
4. Коваленко, В. Е. Задачи анализа, планирования и оптимизации в АСУ ВУЗ. – М.: НИИВШ, 1980. – 40 с.
5. Сетевая образовательная платформа e-University // Официальный сайт СП «IBA» belarus. iba. by [Электронный ресурс]. – 1993. – Режим доступа: http://belarus.iba.by/iba_web/main.nsf/products/ru.software.euniversity.html – Дата доступа: 20.10.2015.
6. Обзор бесплатных систем управления обучением // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v10_i3/pdf/9_bogomolov.pdf – Дата доступа: 27.10.2015.
7. Система управления курсами Moodle // Официальный сайт Moodle moodle.org [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moodle.org/about/>. – Дата доступа: 20.10.2015.
8. Coursera // Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.coursera.org/> – Дата доступа: 03.08.2016.

9. **Традиционные** LMS приказали долго жить: взгляд в модульное будущее // Дистанционное обучение. Информационный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.distance-learning.ru/db/el/4B69AB0BB0515929C325775700131A49/doc.html>. – Дата доступа: 03.08.2016.

10. **Попова**, Ю. Б. Представление знаний в обучающих системах на основе теории нечетких множеств / Попова, Ю. Б., Бураковский А. И. // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 2. – С. 58–65.

11. **Модельное** обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор // Наука и образование: [Электронный ресурс] / МГТУ им. Н. Э. Баумана / Карпенко А. П., 2011. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/193116.html>. – Дата доступа: 09.11.2014.

12. **Попова**, Ю. Б. Автоматизированная система поддержки учебного процесса в вузе / Ю. Б. Попова, В. В. Яцынович // Информатизация образования – 2010: педагогические аспекты создания информационно-образовательной среды: материалы междунар. науч. конф., 27–30 окт. 2010 г. – Минск: БГУ, 2010. – С. 400–404.

References

1. **Ellis**, Ryann K. Field Guide to Learning Management Systems // ASTD Learning Circuits [Jelektronnyj resurs]. – 2009. – Rezhim dostupa: http://www.astd.org/~media/Files/Publications/LMS_fieldguide_20091. – Data dostupa: 03.11.2015.

2. **Josh** Coates. The First LMS // Canvas Blog [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://blog.canvaslms.com/blog/bid/148944/The-First-LMS#sthash.8a1F2aVf.IsQYtFhj.dpbs>. – Data dostupa: 1.08.2016.

3. **Justin** Ferriman. History of the LMS // LearnDash [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.learndash.com/history-of-the-lms/>. – Data dostupa: 1.08.2016.

4. **Kovalenko**, V. E. Zadachi analiza, planirovaniya i optimizacii v ASU VUZ. – M.: NIIVSh, 1980. – 40 s.

5. **Setevaja** obrazovatel'naja platforma e-University // Oficial'nyj sajt SP «IBA» belarus. iba. by [Jelektronnyj resurs]. – 1993. – Rezhim dostupa: http://belarus.iba.by/iba_web/main.nsf/products/ru.software.euniversity.html. – Data dostupa: 20.10.2015.

6. **Obzor** besplatnyh sistem upravlenija obucheniem // [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v10_i3/pdf/9_bogomolov.pdf. – Data dostupa: 27.10.2015.

7. **Cistema** upravlenija kursami Moodle // Oficial'nyj sajt Moodle moodle.org [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://moodle.org/about/>. – Data dostupa: 20.10.2015.

8. **Coursera** // Oficial'nyj sajt [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ru.coursera.org/> – Data dostupa: 03.08.2016.

9. **Tradicionnye** LMS prikazali dolgo zhit': vzgljad v modul'noe budushhee // Distancionnoe obuchenie. Informacionnyj portal [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.distance-learning.ru/db/el/4B69AB0BB0515929C325775700131A49/doc.html>. – Data dostupa: 03.08.2016.

10. **Popova**, Ju. B. Predstavlenie znaniy v obuchajushhijh sistemah na osnove teorii nechetkih mnozhestv / Popova, Ju. B., Burakovskij A. I. // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – 2016. – № 2. – S. 58–65.

11. **Model'noe** obespechenie avtomatizirovannyh obuchajushhijh sistem. Obzor // Nauka i obrazovanie: [Jelektronnyj resurs] / MGTU im. N. Je. Baumana / Karpenko A. P., 2011. – Rezhim dostupa: <http://technomag.edu.ru/doc/193116.html>. – Data dostupa: 09.11.2014.

12. **Popova**, Ju. B. Avtomatizirovannaja sistema podderzhki uchebnogo processa v vuze / Ju. B. Popova, V. V. Jacynovich // Informatizacija obrazovaniya – 2010: pedagogicheskie aspekty sozdaniya informacionno-obrazovatel'noj sredy: materialy mezhdunar. nauch. konf., 27–30 okt. 2010 g. – Minsk: BGU, 2010. – С. 400–404.

Поступила
05.09.2016

После доработки
12.09.2016

Принята к печати
15.09.2016

Y. B. Popova

CLASSIFICATION OF LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS

Belarusian National Technical University

Using of information technologies and, in particular, learning management systems, increases opportunities of teachers and students in reaching their goals in education. Such systems provide learning content, help organize and monitor training, collect progress statistics and take into account the individual characteristics of each user. Currently, there is a huge inventory of both paid and free systems are physically located both on college servers and in the cloud, offering different features sets of different licensing scheme and the cost. This creates the problem of choosing the best system. This problem is partly due to the lack of comprehensive classification of such systems. Analysis of more than 30 of the most common now automated learning management systems has shown that a classification of such systems should be carried out according to certain criteria, under which the same type of system can be considered. As classification features offered by the author are: cost, functionality, modularity, keeping the customer's requirements, the integration of content, the physical location of a system, adaptability training. Considering the learning management system within these classifications and taking into account the current trends of their development, it is possible to identify the main requirements to them: functionality, reliability, ease of use, low cost, support for SCORM standard or Tin Can API, modularity and adaptability. According to the requirements at the Software Depart-

ment of FITR BNTU under the guidance of the author since 2009 take place the development, the use and continuous improvement of their own learning management system.

Keywords: learning management system, the LMS, learning system, e-learning.



