

№ 6 (74) ноябрь-декабрь 2012

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК)

Редакционный совет

Голенков В.А., председатель
Радченко С.Ю., заместитель председателя
Борзенков М.И., секретарь

Астафичев П.А., Иванова Т.Н., Киричек А.В.,
Колчунов В.И., Константинов И.С.,
Новиков А.Н., Попова Л.В., Степанов Ю.С.

Главный редактор

Константинов И.С.

Редколлегия

Архипов О.П. (Орел, Россия)
Аверченков В.И. (Брянск, Россия)
Бок Т. (Мюнхен, Федеративная Республика Германия)
Гайндрик К. (Кишинев, Молдова)
Долгий А. (Сент-Этьен, Франция)
Еременко В.Т. (Орел, Россия)
Иванников А.Д. (Москва, Россия)
Ипатов О.С. (Санкт-Петербург, Россия)
Колоколов Ю.В. (Ханты-Мансийск, Россия)
Коськин А.В. (Орел, Россия)
Маркарян Г. (Ланкастер, Великобритания)
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)
Поляков А.А. (Москва, Россия)
Распопов В.Я. (Тула, Россия)

Сдано в набор 15.10.2012 г.
Подписано в печать 26.10.2012 г.

Формат 60x88 1/8.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.

Заказ № 443/12.12.

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65

Подписной индекс 15998
по объединенному каталогу

«Пресса России»

Материалы статей печатаются в авторской редакции.
Право использования произведений предоставлено
авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части
ГК РФ.

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий, определенных ВАК для
публикации трудов на соискание ученых степеней
кандидатов и докторов наук.

Рубрики номера

1. Математическое
и программное обеспечение
вычислительной техники
и автоматизированных систем.....5-19
2. Математическое и компьютерное
моделирование.....20-61
3. Информационные технологии
в социально-экономических
и организационно-технических
системах62-89
4. Автоматизация и управление
технологическими процессами
и производствами.....90-107
5. Телекоммуникационные системы
и компьютерные сети.....108-119
6. Информационная безопасность и защита
информации.....120-131
7. Информационно-измерительные
системы.....132-138

Редакция

О.И. Константинова
А.А. Фролова
А.А. Митин

Адрес учредителя журнала

302020, г. Орел, Нагорское шоссе, 29
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

302020, г. Орел, Нагорское шоссе, 40
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;
E-mail: isit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций.
Св-во о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.

©Госуниверситет – УНПК, 2012

№ 6 (74) November-December 2012

The journal is published since 2002, leaves six times a year
The founder – State University – Education-Science-Production Complex

Editorial council

Golenkov V.A., president
Radchenko S.Y., vice-president
Borzenkov M.I., secretary

Astafichev P.A., Ivanova T.N., Kirichek A.V.,
Kolchunov V.I., Konstantinov I.S.,
Novikov A.N., Popova L.V., Stepanov Y.S.

Editor-in-chief

Konstantinov I.S.

Editorial board

Arhipov O.P. (Orel, Russia)
Averchenkov V.I. (Bryansk, Russia)
Bok T. (Munich, Federal Republic of Germany)
Galndrik K. (Kishinev, Moldova)
Dolgij A. (Saint-Etienne, France)
Eremenko V.T. (Orel, Russia)
Ivannikov A.D. (Moscow, Russia)
Ipatov O.S. (St. Petersburg, Russia)
Kolokolov J.V. (Khanty-Mansiysk, Russia)
Koskin A.V. (Orel, Russia)
Markaryan G. (Lancaster, Great Britain)
Podmasteriev K.V. (Orel, Russia)
Polyakov A.A. (Moscow, Russia)
Raspopov V.Ya. (Tula, Russia)

In this number

1. Software of the computer facilities and the automated systems.....5-19
2. Mathematical modeling and computer simulation.....20-61
3. An Information technologies in socio-economic and organizational-technical systems.....62-89
4. Automation and control of technological processes and manufactures.....90-107
5. Telecommunication systems and computer networks.....108-119
6. Information and data security.....120-131
7. Information and measuring systems...132-138

The editors

Konstantinova O.I.
Frolova A.A.
Mitin A.A.

*It is sent to the printer's on 15.10.2012,
26.10.2012 is put to bed
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies
The order № 143/11.12*

*It is printed from a ready dummy layout
on polygraphic base of State University – ESPC
302030, Orel, Moskovskaya street, 65*

The address of the founder of journal

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 29
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;
E-mail: unpk@ostu.ru

The address of the editorial office

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 40
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;
E-mail: isit@ostu.ru

*Index on the catalogue
«Pressa Rossii» 15998*

*Journal is registered in Federal Service for
Supervision in the Sphere of Telecom, Information
Technologies and Mass Communications.
The certificate of registration
ПН № ФС77-47350 from 03.11.2011.*

Journal is included into the list of the Higher Attestation Commission for publishing the results of theses for competition the academic degrees.

© State University – ESPC, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

УДОВИЧЕНКО А.О.

Метод определения времени восстановления приложения, учитывающий условия его работы.....5

ШИШКОВ И.И., ЛУКЬЯНОВ П.В.

Исследование повышения быстродействия линейной фильтрации растровых изображений за счёт применения графического ускорителя.....15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

АФАНАСЬЕВ А.А., РЫЖКОВ А.П.

Метод снижения скорости передачи в вокодерах с линейным предсказанием на основе применения нейронных сетей при переменной длине сегмента анализа.....20

БЕЛОКУРОВ С.В., БАГРИНЦЕВА О.В., БЕЛОКУРОВ В.П.

Моделирование управления системы охраны объектов в условиях преднамеренных помех.....28

БЕСЕДИН П.Н., ЕНИКЕЕВА З.В.

Алгоритм построения функций принадлежности термов лингвистической переменной.....33

ЛОГИНОВ И.В.

Информационно-логическая модель жизненного цикла информатизированных бизнес-процессов.....39

САВВА Т.Ю.

Разработка математической модели загрузки оборудования на предприятии по переработке скоропортящегося сырья.....47

ЧУКАНОВ С.Н., КОБЛИК А.А.

Формирование интерполяционных сплайнов для многообразий, представляемых евклидовой группой.....57

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ВЛАСОВ В.В., КОСЬКИН А.В.

Моделирование процесса обучения в образовательных системах с использованием макросистемного подхода.....62

ЖИЛЯКОВ Е.Г., КУРЛОВ А.В., БАБАРИНОВ С.Л.

Оценка эффективности шумоочистки речевых сообщений.....69

ЛОМАКИН В.В., АСАДУЛЛАЕВ Р.Г., ТРУХАЧЕВ С.С.

Автоматизация процесса построения индивидуальных траекторий обучения в системе подготовки кадров промышленных предприятий.....75

ЛУКЬЯНОВ П.В., ФРОЛОВ А.И.

Моделирование процессов анализа и контроля данных административного мониторинга при автоматизации управления организационно-техническими системами.....84

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ ЗАХАРОВА О.В.

Программный инструментарий для моделирования вычислительных средств управления.....90

ЗЮЗИН Д.И.

Настройки системы лингвистического управления.....100

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

БЕЛОУСОВ А.В., ГЛАГОЛЕВ С.Н., КОШЛИЧ Ю.А., БЫСТРОВ А.Б.

Система визуализации и мониторинга технологических параметров распределенных объектов энергопотребления на основе web-базированного доступа.....108

ЕРЕМЕНКО В.Т., АНИСИМОВ Д.В., ПЛАЩЕНКОВ Д.А., КРАСНОВ Д.А., ЧЕРЕПКОВ С.А., ГЕОРГИЕВСКИЙ А.Е.

Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП.....114

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

АРХИПОВ П.О., СОРОКИН А.И.

Информационная технология формирования характеристических признаков предварительной идентификации цветных изображений.....120

ЧЕРНОМОРЕЦ А.А., БОЛГОВА Е.В.

О погрешности стеговнедрений в изображение на основе метода относительной замены коэффициентов ДКП.....125

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

КОРСУНОВ Н.И., НАЧЕТОВ А.А.

Обнаружение и коррекция ошибок в информационно-измерительных системах энергетики.....132

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

- UDOVICHENKO A.O.*
Condition-based software rejuvenation time estimation method.....5
- SHISHKOV I.I., LUKYANOV P.V.*
Investigation of raster images linear filtering speedup caused by using
a graphical accelerator.....15

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

- AFANASYEV A.A., RYZHKOV A.P.*
Method of transfer speed decrease in vocoders with the linear prediction on the basis of neural networks
application at variable length of the analysis segment.....20
- BELOKUROV S.V., BAGRYANTCHEVA O.V., BELOKUROV V.P.*
The modelling of covering of a system of safety under the conditions of interference.....28
- BESEDIN P.N., ENIKEEVA Z.V.*
The algorithm for construction of membership functions of linguistic variable terms.....33
- LOGINOV I.V.*
Informational logical model of informatization business process lifecycle.....39
- SAVVA T.YU.*
Development of mathematical model for download equipment at the plant for the processing of perishable
materials.....47
- CHUKANOV S.N., KOBLIK A.A.*
Forming the interpolation spline for the points of the manifolds, which are elements of one-parameter Lie groups.....57

INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

- VLASOV V.V., KOSKIN A.V.*
Simulation of education process in educational systems with macrosystem approach.....62
- ZHILYAKOV E.G., KURLOV A.V., BABARINOV S.L.*
Evaluation noise reduction speech message.....69
- LOMAKIN V.V., ASADULLAEV R.G., TRUKHACHEV S.S.*
Automation of the process of building individual learning paths for training system in industrial enterprises.....75
- LUKYANOV P.V., FROLOV A.I.*
The modeling of the administrative monitoring data analysis and check processes by the automation of the
organizational and technical systems control.....84

AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES

- ZAKHAROVA O.V.*
Software simulation of high-speed controllers.....90
- ZYUZIN D.I.*
System setup linguistic control.....100

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

- BELOUSOV A.V., GLAGOLEV S.N., KOSHLICH Yu.A., BYSTROV A.B.*
System of visualization and monitoring of technological parameters of the distributed objects of power consumption
on the basis of the web-based access.....108
- EREMENKO V.T., ANISIMOV D.V., PLASCHENKOV D.A., KRASNOV D.A., CHEREPKOV S.A., GEORGIEVSKY A.E.*
Solution for managing network resources in conditions of dynamic configuration change wireless cam.....114

INFORMATION AND DATA SECURITY

- ARKHIPOV P.O., SOROKIN A.I.*
Information technology formation of characteristic indications for advance identification of color pictures.....120
- CHERNOMORETS A.A., BOLGOVA E.V.*
About the accuracy of steganographic embedding in the image using method of relative replacement of DCT
coefficients.....125

INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS

- KORSUNOV N.I., NACHETOV A.A.*
Detection and correction errors in information-measurement systems of energetics.....132
-

УДК 004.051

А.О. УДОВИЧЕНКО

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ,
УЧИТЫВАЮЩИЙ УСЛОВИЯ ЕГО РАБОТЫ**

Предложен новый метод определения времени восстановления приложения, учитывающий условия его работы. Разработанный метод основан на мониторинге одной из характеристик работы приложения или ОС и динамики изменения издержек, связанных с выбранным методом восстановления, в процессе работы приложения. Приведены результаты экспериментов, демонстрирующие работу метода и подтверждающие его эффективность.

Ключевые слова: программное обеспечение; «старения»; восстановление; сервер; линейная регрессия; мониторинг; производительность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время применение современных информационных технологий во многом определяет успешность ведения бизнеса и оказывает существенное влияние на конкурентоспособность компании. В таких условиях с каждым годом все более высокие требования предъявляются к эффективности функционирования информационной системы (ИС). Сложность современных ИС и не всегда высокое качество программных продуктов часто оказываются одними из основных источников нарушения работы ИС.

Одной из распространенных причин нарушения работы ИС является так называемый эффект «старения» ПО [1], который представляет собой постепенную деградацию работы приложения и увеличение количества его отказов с ростом времени непрерывной работы. Причины возникновения данного эффекта достаточно разнообразны, например, утечка памяти, ошибки округления, утечка файловых дескрипторов. Борьба с эффектом «старения» ПО заключается в снижении его влияния на работу ПО на основе методики, получившей название «восстановление рабочего состояния ПО» [1]. Её суть состоит в регулярном переводе приложения в рабочее состояние, близкое к первоначальному, за счет проведения некоторой «очистки». Очистка может включать в себя сбор мусора, повторную инициализацию внутренних структур, более радикальный метод предполагает полную перезагрузку операционной системы (ОС).

Одной из главных трудностей при борьбе с эффектом «старения» ПО является тот факт, что её эффективность определяется одновременно многими факторами, основными из которых являются: издержки метода восстановления, интенсивность «старения» и условия работы приложения. Процессы восстановления приложения могут сопровождаться нарушением работы пользователей, временной недоступностью приложения, снижением производительности. В результате для снижения издержек при борьбе с эффектом «старения» ПО выполняется определение времени запуска процессов восстановления. Большинство методов определения времени восстановления ограничиваются лишь оценкой интенсивности «старения» приложения или его рабочего состояния при воздействии эффекта «старения» ПО и не затрагивают вопросы выявления показателей, характеризующих процесс «старения» приложения, и определения момента запуска процесса восстановления. Решение данных вопросов является довольно сложным и зависящим от большого числа разнообразных факторов, а также конкретных условий и режимов, в которых работает целевое приложение, а также вспомогательные приложения и службы ОС. В результате на практике решение данных вопросов строится лишь на основе мнения экспертов.

В работе предложен новый метод определения времени восстановления приложения, учитывающий условия его работы. Разработанный метод основан на мониторинге одной из

характеристик работы приложения или ОС и динамики изменения издержек, связанных с выбранным методом восстановления, в процессе работы приложения. Ниже подробно рассмотрен разработанный метод, приведены результаты экспериментов и сделаны выводы о пригодности предложенного метода.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ

Время восстановления приложения представляет собой момент запуска процесса его восстановления. Существующие методы определения времени восстановления делятся на две группы: с мониторингом работы приложения [2, 3] и без мониторинга [1, 4]. Одним из основных преимуществ методов первой группы является их устойчивость к изменению параметров работы приложения или ОС, что часто обеспечивает получение лучших результатов, чем посредством методов второй группы. Существующие методы первой группы, главным образом, сфокусированы на точности оценки интенсивности «старения» приложения, в то время как для достижения большей эффективности борьбы с эффектом «старения» ПО необходимо принимать во внимание также издержки метода восстановления и текущие условия работы приложения. В большинстве случаев условия работы приложений непостоянны и часто определяют величину издержек, связанных с применением выбранного метода восстановления. Например, величина издержек, связанная с временной остановкой приложения в процессе восстановления, может определяться количеством подключенных пользователей на момент восстановления или текущей нагрузкой на приложение.

В данной работе предложен метод определения времени восстановления приложения, учитывающий условия его работы (далее метод Condition-Based Rejuvenation – CBR). Разработанный метод основан на мониторинге одной из характеристик работы приложения или ОС и динамики изменения издержек выбранного метода восстановления в процессе работы приложения. Метод включает два этапа:

- подготовка метода;
- определение времени восстановления.

Исходной информацией при подготовке метода выступают исторические данные о работе приложения. Подготовка метода включает следующие шаги:

1. Выявление индикатора «старения», т.е. характеристики работы приложения или ОС, обеспечивающей мониторинг «старения» приложения, например, объем свободной памяти, свободный объем файла подкачки, количество файловых дескрипторов.

2. Расчет нижней границы запуска процесса восстановления. Нижняя граница запуска процесса восстановления представляет собой значение индикатора «старения», начиная с которого допускается запуск процесса восстановления.

3. Расчет момента запуска процесса определения времени восстановления.

Рассмотрим каждый из перечисленных шагов более подробно:

1. Исследования [2, 5] показывают, что в процессе работы приложения при воздействии эффекта «старения» одной или несколькими характеристиками работы приложения или ОС свойственна выраженная тенденция изменения (тренд). В качестве индикатора «старения» целесообразным является выбор характеристики с наиболее стабильной тенденцией изменения. При выборе индикатора «старения» выполняются следующие шаги:

– Сглаживание характеристик. Для каждой характеристики выполняется операция сглаживания с использованием медианного фильтра. Значения отсчетов внутри окна фильтра сортируются в порядке возрастания (убывания) и значение, находящееся в середине упорядоченного списка, поступает на выход фильтра. Размер окна фильтра составляет треть интервала, на котором будет выполняться прогнозирование.

– Характеристики разбиваются по времени на два равных интервала.

– Исключение из рассмотрения бесперспективных характеристик. Для каждой характеристики в целом и для её второй половины определяется величина тренда, полученная на основе метода наименьших квадратов. Далее будут использоваться

следующие сокращения: ВТЦ – Величина Тренда для характеристики в Целом; ВТВ – Величина Тренда для Второго интервала значений характеристики. Из дальнейшего рассмотрения исключаются характеристики, для которых:

- значение ВТЦ или ВТВ равно нулю;
- направление тренда в целом не совпадает с направлением тренда её второй половины;
- ВТВ составляет менее 25% от ВТЦ (далее для данного отношения величин трендов используется сокращение ОВТ):

$$ОВТ = \frac{|ВТВ|}{|ВТЦ|} * 100.$$

Если все рассматриваемые характеристики удовлетворяют определенным выше требованиям, то необходимо либо рассмотрение других характеристик работы приложения и/или ОС, не рассмотренных ранее, либо попробовать применение более сложных методов, например, методов многомерной регрессии [3].

– Приведение характеристик к общей единице измерения. Для этого определяется диапазон изменения сглаженной характеристики $dR_i = R_i^{\min} - R_i^{\max}$, $i=1, \dots, N$ – индекс характеристики. Затем для характеристик определяются такие коэффициенты z_i , что $dR_i * z_i = 1000$ в абсолютных безразмерных единицах.

– Выбор индикатора «старения». Для каждой сглаженной характеристики выполняется построение её линейной модели с применением метода наименьших квадратов. Выбор индикатора «старения» выполняется на основе оценки среднеквадратичной ошибки (далее СКО) оценки сглаженной характеристики по её линейной модели:

$$СКО_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^K (y_i^j - Y_i^j)^2}{K}}, i = 1, \dots, N,$$

где y_i^j – значение i -ой сглаженной характеристики в момент времени t^j ;

Y_i^j – значение i -ой характеристики в момент времени t^j , полученное на основе её линейной модели;

t^j – время, соответствующее j отсчету;

K – количество отсчетов во временном ряде;

N – количество рассматриваемых характеристик.

Расчеты при выборе индикатора выполняются в абсолютных безразмерных единицах. В качестве индикатора «старения» выбирается характеристика с наименьшим СКО.

2. После выявления индикатора «старения» выполняется расчет нижней границы запуска процесса восстановления. Дальнейшее описание метода выполняется на примере индикатора «старения» с возрастающим трендом, в случае нисходящего тренда порядок действий является тем же с учетом противоположного направления его изменения. При определении нижней границы принимаются во внимание один из принципов определения времени восстановления, которые будут рассмотрены далее в работе, и допустимый уровень индикатора «старения». В идеале допустимый уровень должен соответствовать моменту, когда воздействие эффекта «старения» ПО на работу приложения становится недопустимым с точки зрения его эффективности. Расчет нижней границы запуска процесса восстановления выполняется на основе одного из следующих подходов:

– на основе статистических характеристик индикатора «старения». Допустимый уровень устанавливается равным наименьшему верхнему значению диапазона изменения

индикатора «старения», сглаженного медианным фильтром. Нижняя граница запуска процесса восстановления определяется следующим образом:

$$V_b = V^{base} - V^{int} - k' * V' \quad (1)$$

где V_b – нижняя граница запуска процесса восстановления;

V^{base} – допустимый уровень индикатора «старения»;

V^{int} – изменение сглаженного индикатора в соответствии с выбранным принципом определения времени восстановления;

V' – среднеквадратичная ошибка прогнозирования сглаженного индикатора «старения»;

k' – регулирующий коэффициент.

Применение данного подхода целесообразно при относительно невысоком воздействии эффекта «старения» ПО на приложение до момента достижения индикатором «старения» допустимого уровня.

– на основе экспертной оценки. Применение предшествующего подхода не всегда может быть оправдано по причине большого разнообразия показателей, которые могут быть использованы для оценки негативного воздействия эффекта «старения» ПО на приложение, и характера их поведения. Например, в качестве показателя может использоваться время отклика приложения, в таком случае в идеале допустимый уровень индикатора должен соответствовать значению, при котором время отклика достигает установленного требования. В этом случае допустимый уровень индикатора «старения» наиболее целесообразно выбирать на основе экспертной оценки, исходя из опыта работы специалистов с данным целевым приложением. Обзор возможных для использования методов проведения экспертной оценки и обработки результатов приведен в [6]. После определения допустимого уровня индикатора «старения» выполняется определение нижней границы запуска процесса восстановления по следующей формуле:

$$V_b = V^{base} - V^{int} \quad (2)$$

3. Очевидно, что определение времени восстановления приложения сразу после его запуска ведет к ненужному расходу вычислительных ресурсов. Чтобы избежать этого, процесс определения времени восстановления следует запускать по истечении определенного времени работы приложения или объема выполненной им работы, например, количества обработанных запросов. В данной работе выполняется оценка времени работы приложения с момента его последнего восстановления, так как данная характеристика не приносит дополнительных вычислительных издержек. При определении этого времени принимается во внимание средняя длительность работы приложения до восстановления:

$$T_a = T_{rej}^{avg} / 2,$$

где T_{rej}^{avg} – средняя длительность работы приложения до запуска процесса восстановления.

После завершения подготовки параметров выполняется переход ко второму этапу. Логика работы на втором этапе состоит в следующем:

– До момента начала определения времени восстановления выполняется сбор информации о работе приложения по выбранной характеристике. При достижении T_a запускается процесс определения времени восстановления.

– После запуска процесса определения времени восстановления до запуска процесса восстановления продолжается сбор данных о работе приложения, выполняется их

сглаживание на основе медианного фильтра и расчет времени достижения сглаженным индикатором «старения» значения V_b :

$$T_b = S(V_b, dt), \quad (3)$$

где T_b – время достижения индикатором «старения» значения V_b ;

S – функция преобразования значения индикатора «старения» V_b во время на основе метода наименьших квадратов;

dt – интервал прогнозирования сглаженного индикатора.

Время запуска процесса восстановления определяется в соответствии с выбранным принципом определения времени восстановления.

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Работа приложения не всегда имеет постоянный характер и часто сопровождается интервалами низкой активности вплоть до её отсутствия. Например, если величина издержек, связанная с остановкой приложения в процессе восстановления, определяется количеством потерянных запросов, то наиболее целесообразным является восстановление в интервалы времени с наименьшей нагрузкой на приложение. Для учета динамики изменения издержек, связанных с выбранным методом восстановления, в процессе работы приложения метод СBR используется один из трёх принципов:

Принцип №1. Использование фиксированных интервалов времени восстановления

Для приложений с хорошо известным характером работы могут быть выделены интервалы времени восстановления, в которых процесс восстановления будет приводить к наименьшим издержкам. Суть данного принципа заключается в назначении фиксированных интервалов времени для запуска процессов восстановления.