Попова Юлия Борисовна – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ. Ее научные интересы связаны с методами и алгоритмами оптимизации технических систем, разработкой адаптивных обучающих систем, автоматизированных систем управления учебным процессом, моделированием знаний, а также с вопросами тестирования и качества программного обеспечения.

Yuliya B. Popova PhD, Associate Professor at the Software Department of the Belarusian National Technical University. Her research interests include methods and algorithms of optimization in technical systems, engineering of adaptive learning systems and learning management systems (LMS), modeling of student knowledge, software testing and quality assurance.

Email: julia_popova@mail.ru

Работа выполняется в рамках научно-исследовательской работы ГБ 11–254 «Математическое и программное обеспечение систем обработки информации в образовании и автоматизированных систем управления техническими объектами».

Е. В. КОНДРАТЁНОК, В. А. КОНДРАТЁНОК*

СТАТИСТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ПРОВЕДЕННЫЙ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ И СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет

*Военная академия Республики Беларусь

Система поддержки принятия решений – достаточно мощный инструмент, присутствующий в настоящее время в большинстве сложных систем. Система поддержки принятия решений должна учитывать интенсивность взаимодействия обучающегося со средой обучения. При этом обеспечивается высокий уровень знаний и способность их применения выпускниками.

Авторами статьи рассмотрена методика моделирования процесса обучения с применением такой системы с точки зрения статистики. В статье предложен статистический синтез системы поддержки принятия решения для случая, когда посредством использования цепи положительной обратной связи учитывается интенсивность взаимодействия обучающихся и среды обучения. Синтез проведен по критерию минимума апостериорной вероятности получения неудовлетворительной оценки на экзамене (тесте, зачете). Синтез проведен при следующих допущениях: интенсивность взаимодействия обучающегося со средой обучения является дискретной величиной, пространство состояний оценок обучающегося является конечномерным и дискретным, процесс прохождения адаптивного учебного ресурса (последовательной реализации изучения тем и разделов технической дисциплины) имеет вероятностный характер и моделируется цепью Маркова. При этом считалось, что переходные вероятности интенсивности взаимодействия одинаковы, переходная плотность вероятности оценок распределена в соответствии с усеченным слева и справа распределением Гаусса (порядок определения математического ожидания оценки гауссовской плотности и среднеквадратического отклонения в статье описан), а априорная плотность вероятности для первого шага может аппроксимироваться гауссовской плотностью вероятности с учетом априорных сведений о результатах обучающегося, полученных им за изучение обеспечивающих дисциплин. Приведенные иллюстрации достаточно наглядно поясняют основные результаты исследования. Оценка интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения в статье определена как оценка максимума дискретной апостериорной плотности вероятности.

Полученные результаты позволяют реализовать синтезированную систему на практике. Для оценки адекватности разработанной модели авторами статьи был проведен педагогический эксперимент, суть и результаты которого будут приведены в последующих публикациях.

Ключевые слова: статистический синтез, вероятность, моделирование, среда обучения, адаптивный учебный ресурс.

Введение

Решение сложных задач управления в образовательной системе, как показано в [1], сейчас практически невозможно без предварительного моделирования процесса обучения, в том числе и с применением системы поддержки принятия решений.

Как показывают результаты анализа современной литературы в области моделирования и решения сложных задач управления в образовательной системе [2], наметилась тенденция подготовки специалистов с большей долей

самостоятельной познавательной деятельности обучающегося. Однако, как показывает практика преподавания в ВУЗах, нельзя недооценивать систему стимулирования обучающихся, надеясь на их самостоятельность и способность освоить учебный материал без взаимодействия с преподавателем. В этих условиях актуальной становится задача разработки модели СППР, которая способна учитывать интенсивность взаимодействия обучающегося со средой обучения δ (в [3] по аналогии с [4] этот параметр обозначен как «коэффициент

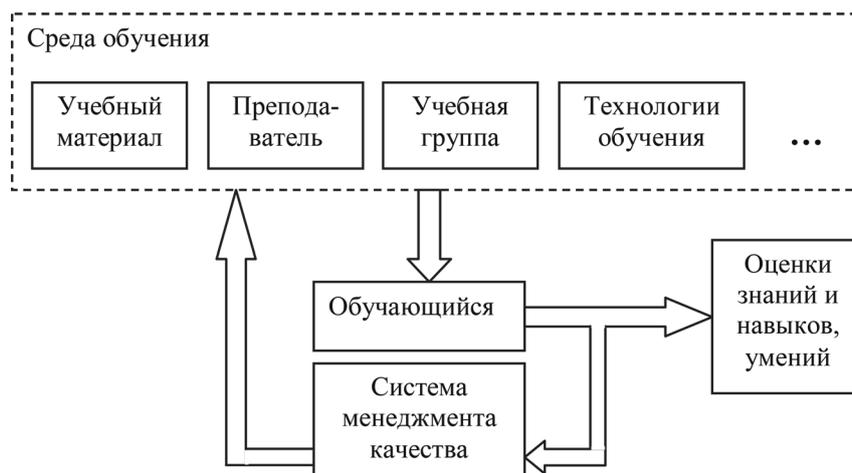


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия обучающегося со средой обучения

управляющего воздействия»), обеспечивая высокий уровень знаний и способность их применения выпускниками.

Настоящая статья посвящена описанию результатов разработки такой модели.

Основная часть исследования

Учебные ресурсы, профессорско-преподавательский состав, набор используемых ими в ВУЗе методических приемов и технологий, окружение самого обучающегося (студента) и др. и составляют «среду обучения». Именно с ней взаимодействует обучаемый.

Процесс взаимодействия обучающегося со средой обучения в виде структурной схемы представлен в виде, показанном на рис. 1.

Для обучающегося учебный материал, представленный в виде адаптивного учебного ресурса (АУР) представляется набором модулей (тем, разделов). Вся процедура изучения АУР может быть рассмотрена как последовательная реализация набора этапов (изучения тем) при наличии контура обратной связи (в отличие от варианта, описанного в [5], где контур обратной связи отсутствует).

В [6] авторы показали, что проведение лабораторного практикума в рамках дистанционного обучения является одной из важнейших аспектов процесса обучения. В ходе его выполнения обучающийся не только получает теоретические знания, но и имеет возможность их практического применения, вырабатывая постепенно уверенные навыки и приемы владения своей специальностью.

В связи с этим авторы основное внимание уделили именно практикуму, а в качестве «кон-

трольных срезов» по предмету использовали оценки по коллоквиумам, проводимым перед каждой лабораторной работой с целью проверки уровня знаний обучающихся и степени их готовности к выполнению задания.

Взаимодействие обучающегося со средой обучения происходит через систему менеджмента качества (СМК), задача которой – оценить интенсивность этого взаимодействия δ и, при необходимости, скорректировать ее. Решение о целесообразности коррекции интенсивности взаимодействия принимается «оператором» (в качестве «оператора» может выступать как преподаватель, так и председатель предметно-методической комиссии, декан и т. д.) по результатам анализа апостериорной плотности оценок i -го обучающегося (студента) на k -ом коллоквиуме при условии наблюдения его результатов работы с 1-го по k -ый коллоквиум $P^{(i)}(W_k | \mathbf{F}_k)$. Всего обучающийся сдает N_{kol} коллоквиумов, то есть $k = 1, N_{kol}$.

В настоящей работе будем считать, что интенсивность взаимодействия обучающегося со средой обучения на k -ом коллоквиуме δ_l^k ($l = 1, M$) является дискретной величиной и изменяется от 0 до 1 с шагом $1/(M-1)$. Такой подход упрощает процесс синтеза и анализа СППР.

При этом $\mathbf{F}_k = \{\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_k\}$ – вектор векторов результатов наблюдения на k -ом коллоквиуме, \mathbf{f}_k – вектор результатов наблюдения на k -ом коллоквиуме.

Апостериорная плотность оценок i -го обучающегося на k -ом коллоквиуме при условии наблюдения его результатов работы с 1-го по k -ый коллоквиум рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

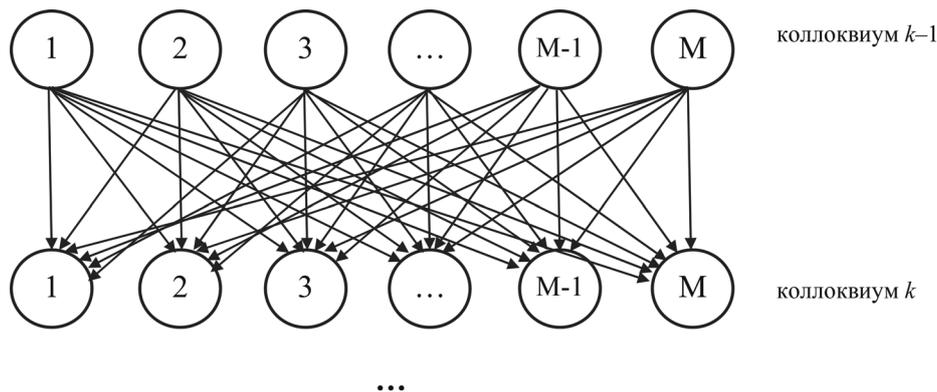


Рис. 2. Дерево гипотез изменения интенсивности взаимодействия

$$\begin{aligned}
 P^{(i)}(W_k | \mathbf{F}_k) &= \frac{1}{C_1} \sum_{l=1}^M P^{(i)}(\delta_l^k) P^{(i)}(W_k | \mathbf{F}_k, \delta_l^k) = \\
 &= \frac{1}{C_2} \sum_{l=1}^M P^{(i)}(\delta_l^k) P^{(i)}(W_k | \delta_l^k) P^{(i)}(\mathbf{F}_k | W_k, \delta_l^k),
 \end{aligned} \quad (1)$$

где $P^{(i)}(\delta_l^k)$ – априорная вероятность взаимодействия обучающегося со средой обучения. В связи с тем, что эта вероятность зависит от множества объективных и субъективных факторов, считаем ее равновероятной для всех возможных значений $l = \overline{1, M}$:

$$P^{(i)}(\delta_l^k) = \frac{1}{M}; \quad (2)$$

где δ_l^k – интенсивность взаимодействия обучающегося и среды обучения на k -ом коллоквиуме ($l = \overline{1, M}$); $P^{(i)}(W_k | \mathbf{F}_k, \delta_l^k)$ – апостериорная плотность вероятности оценок i -го студента на k -ом коллоквиуме при условии, что интенсивность его взаимодействия со средой обучения будет; $P^{(i)}(\mathbf{F}_k | W_k, \delta_l^k) \approx P^{(i)}(\mathbf{F}_k | W_k)$ – функция правдоподобия (результаты наблюдения) работы i -го обучающегося на k -ом коллоквиуме. Приближенное равенство обусловлено тем, что результаты сдачи k -ого коллоквиума наблюдаются объективно, т. е. без информации о влиянии на i -го обучающегося со стороны среды обучения. Следовательно, невозможно определить основную плотность вероятности; $P^{(i)}(W_k | \delta_l^k)$ – априорная плотность вероятности получения обучающимся оценок W_k при условии его взаимодействия обучающегося с системой обучения с интенсивностью δ_l^k на k -ом δ_l^k коллоквиуме:

$$\begin{aligned}
 P^{(i)}(W_k | \delta_l^k) &= \\
 &= \frac{1}{C_3} \sum_{W_{k-1}=1}^{10} P^{(i)}(W_k | W_{k-1}, \delta_l^k) P^{(i)}(W_{k-1} | \mathbf{F}_{k-1}, \delta_l^k).
 \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет устранить априорную неопределенность относительно δ_l^k ($l = \overline{1, M}$) путем умножения на априорную плотность и интегрирования по этому параметру. При этом учитывается зависимость апостериорной плотности вероятности оценок i -го обучающегося на $k-1$ -ом коллоквиуме от δ_l^k . Наличие данной зависимости приводит к ветвящемуся дереву гипотез изменения интенсивности взаимодействия от коллоквиума к коллоквиуму, как показано на рис. 2.

В связи с конечномерным дискретным пространством состояния оценок обучающегося (от 1 до 10) сложная ветвящаяся структура дерева гипотез не позволяет существенно повысить показатели качества оценки состояния интенсивности взаимодействия обучающегося и системы обучения.