Реализация принципа №1 выполняется на основе введения параметра V^{int} , который характеризует изменение сглаженного индикатора «старения» для двух последовательных интервалов времени восстановления от начала первого до завершения второго:

$$V^{int} = V_{avg}^{int} + k'' * V''$$

где V_{avg}^{int} – математическое ожидание изменения сглаженного индикатора;

V'' – среднеквадратичное отклонение оценок изменения сглаженного индикатора от математического ожидания;

k'' – регулирующий коэффициент.

Подставляя V^{int} в (1) или (2) и используя формулу (3), выполняется расчет времени T_b . После достижения времени T_b процесс восстановления запускается в ближайший интервал времени восстановления.

Принцип №1 предполагает выполнение следующего условия: весь процесс восстановления должен попадать в интервал времени восстановления:

$$\begin{cases} t_1 \leq T_{rej} \\ T_{rej} + t_{дл} \leq t_2 \end{cases}$$

где $[t_1, t_2]$ – интервал времени восстановления;

$t_{дл}$ – длительность процесса восстановления;

T_{rej} – время запуска процесса восстановления.

Определение интервалов времени восстановления может осуществляться на основе анализа истории работы целевого приложения. Например, работа пользователей с веб-сервером достаточно часто является неравномерной, наблюдается высокая активность в дневные часы и практически полное её отсутствие в ночное время. В таком случае интервал времени восстановления может быть назначен на часы ночного затишья. Применение данного принципа наиболее целесообразно для случаев, когда хорошо известен характер работы приложения и не составляет труда выделить интервалы времени, сопоставимые с длительностью процесса восстановления.

Принцип №2. Использование нефиксированных интервалов времени восстановления

Характер работы приложения не всегда может быть известен заранее точно, что затрудняет применение предшествующего принципа. Однако если известно, что с некоторой периодичностью возникают интервалы времени, соизмеримые с длительностью восстановления, обеспечивающие снижение издержек, то их уточнение может выполняться на основе методов прогнозирования.

Допустим, издержки процессов восстановления определяются количеством потерянных запросов, в таком случае для прогнозирования времени восстановления могут быть использованы, например, такие характеристики, как количество запросов к приложению в единицу времени, загрузка процессора. Для уточнения интервалов времени восстановления может использоваться любая характеристика, основное требование – её высокая корреляция с величиной издержек. Существует достаточно много различных методов прогнозирования. В данной работе предлагается использовать модель авторегрессии – скользящего среднего (Autoregressive Moving-Average model, ARMA) [7], которая хорошо зарекомендовала себя в широком круге задач при прогнозировании временных рядов, кроме того, данная модель не требует большого объема исходных данных.

Принцип №2 предполагает введение дополнительного условия, а именно: значение выбранного показателя величины издержки на всем протяжении процесса восстановления не должно превышать некоторого значения:

$$Z(t) \leq Z^0 \quad \forall t \in [T_{rej}, T_{rej} + t_{дл}],$$

где $Z(t)$ – значение показателя, характеризующего работу приложения, в момент времени t ; Z^0 – максимальное значение показателя, допускающее возможность запуска процесса восстановления.

Реализация данного принципа производится так же, как и принципа №1.

Применение данного принципа наиболее целесообразно в случае, когда известно, что существуют интервалы времени, обеспечивающие минимальные издержки, однако время их появления не фиксировано.

Принцип №3. Неучитывание интервалов времени восстановления

Характер работы приложения таков, что выделение интервалов времени с наименьшими издержками восстановления не представляется возможным. Например, в случае, когда нагрузка на приложение близка к постоянной. В этом случае время восстановления рассчитывается без дополнительных условий, а значение параметра V^{int} принимается равным нулю. При определении времени восстановления с использованием данного принципа принимается во внимание длительность процесса восстановления:

$$T_{rej} = T_b - t_{дл}.$$

Интервал прогнозирования индикатора «старения» наиболее целесообразно задавать, исходя из выбранного принципа: для принципов №1 и №2 – среднее время между двумя последовательными интервалами времени восстановления; для принципа №3 – не менее длительности процесса восстановления.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для проведения экспериментов была выбрана платформа виртуализации Citrix XenServer (URL: <http://citrix.com>), которая широко используется как в академических кругах для выполнения исследовательских работ, так и в промышленности при построении ИТ – инфраструктуры. Конфигурация виртуальной машины: 1 процессор, 1 Гб оперативной памяти. Оценка метода CBR проводилась для двух различных источников эффекта «старения» ПО:

1) Сценарий № 1 – источником «старения» выступает само приложение. Для тестирования использовался широко распространенный сервер приложений – Apache Tomcat (URL: <http://tomcat.apache.org>).

2) Сценарий № 2 – источник «старения» является внешним по отношению к приложению. В качестве источника выступает известная проблема утечки памяти в программах на языке Perl [8]. В сценарии используется сервер Apache httpd (URL: <http://httpd.apache.org>).

Процесс «старения» приложения может занимать достаточно продолжительное время, в связи с чем была использована техника ускорения данного процесса [9]. При формировании нагрузки для серверов использовались характеристики реального web – трафика [10], скорректированные в соответствии с техникой ускорения процесса «старения». Характер нагрузки для обоих сценариев был одинаковым и представлял собой периодическую последовательность интервалов различной интенсивности. Последовательность включала 24 интервала с продолжительностью 15 сек. В таблице 1 приведено время между сессиями на каждом интервале как доля от базового значения равного 1600 мс. Остальные параметры для всех интервалов были одинаковыми: количество запросов в сессии выбиралось в соответствии с распределением Вейбула с параметрами масштаба 10,6819 и формы 0,9124, но не более 30 запросов; время (единица измерения – мс) между запросами выбиралось в соответствии с распределением Вейбула с параметрами масштаба 53,2432 и формы 0,8569; количество связанных запросов выбиралось в соответствии с логнормальным распределением с математическим ожиданием 2,155 и среднеквадратическим отклонением 1,377, но не более 50 запросов. Интервал вызова функции приложения на языке Perl, ответственной за «старение», составлял 200 мс.

Таблица 1 – Характер изменения нагрузки

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Доля времени, %	52,95	27,9	21,68	19,48	24,4	30,7	43,67	60,5
№	9	10	11	12	13	14	15	16
Доля времени, %	89,84	134,74	161,12	169,22	168,5	163,67	160,5	152
№	17	18	19	20	21	22	23	24
Доля времени, %	149,53	140	130,25	130,9	127,26	118,86	99,58	74,79

Сравнение проводилось с двумя методами определения времени восстановления. Первый из них при определении времени восстановления учитывает только время отказа приложения, целью определения времени восстановления является обеспечение наибольшей готовности приложения [4] (далее обозначен «Метод Dohi»). Второй метод принимает во внимание динамику изменения одной из характеристик ОС или приложения в процессе «старения», процесс восстановления запускается при достижении ею заданного значения [2] (далее обозначен «Метод Li»). Длительность каждого теста составляла 4 часа.

В экспериментах анализировались следующие характеристики: объем свободной памяти (memFree, Кб), свободный объем файла подкачки (swpFree, Кб), количество файловых дескрипторов (fd), размер таблицы процессов (procTbl), средняя загрузка ОС за последние 5 минут (avg5).

Вначале была выполнена серия пробных запусков для обоих сценариев для сбора данных о работе серверов под воздействием эффекта «старения» ПО. На основе полученных данных выявлен индикатор «старения». Результаты данного анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа характеристик работы приложения и ОС

Свойства характеристик		Характеристики				
		memFree	swpFree	fd	procTbl	avg5
Сценарий №1	ВТЦ	-89,477	0	0	0	0,0000548
	ВТВ	-82,71	0	0	0	0,000173
	ОВТ	92,436	0	0	0	315,695
	СКО	104,026	0	0	0	520,124
Сценарий №2	ВТЦ	-188,375	-224,263	-0,0402	-1,704	0,0000848
	ВТВ	0,89	-463,88	-0,0199	-1,265	0,0000511
	ОВТ	0,472	206,846	49,517	74,21	60,3
	СКО	207,596	22,219	355,174	170,83	956,09

Из результатов, приведенных в таблице 2, видно, что практически все характеристики имеют тенденцию к изменению. То, что равенство swpFree нулю в сценарии №1 объясняется тем, что сервер перестает обрабатывать запросы ещё до того, как иссякнет вся оперативная память и ОС начнет задействовать раздел подкачки. Для характеристик fd и procTbl не наблюдается тренда в процессе работы приложения. Отрицательное значение ВТЦ или ВТВ означает, что характеристика убывает в процессе работы приложения. В качестве индикатора «старения» для сценария №1 выбрана memFree, для сценария №2 – swpFree.

Данные о работе серверов свидетельствуют о наличии четко выраженных интервалов восстановления, обеспечивающих наименьшую потерю запросов, в соответствии, с чем был выбран принцип определения времени восстановления №1. Затем были определены следующие параметры: нижняя граница запуска процесса восстановления и время запуска процесса определения времени восстановления. Значения промежуточных параметров и рабочих параметров метода (выделены полужирным шрифтом) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры метода CBR

Параметры	Сценарий №1	Сценарий №2
V^{base} , Кб	459582	0
V_{int} , Кб	36711	165154
V' , Кб	12474	27686
V_b , Кб	508767	192840
T_a , сек	746	1100

Относительно высокое значение параметра V^{base} объясняется тем, что сервер перестает обрабатывать запросы до исчерпания всей оперативной памяти.

С целью оценки доли потерянных запросов, коэффициента готовности и средней производительности сервера проведены тесты, результаты которых приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты тестирования методов определения времени

Критерии \ Методы	Сценарий №1			Сценарий №2		
	Метод CBR	Метод Li	Метод Dohi	Метод CBR	Метод Li	Метод Dohi
Доля потерянных запросов, %	1,937	6,247	5,16	1,229	4,002	3,389
Общее количество запросов	2518320	2518430	2504750	2518830	2518380	2518778
Коэффициент готовности сервера, %	93,767	93,753	94,864	96,03	95,033	96,634
Средняя производительность, зап./сек	137,197	131,173	131,972	138,215	134,31	135,189

Анализ результатов экспериментов, проведенных для двух различных приложений, сервера приложений и веб-сервера, показал, что разработанный метод обеспечил повышение их эффективности, а именно позволил снизить долю потерянных запросов в среднем более, чем в 2,5 раза. Принимая во внимание, что предложенный метод обеспечивает возможность определения индикатора «старения» и расчета момента запуска процесса восстановления, можно сделать вывод о том, что он лучше справляется с задачей определения времени восстановления и позволяет снизить негативное воздействие процессов восстановления на работу приложения по сравнению с существующими методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был предложен новый метод определения времени восстановления (CBR), учитывающий условия работы приложения. Разработанный метод основан на мониторинге одной из характеристик работы приложения и/или ОС и динамики изменения издержек, связанных с выбранным методом восстановления, в процессе работы приложения.

Эксперименты по оценке метода были проведены на наиболее критических с точки зрения эффекта «старения» приложениях – серверных приложениях. Проведенные эксперименты показали, что разработанный метод позволил получить существенно лучшие результаты среди сравниваемых методов и снизить долю потерянных запросов в среднем более, чем в 2,5 раза. Кроме того, предложенный метод включает возможность выявления индикатора «старения» приложения и определения момента запуска процесса восстановления с учетом выбранного метода восстановления.

Одним из направлений будущих исследований является разработка комплексной методики борьбы с эффектом «старения» ПО в ИС, построенной на основе технологии виртуальных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Huang Y., Kintala C., Kolettis N., Fulton N. Software rejuvenation: Analysis, module and applications // The Proceedings of Fault-Tolerant Computing Symposium, 1995. – Vol. 25. – P. 381-390.
- Li L., Vaidyanathan K., Trivedi K. An Approach for Estimation of Software Aging in a Web Server // International Symposium on Empirical Software Engineering, 2002. – Vol. 7. – P. 91-100.
- Hoffman G., Trivedi K., Malek M. A Best Practice Guide to Resource Forecasting for the Apache Webserver // IEEE Transactions on Reliability, 2007. – Vol. 56. – № 4. – P. 154-164.
- Dohi T., Goseva-Popstojanova K., Trivedi K. Statistical non-parametric algorithms to estimate the optimal software rejuvenation schedule // Proc. of 2000 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, 2000. – P. 77-84.

5. Garg S., Moorsel A., Vaidyanathan K., Trivedi K. A Methodology for Detection and Estimation of Software Aging // 9th Int'l Symposium on Software Reliability Engineering, 1998. – Vol. 9. – P. 282-292.
6. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
7. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учеб. пособие. – Невинномысск: Изд-во СевКавГТУ, 2006. – 221 с.
8. Мичурин А. Утечки памяти в программах на Perl // Системный администратор, 2004. – № 5(18). – URL: <http://samag.ru/archive/article/286> (дата обращения: 01.03.2012).
9. Matias R., Barbeta P., Trivedi K., Filho P. Accelerated Degradation Tests Applied to Software Aging Experiments // IEEE Transactions on Reliability, 2010. – Vol. 59. – № 1. – P. 102-114.
10. Walters L.O. A web browsing workload modeling for simulation: master of science thesis/UCT. Cape Town: UCT, 2004. – 177 p.

Удовиченко Антон Олегович

Московский государственный университет путей сообщения, г. Москва

Аспирант кафедры «Информационные технологии»

E-mail: aspudovichenko@mail.ru

A.O. UDOVICHENKO (*Post Graduate Student of the Department of «Informational Technologies»
Moscow State University of Railway Station, Moscow*)

CONDITION-BASED SOFTWARE REJUVENATION TIME ESTIMATION METHOD

A new method for estimating a software rejuvenation time is proposed in the paper, which allows taking into account an application activity and rejuvenation cost during application running. Results of the experiments are provided showing method preparation and proving the efficiency of the proposed method.

Keywords: software; «aging»; rejuvenation; server; linear regression; monitoring; performance.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Huang Y., Kintala C., Kolettis N., Fulton N. Software rejuvenation: Analysis, module and applications // The Proceedings of Fault-Tolerant Computing Symposium, 1995. – Vol. 25. – P. 381-390.
2. Li L., Vaidyanathan K., Trivedi K. An Approach for Estimation of Software Aging in a Web Server // International Symposium on Empirical Software Engineering, 2002. – Vol. 7. – P. 91-100.
3. Hoffman G., Trivedi K., Malek M. A Best Practice Guide to Resource Forecasting for the Apache Webserver // IEEE Transactions on Reliability, 2007. – Vol. 56. – № 4. – P. 154-164.
4. Dohi T., Goseva-Popstojanova K., Trivedi K. Statistical non-parametric algorithms to estimate the optimal software rejuvenation schedule // Proc. of 2000 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, 2000. – P. 77-84.
5. Garg S., Moorsel A., Vaidyanathan K., Trivedi K. A Methodology for Detection and Estimation of Software Aging // 9th Int'l Symposium on Software Reliability Engineering, 1998. – Vol. 9. – P. 282-292.
6. Litvak B.G. E'kspertnaya informaciya. Metody' polucheniya i analiza. – М.: Radio i svyaz', 1982. – 184 s.
7. Tixonov E'.E. Metody' prognozirovaniya v usloviyax ry'nka: ucheb. posobie. – Nevinnomy'ssk: Izd-vo SevKavGTU, 2006. – 221 s.
8. Michurin A. Utechki pamyati v programmax na Perl // Sistemny'j administrator, 2004. – № 5(18). – URL: <http://samag.ru/archive/article/286> (data obrashheniya: 01.03.2012).
9. Matias R., Barbeta P., Trivedi K., Filho P. Accelerated Degradation Tests Applied to Software Aging Experiments // IEEE Transactions on Reliability, 2010. – Vol. 59. – № 1. – P. 102-114.
10. Walters L.O. A web browsing workload modeling for simulation: master of science thesis/UCT. Cape Town: UCT, 2004. – 177 p.

И.И. ШИШКОВ, П.В. ЛУКЬЯНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ

В статье описано исследование повышения быстродействия пространственной линейной фильтрации растровых изображений за счёт использования графического ускорителя. В начале статьи описаны условия проведения экспериментального исследования, затем обоснован и приведён план эксперимента, после чего даны результаты исследования и проведён их анализ.

Ключевые слова: линейная фильтрация растровых изображений; экспериментальные исследования; графический ускоритель.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность задачи обработки растровых изображений обусловлена появлением и развитием в различных предметных областях устройств, формирующих цифровые изображения. Например, компьютерные томографы позволяют создавать изображения поперечного среза исследуемого объекта, искусственные спутники Земли делают снимки земной поверхности, формируя большие объёмы фотографий, облегчающие создание карт. Наконец, многие современные любительские и профессиональные фотоаппараты сохраняют снимки в цифровом формате [1].

Размеры изображений, создаваемых с помощью этих и многих других устройств, постоянно растут. Более того, в большинстве областей применения цифровых изображений часто приходится работать не только с отдельными изображениями, но и с их множествами. В результате снижается эффективность существующих средств обработки цифровых изображений. Повысить её можно, с одной стороны, за счёт применения специализированных, более мощных вычислительных средств, недостатком которых является их высокая стоимость. С другой стороны, это можно сделать за счёт использования новых вычислительных возможностей персональных компьютеров, что существенно снижает стоимость получаемых решений. Данный подход предпочтительнее, так как он повышает эффективность использования имеющихся вычислительных ресурсов.

В частности, графические ускорители, используемые в современных персональных компьютерах, представляют собой мощное вычислительное устройство, которое может быть эффективно применено для алгоритмов, допускающих высокопараллельную реализацию. Это позволяет рассматривать его как наиболее подходящее средство создания эффективных реализаций методов обработки цифровых изображений.

В данной статье изложены описание и результаты экспериментального исследования повышения быстродействия пространственной линейной фильтрации растровых изображений за счёт применения графического ускорителя [4, 5]. Реализация метода пространственной линейной фильтрации на графическом ускорителе, исследуемая в данной статье, подробно описана в [2].

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для оценки быстродействия исследуемых реализаций метода линейной фильтрации предлагается измерять реальное время их работы. Стоит отметить, что реальное время работы программы определяется не только вычислительной сложностью обрабатываемого ею алгоритма, но мощностью используемого компьютера. Менее эффективный алгоритм может работать быстрее на более мощном компьютере. Однако если выполнять все реализации на одном и том же компьютере, можно получить представление об их

относительной скорости. При этом время работы всех реализаций будет находиться в обратной зависимости от его мощности.

Поэтому для сравнительного исследования быстродействия реализаций метода линейной фильтрации предлагается использовать один компьютер. Его характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики компьютера, применяемого для экспериментального исследования программных реализаций метода линейной фильтрации растровых изображений

Процессор	Intel Core 2 Duo E8400 3 ГГц
Объём ОЗУ	2 Гб
Графический ускоритель	NVidia GeForce GTS 250
Объём видеопамати	512 МБ
Количество ядер GPU	128
Разрешение дисплея	1600x900
Операционная система	Windows 7 Ultimate

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Время выполнения программы является случайной величиной. На него оказывают влияние многие факторы: алгоритм планирования используемой операционной системы, загруженность ресурсов компьютера другими программами, объём входных данных, качество скомпилированного кода, вычислительная мощность используемого компьютера и т.д. Влияние каждого из них можно также рассматривать как случайную величину, вносящую вклад в общее время выполнения программы. Следовательно, время выполнения программы можно представить как сумму нескольких независимых случайных величин. Тогда по центральной предельной теореме, утверждающей, что сумма достаточно большого количества слабо зависимых случайных величин имеет близкое к нормальному распределение, можно предположить, что время выполнения программы имеет нормальное распределение [3].

На основании этих рассуждений для проведения экспериментального исследования повышения быстродействия линейной фильтрации растровых изображений предлагается следующий план эксперимента [6, 7]:

1. Сформировать множество тестовых изображений размерами от 256x256 пикселей до 4096x4096 пикселей.
2. Выполнить каждую исследуемую реализацию на каждом тестовом изображении 200 раз. Достаточность такого количества запусков была определена методом экспертных оценок.
3. Для каждого тестового прогона измерить средствами операционной системы общее время выполнения.
4. Для каждой полученной серии значений проверить гипотезу о нормальности распределения генеральной совокупности с помощью критерия Пирсона с уровнем значимости 0,05 [3].
5. Если гипотеза о нормальности распределения не будет отвергнута, найти оценки математического ожидания и среднего квадратического отклонения: выборочную среднюю \bar{x} и выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО) s .
6. В противном случае выдвинуть другую гипотезу.
7. Сравнив полученные точечные оценки для каждого тестового изображения, сделать вывод о том, насколько повышается быстродействие линейной фильтрации растровых изображений за счёт применения разработанной в данной работе реализации параллельного алгоритма.

ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ

В результате проведения эксперимента в соответствии с разработанным планом ни для одной из полученных серий гипотеза о нормальности распределения не была отвергнута. Полученные оценки параметров нормального распределения приведены в таблице 2, они заданы с помощью целого числа миллисекунд, так как большинство современных операционных систем, используемых в персональных компьютерах, имеют таймеры, позволяющие считать время с точностью до одной миллисекунды.

Таблица 2 – Выборочная средняя \bar{x} и выборочное СКО s с времени выполнения параллельного и последовательного алгоритмов линейной фильтрации

Размер входного изображения, пикселей	$\bar{x} \pm s$, мс	
	Параллельный алгоритм	Последовательный алгоритм
256x256	3 ± 2	36 ± 3
512x512	4 ± 2	144 ± 3
1024x1024	8 ± 2	573 ± 4
2048x2048	19 ± 2	2288 ± 9
4096x4096	68 ± 2	9174 ± 30

Проанализируем зависимость времени работы рассмотренных алгоритмов от размера входных данных. На рисунке 1 на логарифмической шкале приведены найденные выборочные средние времени выполнения линейной фильтрации. Линейный вид графика, соответствующего последовательному алгоритму, объясняется тем, что время его работы линейно зависит от размера входного изображения, который в рамках разработанного эксперимента растёт экспоненциально.