В этих случаях более наглядным и удобным является ограничение дерева гипотез одним шагом [7], т. е. целесообразно учитывать переход интенсивности взаимодействия с одного уровня на другой только между смежными (соседними) коллоквиумами. Такие ограничения соответствуют односвязному дискретному Марковскому процессу, с использованием аппарата которого получены результаты разработки АУР, представленные в [5].

Цепь Маркова, моделирующая вероятностный процесс прохождения АУР и порядок ее применения для технической дисциплины рассмотрен в [5]. Модель АУР представляет собой

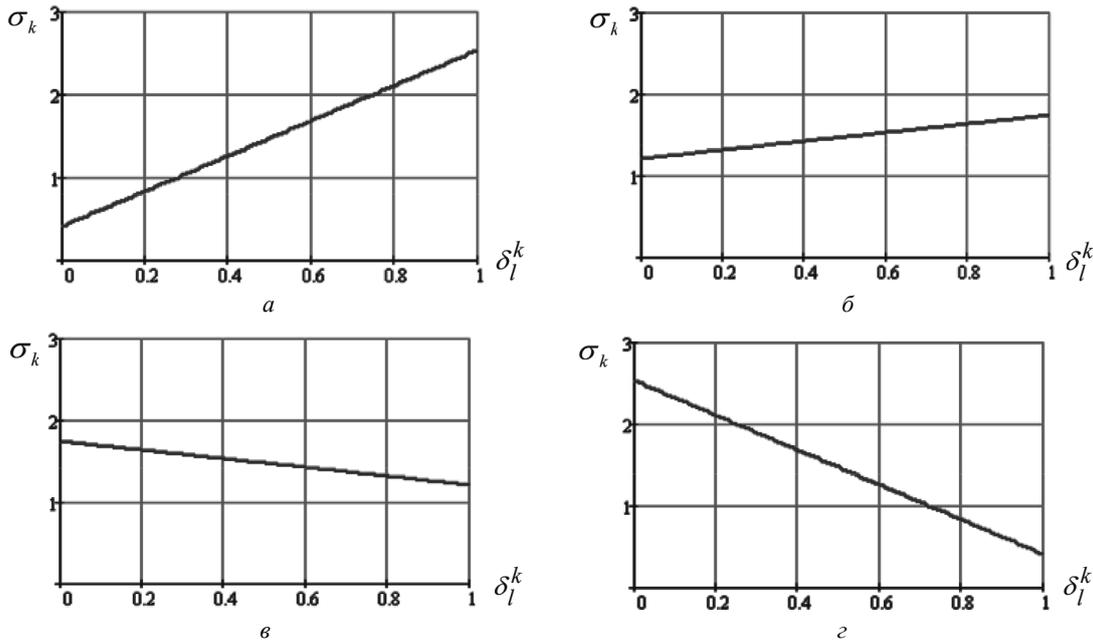


Рис. 3. Зависимость σ_k от интенсивности взаимодействия δ_l^k для обучающихся с различным уровнем первоначальных знаний на $(k-1)$ -ом коллоквиуме: а) $W_{k-1} = 1$; б) $W_{k-1} = 4$; в) $W_{k-1} = 6$; г) $W_{k-1} = 9$

ориентированный граф. В [5] также подчеркивалось, что сложность Марковской модели функционирования системы определяется необходимостью учета множества факторов и сложной организацией самой системы. Кроме того, обращалось внимание на то, что вероятностный подход, традиционно использованный в Марковских моделях, не всегда применим из-за недостатка статистической информации о состоянии сложной системы.

В связи с этим целесообразно сделать ряд допущений.

Будем считать, что переходные вероятности интенсивности взаимодействия одинаковы.

С этими допущениями выражение (3) может быть записано в следующем виде:

$$P^{(i)}(W_k | \delta_l^k) \approx \frac{1}{C_3} \sum_{W_{k-1}=1}^{10} P^{(i)}(W_k | W_{k-1}, \delta_l^k) P^{(i)}(W_{k-1} | F_{k-1}), \quad (4)$$

где C_1, C_2, C_3 – нормирующие коэффициенты; $P^{(i)}(W_k | W_{k-1}, \delta_l^k)$ – переходная плотность вероятности оценок W_{k-1} в W_k при условии интенсивности взаимодействия i -го обучающегося и среды обучения δ_l^k . Вариант ее выбора предложен ниже.

Главная идея определения функции $P^{(i)}(W_k | W_{k-1}, \delta_l^k)$ в том, что при переходе оценки с $(k-1)$ -го на k -й коллоквиум функция распре-

делена в соответствии с усеченным слева и справа распределением Гаусса.

Математическое ожидание оценки гауссовской плотности на k -ом коллоквиуме равно его оценке на $(k-1)$ -ом.

Среднеквадратическое отклонение σ_k (СКО) гауссовской плотности для обучающихся с первоначально низким уровнем знаний на $(k-1)$ -ом коллоквиуме растет по мере роста интенсивности взаимодействия δ_l^k . Для студентов с первоначально высоким уровнем знаний, как правило, наблюдается обратная зависимость, как показано на рис. 3.

Совокупность зависимостей СКО оценки обучающегося k -м коллоквиуме от интенсивности его взаимодействия δ_l^k со средой обучения и уровня первоначальных знаний на $(k-1)$ -м коллоквиуме показана на рис. 4 и представляет собой поверхность, описываемую следующей зависимостью:

$$\sigma_k(W_k | W_{k-1}, \delta_k) = \frac{1}{W_{\max}} - \frac{\delta_k}{2 - \delta_k} \left(\frac{2W_{k-1} - W_{\max}}{W_{\max}} \right) \left(1 - \frac{2W_k}{W_{\max}} \right). \quad (5)$$

При этом полагалось, что диапазон изменения $\delta_l^k \in (0, 1)$. Вариант $\delta_l^k = 0$ соответствует случаю, когда обучающийся с системой обучения не взаимодействует вообще, а $\delta_l^k = 1$ означает, что эффективность взаимодействия

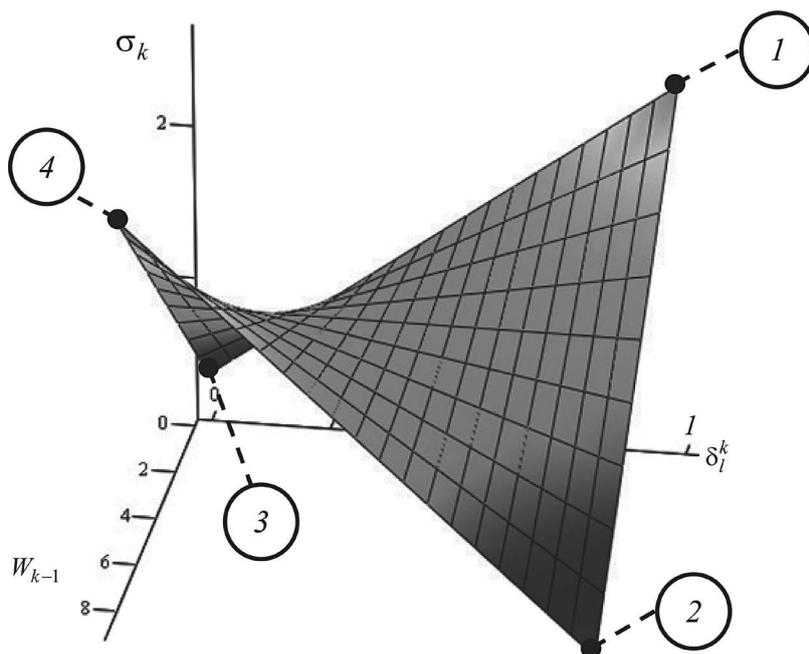


Рис. 4. Зависимость СКО от интенсивности взаимодействия δ_l^k обучающихся со средой обучения и уровня первоначальных знаний на $(k-1)$ -м коллоквиуме

обучающегося с системой обучения максимальна.

Точка «1» на рис. 4 соответствует высокой интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения в случае его низкого уровня знаний на $(k-1)$ -м коллоквиуме. Это так называемый «случай активной работы со «слабым» студентом». При этом наблюдается большое значение СКО. Вероятность получения оценки, отличной от «неудовлетворительно», весьма велика.

Точка «2» на рис. 4 соответствует высокой интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения в случае его высокого уровня знаний на $(k-1)$ -м коллоквиуме. Это случай активной работы с «сильным» студентом. Наблюдается малое значение СКО. При этом вероятность получения оценки ниже «отлично» мала.

Точка «3» на рис. 4 соответствует низкой интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения в случае его низкого уровня знаний на $(k-1)$ -м коллоквиуме. Случай отсутствия работы со «слабым» студентом. Наблюдается малое значение СКО. Вероятность получения оценки выше «неудовлетворительно» при этом мала.

Точка «4» на рис. 4 соответствует низкой интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения в случае его высокого

уровня знаний на $(k-1)$ -м коллоквиуме. Случай отсутствия работы с «сильным» студентом. Имеется большое значение СКО. Вероятность получения оценки ниже «отлично» велика.

Диапазон изменения СКО при этом авторы полагали от 0,15 до 2,8.

В результате переходная плотность вероятности оценок $P^{(i)}(W_k | W_{k-1}, \delta_l^k)$ принимает вид, показанный на рис. 5–7.

Рис. 5 поясняет зависимость переходной плотности вероятности для случая, когда обучающийся почти не взаимодействует со средой обучения. При этом наблюдается максимальное значение разброса оценок у обучаю-

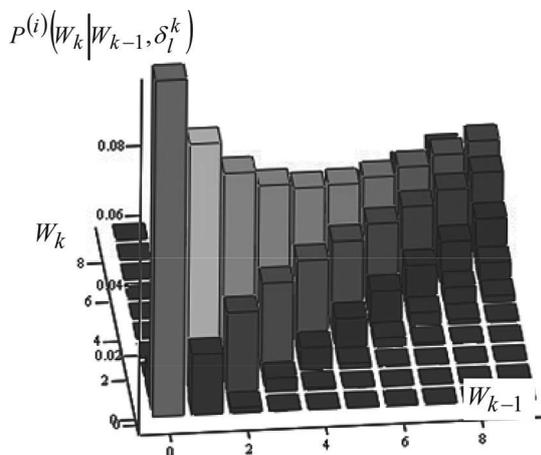
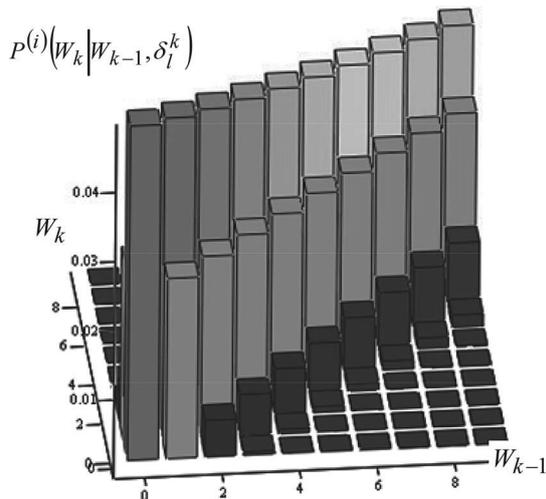


Рис. 5. Переходная плотность вероятности при $\delta_l^k = 0,1$

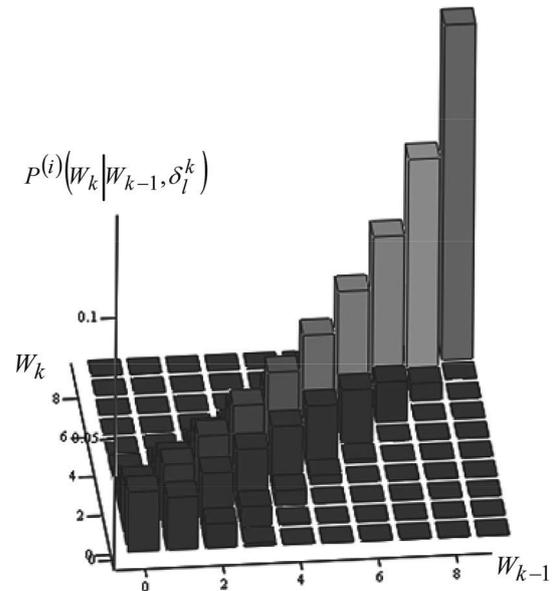
Рис. 6. Переходная плотность вероятности при $\delta_l^k = 0,4$

щихся, имеющих высокий уровень первоначальных знаний (по результатам $(k-1)$ -го коллоквиума), так как снижение требовательности среды обучения к студенту приводит к ослаблению его личной мотивации и, как следствие, к созданию предпосылок для ухудшения успеваемости. Математическое ожидание оценок такого студента будет по-прежнему высоким, но за счет значительного разброса оценок (рост СКО) увеличивается вероятность получения более низких оценок.