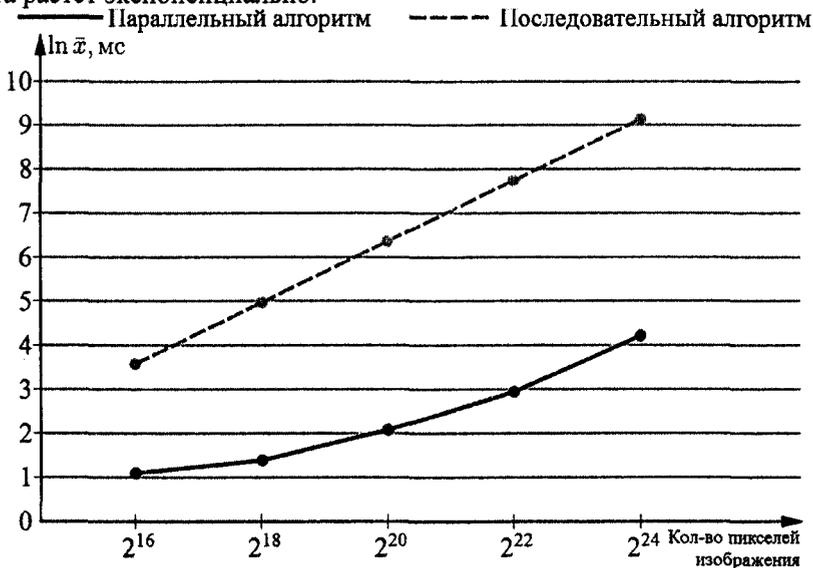


Рисунок 1 – Натуральные логарифмы выборочных средних времени выполнения последовательного и параллельного алгоритмов линейной фильтрации

Согласно оценке, полученной в [2], время работы параллельного алгоритма линейной фильтрации не зависит от размера входного изображения. Следовательно, рост среднего времени его работы обусловлен, в первую очередь, увеличением временных затрат на передачу изображения из ОЗУ в память графического ускорителя и обратно. Кроме того, начиная с некоторого размера входного изображения, имеющихся в графическом ускорителе процессоров становится недостаточно для того, чтобы каждый из них обрабатывал

отдельный пиксель. В результате каждый процессор начинает последовательно выполнять фильтрацию нескольких пикселей, что также приводит к росту времени выполнения.

Анализ выборочных средних квадратических отклонений показывает, что время выполнения линейной фильтрации несильно рассеяно вокруг полученных средних значений. Это говорит о том, что преимущество параллельного алгоритма над последовательным проявляется систематически.

Оценить ускорение выполнения линейной фильтрации за счёт применения параллельного алгоритма позволяет график, приведённый на рисунке 2. Из него (а также из таблицы 1) видно, что применение параллельного алгоритма линейной фильтрации снижает время её выполнения минимум в 12 раз. Кроме того, из графика видно, что скорость роста отношения выборочных средних приблизительно постоянна при размерах входного изображения от 2^{16} до 2^{22} пикселей. Это подтверждает независимость времени работы созданного параллельного алгоритма от размера обрабатываемого изображения – с увеличением размера входного изображения время работы последовательного алгоритма растёт линейно, а время работы параллельного алгоритма изменяется незначительно, в результате отношение этих величин растёт линейно.

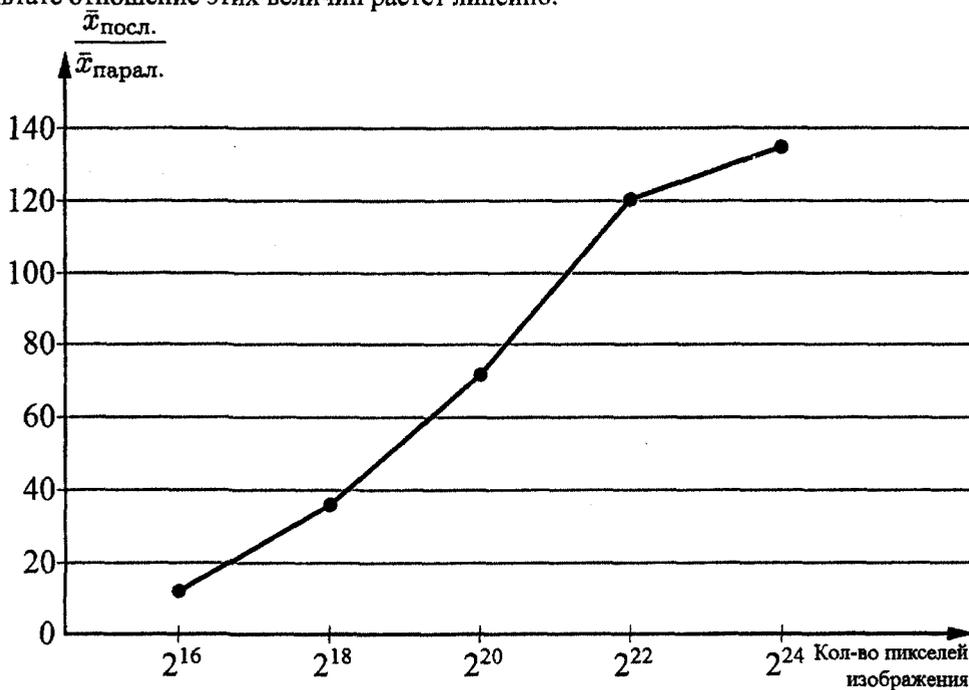


Рисунок 2 – Снижение времени выполнения линейной фильтрации растровых изображений, вызванное применением параллельного алгоритма

На промежутке (2^{22} , 2^{24}) отношение выборочных средних начинает расти медленнее. Это объясняется недостатком процессоров графического ускорителя, приводящим к необходимости выполнения фильтрации нескольких пикселей на каждом из них. Если бы при проведении эксперимента использовался графический ускоритель с большим числом процессоров, отношение выборочных средних на этом промежутке росло бы так же, как и на промежутке (2^{16} , 2^{22}).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать вывод, что применение графического ускорителя для выполнения пространственной линейной фильтрации растровых изображений снижает время её выполнения минимум в 12 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишков И.И., Митин А.А. К вопросу об оперативной обработке растровых изображений большого размера // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве». – Орел: ОрелГТУ, 2010. – С. 194-197.
2. Шишков И.И. Линейная фильтрация растровых изображений с использованием графического ускорителя // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6(68). – Орел: Госуниверситет – УНПК. – С. 19-26.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. – М.: Высшее образование, 2006. – 479 с. – ISBN: 5-9692-0031-X.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. – ISBN 5-94836-028-8.
5. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 784 с. – ISBN 5-9221-0270-2.
6. Блохин В.Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В.Г. Блохин, О.П. Глудкин, А.И. Гуров, М.А. Ханин. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.
7. Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1967. – 406 с.

Шишков Илья Иванович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Младший научный сотрудник учебно-научно-исследовательской лаборатории специального программного обеспечения

E-mail: shishkov.ilia@gmail.com

Лукьянов Павел Вадимович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

E-mail: ckboji@gmail.com

I.I. SHISHKOV (*Junior Scientist of educational-scientific-investigational laboratory for specialized software*)P.V. LUKYANOV (*Postgraduate student on chair «Information Systems»*)*State University – ESPC, Orel***INVESTIGATION OF RASTER IMAGES LINEAR FILTERING SPEEDUP CAUSED BY USING A GRAPHICAL ACCELERATOR**

The article describes investigation of raster images linear filtering speedup caused by using a graphical accelerator. Firstly, the article contains description of the circumstances under which the experiment was held. Then the experiment plan is reasoned and described. Finally the experiment's results are described and analyzed.

Keywords: raster images linear filtering; experimental investigation; graphical accelerator.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Shishkov I.I., Mitin A.A. K voprosu ob operativnoj obrabotke rastrovoy'x izobrazhenij bol'shogo razmera // Materialy' IV Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii «Informacionny'e tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve». – Oryol: OryolGTU, 2010. – S. 194-197.
2. Shishkov I.I. Linejnaya fil'traciya rastrovoy'x izobrazhenij s ispol'zovaniem graficheskogo uskoritelya // Informacionny'e sistemy' i tekhnologii, 2011. – № 6(68). – Oryol: Gosuniversitet – UNPK. – S. 19-26.
3. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnoe posbie. – M.: Vy'sshee obrazovanie, 2006. – 479 s. – ISBN: 5-9692-0031-X.
4. Gonsales R., Vuds R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij: per. s angl. – M.: Texnosfera, 2005. – 1072 s. – ISBN 5-94836-028-8.
5. Sojfer V.A. Metody' komp'yuternoj obrabotki izobrazhenij. – 2-e izd., ispr. – M.: FIZMATLIT, 2003. – 784 s. – ISBN 5-9221-0270-2.
6. Bloxin V.G. Sovremenny'j e'ksperiment: podgotovka, provedenie, analiz rezul'tatov / V.G. Bloxin, O.P. Gludkin, A.I. Gurov, M.A. Xanin. – M.: Radio i svyaz', 1997. – 232 s.
7. Xiks Ch.R. Osnovny'e principy' planirovaniya e'ksperimenta. – M.: Mir, 1967. – 406 s.

А.А. АФАНАСЬЕВ, А.П. РЫЖКОВ

**МЕТОД СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ В ВОКОДЕРАХ
С ЛИНЕЙНЫМ ПРЕДСКАЗАНИЕМ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЕ СЕГМЕНТА АНАЛИЗА**

Рассмотрена проблематика метода линейного предсказания речевого сигнала в контексте понижения скорости передачи с сохранением приемлемого качества. Предложено использование нейронных сетей-классификаторов, позволяющих отказаться от передачи сигнала возбуждения фильтров-синтезаторов на передающей стороне, заменив ее процедурой его идентификации на приемной стороне системы связи.

Ключевые слова: речевой сигнал; низкоскоростное кодирование речи; метод линейного предсказания; нейронные сети.

При цифровой обработке речевых сигналов эффективное кодирование речевых данных для их передачи по цифровым каналам связи является одной из основополагающих задач. Ее решение позволяет увеличить пропускную способность линейных трактов и каналов передачи при заданных критериях качества связи. Одним из принципов построения систем обработки и передачи речи выступает снижение скорости передачи при сохранении качественных показателей синтезированного речевого сигнала.

Большинство известных способов кодирования речевых сигналов основываются на методе линейного предсказания. В его основе лежит модель речевого сигнала в виде отклика линейной системы с переменными параметрами (голосового тракта) на соответствующий сигнал возбуждения (порождающий сигнал) на коротких временных интервалах одинаковой длины порядка 5-30 мс. При этом анализатор речепреобразующего устройства выделяет из короткого сегмента речевого сигнала параметры состояния линейной системы и сигнала возбуждения, позволяющие синтезатору восстановить исходный сигнал с требуемой степенью верности.

В системах линейного предсказания используется авторегрессионная модель параметрического цифрового спектрального анализа (ЦСА) [1]. Ее идентификация связана с решением системы алгебраических линейных матричных уравнений Юла-Уокера (1).

$$\begin{cases} B(0) \cdot a_1 + B(1) \cdot a_2 + B(2) \cdot a_3 + \dots + B(M-1) \cdot a_M = B(1) \\ B(1) \cdot a_1 + B(0) \cdot a_2 + B(1) \cdot a_3 + \dots + B(M-2) \cdot a_M = B(2) \\ B(2) \cdot a_1 + B(1) \cdot a_2 + B(0) \cdot a_3 + \dots + B(M-3) \cdot a_M = B(3) \\ \dots \\ B(M-1) \cdot a_1 + B(M-2) \cdot a_2 + B(M-3) \cdot a_3 + \dots + B(0) \cdot a_M = B(M) \end{cases}, \quad (1)$$

где $[B_{k,m}]$ – теплицева матрица отсчетов автокорреляционной функции исследуемого процесса; $[\vec{a}]$ – вектор-столбец неизвестных коэффициентов модели; $[B(1), \dots, B(M)]$ – столбец отсчетов автокорреляционной функции, M – порядок предсказания..

В классической постановке задачи параметрического ЦСА возбуждение формирующего фильтра осуществляется сигналом $u(n)$, представляющим собой реализацию белого шума с математическим ожиданием, равным нулю, и единичной дисперсией (2).

$$\begin{cases} M\{u(n)\} = 0 \\ D\{u(n)\} = \sigma^2 \{u(n)\} = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Точность идентификации математической модели исследуемого процесса напрямую связана с выбором величины ее порядка M . В качестве критерия настройки модели используется взвешенная среднеквадратическая ошибка $e^2(n)$ (3).

$$e^2(n) = d_2(\bar{S}, \bar{S}') = \frac{1}{N} (\bar{S} - \bar{S}')^T (\bar{S} - \bar{S}') = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - s'_i)^2, \quad (3)$$

где \bar{S} – вектор оригинального речевого сигнала, \bar{S}' – вектор синтезированного речевого сигнала, N – количество отсчетов на сегменте анализа.

Применительно к задаче линейного предсказания речи повышение порядка передаточных функций фильтров анализа и синтеза приводит к «обелению» сигнала остатка предсказания, который, согласно [2], является наилучшим сигналом возбуждения.

Однако использование в математической модели линейного предсказания фиксированных длин сегментов анализа приводит к возникновению скачков огибающей синтезированной речи на их стыках, что связано с дискретным изменением коэффициентов формирующей модели линейного предсказания. При этом длительность сегментов квазистационарности, используемая при линейном предсказании, гораздо меньше длины участка установившегося звука (фонемы) речи, что подтверждается данными, представленными в [3, 4]. В основе методики выделения переменных длин сегментов анализа речи в вокодерах с линейным предсказанием лежит отслеживание факта перехода огибающей речевого сигнала во временной области через ноль при сохранении знака конечной разности первого порядка в начале и конце анализируемого сегмента. Такой подход позволяет уменьшить влияние граничных эффектов, связанных с переходными процессами в синтезирующем фильтре, а также эффект растекания спектра. Нахождение областей локализации перехода связано с оценкой параметра частоты основного тона говорящего при учете корреляционных зависимостей в речи.

Для различных элементов формируемой речи длительности устоявшегося процесса излучения значительно превышают 10, ..., 30 мс, при этом длительность отдельных звуков речи (фонем) составляет от 20 до 350 мс [4]. Гласные имеют большую длительность, чем согласные. Максимально возможный интервал одновременно анализируемых данных определяется рекомендацией G.114 Международного союза электросвязи и составляет 60-80 мс, что связано с требованиями по задержке речевого сигнала при его передаче. Таким образом, если на протяжении данного сегмента не происходит смены природы формирования речевого сигнала, то новый анализ начинается при использовании данных о выделенных параметрах предыдущего сегмента.

Использование данной методики обработки речевых данных позволяет выделять сегменты, имеющие одинаковую природу формирования звука в речевом аппарате человека. Увеличение длительности кратковременного анализа приведет к тому, что параметры формирующей (передаточной) функции системы обработки и сигнала возбуждения будут сохраняться на всем протяжении анализа, что эквивалентно сокращению средней скорости передачи речевого сигнала. Так как речевой сигнал является случайным нестационарным процессом, для которого характерны изменения параметров основного тона, значений коэффициентов, характеризующих передаточную функцию голосового тракта и вида сигнала возбуждения, то повышение пропускной способности сетей связи с коммутацией пакетов при их совместном использовании с приложениями IP - телефонии и передачи данных возможно за счет реализации алгоритмов речевого кодирования с переменной скоростью.

В качестве примера рассмотрим вокализованный сегмент данных на интервале нескольких периодов основного тона. Одним из принципиальных моментов при формировании конечной границы интервала анализа речевого сегмента является вычисление периода основного тона и изменение ряда значений интервалов корреляции. Его вычисление показано в [5]. При этом границы сегмента формируются на основании выражений (4-6).

$$\Delta T \in (t_H \dots t_K) = \text{var}; \Delta T > 20 \text{ мс}; \frac{\Delta T}{T_{\text{от}}} \in \{N\}; \quad (4)$$

$$t_H = \Delta t n, \text{ при } \text{sign}(S(t_H)) + \text{sign}(S(\Delta t(n-1))) = 0; \quad (5)$$

$$t_K = \Delta t k, \text{ при} \\ \text{sign}(S(t_K)) = \text{sign}(S(t_H)) \& \text{sign}S(\Delta t(k-1)) = \text{sign}(S(\Delta t(n-1))) \& (t_K - t_H) > 20 \text{ мс}, \quad (6)$$

где ΔT – длительность сегмента анализа; t_H – время начала сегмента анализа; t_K – время окончания сегмента анализа; $T_{\text{от}}$ – период основного тона; n – номер отсчета в начале сегмента; k – номер отсчета в конце сегмента; Δt – интервал дискретизации.

Использование выражений (4-6) позволяет получать сегменты анализа, начало и окончание которых имеют одинаковые знаки конечной разности первого порядка. При этом с высокой вероятностью можно утверждать, что начальный и конечный отсчеты во вновь сформированном сегменте будут иметь значения, близкие к переходу через ноль, что значительно уменьшит возможные искажения на стыках сегментов. Предлагаемое выделение параметров модели речевого сигнала на сегментах одинаковой природы образования достаточно хорошо соотносится с квазистационарным характером речевого сигнала на временных интервалах, соответствующих режиму установившихся звуков.

Вычисляемые в ходе исследований значения линейных спектральных частот позволяют утверждать о высокой корреляции между параметрами, описывающими значения максимумов амплитудно-частотной характеристики речевого тракта на близлежащих сегментах речи одинаковой природы образования, что может быть использовано при синтезе речевого сигнала в системах низкоскоростного кодирования речевых данных с переменной скоростью передачи.

Определение соотношений в выделяемом ресурсе кадра передачи между параметрами, описывающими передаточную функцию голосового тракта, и сигналом возбуждения является достаточно актуальной задачей, так как это позволит управлять скоростью передачи кодека речи, подстраивая его под требуемые качественные характеристики синтезируемого сигнала. Однако данная задача является весьма сложно формализуемой, так как нет возможности априорно указать вид и распределение речевых данных. Предположение же о нормальном законе распределения речевых данных, часто встречающееся в научной литературе при математических выкладках, является допущением и приводит к расхождению аналитически и практически получаемых результатов при моделировании [6].

Одним из возможных направлений решения данной задачи является выявление и нахождение взаимозависимостей между параметрами передаточной функции синтезирующего фильтра и соответствующим им сигналом возбуждения. Существование данных зависимостей объясняется переходом от авторегрессионной модели параметрического ЦСА к модели линейного предсказания. При этом в отличие от классической постановки задачи ЦСА используются фиксированные порядки формирующей модели липредера, что порождает наличие остаточной корреляции в сигнале ошибки. Использование данных зависимостей при учете переменной длины сегмента анализа дает возможность сократить среднюю скорость передачи при организации режима передачи с переменной скоростью и пакетного мультиплексирования данных. Их присутствие между

параметрами, описывающими передаточную функцию голосового тракта на участке квазистационарности, и соответствующего сигнала возбуждения можно также объяснить особенностями постановки и решения обратной задачи при цифровом спектральном анализе для фиксированного порядка формирующего фильтра [1, 7].

Известны способы обработки речевых сигналов в вокодерах с линейным предсказанием, основанные на анализе сигнала ошибки линейного предсказания. Данные способы осуществляют анализ сигнала ошибки линейного предсказания с целью генерации сигналов возбуждения фильтра – синтезатора, так как сигнал остатка предсказания является наилучшим сигналом возбуждения синтезирующего фильтра линейного предсказания [2, 7]. В таком случае по каналу связи передается информация о коэффициентах формирующей модели, параметрах, характеризующих сигнал возбуждения и кодируемый речевой сигнал. Однако существенным недостатком является значительное расходование информационного ресурса на представление сигнала возбуждения при его передаче по каналу связи, следовательно, относительно высокая скорость передачи данных по каналам связи при эффективном кодировании речи [5].

Для эффективного представления сигнала возбуждения используются различные способы снижения его информативной избыточности. Известен следующий подход [9], в котором для создания сигнала возбуждения в вокодере на основе линейного предсказания на приеме из кадра передачи выделяются параметры синтезирующего фильтра, содержащие информацию о коэффициентах предсказания или линейных спектральных частотах, а также значение коэффициента усиления сигнала возбуждения. Используя эти данные, рассчитывается амплитудно-частотная характеристика синтезирующего фильтра на фазовых углах его полюсов и формируется спектр амплитуд и фаз сигнала возбуждения, затем формируется сигнал возбуждения на основе данных о коэффициенте усиления и спектрах его амплитуд и фаз, который используется в синтезирующем фильтре вокодера с линейным предсказанием для формирования сегмента речевого сигнала на участке квазистационарности. Невысокое качество синтезированного речевого сигнала, которое объясняется отсутствием при восстановлении оригинального сигнала возбуждения и случайностью распределения начальных фаз в спектре сигнала возбуждения, не позволяет широко использовать данное решение для низкоскоростных приложений речевого кодирования.

Для устранения выявленного недостатка предлагается заменить процедуру синтеза сигнала возбуждения на приемной стороне процедурой его идентификации. Выявлена возможность использования нейросетевых технологий для осуществления данной процедуры идентификации, что приводит к сохранению качества речи (или даже незначительном его повышении при фиксированной скорости передачи). Для этого в низкоскоростных вокодерах с линейным предсказанием на приеме из кадра передачи выделяются параметры, описывающие передаточную функцию голосового тракта, а также значения коэффициента усиления сигнала возбуждения и данных, характеризующих кодируемый речевой сигнал, затем при помощи обученной нейронной сети идентифицируется сигнал ошибки линейного предсказания, который является сигналом возбуждения, и далее он используется в синтезирующем фильтре вокодера с линейным предсказанием для формирования сегмента речевого сигнала на участке квазистационарности.

Известно, что нейронные сети хорошо решают задачи классификации и идентификации сигналов, в том числе, и речевых. Для корректного функционирования нейронной сети – классификатора необходимо предварительное обучение нейронной сети на тестовых примерах (отрезках речевых сигналов) дикторов. В качестве нейронных сетей – классификаторов предлагается использовать нейронные сети на основе радиальных базисных функций (radial-basis function network – RBF), которые позволяют преобразовать пространство входных векторов (множество входных сигналов) большой размерности в пространство выходных векторов (множество выходных сигналов) иной (зачастую меньшей) размерности. Архитектура таких сетей предполагает наличие трех слоев, выполняющих

различные функции. Входной слой состоит из сенсорных элементов, на которые подаются сигналы, описывающие модель речеобразования. Второй слой является скрытым слоем, осуществляющим нелинейное преобразование входного пространства в скрытое. Использование скрытых нейронов, соединяемых связями с выходными линейными нейронами, означает формирование выходных сигналов сети путем суммирования взвешенных значений соответствующих базисных функций.