Студент же, имеющий по результатам $k-1$ -го коллоквиума низкий уровень первоначальных знаний, при низком уровне интенсивности взаимодействия со средой обучения ($\delta_l^k = 0,1$) не проявляет заинтересованности получения знаний и соответствующих навыков, что приводит к снижению СКО оценок по k -му коллоквиуму. При этом математическое ожидание оценок такого студента будет низким, а сами оценки – стабильно неудовлетворительные.

Рис. 6 поясняет зависимость переходной плотности вероятности для случая, когда обучающийся взаимодействует со средой обучения со средней интенсивностью. При этом наблюдается незначительный разброс оценок у обучающихся, имеющих как высокий, так и низкий уровень первоначальных знаний (по результатам $(k-1)$ -го коллоквиума). Обе категории обучающихся имеют возможность как повысить свою оценку на k -ом коллоквиуме, так и получить более низкую по сравнению с $(k-1)$ -ым.

Рис. 7 поясняет зависимость переходной плотности вероятности для случая, когда обу-

Рис. 7. Переходная плотность вероятности при $\delta_l^k = 0,9$

чающийся активно взаимодействует со средой обучения. При этом наблюдается максимальное значение разброса оценок у обучающихся, имеющих низкий уровень первоначальных знаний (по результатам $(k-1)$ -го коллоквиума), так как высокая требовательность среды обучения к студенту приводит к усилению его мотивации и, как следствие, к созданию предпосылок для улучшения успеваемости. Математическое ожидание оценок такого студента будет низким, но за счет значительного разброса оценок увеличивается вероятность получения более высоких оценок.

Студент же, имеющий по результатам $(k-1)$ -го коллоквиума высокий уровень первоначальных знаний, при высоком уровне интенсивности взаимодействия со средой обучения ($\delta_l^k = 0,9$) проявляет активную заинтересованность в получении знаний и соответствующих навыков, что приводит к снижению СКО оценок по k -му коллоквиуму. При этом математическое ожидание оценок такого студента остается высоким, а сами оценки – стабильно отличные.

Что касается 1-го коллоквиума, то априорная плотность вероятности в этом случае может аппроксимироваться гауссовской плотностью вероятности. При этом она не зависит от интенсивности взаимодействия δ_l^0 , так как обучающийся еще ни разу не отчитывался по изучаемой дисциплине. В качестве априорных сведений выступают математическое ожида-

ние m_0 и СКО σ_0 , вычисленные по результатам обработки оценок обучающегося, полученных им за изучение обеспечивающих анализируемую дисциплину. Таким образом, априорная плотность вероятности для 1-го коллоквиума задается при помощи следующего выражения:

$$P^{(i)}(W_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0}} e^{-\frac{(W-m_0)^2}{2\sigma_0^2}}. \quad (6)$$

Величиной, характеризующей степень соответствия оценок обучающегося на k -ом коллоквиуме интенсивности взаимодействия, является коэффициент правдоподобия, который определяется при помощи следующего выражения:

$$\begin{aligned} L^{(i)}(\delta_l^k) &= \sum_{W_k=1}^{10} P^{(i)}(W_k | \delta_l^k) P^{(i)}(\mathbf{F}_k | W_k, \delta_l^k) = \\ &= \sum_{W_k=1}^{10} \left[\sum_{W_{k-1}=1}^{10} P^{(i)}(W_k | W_{k-1}, \delta_l^k) \times \right. \\ &\left. \times P^{(i)}(W_{k-1} | \mathbf{F}_{k-1}, \delta_l^k) \right] P^{(i)}(\mathbf{F}_k | W_k, \delta_l^k). \end{aligned} \quad (7)$$

Апостериорная функция распределения (дискретная плотность вероятности) интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения выражается следующим образом:

$$P^{(i)}(\delta_l^k | \mathbf{F}_k) = \frac{1}{\sum_{j=1}^M L^{(i)}(\delta_j^k)} L^{(i)}(\delta_l^k), \quad (l = \overline{1, M}). \quad (8)$$

Оценка интенсивности взаимодействия обучающегося со средой обучения может быть сформирована как оценка максимума дискретной апостериорной плотности вероятности (8):

$$\hat{\delta}^k = \arg \max_{\delta_l^k} P^{(i)}(\delta_l^k | \mathbf{F}_k), \quad (l = \overline{1, M}). \quad (9)$$

На практике, как правило, оценивают априорную вероятность получения неудовлетворительной/удовлетворительной оценки обучающимся на экзамене. Для ее получения рассчитывается дискретная априорная плотность вероятности после проведения последнего коллоквиума ($k = N_{\text{kol}}$):

$$P^{(i)}(W_{N_{\text{kol}}}) = \frac{1}{C_1} \sum_{l=1}^M P^{(i)}(\delta_l^{N_{\text{kol}}}) P^{(i)}(W_{N_{\text{kol}}} | \delta_l^{N_{\text{kol}}}). \quad (10)$$

Априорная вероятность получения неудовлетворительной оценки равна

$$P_{\text{неуд}}^{(i)} = \sum_{W_{N_{\text{kol}}}=1}^3 P^{(i)}(W_{N_{\text{kol}}}), \quad (11)$$

получение удовлетворительной и выше оценки

$$P_{\text{уд}}^{(i)} = 1 - P_{\text{неуд}}^{(i)} = \sum_{W_{N_{\text{kol}}}=4}^{10} P^{(i)}(W_{N_{\text{kol}}}). \quad (12)$$

Заключение

В статье описан статистический синтез СППР, который позволяет посредством использования цепи положительной обратной связи учитывать интенсивность взаимодействия обучающихся и среды обучения с целью максимизации результатов обучения. Полученные результаты позволяют реализовать такую систему на практике. Для оценки адекватности разработанной модели на практике был проведен педагогический эксперимент, суть и результаты которого будут приведены в последующих публикациях.