Основу функционирования радиальных сетей составляет теорема Т. Ковера о распознаваемости образов, в соответствии с которой нелинейные проекции векторов в некоторое многомерное пространство большей размерности могут быть линейно разделены с большей вероятностью, чем при их проекции в пространство с меньшей размерностью [10]. Доказано, что множество векторов, случайным образом размещенных в многомерном пространстве, является ϕ -разделяемым с вероятностью 1 при условии соответственно большей размерности K этого пространства. Это означает, что применение достаточно большого количества скрытых нейронов, реализующих радиальные функции $\phi_i(x)$, гарантирует решение задачи классификации при построении трехслойной сети: скрытый слой должен реализовать вектор $\phi(x)$, а выходной слой может состоять из единственного линейного нейрона, выполняющего суммирование выходных сигналов от скрытых нейронов с весовыми коэффициентами, заданными вектором w . Сеть функционирует по принципу многомерной интерполяции, состоящей в отображении p различных входных векторов x ($i = 1, 2, \dots, p$) из входного N -мерного пространства во множество из p рациональных чисел d_i ($i = 1, 2, \dots, p$). Для реализации этого процесса необходимо использовать p скрытых нейронов радиального типа и задать такую функцию отображения $F(x)$, для которой выполняется условие интерполяции $F(x) = d_i$. Использование p скрытых нейронов, соединяемых связями с весами w_i с выходными линейными нейронами, означает формирование выходных сигналов сети путем суммирования взвешенных значений соответствующих базисных функций. Взаимосвязь между входными и выходными сигналами сети может быть определена системой уравнений, линейных относительно весов w_i , которая имеет вид

$$\begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \dots & \phi_{1p} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \dots & \phi_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_{p1} & \phi_{p2} & \dots & \phi_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_p \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где $\phi_{ji} = (\|x_j - x_i\|)$ определяет радиальную функцию с центром в точке x_i с вынужденным вектором x_j .

Использование в разложении p базисных функций, где p – это количество обучающих выборок, с практической точки зрения является неудобным, поскольку значительно возрастает вычислительная сложность обучающего алгоритма, а решение системы уравнений (7) становится затруднительным. В таком случае субоптимальное решение ищется в пространстве меньшей размерности, которое с достаточной точностью аппроксимирует точное решение. При K -базисных функциях аппроксимирующее решение можно представить в виде

$$F(x) = \sum_{i=1}^K w_i \phi(\|x - c_i\|), \quad (8)$$

где $K < p, c_i (i = 1, 2, \dots, K)$ – множество центров, которые необходимо определить. При $K = p$ возможно получение точного решения $c_i = x_i$.

Задача аппроксимации состоит в подборе соответствующего количества радиальных функций $\varphi(\|x - c_i\|)$ и их параметров, а также в таком подборе весов $w_i (i = 1, 2, \dots, K)$, чтобы решение уравнения (8) было наиболее близким к точному. Подбор указанных параметров и весов сводится к минимизации целевой функции следующего вида :

$$E = \sum_{i=1}^p \left[\sum_{j=1}^K w_j \varphi(\|x_i - c_j\|) - d_i \right]^2. \quad (9)$$

В этом уравнении K представляет собой количество радиальных нейронов, p – количество обучающих пар (x_i, d_i) , где x_i – это входной вектор, d_i – соответствующая ему ожидаемая величина.

Чаще всего в качестве радиальной функции применяется функция Гаусса. При размещении ее центра в точке c_i она может быть определена как

$$\varphi(x) = \varphi(\|x - c_i\|) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right). \quad (10)$$

В этом выражении σ_i – параметр, от значения которого зависит ширина функции.

Решение, представляющее аппроксимирующую функцию в многомерном пространстве в виде взвешенной суммы локальных базисных радиальных функций (8), может быть интерпретировано радиальной нейронной сетью, представленной на рисунке 1, в которой φ_i определяется зависимостью (10). Это сеть с трехслойной архитектурой, в которой только скрытый слой выполняет нелинейное отображение, реализуемое нейронами с базисными радиальными функциями. Выходной нейрон линеен, а его роль сводится к взвешенному суммированию сигналов, поступающих от нейронов скрытого слоя.

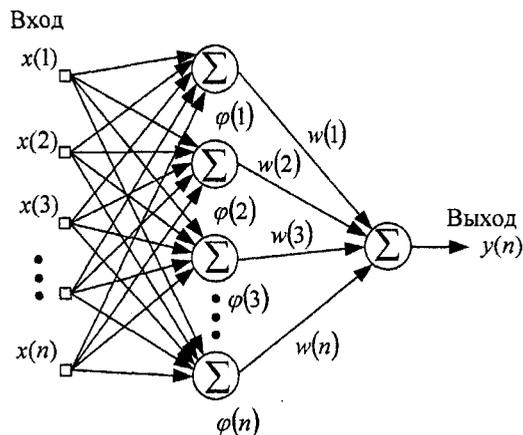


Рисунок 1 – Обобщенная структура радиальной сети RBF

Предложенная структура нейронной сети выполняет функцию классификатора как параметров, описывающих передаточную функцию голосового тракта, так и идентификатора векторов коэффициентов линейного предсказания. При анализе сегмента речевого сигнала на передающей стороне создается вектор параметров, описывающих передаточную функцию голосового тракта, и вектор сигнала ошибки линейного предсказания. Данные вектора подаются на предварительно обученные нейронные сети RBF, которые выполняют функцию классификации входных сигналов, причем как для векторов остатка линейного предсказания,

так и для векторов параметров, описывающих передаточную функцию голосового тракта, создаются отдельные нейронные сети одинаковой размерности слоев. Предварительная настройка весовых коэффициентов нейронных сетей производится методом «обучения с учителем» с использованием гибридного алгоритма обучения радиальных сетей [11]. В ходе процесса классификации устанавливается однозначная взаимосвязь между кластерами векторов остатка линейного предсказания и кластерами векторов параметров голосового тракта для каждого сегмента речевого сигнала. По каналу связи передаются только параметры модели синтеза, коэффициент усиления и данные, характеризующие кодируемый речевой сигнал. Для формирования сигнала возбуждения в вокодере на основе линейного предсказания на приеме из кадра передачи выделяются параметры для синтезирующего фильтра, содержащие информацию о параметрах голосового тракта, данных речевого сигнала, а также значение коэффициента усиления сигнала возбуждения. По данным параметрам обученная нейронная сеть RBF выделяет соответствующий им класс сигналов возбуждения, т.е. сигнала остатка линейного предсказания. Извлеченный при помощи нейронной сети сигнал возбуждения используется в синтезирующем фильтре липредера для формирования цифрового речевого сигнала на участке квазистационарности.

К достоинствам такого подхода следует отнести тот факт, что устранение из кадра передачи информации о сигнале возбуждения позволяет значительно снизить скорость передачи данных в канале связи, а также уменьшить вычислительную сложность алгоритма кодирования речевого сигнала на передающей стороне. Анализ кадра передачи существующих вокодеров свидетельствует о том, что значительную часть в кадре передачи занимает информация о сигнале возбуждения [2]. В случае применения нейросетевых технологий RBF возможно понижение скорости передачи данных в канале связи на 40% - 50% от известных способов либо перераспределение информационного ресурса, предоставляемого каналом связи, на формирование дополнительных сервисов абонентского обслуживания, при этом качественные показатели синтезированной речи повышаются на 0,3 - 0,5 балла по шкале MOS. Синтезированный речевой сигнал характеризуется высокими показателями разборчивости, естественностью и узнаваемостью говорящего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с., ил.
2. Быков С.Ф. Цифровая телефония: учеб. пособие для ВУЗов / С.Ф. Быков, В.С. Журавлев, И.А. Шалимов. – М.: Радио и связь, 2003. – 144 с.: ил.
3. Михайлов В.Г., Златоустова Л.В. Измерение параметров речи. – М.: Радио и связь, 1987. – 168 с.
4. Соболев В.Н. Информационные технологии в синтетической телефонии: монография. – М.: ИРИАС, 2007. – 360 с.
5. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи. – М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.: ил.
6. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.
7. Прохоров Ю.Н. Статистические модели и рекуррентное предсказание речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.
8. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Численные методы решения обратных задач математической физики. – М.: ЛКИ, 2009. – 480 с.
9. Способ формирования сигнала возбуждения в низкоскоростных вокодерах с линейным предсказанием / Патент на изобретение №2400832. Зарегистрировано 27.09.2010 г.
10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.: ил.
11. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

Афанасьев Андрей Алексеевич
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, научный сотрудник
Тел.: 8 915 505 19 25

Рыжков Александр Павлович
Академия ФСО России, г. Орел
Преподаватель

A.A. AFANASYEV (*Candidate of Engineering Sciences, Research Associate*)

A.P. RYZHKOV (*Teacher*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

**METHOD OF TRANSFER SPEED DECREASE IN VOCODERS WITH
THE LINEAR PREDICTION ON THE BASIS OF NEURAL NETWORKS APPLICATION
AT VARIABLE LENGTH OF THE ANALYSIS SEGMENT**

The considered problem of the method of linear prediction of speech signals in the context of the downward speed transmission with preservation of acceptable quality. Suggested that the use of neural networks-classifiers, to refuse to transfer the signal excitation filter-synth the reception.

Keywords: speech signal; a low bit rate speech coding; the method of linear prediction; neural networks.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Marpl-ml. S.L. Cifrovoj spektral'ny'j analiz i ego prilozheniya: per. s angl. – M.: Mir, 1990. – 584 s., il.
2. By'kov S.F. Cifrovaya telefoniya: ucheb. posobie dlya VUZov / S.F. By'kov, V.S. Zhuravlyov, I.A. Shalimov. – M.: Radio i svyaz', 2003. – 144 s.: il.
3. Mixajlov V.G., Zlatoustova L.V. Izmerenie parametrov rechi. – M.: Radio i svyaz', 1987. – 168 s.
4. Sobolev V.N. Informacionny'e tekhnologii v sinteticheskoy telefonii: monografiya. – M.: IRIAS, 2007. – 360 s.
5. Sheluxin O.I. Cifrovaya obrabotka i peredacha rechi. – M.: Radio i svyaz', 2000. – 456 s.: il.
6. Rabiner L.R., Shafer R.V. Cifrovaya obrabotka rechevy'x signalov. – M.: Radio i svyaz', 1981. – 496 s.
7. Proxorov Yu.N. Statisticheskie modeli i rekurrentnoe predskazanie rechevy'x signalov. – M.: Radio i svyaz', 1984. – 240 s.
8. Samarskij A.A., Vabishhevich P.N. Chislenny'e metody resheniya obratny'x zadach matematicheskoy fiziki. – M.: LKI, 2009. – 480 s.
9. Sposob formirvaniya signala vozbuzhdeniya v nizskorostny'x vokoderax s linejny'm predskazaniem / Patent na izobretenie №2400832. Zaregistrovano 27.09.2010 g.
10. Xajkin S. Nejronny'e seti: polny'j kurs, 2-e izdanie: per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006. – 1104 s.: il.
11. Osovskij S. Nejronny'e seti dlya obrabotki informacii. – M.: Finansy' i statistika, 2002. – 344 s.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

В статье рассматривается проблематика моделирования системы охраны пространственно-удаленных объектов с целью повышения эффективности принятия управленческих решений по обеспечению их защищенности.

Ключевые слова: модель; организации; управление; охрана.

Степень воздействия на моделируемую систему охраны преднамеренных помех определяется в основном двумя факторами: техническим обеспечением средств постановки преднамеренных помех и уровнем квалификации нарушителя [1].

С этой целью необходимо провести анализ поведения нарушителя при проникновении на охраняемый объект с учетом уровня профессиональной подготовки нарушителя. Наличие более полной информации о профессиональном состоянии нарушителя позволяет более точно разработать план технической защиты объекта от проникновения. Сбор такого рода информации является достаточно трудным и, как правило, базируется на статистических данных по правонарушениям в данном регионе. Однако статистические данные содержат информацию об уже совершенных преступлениях и не позволяют обозначить перспективы развития техники проникновения и уровень профессиональной подготовки нарушителя. В этом случае необходимо провести анализ технического уровня развития средств взлома (обхода) препятствий, входящих в систему охраны объекта.

Как уже было отмечено ранее [2, 3], с целью преодоления системы защиты объекта, содержащей средства контроля среды распространения до охраняемой территории (объекта) могут применяться средства создания активных (пассивных) преднамеренных помех. По эффекту воздействия на приемное устройство радиоэлектронной системы (РЭС) наиболее распространенными являются: маскирующие, ослабляющие и имитирующие помехи. Эффект воздействия электромагнитных помех заключается во внесении вредных дополнений к рабочему излучению РЭС или искажений этого излучения.

Аппаратурная реализация указанных видов помех по подавлению объемных извещателей возможна как специально разработанными средствами создания помех, основу которых составляют малогабаритные передатчики помех (МПП), предназначенные для защиты от обнаружения нарушителя, так и средствами постановки пассивных помех. Выбор того или иного средства создания помех по противодействию техническим средствам охранной сигнализации (ТС ОС) осуществляется на основании их тактико-технических характеристик (ТТХ), способов применения, ожидаемого эффекта воздействия на приемные устройства извещателей охраны.

На основании анализа материалов, посвященных вопросам применения средств создания помех [1-5], можно предположить следующий алгоритм их применения при вскрытии пространственно-удаленных объектов.

До начала проникновения на охраняемый объект нарушитель размещает средство постановки пассивных помех на участке радиотрассы «центр управления (ПЦО – пульт централизованной охраны) – предполагаемый к вскрытию объект». Например, на участке радиотрассы распространяются металлизированные пластинки, размер которых выбирается с учетом несущей частоты рабочего сигнала подавляемого средства. Тем самым достигается эффект ослабления зондирующего сигнала, что в итоге приводит к выравниванию мощностей полезного (зондирующего) уже ослабленного сигнала в радиоканале и уровнем непреднамеренных шумов, излучаемых радиоэлектронными средствами другого целевого назначения по побочным каналам излучения, находящиеся в данном районе.

На приемной стороне (в приемном устройстве ПЦО) полезный сигнал не выделяется из шумов, что приводит к пропуску сигнала тревоги. Как следствие, реакция на поступивший вызов отсутствует и происходит несанкционированное вскрытие пространственно-удаленного объекта.

Данная задача является частным случаем задачи оптимального синтеза системы контроля [1-3], когда тактико-технические характеристики отдельных средств заданы априорно; она может быть сформулирована следующим образом:

- определить оптимальное радионаправление передачи информации в системе охраны пространственно-удаленных объектов, построенной на основе средств радиосвязи.
- в качестве показателя эффективности функционирования централизованной системы охраны, в отличие от предложенного ранее [3-5], выберем величину совокупных затрат на организацию деятельности подразделения охраны за отчетный период.
- математическая постановка данной задачи имеет вид:

$$J = \arg \min_{\{\tilde{W} \in W\}} \Pi(\lambda, \mu, K_{kc}), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} t &\leq t_{\text{прон}}; Y^0 \leq Y_{\text{max}}; E^0 \geq E_{\text{min}}; L^0 \leq L; \\ \lambda &= f(t_{\text{прон}}, t_{\text{крит}}); \mu = f(M, T^0); K_{kc} = f(P_{\text{пер}}, L^0, E_L) \\ W &= \{W_n\}; W_n = f(P_{\text{ром}_n}, Y^0); T^0 = \min\{t_{mk}\}; L^0 = \{L_n^0\}; \\ L_n^0 &= F(Y_n^0, R_{\text{opt}}); Y^0 = \{Y_n^0\}; E^0 = \{E_n^0\}, \end{aligned}$$

где $\Pi(\lambda, \mu, K_{kc})$ – финансовые затраты подразделений охраны за отчетный период; W – множество вариантов постановки помех при проникновении нарушителя на охраняемый объект; T^0 – минимально допустимое время реагирования системы охраны на вызов с охраняемого объекта; t_{mk} – действительное время прибытия m -ой группы задержания на k -й охраняемый объект; Y^0 – множество оптимальных значений мощности излучения ретрансляторов, находящихся в зоне ответственности ПЦО; Y_n^0 – оптимальная излучаемая мощность n -го ТС ОС, ограниченная параметром Y_{max} ; E^0 – надежность моделируемой системы охраны; M – количество ГЗ в зоне ответственности подразделения охраны; K_{kc} – качество канала связи передачи информации тревожного извещения; λ – интенсивность поступления сигналов тревожного извещения на ПЦО; μ – интенсивность реакции личного состава вневедомственной охраны на поступающие вызовы; E_L – надежность l -го ретранслятора; $P_{\text{пер}}$ – вероятность передачи информации по каналу связи; L – количество ретрансляторов в зоне ответственности подразделения охраны; L^0 – минимально необходимое количество задействованных для передачи информации тревожного извещения ретрансляторов, находящихся в зоне ответственности ПЦО; E_n^0 – надежность моделируемого направления передачи сигнала тревожного извещения; R_{opt} – оптимальная дальность передачи информации от охраняемого объекта на ПЦО; $F(Y_n^0, R_n^0)$ – функционал от перечисленных функций; k – количество охраняемых объектов в зоне ответственности подразделения охраны; U – количество ТС ОС на k -ом охраняемом объекте.

Величина $\Pi(\lambda, \mu, K_{кс})$ определяется по формуле (2):

$$\Pi(\lambda, \mu, K_{кс}) = \Pi_{охрана} + \Pi_{текущ} + \Pi_{потери}(\lambda, \mu, K_{кс}) . \quad (2)$$

Применительно к расходам на организацию технической охраны объектов собственности ВО величина $\Pi_{охрана}$ определяется как сумма затрат, выделяемых на монтаж, техническое обслуживание, эксплуатационные расходы содержания ретрансляторов, и определяется по формуле (3):

$$\Pi_{охрана} = \sum_{z=1}^Z \Pi_z + \sum_{z=1}^Z \Pi_{монт_z} + \sum_{z=1}^Z \Pi_{эксп_z} , \quad (3)$$

где Π_z – стоимость z-го ретранслятора; $\Pi_{монт_z}$ – стоимость монтажа z-го ретранслятора; $\Pi_{эксп_z}$ – стоимость эксплуатации технического средства в течение года, определяется в соответствии с [2].

Величина $\sum_{z=1}^Z \Pi_{монт_z}$ определяется, исходя из первого раздела «Сметного расчета на производство работ по оборудованию объекта системой охраны», приведенного к одному году эксплуатации из расчета десятилетнего срока службы [3].

Здесь необходимо отметить, что установка и техническое обслуживание средств охраны на каждом объекте собственности осуществляется непосредственно за счет заказчика и, соответственно, не является статьей расхода подразделений вневедомственной охраны.

Величина $\Pi_{текущ}$ определяется как сумма затрат, необходимых для обеспечения деятельности M групп задержания $\Pi_{тек_m}$:

$$\Pi_{текущ} = \sum_m^M \Pi_{тек_m} . \quad (4)$$

Необходимо отметить, что как расходы заказчика по организации охраны на объекте собственности, так и сокращение затрат на содержание личного состава подразделений охраны в работе не исследовались и принимались равной постоянной величине, усредненной на основании опыта охраны аналогичных объектов собственности.

Величина материальных затрат обслуживания охраняемых объектов $\Pi_{потери}(\lambda, \mu, K_{кс})$, охрана которых осуществляется дистанционно посредством передачи контрольных (тестовых) сигналов по радиоканалу, оценивается на основании классификационной модели каждого объекта, основу которой составляет ранговая характеристика степени их важности и зависит от нанесенного собственнику объекта ущерба, вызванного кражей с охраняемого объекта и определяется по формуле:

$$\Pi_{потери}(\lambda, \mu, K_{кс}) = \Pi_{страх} \begin{cases} \lambda > \mu \\ K_{кс} \leq K_{треб} \end{cases} . \quad (5)$$

Как показывает проведенный анализ [2-5], сокращение размера выплачиваемого ущерба зависит от уменьшения интенсивности поступления вызовов с охраняемых объектов – λ ; увеличения интенсивности устранения вызовов группами задержания – μ ; за счет достижения требуемого качества передачи информации тревожного извещения $K_{кс}$.

Интенсивность поступления вызовов с охраняемых объектов характеризуется как криминогенной обстановкой в зоне ответственности ПЦО, так и зависимостью от количества ложных вызовов с охраняемого объекта, обусловленными техническими проблемами, возникающими при эксплуатации извещателей охраны (ошибки при установке, влияние

возмущающих воздействий, несвоевременность технического обслуживания и т.д.).

Увеличение интенсивности выявления нарушений наряду с организационными мероприятиями (увеличение количества экипажей ГЗ, повышение уровня профессиональной подготовки личного состава подразделений вневедомственной охраны) зависит также и от сокращения общего времени реакции системы охраны на возмущающее воздействие.

Данное сокращение, в первую очередь, становится возможным при сокращении времени прибытия групп задержания на охраняемый объект t_{mk} , что достигается за счет их оптимального расположения в пределах зоны ответственности ПЦО [2-4].

Таким образом, детальный анализ поставленной задачи управления сложной системой охраны позволяет провести ее декомпозицию на ряд самостоятельных подзадач, где в качестве основной, ранее не решаемой задачи, является задача поиска оптимального маршрута передачи информации с применением ретрансляторов, размещенных в пределах зоны ответственности вневедомственной охраны.

Решение первой задачи заключается в определении маршрута передачи информации, рационального количества задействованных ретрансляторов, в выборе оптимальных параметров функционирования ретрансляторов (излучаемой мощности, ширины диаграммы направленности антенны ретранслятора), при которых обеспечивается достижение минимума финансовых потерь. Решение задачи осуществляется применительно к конкретным типовым условиям, учитывающим как радиоэлектронную обстановку, так и количество и расположение охраняемых объектов. В качестве основных ресурсных ограничений рассматриваются ограничения на максимальную мощность излучения ретрансляторов. Величина Y_1 определяется из условий обеспечения зоны уверенного приема радиосигнала и не вызывает технических трудностей. В качестве второй задачи выбрана задача оптимизации параметров сигналов, циркулирующих в контуре управления сложной пространственно-удаленной системой охраны.

Решение задачи оптимизации расходов подразделения охраны позволяет оценить эффективность функционирования ретрансляторов в условиях временных, пространственных и энергетических ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000. – 452 с.
2. Рогозин Е.А. Методы и средства автоматизированного управления подсистемой контроля целостности в системах защиты информации: монография / Е.А. Рогозин, А.С. Дубровин, В.И. Сумин и др. // Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 165 с.
3. Сумин В.И. Пути повышения безопасности охраны пространственно-распределенных объектов от проникновения нарушителя: монография / В.И. Сумин, А.Ю. Немченко, Д.О. Орлов // Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 110 с.
4. Белокуров С.В. Модели выбора недоминируемых вариантов в численных схемах многокритериальной оптимизации: монография / С.В. Белокуров, Бугаев Ю.В., Сербулов Ю.С. и др. // Воронеж: Научная книга, 2005. – 199 с.
5. Багринцева О.В., Сумин В.И. Процесс анализа деятельности управленческого решения в организационной системе // Всеросс. науч.-практич. конф. – Краснодар: Изд-во КубГУ, 2010. – С. 49-50.

Белокуров Сергей Владимирович

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж

Доктор технических наук, доцент кафедры «Информационно-технического обеспечения»

Тел.: 8 (4732) 74-54-77

E-mail: bsvlabs@mail.ru

Багринцева Оксана Владимировна
Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж
Адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел
Тел.: 8 (4732) 74-54-77
E-mail: ganych-oksana@rambler.ru

Белокуров Владимир Петрович
Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Организации перевозок и безопасности движения»
Тел.: 8 (4732) 53-61-78
E-mail: opbd_vglta@mail.ru

*S.V. BELOKUROV (Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor
of the department of information technology)*

*O.V. BAGRYANTCHEVA (Adjunct of the department of information technology)
Voronezh Institute Ministry of the Interior of RF, Voronezh*

*V.P. BELOKUROV (Doctor of Engineering Sciences, Professor, head of the department
of the Traffic and Safety movement)
State Forestry Engineering Academy, Voronezh*

THE MODELLING OF COVERING OF A SYSTEM OF SAFETY UNDER THE CONDITIONS OF INTERFERENCE

The article deals with the problems of modeling of a system of safety of special objects with the aim of rising the effectiveness while adoption the governing decisions on the question of safety.

Keywords: *model; organization; governing; safety.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Zegzhda D.P., Ivashko A.M. Osnovy' bezopasnosti informacionny'x sistem. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2000. – 452 s.
2. Rogzin E.A. Metody' i sredstva avtomatizirovannogo upravleniya podsystemoj kontrolya celostnosti v sistemax zashhity' informacii: monografiya / E.A. Rogozin, A.S. Dubrovin, V.I. Sumin i dr. // Voronezh: Voronezh. gos. texn. un-t, 2003. – 165 s.
3. Sumin V.I. Puti povy'sheniya bezopasnosti oxrany' prostranstvenno-raspredelyonny'x ob'ektov ot proniknoveniya narushitelya: monografiya / V.I. Sumin, A.Yu. Nemchenko, D.O. Orlov // Voronezh: Voronezh. gos. texn. un-t, 2003. – 110 s.
4. Belokurov S.V. Modeli vy'bora nedominiruemyy'x variantov v chislenny'x sxemax mnogokriterial'noj optimizacii: monografiya / S.V. Belokurov, Bugaev Yu.V., Serbulov Yu.S. i dr. // Voronezh: Nauchnaya kniga, 2005. – 199 s.
5. Bagrinceva O.V., Sumin V.I. Process analiza deyatel'nosti upravlencheskogo resheniya v organizacionnoj sisteme // Vseross. nauch.-praktich. konf. – Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2010. – S. 49-50.

П.Н. БЕСЕДИН, З.В. ЕНИКЕЕВА

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕРМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

В данной статье рассматривается алгоритм построения функций принадлежности термов лингвистических переменных, который в отличие от существующих методов их построения позволяет снизить степень субъективизма экспертов за счет случайного выбора уровней степеней принадлежности.

Ключевые слова: нечеткое множество; экспертный опрос; функция принадлежности; лингвистическая переменная; уровневое множество; степень принадлежности.

В статье степень принадлежности элемента x нечеткому множеству A интерпретируется как субъективная мера того, насколько элемент $x \in X$ соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством A . Под субъективной мерой понимается определенная опросом экспертов степень соответствия элемента x понятию, формализованному нечетким множеством A .

Существующие методы построения функций принадлежности основаны на непосредственном задании степеней принадлежности элементов множества X нечеткому множеству A либо одним экспертом, либо группой экспертов. В зависимости от количества экспертов методы построения функций принадлежности подразделяются на методы для одного эксперта и методы для группы экспертов. Обзор данных методов подробно представлен в [1].

Существующие методы построения функций принадлежности как для одного эксперта, так и для группы экспертов обладают одним общим недостатком. Человеку свойственно ошибаться, особенно в самооценке (фактически при оценке степеней принадлежности эксперты производят самооценку своих знаний по данной предметной области), поэтому результаты экспертного опроса носят определенный «налет субъективизма». В [2] отмечалось субъективная склонность экспертов сдвигать оценки объектов в направлении концов оценочной шкалы.

В настоящей статье представлен алгоритм построения функций принадлежности, позволяющий снизить субъективное влияние экспертов на результаты их построения и основанный на построении случайным образом выбранных уровневых множеств. При этом степени принадлежности в данном алгоритме имеют вероятностную интерпретацию.

Перед тем, как изложить алгоритм, рассмотрим понятие уровневого множества и опишем случайный эксперимент, в котором оно используется.

Пусть A – нечеткое подмножество конечного множества $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. Предположим, что степени принадлежности элементов множества X нечеткому подмножеству A известны. Обозначим их как $A(x_i) = a_i$. Будем полагать, что элементы множества заиндексированы так, что $A(x_i) \geq A(x_j)$, если $i > j$. Этому нечеткому подмножеству можно поставить в соответствие набор четких подмножеств множества X , называемых уровневыми множествами нечеткого множества A . Множество α -уровня определяется как $A_\alpha = \{x | A(x) \geq \alpha, x \in X\}$. Другими словами, A_α – четкое подмножество множества X , которое содержит все элементы, степень принадлежности которых не менее, чем α . Заметим, что если $\alpha_1 > \alpha_2$, то $A_{\alpha_2} \supset A_{\alpha_1}$, и A_α есть возрастающая функция от параметра α . Заметим также, что если для некоторого α_k не существует элементов, таких, что $A(x) \geq \alpha_k$, то $A_\alpha = \emptyset$ для $\alpha > \alpha_k$.

Пусть задано нечеткое подмножество A множества X . Рассмотрим следующий случайный способ выбора элемента x из X . Сначала случайным образом выбираем значение

$\alpha \in [0, 1]$, а затем также случайно — элемент из соответствующего множества α -уровня. Подсчитаем вероятность выбора конкретного элемента в условиях этого эксперимента.

Для простоты изложения предположим, что $0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_n$, $\alpha_n = \alpha_{\max} \leq 1$, где α_i — степень принадлежности x_i множеству X . Выпишем уровневые множества:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \alpha \leq \alpha_1 & \quad A_\alpha = \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_1, \\ \text{при } \alpha_1 < \alpha \leq \alpha_2 & \quad A_\alpha = \{x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_2, \\ \text{при } \alpha_2 < \alpha \leq \alpha_3 & \quad A_\alpha = \{x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_3, \\ \text{при } \alpha_{n-2} < \alpha \leq \alpha_{n-1} & \quad A_\alpha = \{x_{n-1}, x_n\} = A_{n-1}, \\ \text{при } \alpha_{n-1} < \alpha \leq \alpha_n & \quad A_\alpha = \{x_n\} = A_n, \\ \text{при } \alpha_n < \alpha \leq 1 & \quad A_\alpha = \emptyset. \end{aligned}$$

Поскольку в эксперименте значения α выбираются случайным образом, то вероятность того, что уровневое множество A_i окажется выбранным, равна $P(A_i) = 1/n = \alpha_i - \alpha_{i-1}$, n — количество уровней множеств. Так как из выбранного уровня множества элемент выбирается случайно, то

$$P\{x_i | A_j\} = \begin{cases} 0, & x_i \notin A_j, \\ \frac{1}{n_j}, & x_i \in A_j, \end{cases}$$

где n_j — число элементов в A_j .

Тогда в соответствии с формулой полной вероятности [3] получаем:

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^n P(x_i | A_j) \cdot P(A_j).$$

Используя приведенные формулы, рассчитаем вероятность того, что будет выбран данный элемент множества X :

$$\begin{aligned} P(x_1) &= \frac{1}{n} a_1, \\ P(x_2) &= P(x_1) + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1), \\ P(x_3) &= P(x_2) + \frac{1}{n-2} (a_3 - a_2), \\ P(x_4) &= P(x_3) + \frac{1}{n-3} (a_4 - a_3), \\ &\dots \dots \dots \\ P(x_{n-1}) &= P(x_{n-2}) + \frac{1}{2} (a_{n-1} - a_{n-2}), \\ P(x_n) &= P(x_{n-1}) + (a_n - a_{n-1}), \\ P(\text{выбранных элементов нет}) &= 1 - a_n. \end{aligned} \tag{1}$$

Следует заметить, что если $i \geq j$, то предполагается, что $a_i \geq a_j$ и, следовательно, $P_i \geq P_j$. Покажем, что сумма вероятностей $P(x_i)$ равна единице:

$$\begin{aligned} P(x_1) &= \frac{1}{n} a_1, \\ P(x_2) &= \frac{1}{n} a_1 + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1), \\ P(x_3) &= \frac{1}{n} a_1 + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1) + \frac{1}{n-2} (a_3 - a_2), \\ &\dots \dots \dots \\ P(x_4) &= \frac{1}{n} a_1 + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1) + \frac{1}{n-2} (a_3 - a_2) + \dots + a_n - a_{n-1}. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = n \binom{1}{n} a_1 + (n-1) \binom{1}{n-1} (a_2 - a_1) + (n-2) \binom{1}{n-2} (a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1}).$$

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = a_1 + (a_2 - a_1) + (a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1}) = a_n.$$

Отсюда

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) + P(\text{выбранных элементов нет}) = a_n + (1 - a_n) = 1.$$

Выразим степень принадлежности a_i через вероятность $P(x_i)$ выбора элемента в предыдущем эксперименте. Из системы уравнений (1) после алгебраических преобразований получаем

$$\begin{aligned} a_1 &= nP(x_1), \\ a_2 &= (n-1)P(x_2) + P(x_1), \\ a_3 &= (n-2)P(x_3) + P(x_2) + P(x_1), \\ a_k &= (n-k+1)P(x_k) + \sum_{i=1}^{k-1} P(x_i), \\ a_{n-1} &= 2P(x_{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-2} P(x_i), \\ a_n &= \sum_{i=1}^n P(x_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где n – число элементов в X ; a_i – степень принадлежности x_i нечеткому множеству A ; $P(x_i)$ – вероятность того, что в данном эксперименте будет выбран элемент x_i .

Из системы уравнений (2) видно, что если известны вероятности, с которыми в эксперименте выбираются элементы множества X , то эту информацию можно использовать для определения степеней принадлежности элементов к нечеткому подмножеству A .

Поэтому, если получить оценки для вероятностей, входящих в правые части системы уравнений (2), то их можно использовать для вычисления значений степеней принадлежности к множеству A .

На рисунке 1 приведен алгоритм построения функций принадлежности. Алгоритм включает следующие шаги.

1. С каждым $x_i \in X$ связать величину T_i , первоначально равную нулю.
2. Определить объем выборки M (например, $M = 25$, $M = 50$, $M = 100$), определяющей количество уровней множеств.
3. Разделить единичный интервал на M частей равной длины и обозначить это множество через S .
4. Выбрать случайным образом элемент α из S . Удалить элемент α из S .
5. Предложить эксперту, определяющему нечеткое подмножество, перечислить все элементы X , которые принадлежат множеству, соответствующему выбранному значению уровня α .
6. Если k – число элементов, включенных в множество α -уровня, построенное на шаге 5, то при каждом появлении элемента x_i в множестве этого уровня добавить $\frac{1}{k}$ к T_i .
7. Повторять шаги 4 – 6 до тех пор, пока $S \neq \emptyset$.
8. Подсчитать оценки вероятностей $P_i = T_i / M$.
9. Упорядочить оценки вероятностей P_i по возрастанию.
10. Рассчитать степени принадлежности элементов X множеству, подставив оценки вероятностей P_i в (2).

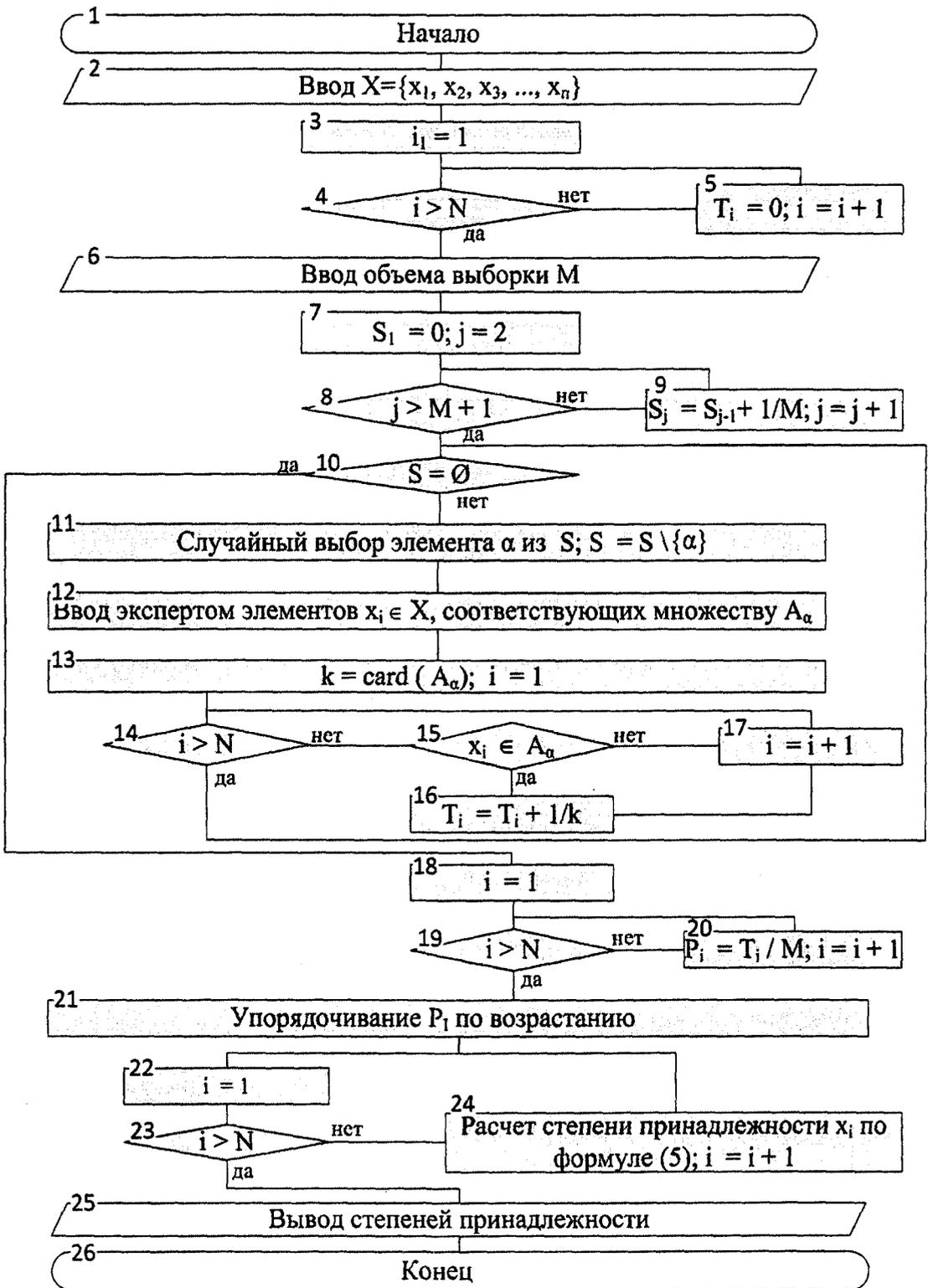


Рисунок 1 – Алгоритм построения функций принадлежности

Рассмотрим пример построения функции принадлежности для терма «малое» лингвистической переменной «Количество РЭС», определенного на базовой шкале $X = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$.

Для рассматриваемого примера, который только демонстрирует работу предлагаемого алгоритма, объем выборки положим равным $M = 5$.

Тогда $S = \{1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2\}$.

Пусть, выбирая значения уровня случайным образом, от эксперта получили следующие уровневые множества нечеткого подмножества A :

$$\begin{aligned} A_1 &= \{0\}, \\ A_{0,2} &= \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}, \\ A_{0,4} &= \{0, 1, 2, 3\}, \\ A_{0,8} &= \{0, 1\}, \\ A_{0,6} &= \{0, 1, 2\}. \end{aligned}$$

Используя полученные ответы, подсчитаем T_i для каждого элемента:

$$\begin{aligned} T_0 &= 1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/6 = 2,25; \\ T_1 &= 1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/6 = 1,25; \\ T_2 &= 1/3 + 1/4 + 1/6 = 0,75; \\ T_3 &= 1/4 + 1/6 = 0,416; \\ T_4 &= 1/6 = 0,166; \\ T_5 &= 1/6 = 0,166. \end{aligned}$$

Рассчитаем оценки значений вероятности ($P_i = T_i / 5$):

$$\begin{aligned} P_0 &= T_0 / 5 = 0,45; \\ P_1 &= T_1 / 5 = 0,25; \\ P_2 &= T_2 / 5 = 0,15; \\ P_3 &= T_3 / 5 = 0,0833; \\ P_4 &= T_4 / 5 = 0,0333; \\ P_5 &= T_5 / 5 = 0,0333. \end{aligned}$$

Расположим вероятности в возрастающем порядке:

$$P_5 = 0,0333; P_4 = 0,0333; P_3 = 0,0833; P_2 = 0,15; P_1 = 0,25; P_0 = 0,45.$$

Подставляя полученные значения в (2), учитывая, что общее число элементов в X равно 6, подсчитаем степень принадлежности элементов множеству:

$$\begin{aligned} \alpha_5 &= 6 \times 0,0333 = 0,2; \\ \alpha_4 &= 5 \times 0,0333 + 0,0333 = 0,2; \\ \alpha_3 &= 4 \times 0,0833 + 0,0333 + 0,0333 = 0,4; \\ \alpha_2 &= 3 \times 0,15 + 0,0833 + 0,0333 + 0,0333 = 0,6; \\ \alpha_1 &= 2 \times 0,25 + 0,15 + 0,0833 + 0,0333 + 0,0333 = 0,8; \\ \alpha_0 &= 1. \end{aligned}$$

Получив таким образом значения степеней принадлежности, может быть осуществлено построение функции принадлежности для терма «малое» лингвистической переменной «Количество РЭС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
2. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 391 с.
3. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 573 с.

Беседин Павел Николаевич

Военный авиационный инженерный университет, г. Воронеж

Кандидат технических наук, заместитель начальника отдела НИИЦ РЭБ и ОЭСЗ

Тел.: 8 (4732) 244-78-15

E-mail: nikson601@yandex.ru

Еникеева Зоя Владимировна

Воронежская областная Дума, г. Воронеж

Ведущий специалист отдела информационного и технологического обеспечения

Тел.: 8 905 654 83 70

E-mail: z-enikeeva@mail.ru

*P.N. BESEDIN (Candidate of Engineering Sciences)
Military Aircraft Engineering University, Voronezh*

*Z.V. ENIKEEVA (Leading specialist of the department of Information and Software)
Voronezh Regional Duma, Voronezh*

THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTION OF MEMBERSHIP FUNCTIONS OF LINGUISTIC VARIABLE TERMS

In this article the algorithm for construction of membership functions of linguistic variable terms is considered. This algorithm in contrast to existent methods for construction of membership functions allow to reduce the degree of expert subjectivism owing to random selection of levels for grades of membership.

Keywords: fuzzy set; expert question; membership function; linguistic variable; level set; grade of membership.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Melixov A.N., Bershtejn L.S., Korovin S.Ya. Situacionny'e sovetuyushhie sistemy' s nechotkoj logikoj. – М.: Nauka, 1990. – 272 s.
2. Nechyotkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostej. Poslednie dostizheniya / pod red. R. Yagera. – М.: Radio i svyaz', 1986. – 391 s.
3. Vencel' E.S. Teoriya veroyatnostej. – М.: Nauka, 1964. – 573 s.

И.В. ЛОГИНОВ

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНФОРМАТИЗИРОВАННЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

В результате исследования на основе анализа известных моделей жизненного цикла бизнес-процессов с высокой степенью автоматизации предложена новая модель, базирующаяся на основе применения ИПИИ-подхода. Предложенная модель отражает эволюционный характер развития бизнес-процессов предприятия и включает в свой состав частные модели стадий и процессов жизненного цикла.

Ключевые слова: бизнес-процесс; АСУП; информатизация; жизненный цикл; модель; информационная поддержка.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках АСУ предприятия одновременно выполняется множество бизнес-процессов, целью которых является как выпуск продуктов, так и выполнение внутренних контрольных и обеспечивающих мероприятий. Развитие технологий автоматизации в настоящее время привело к тому, что значительная доля бизнес-процессов может выполняться только с использованием средств автоматизации и информатизации. Такие бизнес-процессы в дальнейшем будем называть информатизированными [1]. В связи с высокой степенью динамизма предприятия информатизированные бизнес-процессы находятся на различных стадиях своего жизненного цикла в рамках процессов развития. Управление такими бизнес-процессами остается без должного внимания. При этом, если затрагиваются интересы нескольких подразделений предприятия, то такие сквозные бизнес-процессы развиваются хаотично и в большинстве случаев не в целях повышения эффективности предприятия. Возникает задача управления не только модернизацией бизнес-процессов (для чего в науке и практике предложено значительное количество подходов), а управления развитием на протяжении всех стадий и процессов жизненного цикла. Решение такой задачи приводит к особой актуальности анализа жизненного цикла информатизированных бизнес-процессов, построение модели которых позволит повысить эффективность управления развитием бизнес-процессов предприятия, в том числе, обеспечивать своевременное создание новых, модернизацию неэффективных и утилизацию устаревших.

ИНФОРМАТИЗИРОВАННЫЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ В АСУ ПРЕДПРИЯТИЯ

Информатизированный бизнес-процесс является частным случаем бизнес-процесса предприятия, отличающийся высоким уровнем применения средств автоматизации и информатизации. Согласно концепции ИПИИ/CALS для бизнес-процессов можно рассмотреть их жизненный цикл [2]. В рамках применяемого в данной работе подхода жизненный цикл бизнес-процесса, как и любой другой сложной системы, включает несколько этапов и процессов. При этом перечень процессов и стадий совпадает со стадиями жизненного цикла для системы при одновременном изменении их содержания и соотношений между процессами [3].

Средства автоматизации информатизированных бизнес-процессов входят в состав ИТ-инфраструктуры предприятия. При этом они могут выступать как в качестве основного средства (ИТ-сфера, телекоммуникации, интернет-торговля, маркетинг), так и в качестве вспомогательного, повышающего качество управления. Основной тенденцией развития является повышение роли информационных и автоматизированных средств в составе бизнес-процессов, в том числе и при формировании виртуальных предприятий [4] и киберкорпораций [5].