Литература

1. Орлов, П. А. Методы математического моделирования процесса обучения / П. А. Орлов, И. Г. Дровникова И. Г. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-1/03-01-09.ttb.pdf>. Дата доступа: 26.02.2013.
2. Башмаков, А. И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.
3. Кондратенко, Е. В. Анализ возможности использования системы поддержки принятия решения при реализации адаптивного учебного ресурса / Е. В. Кондратенко, В. А. Кондратенко // Системный анализ и прикладная информатика. – № 4. – 2015. – С. 27–30.
4. Топольский, Н. Г. Вероятностно-статистический подход к решению задач создания сложных систем безопасности объектов / Н. Г. Топольский, А. Н. Членов // Материалы XV НПК «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков». – М.: ВНИИПО МВД России, 1999. – С. 141–142.
5. Кондратенко, Е. В. Результаты разработки адаптивного учебного ресурса // Системный анализ и прикладная информатика. – № 4. – 2014. – С. 72–76.
6. Кондратенко, Е. В. Особенности проведения лабораторного практикума при реализации концепции виртуальных университетов / Е. В. Кондратенко, В. А. Кондратенко, Д. А. Шаров // Материалы Международной интернет-конференции «Информационно-технологическое обеспечение образовательного процесса государств-участников СНГ» (Минск, БГУ, 27–30.11.2012) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/27836>. Дата доступа: 26.07.2016.

7. Bar-Shalom, Y. Multitarget – Multisensor Tracking: Principles and Techniques / Bar-Shalom Y, Li X-R. – YBS Publishing, Storrs, 1995.

References

1. Orlov, P. A. Metody matematicheskogo modelirovaniya processa obuchenija / P. A. Orlov, I. G. Drovnikova I. G. // [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-1/03-01-09.ttb.pdf>. Data dostupa: 26.02.2013.
2. Bashmakov, A. I. Razrabotka komp'yuternyh uchebnikov i obuchajushhih sistem / A. I. Bashmakov, I. A. Bashmakov. – M.: Informacionno-izdatel'skij dom «Filin», 2003. – 616 s.
3. Kondratyونok, E. V. Analiz vozmozhnosti ispol'zovaniya sistemy podderzhki prinjatija reshenija pri realizacii adaptivnogo uchebnogo resursa / E. V. Kondratyонok, V. A. Kondratyонok // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – № 4. – 2015. – S. 27–30.
4. Topol'skij, N. G. Veroyatnostno-statisticheskij podhod k resheniju zadach so-zdaniya slozhnyh sistem bezopasnosti ob#ektov / N. G. Topol'skij, A. N. Chlenov // Materialy HV NPK «Problemy gorenija i tusheniya pozharov na rubezhe vekov». – M.: VNIPO MVD Rossii, 1999. – S. 141–142.
5. Kondratyонok, E. V. Rezul'taty razrabotki adaptivnogo uchebnogo resursa // Si-stemnyj analiz i prikladnaja informatika. – № 4. – 2014. – S.72–76.
6. Kondratyонok, E. V. Osobennosti provedeniya laboratornogo praktikuma pri re-alizacii koncepcii virtual'nyh universitetov / E. V. Kondratyонok, V. A. Kondratyонok, D. A. Sharov // Materialy Mezhdunarodnoj internet-konferencii «Informacionno-tehnologicheskoe obespechenie obrazovatel'nogo processa gosudarstv-uchastnikov SNG» (Minsk, BGU, 27–30.11.2012) [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/27836>. Data dostupa: 26.07.2016.
7. Bar-Shalom, Y. Multitarget – Multisensor Tracking: Principles and Techniques / Bar-Shalom Y, Li X-R. – YBS Publishing, Storrs, 1995.

Поступила
27.07.2016

После доработки
02.08.2016

Принята к печати
15.09.2016

E. Kondratyонok, V. Kondratyонok

DECISION SUPPORT SYSTEM STATISTICAL SYNTHESIS, BASED ON AN ASSESSMENT CARRIED OUT WITH THE INTENSITY OF INTERACTION TEACH AND THE LEARNING ENVIRONMENT

Belarusian National Technical University

Decision Support System – a powerful tool that is present now in the most complex systems. Decision Support System should take into account the strength of the interaction with the student learning environment. This ensures a high level of knowledge and ability of their application by alumni.

The method of learning process modeling of this system in terms of statistics is examined. This paper proposes a statistical synthesis of a decision support system for the case by use of a positive feedback loop takes into account the intensity of the interaction between the students and the learning environment. Synthesis carried out by the criterion of minimum posterior probability of receiving an unsatisfactory assessment on the exam (test, offset). Synthesis carried out under the following assumptions: the intensity of the interaction of the learner with the learning environment is a discrete value, the space state student assessment is a finite and discrete, the process of passing the adaptive educational resources (consistent implementation of the study and the sections of the technical discipline) is probabilistic in nature and is modeled by a Markov chain. It was assumed that the transition probabilities of the interaction intensity of the same, the transition probability density estimates is allocated in accordance with the truncated left and right of a Gaussian distribution (the procedure for determining the expectation of a Gaussian density estimation and standard deviation in the article described), and the a priori probability density for the first step can be approximated Gaussian probability density based on a priori information on the results of the student to him for study providing disciplines. The illustrations amply illustrate the main results of the study. Evaluation of the intensity of the interaction with the student learning environment in the article is defined as a discrete estimate of the maximum a posteriori probability density.

The results allow to realize the synthesized system in practice. To assess the adequacy of the model developed by the authors pedagogical experiment was carried out, the nature and the results of which will be given in subsequent publications.

Keywords: *statistical synthesis, probability, modeling, learning environment, adaptive training resource.*



Кондратёнок Елена Вячеславовна, старший преподаватель Белорусского национального технического университета. Получила степень магистра технических наук в 2012 г. по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации». В настоящее время проходит обучение в аспирантуре. Область научных интересов включает моделирование систем поддержки принятия решений на основе статистического синтеза.