Информатизированные бизнес-процессы характеризуются высокой степенью автоматизации выполнения большинства их этапов. Отдельные этапы таких бизнес-процессов могут быть полностью автоматическими. Средства информатизации и автоматизации являются неотъемлемой частью информатизированных бизнес-процессов. Такие бизнес-процессы характерны для различных видов экономической деятельности, однако наибольшее распространение получили в области информационного обслуживания (автоматическая и автоматизированная помощь в выборе продуктов и услуг, заказ товаров, уведомление и ходе исполнения заказа). Значительную долю информатизированных бизнес-процессов составляют процессы управления предприятием, для обеспечения которых внедрены корпоративные информационные системы различного назначения (CRM, MES, ERP системы). Внедрение систем электронного документооборота, планирования производства, управления предприятием, взаимодействия с потребителями и поставщиками привело к изменению соответствующих процессов контроля и управления и обусловило необходимость их адаптации под возможности средств автоматизации. Примером информатизированных бизнес-процессов могут выступать процессы, связанные с внутренним и внешним документооборотом. Использование систем автоматизации документооборота предполагает разработку форм документов и маршрутов их прохождения, которые оказывают решающее влияние на эффективность бизнес-процессов в целом. Это приводит к тому, что при модернизации информатизированных бизнес-процессов осуществляется не адаптация средств автоматизации под существующий бизнес-процесс, а реализуется реинжиниринг бизнес-процесса с учетом ограничений и возможностей новых средств автоматизации.

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Для управления развитием бизнес-процессов в рамках предприятия создаются системы управления бизнес-процессами (BPMS – Business Process Management Systems), которые реализуют собственный цикл управления [6]. Цикл управления бизнес-процессами включает в себя несколько этапов, количество которых зависит от методологии управления (например, методологий BPM, IBM). В рамках процесса управления используются модели управляемых бизнес-процессов, в том числе, и интегрированные модели, которые используются для описания информатизированных бизнес-процесса на всем их жизненном цикле. При этом отмечается, что в рамках функционирования бизнес-процессов выделяется несколько этапов и процессов.

В рамках моделирования бизнес-процессов можно выделить статический и динамический компоненты [7]. Статический компонент моделирования предназначен для описания бизнес-процесса на конкретном этапе его жизненного цикла. Для этого используются статические модели, реализуемые с использованием методологий структурного анализа (SADT, DFD, ERD, ARIS). Динамический компонент предназначен для описания динамики развития бизнес-процесса и может охватывать несколько стадий и процессов жизненного цикла. При этом используются динамические модели, показывающие динамику процесса: сети Петри, конечные автоматы, мультиагентные системы.

Поскольку информатизированные бизнес-процессы являются сложными объектами управления, то в зависимости от условий управления рассматриваются несколько моделей жизненного цикла, отличающихся этапами и их содержанием. Рассмотрим известные модели жизненного цикла бизнес-процессов подробнее.

В рамках процессного подхода к управлению процессами жизненного цикла бизнес-процесса может быть выделено множество частных процессов [8]: метамоделирование, моделирование, анализ, имитационное моделирование, перепроектирование, визуализация, прототипирование, администрирование, интеграция, генерация окружения, инсталляция, мониторинг, сохранение истории, сочленение, эволюция, управление свойствами. С другой стороны, в рамках управления жизненным циклом рассматриваются процессы измерения,

анализа и улучшения. Для управления этими процессами используются средства управления бизнес-процессами (WFMS и BPMТ) [9]. В их рамках рассматривают следующий жизненный цикл бизнес-процесса: определение и выявление (описание) процесса, реинжиниринг процесса, автоматизация (реализация) процесса, выполнение дальнейших улучшений процесса.

Согласно CALS/ИПИ-концепции предполагается использование интегрированной информационной модели для описания бизнес-процессов на всех стадиях жизненного цикла продукта [10], что повышает эффективность управления его развития. Частным случаем моделей бизнес-процессов являются автоматные модели [11]. В их рамках рассматривается процессно-ориентированная концептуальная модель деятельности (К-сценарий), используемая для описания на стадиях функционирования, и объектно-ориентированная концептуальная модель деятельности (А-сценарий), используемая для инжиниринга и реинжиниринга. Оба типа моделей формализуются с использованием кусочно-линейного агрегата. Для сервисов, являющихся частным случаем представления информатизированных бизнес-процессов, предложен вариант жизненного цикла, включающий четыре стадии: проектирование, реализация, использование и эволюция [12].

В зависимости от вида управления модели бизнес-процессов на всем жизненном цикле рассматриваются с различной степенью детализации и при необходимости могут уточняться. Так, в [13] выделен этап проектирования бизнес-процесса, которых включает семейство процессов: идентификации результата, идентификации потребителей, идентификации поставщиков, идентификации процесса, предотвращения ошибок в процессе, измерение, контроль и улучшение целей.

Анализ известных моделей бизнес-процессов показывает, что они имеют существенное отличие друг от друга и адаптированы к условиям использования (вопросы управления реинжинирингом, создания и поддержания функционирования). Управление развитием АСУП в целом, в том числе, в рамках ИПИ-подхода, требует [14] наличия единой интегрированной модели управляемых бизнес-процессов на всем жизненном цикле. При этом такая модель должна быть адаптирована к моделям компонентов ИТКС, используемых в рамках административного управления на всем жизненном цикле [15]. Поскольку основой для построения модели компонентов ИТКС является ГОСТ Р ИСО 15288, определяющий процессы жизненного цикла для организационно-технических систем, то он может использоваться для определения модели жизненного цикла информатизированных бизнес-процессов.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНФОРМАТИЗИРОВАННОГО БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

Рассмотрим модель жизненного цикла информатизированных бизнес-процессов предприятия в соответствии с ИПИ подходом, которая может быть применена в процессе управления АСУ предприятием [16]. Жизненный цикл бизнес-процесса (по аналогии с системой) предполагает шесть этапов: разработка концепции, разработка бизнес-процесса, реализация, функционирование, модернизация, утилизация (рис. 1). В рамках жизненного цикла бизнес-процесса реализуются четыре группы процессов: предприятия, проектные, технические и договорные [17]. Начало жизненного цикла информатизированного бизнес-процесса связано с появлением необходимости в получении какого-либо внутреннего или внешнего продукта, а окончание – с прекращением потребности в таком продукте с его последующей утилизацией. На различных этапах своего жизненного цикла бизнес-процесс имеет значимые особенности, которые оказывают влияние на эффективность управления. Это обуславливает необходимость рассмотрения сущности этапов жизненного цикла бизнес-процессов.

1. Этап формирования концепции бизнес-процесса. Жизненный цикл бизнес-процесса начинается с осознания необходимости его реализации. Предполагается, что в рамках организации выявление необходимых бизнес-процессов осуществляется семейством

управленческих бизнес-процессов, реализуемых иерархией управления. При необходимости для управления созданием бизнес-процессов создается выделенное подразделение (бизнес-администрирования), выполняющее функции обеспечения управления жизненным циклом бизнес-процессов. Необходимость создания новых информатизированных бизнес-процессов определяется:

- выпуском новых типов продуктов;
- созданием новых видов деятельности;
- изменением внешних условий функционирования (например, появлением нового вида отчетности в лицензирующий орган);
- изменением внутренней организационной или управленческой структуры (например, принятием решения о создании системы контроля выполнения работ).

На этом этапе определяется общее видение бизнес-процесса: необходимость в продукте бизнес-процесса; предполагаемый результат, соотношенный с затратами (эффективность); возможность реализации и лимиты ресурсов; место и роль в системе процессов предприятия; ответственный за разработку и реализацию. На основе указанных данных, оформленных в виде технико-экономического задания, принимается решение о создании бизнес-процесса. При принятии решения о необходимости создания бизнес-процесса он переходит на следующую стадию жизненного цикла – стадию разработки. На первом этапе жизненного цикла бизнес-процесс обычно слабоформализован. Только при существенной необходимости в новом продукте, для получения которого и нужен бизнес-процесс, осуществляется подготовка технико-экономического обоснования в формализованном виде, чем реализуется определение его концептуального облика. Управление информатизированным бизнес-процессом на данном этапе связано с заблаговременным выявлением потребности в новых продуктах или видах деятельности, а также с совершенствованием подготовки исходных данных для выбора первоочередных для реализации бизнес-процессов.

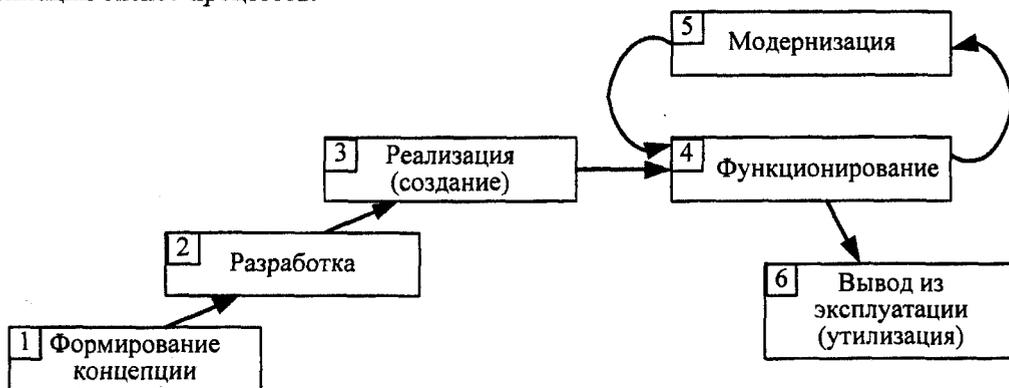


Рисунок 1 – Жизненный цикл информатизированного бизнес-процесса

2. Этап разработки. Стадия разработки бизнес-процесса предполагает создание проектных решений по бизнес-процессу и обеспечение его инфраструктуры в соответствии с принятой моделью разработки. Методы и способы разработки существенным образом зависят от уровня бизнес-процесса. Выделяются минимум три уровня: уровень функциональных бизнес-процессов (реализуемых одним человеком); уровень бизнес-процессов подразделения (управляется руководителем подразделения); уровень предприятия (управляется ответственным лицом). Для функциональных бизнес-процессов разработка осуществляется человеком самостоятельно при возникновении новой задачи (наделением его новой функцией). На более высоких уровнях осуществляется централизованная разработка (при необходимости с привлечением внешних исполнителей). В рамках процесса разработки подготавливается проект бизнес-процесса, который описывает:

- порядок выполнения процесса;

- реализующую бизнес-процесс организационную структуру и набор мероприятий по ее адаптации (перераспределению функций);
- систему обеспечения деятельности, в том числе, методическую, нормативно-справочную и автоматизирующую;
- набор мер по созданию и внедрению бизнес-процесса в практическую деятельность подразделений;
- оценку предполагаемых расходов на жизненный цикл бизнес-процесса и достигаемый эффект.

На основании вариантов проекта принимается решение о реализации бизнес-процесса. Управление информатизированными бизнес-процессами на стадии разработки связано с обеспечением реализации пригодного проекта бизнес-процесса, обеспечивающего достаточную эффективность по реализации продукта. При этом минимизируются затраты ресурсов на создание проекта.

3. Этап создания бизнес-процесса. При положительном решении о бизнес-процессе реализуется его создание. Для создания информатизированного бизнес-процесса назначаются ответственные за реализацию (создание и ввод в эксплуатацию бизнес-процесса) и выполнение (управление бизнес-процессом на стадии его функционирования) процесса. Первый осуществляет ввод бизнес-процесса в практическую деятельность предприятия, а второй отвечает за его успешное функционирование. Создание бизнес-процесса осуществляется с применением проектного подхода. В отличие от технических систем создание бизнес-процессов предприятий сконцентрировано на процессах внедрения и оперативного устранения недостатков. При этом на стадии реализации происходит модификация организационной структуры, изменение структуры и состава обеспечивающих систем, в том числе, и ИТ-инфраструктуры. По аналогии с ИТ-проектами степень успешной реализации проектов по созданию бизнес-процессов недостаточна. В первую очередь это связано с низкой результативностью или эффективностью создаваемых бизнес-процессов в целом. Для устранения этого эффекта осуществляют дополнительные мероприятия по повышению эффективности нового бизнес-процесса. Завершение стадии создания бизнес-процесса связано с устранением недостатков, выявленных в процессе опытного функционирования бизнес-процесса, и достижениями целевой эффективности выполнения операций (как по результативности, так и по ресурсоемкости).

4. Этап функционирования бизнес-процесса. Стадия функционирования (активного использования) бизнес-процесса является основной стадией, на которой получают требуемый целевой результат. На этой стадии «хозяин» процесса осуществляет оперативное управление, в рамках которого оценивает эффективность получаемого результата. При этом осуществляется непрерывный мониторинг, анализ и применение управляющих воздействий для адаптации к внешним деструктивным факторам. Управление на данном этапе связано, с одной стороны, в поддержании процесса на заданном уровне эффективности, с другой стороны – в определении необходимости модернизации процесса (в том числе, значительной) при изменении внешних и внутренних условий. Также определяется необходимость результата функционирования бизнес-процесса (для обеспечения большей оперативности вывода из эксплуатации устаревших бизнес-процессов выполнение данной функции в большинстве случаев осуществляет внешний управляющий орган).

5. Этап модернизации. Этап модернизации бизнес-процесса связан с приведением результативности (ресурсоемкости) бизнес-процесса в соответствие с изменившимися потребностями, адаптации бизнес-процесса под изменение внешних условий, совершенствование поддерживающих систем (в первую очередь – уровня автоматизации), совершенствованием порядка обработки информации и прохождения информационных потоков. В рамках процесса модернизации реализуется мини-цикл создания изменений бизнес-процесса, включающий процессы трех стадий:

- разработка концепции модернизации;
- проектирование модернизированного бизнес-процесса;

– создание и внедрение модернизированного бизнес-процесса.

Целью любого проекта модернизации бизнес-процесса является повышение его эффективности, которая должна быть измерима в том или ином виде. При этом цель должна быть сформирована на этапе формирования концепции модернизации, а потребность в ее достижении – на этапе функционирования. Осуществление любых изменений бизнес-процессов без оценок возможного целевого эффекта является бессмысленным расходом ресурсов (что часто бывает при внедрении проектов автоматизации, в рамках которых не оценивается влияние на эффективность затрагиваемых бизнес-процессов). В большинстве случаев процесс модернизации бизнес-процесса не предполагает приостановку его выполнения, что накладывает дополнительные ограничения на реализацию мероприятий. Важнейшим элементом модернизации бизнес-процесса является повышение его эргономичности, поскольку данное свойство оказывает существенное влияние на долговременное поддержание эффективности процесса на заданном уровне. В рамках проекта модернизации часть операций автоматизируется, некоторые перестают выполняться, вводят новые. При прекращении выполнения операций требуется освободить все занятые постоянные ресурсы. Модернизация бизнес-процессов предполагает проведение комплекса мероприятий, связанного с изменением функциональных обязанностей и выполняемых персоналом функций, что приводит, в том числе, и к необходимости переучивания персонала. Ввод в эксплуатацию модернизированного варианта осуществляется параллельно с функционированием исходного. После внедрения проекта модернизации осуществляется оценка эффективности выполнения бизнес-процесса и при необходимости его адаптация.

6. Этап вывода из эксплуатации. Конечной стадией жизненного цикла бизнес-процесса является прекращение его выполнения. На данной стадии персонал, выполняющий операции в рамках бизнес-процесса, освобождается от их выполнения; ресурсы перестают выделяться; поддерживающая инфраструктура расформировывается; взаимодействующие бизнес-процессы модифицируются таким образом, чтобы исключить взаимодействие (как бесконечное ожидание данных, так и их отправку в никуда). Вопрос освобождения занимаемых ресурсов является одним из наиболее важных при управлении жизненным циклом бизнес-процессов. Оперативное выполнение данной стадии позволяет снизить простой ресурсов всех типов и повышает эффективность их использования, в том числе, за счет снижения нецелевого использования.

В рамках представленной модели жизненного цикла информатизированных бизнес-процессов в рамках шести стадий выполняются специализированные процессы жизненного цикла четырех групп: технические, договорные, проектные и предприятия, содержание которых может быть описано с использованием ГОСТ ISO/IEC 15288 [17]. Управление информатизированными бизнес-процессами предприятия в рамках обеспечения его развития базируется на управлении жизненным циклом бизнес-процессов в рамках ИПИ-подхода [18]. Данный подход предполагает использование единой гибридной модели информатизированного бизнес-процесса для всего жизненного цикла. Такая модель может быть получена на основе модели жизненного цикла бизнес-процесса по аналогии с моделями компонентов ИТ-инфраструктуры [15], на которых они базируются. При этом для управления информатизированными бизнес-процессами модели самого бизнес-процесса и его обеспечивающей инфраструктуры (в первую очередь – ИТ-инфраструктуры) интегрируются в рамках единой метамодели. Применительно к управлению АСУ предприятиями, состоящими из информатизированных бизнес-процессов, это позволяет повысить эффективность управления ресурсами в долгосрочном периоде при решении задач создания, функционирования и утилизации бизнес-процессов в соответствии с потребностями предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена модель жизненного цикла информатизированных бизнес-процессов предприятия на основе ГОСТ Р ИСО 15288. Анализ известных подходов к

моделированию жизненного цикла показал, что в основном он рассматривается как управляемый элемент в рамках системы управления реинжинирингом бизнес-процесса (BPR – Business Process Reengineering), при этом вопросы формализации таких процессов для случая активного внедрения новых продуктов остаются без достаточного обоснования. В связи с этим предложен вариант модели жизненного цикла, который может использоваться в рамках управления развитием автоматизированной системы управления предприятия, базирующийся на основе единой гибридной модели информатизированных бизнес-процессов и обеспечивающей ИТ-инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов И.В. Управление жизненным циклом информатизированных бизнес-процессов // Программные продукты и системы, 2012. – № 2. – С. 44-47.
2. Озерова И.Г., Дмитриева Е.А., Цапко Г.П. Особенности фазы разработки жизненного цикла бизнес-приложений на основе BPM-систем // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010. – № 5. – С. 25-30.
3. Смирнов Н. Жизненный цикл бизнес-процесса. Business Process Management: компромисс между жестким контролем и гибкой деятельностью // Computerworld Россия, 2006. – № 22.
4. Хакимова Д.Р., Воронцов Ю.А. Виртуальное предприятие: организация и эффективность // Век качества, 2010. – № 4. – С. 52-55.
5. Петров М.Н., Треногий Н.Г. Анализ информационных систем управления бизнес-процессами в телекоммуникационной отрасли // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, 2008. – № 4. – С. 201-205.
6. Самарин А. Эталонная модель BPM. Эталонная модель может быть построена и в такой области, как «Управление бизнес-процессами» // Открытые системы, 2009. – № 1.
7. Замятина О.М. Метод моделирования и комплексного анализа бизнес-процессов // Известия Томского политехнического университета, 2005. – Т. 308. – № 6. – С. 180-186.
8. Scacchi W., Peiwei Mi Process Life Cycle Engineering: a Knowledge-Based Approach and Environment // Intell. Sys. Acc. Fin. Mgmt, 1997. – № 7. – P. 83-107.
9. Georgakopoulos D., Tsalgatidou A. Technology and Tools for Comprehensive Business Process Lifecycle Management // Workflow Management Systems and Interoperability, 1998. – P. 324-365.
10. Кольцова А.А. Современная организация и управление бизнес-процессами на основе CALS-технологии // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2005. – № 88. – С. 106-109.
11. Сметанин Ю.М., Сметанина Е.Ю., Мелехов Д.Г., Котегов Д.Ю. Автоматные модели бизнес-процессов и нормативный подход к BPR // Вестник Удмуртского университета, 2007. – № 2. – С. 219-238.
12. Rainer Schmidt Requirements for the Service Process Lifecycle // Proceedings of BPMDS, 2008. – P. 19-28.
13. Кузнецова Л.Н. Стандартизация бизнес-процессов как направление повышения эффективности деятельности организаций // Учет и статистика, 2009. – № 15. – С. 77-83.
14. Гришаков В.Г., Логинов И.В. Представление систем административного управления АСУП в виде виртуальных предприятий // Информатика и системы управления, 2011. – №3. – С. 125-132.
15. Гришаков В.Г., Логинов И.В. Автоматизация процессов жизненного цикла программного обеспечения // Информационные системы и технологии, 2010. – № 2. – С. 5-13.
16. Гришаков В.Г., Логинов И.В., Христенко Д.В. Управление модернизацией АСУ предприятия на основе информационной поддержки ее жизненного цикла // Информационно-управляющие системы, 2012. – № 3(58). – С. 84-90.
17. ISO/IEC 15288:2008. Systems and software engineering – System life cycle processes. – 72 p.
18. Бакаев В.В. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / В.В. Бакаев, Е.В. Судов, В.А. Гомозов и др. / под редакцией Бакаева В.В. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 624 с.

Логинов Илья Валентинович
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук
E-mail: liv@academ.msk.rsnet.ru

I.V. LOGINOV (*Candidate of Engineering Sciences*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

INFORMATIONAL LOGICAL MODEL OF INFORMATIZATION BUSINESS PROCESS LIFECYCLE

In the article, as a result of scientific research of lifecycle business-processes with high degree of automatization models make new model, based on CALS conception. This model shows evolution nature of enterprise business-process development and includes particular model of stages and processes of lifecycle.

Keywords: *business-process; MES; informatization; lifecycle; model; informational support.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Loginov I.V. Upravlenie zhiznenny'm ciklom informatizirovanny'x biznes-processov // Programmy'e produkty' i sistemy', 2012. – № 2. – S. 44-47.
2. Ozerova I.G., Dmitrieva E.A., Czapko G.P. Osobennosti fazy' razrabotki zhiznennogo cikla biznes-prilozhenij na osnove VRM-sistem // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2010. – № 5. – S. 25-30.
3. Smirnov N. Zhiznenny'j cikel biznes-processa. Business Process Management: kompromiss mezhdu zhyostkim kontrolem i gibkoj deyatel'nost'yu // Computerworld Rossiya, 2006. – № 22.
4. Xakimova D.R., Voronczov Yu.A. Virtual'noe predpriyatie: organizaciya i predpriyatie // Vek kachestva, 2010. – № 4. – S. 52-55.
5. Petrov M.N., Trenogij N.G. Analiz informacionny'x sistem upravleniya biznes-processami v telekommunikacionnoj otrasli // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aë'rokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva, 2008. – № 4. – S. 201-205.
6. Samarin A. E'talonnaya model' VRM. E'talonnaya model' mozhet by't' postroena i v takoj oblasti, kak «Upravlenie biznes-processami» // Otkry'ty'e sistemy', 2009. – № 1.
7. Zamyatina O.M. Metod modelirovaniya i kompleksnogo analiza biznes-processov // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta, 2005. – T. 308. – № 6. – S. 180-186.
8. Scacchi W., Peiwei Mi Process Life Cycle Engineering: a Knowledge-Based Approach and Environment // Intell. Sys. Acc. Fin. Mgmt, 1997. – № 7. – P. 83-107.
9. Georgakopoulos D., Tsalgatiidou A. Technology and Tools for Comprehensive Business Process Lifecycle Management // Workflow Management Systems and Interoperability, 1998. – P. 324-365.
10. Kol'czova A.A. Sovremennaya organizaciya i upravlenie biznes-processami na osnove CALS-texnologii // Nauchny'j vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii, 2005. – № 88. – S. 106-109.
11. Smetanin Yu.M., Smetanina E.Yu., Melexov D.G., Kotegov D.Yu. Avtomatny'e modeli biznes-processov i normativny'j podxod k BPR // Vestnik Udmurtskogo universiteta, 2007. – № 2. – S. 219-238.
12. Rainer Schmidt Requirements for the Service Process Lifecycle // Proceedings of BPMDS, 2008. – P. 19-28.
13. Kuznecova L.N. Standartizaciya biznes-processov kak napravlenie povы'sheniya e'ffektivnosti deyatel'nosti organizacij // Uchyot i statistika, 2009. – № 15. – S. 77-83.
14. Grishakov V.G., Loginov I.V. Predstavlenie sistem administrativnogo upravleniya ASUP v vide virtual'ny'x predpriyatij // Informatika i sistemy' upravleniya, 2011. – № 3. – S. 125-132.
15. Grishakov V.G., Loginov I.V. Avtomatizaciya processov zhiznennogo cikla programmnogo obespecheniya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 2. – S. 5-13.
16. Grishakov V.G., Loginov I.V., Xristenko D.V. Upravlenie modernizaciej ASU predpriyatiya na osnove informacionnoj podderzhki eyo zhiznennogo cikla // Informacionno-upravlyayushhie sistemy', 2012. – № 3(58). – S. 84-90.
17. ISO/IEC 15288:2008. Systems and software engineering – System life cycle processes. – 72 p.
18. Bakaev V.V. Informacionnoe obespechenie, podderzhka i soprovozhdenie zhiznennogo cikla izdeliya / V.V. Bakaev, E.V. Sudov, V.A. Gomozoev i dr. / pod redakciej Bakaeva V.V. – M.: Mashinstroenie-1, 2004. – 624 s.