Elena Kondratyuk, Senior Lecturer of Belarusian National Technical University. Received the Master's degree in system analysis and control of information processing in 2012. She is currently working on PhD degree program. Her current research interests include modeling of decision support system based on probability statistical synthesis.

E-mail: elena_kondr@tut.by



Кондратёнок Василий Анатольевич, к. т. н., доцент, начальник кафедры радиолокации и приемо-передающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь». Область научных интересов: радиоэлектронная борьба, методы и алгоритмы оптимизации в технических системах.

Vasily Kondratyuk, PhD, Associate Professor, chief of chair of radiolocation and transceiver devises of Military Academy of the Republic of Belarus. His research interests include radioelectronic warfare, methods and algorithms of optimization in technical systems

E-mail: vkondr@tut.by

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, результаты, 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.

Dear authors,

The editorial board reviews all the received materials corresponding to the subject matter of the journal. On the basis of the reviewers' conclusions the editorial staff has the right to accept for publication, or reject the materials sent by the authors. The general criteria for the articles to be published are high scientific novelty and originality, innovation, practical and theoretical value.

While writing the article, authors are kindly requested to follow the regulations mentioned below.

Author Guidelines

1. General manuscript requirements

Please send your manuscript as a Microsoft Office Word document via e-mail CA_PI@bntu.by and post as a paper document (two copies) to the following address: *Belarus, 220013, Minsk, F. Scoryny street, 25/3, building 20, room 508 (Petrenko Yury)*. For more information contact us (017) 266-26-58. Paper manuscripts must be signed by all the authors. Authors' full names, postal address, telephone number, e-mail, workplace and position, academic degree and academic rank (if any) are attached to the manuscript. If there are several authors, the name of the author responsible for correspondence must be mentioned. All the manuscripts submitted are registered in the established procedure. The submitted manuscripts are reviewed. The manuscripts are rejected unless the authors follow the requirements.

No royalties are paid to authors. All the materials sent to the journal editorial board are not returned to the authors.

2. Text formatting

2.1. The length of the article must be following:

- an original article must not take more than 7 pages (no more than 8 pictures/illustrations);
- an abstract must not be longer than 3 pages (no more than 2 pictures).

Articles are to be type written in the text editor Microsoft Word 2007.

Page setup: format A4 (210×297 mm), top and left margins are 25 mm, right and bottom margins are 20 mm. Pages are numbered in their top right corner starting with the second page.

The text of the article is type written in Times New Roman, font size 12 pt, 1.5 line spacing and 12 mm indentation.

2.2. The UDC index is type written in TimesNewRoman, 12 pt, upper-cased and aligned to the left.

2.3. Author's (authors') full name in the subjective case, position, academic degree and academic rank (if any) are type written in TimesNewRoman, 12 pt, in italics, aligned to the left.

2.4. Article title is type written in Arial, 12 pt, bolded, upper-cased and centered.

2.5. The full name of the company (companies) where the author works (studies) is centered and type written in TimesNewRoman, 12 pt, centered. The name of the company is followed by e-mail with double line spacing.

2.6. The abstract of 200–250 words and key words in Russian (English) are centered and type written in TimesNewRoman, 10 pt, 1,15 line spacing and in italics. The abstract should cover essential elements of the full-length paper, namely the background, purpose, focus, methods, results and conclusion. The abstract should be coherent and concise to be published alone. The English variant must be understandable to a wide audience, as well as to foreign readers. There is a single space line after the abstract.

2.7. The text of the article must contain the following parts:

1) *introduction* (may contain an overview of the of the article's key points, the purpose of the research, the problem, a list of unsolved earlier problems, a short literature review). The word «Introduction» is type written in TimesNewRoman, 12 pt, bolded, aligned to the left.

2) *The body of the text* (subsection dividing is possible) includes graphs and figures. Kindly keep in mind that tables and pictures mustn't be duplicated. The subsection title is to be type written in TimesNewRoman, 12 pt, bolded and and aligned to the left.

3) *Conclusion* (contains the main results of the research; the novelty, innovation and advantages of the research should be presented in comparison with its analogues). The word «Conclusion» is type written TimesNewRoman, 12 pt, bolded, aligned to the left.

2.8. *Literature. References.* References are type written in TimesNewRoman, 12 pt. Список in accordance with в соответствии Regulations on registration of the thesis, the abstract and publications on the topic of the dissertation, approved by the Presidium of the State Higher Attestation Committee the State commission for academic degrees and titles of the Republic of Belarus 24.12.1997 № 178 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.

The word «References» is to be capitalized and aligned to the left, in TimesNewRoman, 12 pt. The sources should be indicated in the order of citation in the text. Within the body of the text references should be provided in Arabic numerals enclosed in square brackets. (E. g. [1], [2]).

The number of references for papers in Russian is limited to 10, including both articles from international journals and references to own research, and to 30 for papers in English.

Literature reviews should contain up to 50 references, including both articles from international journals and references to own research.

For the purpose of boosting author citation in the journal sources in Russian are transliterated with 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).

For transliteration convenience use <http://www.translit.ru>.

All the Russian language literature sources must be presented in the transliterated variant. Authors are responsible for **accuracy of the REFERENCES LIST**. За правильность приведенных в списке литературы данных ответственность несут автор(ы). The list of references must contain ссылки на издания, включенные в международные базы цитирования Scopus и Web of Science).

2.9. *The list of references* in English and Russian should be followed by the article title, a list of authors, information about authors and the abstract in Russian (English). Then the grant, the government program, the government budget research theme (government registration number) or another document in the frame of which the research was done are presented.

2.10. *Author's personal* resumes are accompanied by photos 3×4 cm, JPG.

2.11. *Formula formatting.* Only formulas are to be type written in MS Word Equation editor. Letter with indexes can be type written in MS Word. Latin characters in formulas, pictures and in the text are italicized. Use ordinary texting for Russian and Greek characters.

The following font size of characters should be set in MS Word Equation editor: ordinary characters – 11 pt, large-sized indexes – 7 pt, small-sized indexes – 5 pt, large-sized indexes – 17 pt, small-sized symbols – 12 pt. Formulas should be centered. If necessary formula references should be provided in Arabic numerals enclosed in round brackets in the order of mentioning in the text. Formulas' numbers are aligned to the right.