Т.Ю. САВВА

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ
НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СКОРОПОРТЯЩЕГОСЯ СЫРЬЯ**

В данной статье автор освещает проблему учета специфики организации загрузки оборудования скоропортящимся сырьем в ходе моделирования технологических процессов предприятия. В качестве возможного решения проблемы предлагается использование расширенного аппарата сетей Петри.

Ключевые слова: моделирование; задача загрузки оборудования; сети Петри.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задачи оперативного планирования загрузки оборудования имеет важное значение в структуре организации производственных процессов на предприятии. Разработанный план загрузки эффективен, если соблюдены сроки и иные условия реализации производственной программы, а периоды простоя оборудования минимальны. Для предприятия по переработке скоропортящегося сырья в плане загрузки также должны быть учтены специфические характеристики сырья. Вследствие влияния на производственный процесс ряда факторов, сформированный план загрузки оборудования может быть неоднократно скорректирован. При этом вносимые изменения должны быть направлены на получение наиболее эффективного плана загрузки в текущих условиях. В ходе реализации оперативного планирования загрузки оборудования необходимо учитывать производственную программу и состав производственной мощностей, а также множество факторов, влияющих на реализацию плана, и особенностей, связанных с переработкой скоропортящегося сырья. Для решения указанной задачи процесс оперативного планирования загрузки оборудования может быть автоматизирован. В основу автоматизации должна быть положена математическая модель данного процесса, адекватно отражающая перечисленные особенности задачи.

**ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО
ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКОРОПОРТЯЩЕГОСЯ СЫРЬЯ**

Рассмотрим технологический процесс по переработке скоропортящегося сырья. Производственной программой предусмотрено получение некоторого числа конечных продуктов, для каждого из которых задан технологический маршрут и карта. Цикл по переработке сырья включает следующие этапы: поступление сырья на склад перерабатывающего предприятия; выполнение предусмотренных технологическим маршрутом операций (обработка и пролеживание) и контроль качества сырья, предусматривающий его изъятие в случае выявления несоответствия установленным в технологической карте нормам; упаковка готовой продукции. При использовании в перерабатывающем производстве скоропортящегося сырья необходимо помимо требований классической задачи загрузки оборудования [2], учесть специфические особенности такого сырья. Ключевые особенности, а также обоснование необходимости их учета, представлены в таблице 1.

Таблица 3 – Особенности организации перерабатывающего производства с использованием скоропортящегося сырья

№ п/п	Особенности переработки скоропортящегося сырья	Влияние на планирование загрузки оборудования	Возможные негативные последствия
1	время осуществления закупки сырья определяется его наличием в заданном качественном состоянии, например, сырье в пищевой промышленности характеризуется сезонным временем созревания	время поступления в производство сырья не может быть выбрано произвольно и зависит от ряда факторов; в том числе, оно может быть определено как случайная величина	несвоевременная закупка скоропортящегося сырья может привести к получению конечного продукта со свойствами, отличными от нормативных
2	для получения сырья с заданными качественными характеристиками график поставок может включать несколько поступлений сырья, при этом загрузка на обработку должна осуществляться однородными по качеству партиями сырья (а затем, полуфабрикатов)	формирование партий для загрузки на оборудование должно осуществляться не только исходя из нормативных мощностей оборудования, но и с учетом однородности сырья (полуфабрикатов) по качественным показателям	загрузка партии неоднородного по качеству сырья (полуфабрикатов) может привести к получению неудовлетворительного по качеству (непригодного к использованию в производстве) полуфабриката
3	использование скоропортящегося сырья в производстве требует проведения периодического контроля качества сырья (полуфабрикатов) с целью выявления непригодного к дальнейшей обработке	осуществление контроля качества сырья (полуфабрикатов) может приводить к частичному или полному его изъятию из производства	поступление на обработку сырья (полуфабрикатов), не прошедшего контроль качества, приводит к получению готовой продукции ненадлежащего качества

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ СКОРОПОРТЯЩИМСЯ СЫРЬЕМ В РАМКАХ ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Целью разработки и последующего анализа модели загрузки оборудования является решение ряда задач, связанных с организацией планирования загрузки производственных мощностей в ходе технологического процесса, использующего скоропортящееся сырье. Составление эффективного плана загрузки оборудования с точки зрения минимизации потерь сырья, а также максимизации прибыли от реализации готовой продукции заданного качества, предполагает решение следующих задач: наглядное представление системы технологических маршрутов, включенных в технологический процесс с целью выявления участков обработки, где необходимо решать проблему параллельной загрузки (конкурентный доступ к оборудованию); анализ и оценка имеющихся производственных мощностей, складских площадей и пропускной способности оборудования при заданном объеме сырья; выработка системы правил принятия решений о загрузке оборудования в ситуациях конкурентного доступа к нему (решение о приоритетной загрузке того или иного вида сырья должно производиться на основании данных о текущем состоянии сырья, его объеме, соблюдении плана выпуска соответствующей продукции, анализа финансовых результатов от продажи полуфабрикатов (продукции) или списания их в отходы и т.д.); выявление потенциальных путей корректировки плана загрузки оборудования, например, в случае изменения сроков поставки сырья.

С учетом специфики рассматриваемого технологического процесса его моделирование было решено осуществлять с помощью сетей Петри (СП) [1]. В рамках теории СП существуют большие описательные возможности параллельных процессов и динамики поведения систем. В литературе выделяют несколько расширений сетей Петри [1] [М]: иерархические (срабатывание не мгновенного перехода приводит к выполнению работы сети, вложенной, возможно, также иерархической), временные (переход может быть запущен, только если он был разрешен к определенному моменту времени и если он является разрешенным, то должен быть запущен до наступления заданного момента времени), стохастические (периоды возбуждения переходов могут определяться случайными величинами), цветные (фишки характеризуются сложным набором атрибутов, значения которых влияют на срабатывание переходов сети), функциональные (время возбуждения переходов могут определяться как функции некоторых аргументов), ингибиторные (срабатывание переходов зависит от наличия фишек в сдерживающих выходных позициях), Е-сети (сеть содержит несколько типов вершин и переходов, в том числе, вершины, определяющие правила срабатывания переходов) [3], [4] и т.д. Однако анализ требований и ограничений рассматриваемой задачи позволяет сделать вывод о необходимости построения модели с использованием аппарата расширенных СП. Используемый аппарат должен обеспечивать возможность учета ряда характеристик производственного процесса. В ходе производственного процесса используются разные типы сырья; на некоторых участках обработки необходимо моделировать временные задержки, соответствующие, например, длительности процесса обработки с учетом особенностей технологической обработки. Время и объем поставок сырья может меняться под влиянием различных факторов, а значит, необходимо предусмотреть способ представления в модели функции принятия решений о приоритетной загрузке. На некоторых этапах технологического маршрута сырье (полуфабрикаты) должно проходить контроль качества. Таким образом, в модели следует учесть процедуру контроля и изъятия сырья (полуфабрикатов), не соответствующих установленным нормам качества.

Для организации возможности учета выделенных особенностей задачи при построении модели аппарат теории СП необходимо дополнить рядом элементов. По аналогии с классическим определением СП, а также основываясь на элементах, введенных в аппараты представленных в литературе расширений, вводимая расширенная сеть Петри (РСП) также представляет собой двудольный ориентированный граф. Аналитически РСП может быть задана следующим образом:

$$C=(P,D,T,I(T),O(T),D(T),\mu_0),$$

где P – множество вершин-позиций сети (состояний), помещение фишки в которые соответствует выполнению условия, например, завершения какого-либо этапа обработки. Данное подмножество обязательно включает начальное состояние, именуемое также вершина-генератор, помещение фишки в которую соответствует событию поступления сырья в производство, а также финальную позицию сети – вершину-поглотитель. Фишки, поступающие в данную вершину, удаляются из модели (ситуация изъятия со склада готовой продукции);

D – множество решающих вершин-позиций. В вершины из данного подмножества фишки не могут быть помещены, но наличие исходящей из них дуги, направленной к переходу, дополняет условие срабатывания перехода некоторым правилом;

T – множество вершин-переходов. Каждый переход определен для технологической операции и остается возбужденным в течение заданного модельного времени;

$I(T)$, $O(T)$ – функции прямой и обратной инцидентности сети, задающие множество входных и выходных дуг перехода.

$D(T)$ – функция инцидентности для дуг, связывающих решающие вершины-позиции и вершины-переходы;

μ_0 – начальная разметка сети. Генерирование фишек осуществляется только в вершине-генераторе. В модели используются фишки двух типов: фишка первого типа соответствует партии сырья (полуфабриката) на некотором этапе технологического маршрута. Фишки второго типа используются при организации обратной связи в модели, например, при высвобождении оборудования. Понятие начальной разметки сети в рассматриваемой постановке задачи соответствует ситуации, когда свободны все единицы оборудования. Оборудование занято, если переход возбужден, а время возбуждения отлично от нуля (аналогично временным сетям Петри [1]).

Для сети справедливо: $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset, P \cap T \neq \emptyset$. В таблице 2 приведены определенные для РСР виды позиций и переходов, их графическое отображение и математическая запись.

Таблица 4 – Графическое отображение и математическая запись для элементов расширенной сети Петри

№ п/п	Элемент расширенной сети Петри	Графическое отображение элемента	Математическая запись
1	Вершина-генератор		p_i
2	Вершина-поглотитель		p_N
3	Состояние (всего в сети N)		p_i , где $i = \overline{2, N-1}$
4	Переход (всего в сети T)		t_j , где $j = \overline{1, T}$
5	Решающая вершина (всего в сети R)		d_k , где $k = \overline{1, R}$
6	Дуга		(p_i, t_j) или (t_j, p_i) или (d_k, t_j) , где $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, T}, k = \overline{1, R}$

Имитационное моделирование с использованием аппарата СП осуществляется путем сбора сведений о перемещениях фишек между вершинами графа. Период модельного времени от момента генерации фишки в вершине-генераторе до момента ее извлечения из модели в вершине-поглотителе в контексте рассматриваемой задачи соответствует временному интервалу между поступлением сырья на склад до изъятия со склада готовой продукции. В производственном процессе могут использоваться несколько типов сырья, для каждого из которых определен график поставок партиями. Учитывая специфику скоропортящегося сырья, в модели следует отслеживать партии сырья определенного типа, однородного по качеству, а также размер партии. По аналогии с описанным в литературе расширением СП – цветными СП [5] – было решено ввести для фишек первого типа два дополнительных параметра-характеристики: объем партии однородного по качеству сырья и состояние сырья. Учет данных параметров необходим для соблюдения требований к загрузке на обработку сырья однородного качества согласно производственным мощностям. В ходе имитационного моделирования происходит перемещение фишек от вершины-генератора к вершине-поглотителю через ряд вершин-состояний. Решающие вершины не используются в процессе движения фишек по сети. Включение решающих вершин в модель обусловлено необходимостью управлять движением фишек в зависимости от направления, продиктованного содержанием технологических маршрутов. Кроме того, результат срабатывания перехода и соответствующие изменения в маркировке могут зависеть от значений параметров фишек первого типа. На рисунке 1 представлен пример РСР для технологического процесса по переработке двух видов сырья. Путь по вершинам графа $p_1, t_1, p_2, t_2, p_3, t_3, p_4, t_4, p_{11}$ соответствует последовательности операций, выполняемых над сырьем первого типа согласно технологическому маршруту. Аналогично, путь $p_1, t_1, p_5, t_5, p_6, t_3, p_4, t_4, p_{11}$ определен для сырья второго типа. Переходы в рассматриваемой сети могут быть интерпретированы следующим образом: t_1 – прохождение контроля качества и распределение поступившего сырья на складе соответственно выявленным характеристикам, например, по виду сырья; t_2, t_4, t_5 – технологическая операция над сырьем первого типа; t_3 –

технологическая операция, включенная в технологические маршруты двух типов сырья, при этом имеет место конкурентный доступ сырья на обработку.

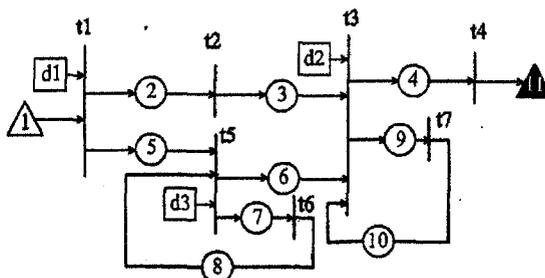


Рисунок 1 – Пример расширенной сети Петри

Последовательности t_5, p_7, t_6, p_8, t_5 и $t_3, p_9, t_7, p_{10}, t_3$ позволяют организовать обратную связь при высвобождении оборудования. Вершины d_1, d_2, d_3 связаны функциями прямой инцидентности с переходами t_1, t_3 и t_5 . Это означает, что возбуждение переходов и распределение фишек в их выходные позиции подчинено некоторым решающим правилам. В рассматриваемой сети использованы решающие вершины с различными правилами: d_1 – устанавливает правило для распределения фишек в одну из выходных позиций; d_2 – определяет порядок загрузки сырья из позиций p_3 или p_6 (при этом учитывается наличие фишки в позиции p_{10} , что свидетельствует о высвобождении оборудования, после возбуждения перехода t_3 фишка, соответствующая сырью, помещается в позицию p_4 , а фишка второго типа – в позицию p_9); d_3 – устанавливает правило возбуждения перехода t_5 с учетом обратной связи (распределение фишек в выходные позиции осуществляется аналогично вершине d_2). Прямая и обратная функции инцидентности для представленной на рисунке 1 РСП, а также функция инцидентности для решающих вершин заданы:

$$\begin{array}{llllll}
 I(t_1)=\{p_1\}; & I(t_5)=\{p_5, p_8\}; & O(t_1)=\{p_2, p_5\}; & O(t_5)=\{p_6, p_7\}; & D(t_1)=\{d_1\}; & D(t_5)=\{d_3\}; \\
 I(t_2)=\{p_2\}; & I(t_6)=\{p_7\}; & O(t_2)=\{p_3\}; & O(t_6)=\{p_8\}; & D(t_2)=\{\}; & D(t_6)=\{\}; \\
 I(t_3)=\{p_3, p_6, p_{10}\}; & I(t_7)=\{p_9\}; & O(t_3)=\{p_4, p_9\}; & O(t_7)=\{p_{10}\}; & D(t_3)=\{d_2\}; & D(t_7)=\{\}. \\
 I(t_4)=\{p_4\}; & & O(t_4)=\{p_{11}\}; & & D(t_4)=\{\}. &
 \end{array}$$

Помимо аналитического и графического способа задания СП широко используется матричный способ:

$$C=(P, D, T, M^I, M^O, M^O, \mu^O),$$

где P – вектор-столбец N вершин-позиций за исключением решающих вершин;
 D – вектор-столбец R решающих вершин-позиций;
 T – вектор-столбец переходов сети;
 M^I, M^O – матрицы прямой и обратной инцидентности, задающие связи между позициями и переходами за исключением решающих вершин-позиций. Матрица инцидентности сети $M = M^O - M^I$, элементы которой равны:

$$M[i, j] = \begin{cases} -1, & \text{где есть дуга из } p_i \text{ в } t_j; \\ 0, & \text{где нет дуги между } p_i \text{ и } t_j; \\ 1, & \text{где есть дуга из } t_j \text{ в } p_i. \end{cases}$$

Для сети, представленной на рисунке 1, данные матрицы имеют вид:

$$M = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

M^D – матрица инцидентности, задающая связи между решающими вершинами и переходами. Элемент $M^D[i,j]$ может принимать значение 0 и 1. Представленная на рисунке 1 матрица M^D имеет вид:

$$M^D[i,j] = \begin{cases} 1, & \text{где есть дуга из } d_i \text{ в } t_j, \\ 0, & \text{где нет дуги между } d_i \text{ и } t_j; \end{cases} \quad M^D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

μ^0 – вектор-столбец, определяющий начальную разметку сети.

Таким образом, модель процессов, связанных с организацией технологической обработки скоропортящегося сырья, может быть описана в рамках предложенной модификации теории СП. Однако осуществлению имитационного моделирования на ее основе должен предшествовать анализ свойств полученной модели.

СВОЙСТВА РАСШИРЕННОЙ СЕТИ ПЕТРИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Разработанная математическая модель может быть использована в ходе имитационного эксперимента. Ввиду того, что его проведение и обработка полученных данных могут быть как протяженными во времени, так и дорогостоящими, организацию эксперимента следует осуществлять после проверки качества построенной модели для минимизации ошибок в данных, полученных в ходе эксперимента. В литературных источниках, посвященных теории СП и практике их применения в моделировании, исследователи выделяют ряд свойств [1], присущих СП. Учитывая особенности рассматриваемой задачи в ходе построения модели загрузки оборудования скоропортящимся сырьем в рамках теории СП, необходимо установить, какие свойства присущи сети, построенной в терминах предложенной РСП. Ниже представлен перечень основных свойств, присущих СП и ее расширениям [1], [5], а также обоснована целесообразность проведения обязательной проверки указанных свойств для рассматриваемой РСП.

Маркировка μ' достижима из некоторой маркировки μ , если для данной СП возможно указать последовательность срабатывания переходов, которая переводит маркировку μ в маркировку μ' . Сеть обладает свойством живости, если все переходы сети являются потенциально живыми в любой достижимой маркировке, т.е. для каждого перехода существует хотя бы одна последовательность запусков, приводящая к его возбуждению. Маркировка сети тупиковая, если она t -тупиковая для всех переходов сети. Сеть не содержит t -тупиков, если каждый переход является потенциально живым. Сеть безопасна, если безопасны все ее позиции. Позиция сети безопасна при заданной начальной маркировке μ^0 , если в процессе работы этой сети в данной позиции никогда не появится более одной фишки. Сеть k -ограничена в заданной начальной маркировке μ^0 , если в процессе работы этой сети в каждой из позиций никогда не появится более k -фишек. Сеть обладает свойством консервативности, если в ней сохраняется взвешенная сумма фишек относительно определенного весового вектора w с натуральными компонентами: $w\mu = w\mu^0 = \text{const}$. Если существует последовательность запуска переходов, которая может быть запущена произвольное количество раз, то сеть повторяема. Если такая последовательность приводит сеть в исходную маркировку, то сеть обладает свойством стационарной повторяемости. Сеть

устойчива, если для двух любых разрешенных переходов запуск одного из них не приводит к запрету срабатывания другого. Сеть обратима, если для маркировки μ , достижимой из μ^0 , а из μ^0 достижима μ . Сеть также может включать состояние приема, если есть такая маркировка, которая достижима из любой достижимой маркировки сети.

Применительно ко введенной РСП при построении математической модели загрузки оборудования с учетом специфики сырья необходимо исследование на следующие свойства: достижимость маркировки (для установления возможности прохождения фишек по путям, соответствующим технологическим маршрутам), живость (для исключения из сети избыточных или же приводящих сеть в тупик переходов), беступиковость маркировки. Исследование сети на устойчивость также обязательно и производится с учетом правил, задаваемых решающими вершинами. Свойство стационарной повторяемости для рассматриваемой РСП может быть интерпретировано как наличие пути (путей) переходов, срабатывание которых приведет к установлению фишек второго типа в начальную маркировку μ^0 . Расположение фишек первого типа при этом не учитывается, т.к. их движение по сети соответствует движению сырья по технологическому маршруту, а значит, они не могут повторяться для одной и той же партии. Аналогично нецелесообразно проводить исследование на обратимость сети. Анализ на повторяемость также не несет существенных для моделирования сведений для данной задачи. Условие, определяемое свойством безопасности, не может быть соблюдено для предложенной РСП ввиду специфики моделируемого процесса. Так, фишка в некоторой позиции означает наличие партии сырья (полуфабриката) на некотором этапе обработки, при этом в модели должна быть учтена возможность хранения сырья (полуфабрикатов), а значит, на некоторых этапах фишки могут накапливаться. Условие ограниченности, аналогично условию безопасности, не может быть строго выполнено для рассматриваемой задачи во многом потому, что поставки скоропортящегося сырья распределены во времени, а количество и объем партий, и реальное время поступления сырья связаны с рядом внешних факторов. Исследование сети на консервативность нецелесообразно для решаемой задачи загрузки оборудования ввиду того, что назначение разрабатываемой модели состоит в выявлении «узких» мест в организации технологических процессов, а количество партий сырья, отображаемых в сети фишками первого типа, не может быть известно заранее. Движение и накопление в вершинах-позициях P данных фишек исследуется в ходе модельного эксперимента. В общем случае модель должна учитывать несколько технологических маршрутов, а значит, указание некоторого состояния, достижимого из любой маркировки, невозможно. Следовательно, рассматриваемая РСП, не обладает состоянием приема в общем случае.

Выводы относительно выделенных для обязательного исследования свойств РСП можно сделать на основе дерева достижимости сети, которое представляет собой граф, где вершины соответствуют достижимым разметкам сети в результате срабатывания перехода (цепочки переходов) из множества T . Для введенной РСП алгоритм построения дерева достижимости [1] должен учитывать также правила, определяемые решающими вершинами из множества D и устанавливающие порядок смены маркировок при возбуждении связанных с такими вершинами переходов.

На рисунке 2 представлено дерево достижимости РСП для начальной μ^0 , соответствующей ситуации, когда сырье еще не поступило на склад предприятия (фишки первого типа отсутствуют), а все единицы оборудования готовы к загрузке (фишки второго типа установлены в позиции p_8 и p_{10}). Дуги с наименованиями $+\Phi$ и $-\Phi$ обозначают событие генерации фишки в сети в вершине p_1 (поступление партии сырья на склад) и удаление из сети фишки в позиции p_{11} (соответствующей завершению технологического процесса для партии сырья). Дуги в виде сплошных стрелок с наименованиями t_j ($j = \overline{1, T}$) указывают на переходы, возбуждение которых приводит к смене маркировки сети. Дуги с аналогичными наименованиями в виде пунктирных стрелок указывают на то, что маркировка после срабатывания перехода эквивалентна одной из уже представленных в дереве достижимости маркировок. Это обусловлено стремлением избежать избыточности и соблюдения правил

построения для дерева достижимости. Очевидно, что распределенное во времени поступление партий сырья в сети представляется как генерация фишки в вершине p_1 и приводит к изменению текущей разметки сети. Однако движение фишек по сети единообразно и не зависит от времени генерации. В случае накопления фишек первого типа в некоторых вершинах их множества P в маркировке появляются значения, превышающие единицу.

Построенное дерево достижимости позволяет провести анализ свойств рассматриваемой РСП. Данная сеть обладает свойствами живости (для каждого перехода существует хотя бы 1 путь, ведущий к его возбуждению) и беззупиковости. Сеть устойчива, а срабатывание переходов, характеризующихся потенциальной возможностью конфликта t_1, t_3, t_5 , регулируется решающими вершинами d_1, d_2, d_4 . Анализ дерева достижимости также показал перечень всех достижимых маркировок при генерации одной фишки первого типа и пути переходов, для каждого их моделируемых технологических маршрутов приводящие к маркировкам, характеризующимся наличием фишки первого типа в вершине-поглотителе, а значит, каждая генерируемая фишка может достигнуть финальной вершины и быть изъята из сети. При этом сеть стационарно повторяема относительно разметки μ^0 (в направлении движения фишек второго типа) следовательно, движение вновь генерируемых фишек может производиться теоретически неограниченное число раз.

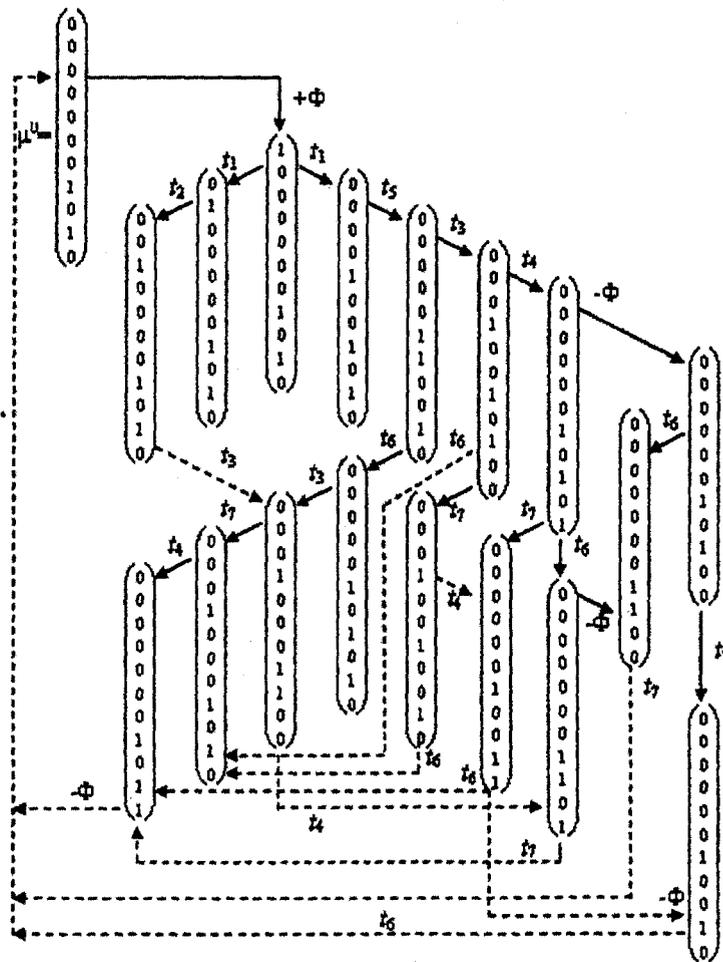


Рисунок 2 – Дерево достижимости расширенной сети Петри для разметки μ^0

Следует отметить, что при разработке моделей более сложных по структуре технологических процессов исследование свойств получаемой сети путем построения дерева достижимости графическим методом нецелесообразно. Недостатки графического метода могут быть решены путем автоматизации построения такого дерева на основе матричного задания РСП. В ходе алгоритмических вычислений над определенными для сети векторами и матрицами может быть использовано следующее равенство [1], [4]:

$$\mu' = \mu^0_s + M \cdot t',$$

где μ^0_s – вектор-столбец, содержащий разметку сети после генерации фишки первого типа;
 t' – вектор-столбец, содержащий число срабатываний для каждого перехода из множества T на пути к разметке μ' (если μ' недостижима из μ^0_s , элементы t' равны 0);
 μ' – вектор-столбец, содержащий некоторую разметку сети;
 M – матрица инцидентности сети.

Определим, достижима ли разметка μ' из μ^0_s для рассматриваемой РСП:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} -x_1 = -1, \\ x_1 - x_2 = 0, \\ x_2 - x_3 = 0, \\ x_3 - x_4 = 0, \\ x_1 - x_5 = 0, \\ -x_3 + x_5 = 0, \\ x_5 - x_6 = 0, \\ -x_5 + x_6 = 0, \\ x_3 - x_7 = 1, \\ -x_3 + x_7 = -1, \\ x_4 = 1; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1, \\ x_2 = 1, \\ x_3 = 1, \\ x_4 = 1, \\ x_5 = 1, \\ x_6 = 1, \\ x_7 = 0. \end{cases}$$

Так, разметка μ' достижима из μ^0_s в результате срабатывания переходов $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$. Переход t_7 не задействован в цепочке. Учитывая, что разрабатываемая модель ориентирована на технологические процессы, часть которых может протекать параллельно, а часть операций совпадать, получение цепочки переходов должно быть проанализировано с этой точки зрения. Так, для одной фишки первого типа в ходе ее движения из переходов цепочки $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ возможно выделение двух маршрутов. Срабатывание всех переходов в этом случае исключается (из-за решающего правила d_1). Таким образом, можно сделать вывод, что разметка μ' достижима из μ^0_s вследствие двух вариантов последовательностей срабатывания переходов: t_1, t_2, t_3, t_4 и t_1, t_5, t_6, t_4 . Следует отметить, что при данном методе исследования порядок возбуждения переходов в цепочке не учитывается.

На основе указанных взаимосвязей может быть разработан алгоритм построения дерева достижимости и проверки свойств соответствующей РСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты анализа специфики задачи загрузки оборудования скоропортящимся сырьем показали необходимость учета данных особенностей при решении данной задачи. В ходе исследования было выявлено, что данное решение может быть получено путем моделирования технологических процессов, при этом целесообразно использовать расширенный аппарат сетей Петри. Предложенная РСП обладает необходимым рядом описательных возможностей для моделирования технологических процессов в выделенном классе задач, а применение рассмотренного подхода к их решению позволит повысить эффективность плана загрузки оборудования скоропортящимся сырьем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с., ил.
2. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. 7-е издание: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
3. Буханько А.Н., Дуравкин Е.В. Применение нечеткой логики в управляющих переходах E-сетей // Системы обработки информации. – Х.: ХНУРЭ, 2008. – № 3(70). – С. 44-48.
4. Дуравкин Е.В., Амер Таксин Каламех Абу Джаккар. Использование аппарата E-сетей для анализа распределенных программных систем // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХНТУ, 2005. – № 1(15) – С. 47-51.
5. Моделирование систем [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sardismusic.com/topics/t10.html> (дата обращения: 25.03.2012).

Савва Татьяна Юрьевна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
Аспирантка кафедры «Информационные системы»
Тел.: 8 953 620 14 80
E-mail: t.savva@mail.ru

T.Yu. SAVVA (*Post Graduate Student of the Department of «Informational Systems»*)
State University – ESPC, Orel

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR DOWNLOAD EQUIPMENT
AT THE PLANT FOR THE PROCESSING OF PERISHABLE MATERIALS**

In given article authors shine a problem of taking into account the specifics of the organization of download equipment of perishable materials during the modeling of technological processes at the plant. It suggests using of advanced machine of the Petri nets as a possible solution to the problem.

Keywords: *modelling; the task of download equipment; Petri nets.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Piterson Dzh. Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem: per. s angl. – М.: Mir, 1984. – 264 s., il.
2. Таха, Хемди А. Vvedenie v issledovanie operacij. 7-e izdanie: per. s angl. – М.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2005. – 912 s.
3. Buxan'ko A.N., Duravkin E.V. Primenenie nechotkoj logiki v upravlyayushhix perexodax E-setej // Sistemy obrabotki informacii. – Х.: XNURE', 2008. – № 3(70). – S. 44-48.
4. Duravkin E.V., Amer Taksin Kalamex Abu Dzhakkar. Ispol'zovanie apparata E-setej dlya analiza raspredelyonny'x programmny'x sistem // Avtomatika. Avtomatizaciya. E'lektrotexnicheskie komplekсы i sistemy'. – Хerson: XNTU, 2005. – № 1(15) – S. 47-51.
5. Modelirovanie sistem [E'lektronny'j resurs] – URL: <http://www.sardismusic.com/topics/t10.html> (data obrashheniya: 25.03.2012).

С.Н. ЧУКАНОВ, А.А. КОБЛИК

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ СПЛАЙНОВ ДЛЯ МНОГООБРАЗИЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ ЕВКЛИДОВОЙ ГРУППОЙ

В работе предложен метод формирования интерполяционных сплайнов для точек многообразий, являющихся элементами однопараметрических групп Ли $SO(3)$ и $SE(3)$. Метод основан на алгоритме de Casteljau формирования сегмента кубического сплайна для левых групп.

Ключевые слова: интерполяционный сплайн; алгоритм de Casteljau; группа Ли; винтовое движение твердого тела.

ВВЕДЕНИЕ

Задачи интерполяции, имеющие применения в робототехнике, механике движения твердого тела, компьютерной графике и САПР, могут быть сформулированы на многообразиях, представляемых группами Евклида [4], которые используются для винтового движения твердого тела. В работе рассмотрено распространение алгоритма de Casteljau, используемого для интерполяции полиномиальными сплайнами точек евклидового пространства \mathbf{R}^3 [3], на методы формирования интерполяционных сплайнов для многообразий, представляемых специальными евклидовыми группами $SE(3)$.

Алгоритм de Casteljau формирования сегмента кубического сплайна по точкам евклидового пространства $\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3 \in \mathbf{R}^3$ заключается в последовательном построении линейных функций [2]:

$$\mathbf{b}_0^1(t) = (1-t)\mathbf{b}_0 + t\mathbf{b}_1; \quad \mathbf{b}_1^1(t) = (1-t)\mathbf{b}_1 + t\mathbf{b}_2; \quad \mathbf{b}_2^1(t) = (1-t)\mathbf{b}_2 + t\mathbf{b}_3,$$

квадратичных полиномов: $\mathbf{b}_0^2(t) = (1-t)\mathbf{b}_0^1(t) + t\mathbf{b}_1^1(t); \quad \mathbf{b}_1^2(t) = (1-t)\mathbf{b}_1^1(t) + t\mathbf{b}_2^1(t)$ и результирующей кубической функции сегмента сплайна: $\mathbf{s}(t) = \mathbf{b}_0^3(t) = (1-t)\mathbf{b}_0^2(t) + t\mathbf{b}_1^2(t); \quad \mathbf{s}(0) = \mathbf{b}_0; \mathbf{s}(1) = \mathbf{b}_3.$

В случае формирования гладкой кривой $\mathbf{s}(t): t \rightarrow \mathbf{R}^3; t \in [t_0, t_m] \in \mathbf{R}$, для которой выполняются условия интерполяции в моменты времени $t_i; i = 0, 1, \dots, m; t_i < t_{i+1}; t_i, t_{i+1} \in [t_0, t_m]$ в форме

$$\mathbf{s}(t_i) = \mathbf{p}_i; \quad \dot{\mathbf{s}}(t_i) = \mathbf{v}_i, \quad (1)$$

можно применить алгоритм, предложенный в [6], который определяет кривую сплайна $s_i(t) \in \mathbf{R}^3$, соединяющую точки $\mathbf{p}_i(t=0)$ и $\mathbf{p}_{i+1}(t=1)$. Для этого формируются точки $\mathbf{b}_0 = \mathbf{p}_i, \mathbf{b}_1 = \mathbf{p}_i + \mathbf{v}_i, \mathbf{b}_2 = \mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{v}_{i+1}, \mathbf{b}_3 = \mathbf{p}_{i+1}$, определяются линейные компоненты сегмента сплайна:

$$\mathbf{l}_i(t) = (1-t)\mathbf{b}_0 + t\mathbf{b}_1; \quad \mathbf{c}_i(t) = (1-t)\mathbf{b}_0 + t\mathbf{b}_3; \quad \mathbf{r}_i(t) = (1-t)\mathbf{b}_2 + t\mathbf{b}_3,$$

квадратичные полиномы: $\mathbf{a}_i(t) = (1-t)\mathbf{l}_i(t) + t\mathbf{c}_i(t); \quad \mathbf{\beta}_i(t) = (1-t)\mathbf{c}_i(t) + t\mathbf{r}_i(t)$, для формирования кубического сплайна: $\mathbf{s}_i(t) = (1-t)\mathbf{a}_i(t) + t\mathbf{\beta}_i(t)$. Результирующий сплайн $\mathbf{s}(t): \mathbf{s}(t) = \mathbf{s}_i\left(\frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}\right), t \in [t_i, t_{i+1}]$ в моменты времени t_i удовлетворяет условиям (1).

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ СПЛАЙНОВ ДЛЯ МНОГООБРАЗИЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ ЕВКЛИДОВОЙ ГРУППОЙ

Алгоритм de Casteljau может быть распространен на методы формирования интерполяционных сплайнов для многообразий, представляемых группами Ли [1, 5]. Если

многообразие – компактная и связная группа Ли G с инвариантными римановыми метриками, то геодезические этого многообразия выражаются через однопараметрические подгруппы. Группой будем считать множество с бинарной операцией умножения "o", определенной на элементах группы, если выполняются аксиомы: (1) если $g_1, g_2 \in G$, то $g_1 \circ g_2 \in G$; (2) существует такой элемент e , что: $g \circ e = e \circ g = g; \forall g \in G$; (3) существует обратный (инверсный) элемент $g^{-1} \in G$ такой, что: $g \circ g^{-1} = g^{-1} \circ g = e$. Группа, которая является конечномерным вещественным гладким многообразием и в которой групповые операции умножения и инверсии гладких отображений являются гладкими отображениями, называется вещественной лиевой группой. Алгебру лиевой группы G будем обозначать символом \mathfrak{g} .

Определим специальную евклидову группу

$$SE(3) = \{(\mathbf{d}, \mathbf{R}) : \mathbf{d} \in \mathbf{R}^3; \mathbf{R} \in SO(3)\} = \mathbf{R}^3 \times SO(3)$$

с элементами:

$$g = (\mathbf{d}, \mathbf{R}) = \begin{pmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{d} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \in SE(3); \mathbf{R} \in SO(3); \mathbf{d} \in \mathbf{R}^3, \quad (2)$$

где \mathbf{d} – положение центра твердого тела в евклидовом пространстве \mathbf{R}^3 ; группа $SO(3)$: $SO(3) = \{\mathbf{R} \in \mathbf{R}^{3 \times 3} : \mathbf{R}\mathbf{R}^T = \mathbf{I}, \det \mathbf{R} = +1\}$ с элементами – трехмерными матрицами поворота \mathbf{R} от пространственной системы координат к системе координат, связанной с твердым телом; операцией $g_1 \circ g_2 = \begin{pmatrix} \mathbf{R}_1 & \mathbf{d}_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} \mathbf{R}_2 & \mathbf{d}_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{R}_1\mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_1\mathbf{d}_2 + \mathbf{d}_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \in SE(3)$ и обратным элементом:

$$g^{-1} = \begin{pmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{d} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \mathbf{R}^T & -\mathbf{R}^T\mathbf{d} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \in SE(3).$$

Элементы алгебры $\mathfrak{se}(3)$ могут быть представлены в форме:

$$\hat{\xi} = \begin{pmatrix} \hat{\omega} & \mathbf{v} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \in \mathfrak{se}(3); \hat{\omega} \in \mathfrak{so}(3); \mathbf{v} \in \mathbf{R}^3, \quad \text{где введен оператор}$$

$$\hat{\omega} : \hat{\omega} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{pmatrix} \in \mathfrak{so}(3); \omega \in \mathbf{R}^3; \text{ алгебра } \mathfrak{so}(3) \text{ – алгебра кососимметрических}$$

$$\text{матриц } \mathfrak{so}(3) = \{S \in \mathbf{R}^{3 \times 3} : S^T = -S\}.$$

Тогда экспоненциальное отображение $\exp_{SE(3)}(\mathbf{X}) \in SE(3)$; $\mathbf{X} = (\hat{\psi}, \mathbf{q}) \in \mathfrak{se}(3)$ имеет вид [4]:

$$\exp_{SE(3)}(\hat{\psi}) = \begin{pmatrix} \exp_{SO(3)}(\hat{\psi}) & A(\hat{\psi})\mathbf{q} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $\exp_{SO(3)}(\hat{\omega}) = \mathbf{I} + \|\omega\|^{-1} \sin(\|\omega\|)\hat{\omega} + \|\omega\|^{-2} (1 - \cos(\|\omega\|))\hat{\omega}^2 \in SO(3)$; $\hat{\omega} \in \mathfrak{so}(3); \omega \in \mathbf{R}^3$, где $\|\omega\|$ – евклидова норма вектора ω -угловой скорости вращения относительно пространственной системы координат;

$$A(\hat{\psi}) = \mathbf{I} + \|\psi\|^{-2} (1 - \cos(\|\psi\|))\hat{\psi} + \|\psi\|^{-3} (\|\psi\| - \sin(\|\psi\|))\hat{\psi}^2 \in SO(3); \quad \hat{\psi} \in \mathfrak{se}(3); \quad \psi \in \mathbf{R}^3;$$

логарифмическое отображение $\log_{SE(3)}(\mathbf{R}, \mathbf{p}) \in \mathfrak{se}(3)$:

$$\log_{SE(3)}(\mathbf{R}, \mathbf{p}) = \begin{pmatrix} \hat{\Psi} & A^{-1}(\hat{\Psi})\mathbf{p} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \hat{\Psi} = \log_{SO(3)}(\mathbf{R}),$$

где: $\log_{SO(3)}(\mathbf{R}) = 0,5\phi \cdot \operatorname{cosec}(\phi)(\mathbf{R} - \mathbf{R}^T) \in so(3)$; $\mathbf{R} \in SO(3)$; $\cos(\phi) = 0,5(\operatorname{trace}(\mathbf{R}) - 1)$; $|\phi| < \pi$; $\operatorname{trace}(\mathbf{R}) \neq -1$; $A^{-1}(\hat{\Psi}) = \mathbf{I} - 0,5\hat{\Psi} + (1 - 0,5\|\Psi\| \cdot \cot(0,5\|\Psi\|))\|\Psi\|^{-2}\hat{\Psi}^2$; $\|\Psi\| \neq 0$.

Рассмотрим метод формирования сегмента сплайна – функции $s_i(t)$, который соединяет две точки $g_i(t=0)$ и $g_{i+1}(t=1)$ в группе $SE(3)$; $g_i, g_{i+1} \in SE(3)$ со скоростями:

$$\dot{g}_i = \hat{\xi}_i g_i; \quad \dot{g}_{i+1} = \hat{\xi}_{i+1} g_{i+1}; \quad \hat{\xi}_i, \hat{\xi}_{i+1} \in \mathfrak{se}(3); \quad \hat{\xi} = \begin{pmatrix} \hat{\omega} & \mathbf{v} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \in \mathfrak{se}(3). \quad (4)$$

Для этого сформируем компоненты сегмента:

$$l_i(t) = \exp_{SE(3)}(t \cdot \hat{\xi}_i) g_i; \quad c_i(t) = \exp_{SE(3)}(t \cdot \varepsilon_i) g_i; \quad r_i(t) = \exp_{SE(3)}((t-1)\hat{\xi}_{i+1}) g_{i+1}.$$

удовлетворяющие граничным условиям: $l_i(0) = g_i, \quad l_i(1) = \exp_{SE(3)}(\hat{\xi}_i) g_i, \quad \dot{l}_i(0) = \hat{\xi}_i g_i, \quad \dot{l}_i(1) = \hat{\xi}_i \exp_{SE(3)}(\hat{\xi}_i) g_i;$ $c_i(0) = g_i, \quad c_i(1) = g_{i+1}; \quad \dot{c}_i(0) = \varepsilon_i g_i, \quad \dot{c}_i(1) = \varepsilon_i \exp_{SE(3)}(\varepsilon_i) g_i;$ $r_i(0) = \exp_{SE(3)}(-\hat{\xi}_{i+1}) g_{i+1}, \quad r_i(1) = g_{i+1}; \quad \dot{r}_i(0) = \hat{\xi}_{i+1} \exp_{SE(3)}(-\hat{\xi}_{i+1}) g_{i+1}, \quad \dot{r}_i(1) = \hat{\xi}_{i+1} g_{i+1},$ где

$$\varepsilon_i = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{i+1} \mathbf{R}_i^T & \mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathfrak{se}(3). \quad (5)$$

Определим функции:

$$a_i(t) = \exp_{SE(3)}(t \cdot \log_{SE(3)}(c_i(t) l_i^{-1}(t))) l_i(t); \quad b_i(t) = \exp_{SE(3)}(t \cdot \log_{SE(3)}(r_i(t) c_i^{-1}(t))) c_i(t),$$

с граничными условиями: $a_i(0) = b_i(0) = g_i; \quad a_i(1) = b_i(1) = g_{i+1}; \quad \dot{a}_i(0) = \hat{\xi}_i g_i; \quad \dot{a}_i(1) = \hat{\xi}_i \exp_{SE(3)}(\hat{\xi}_i) g_i; \quad \dot{b}_i(0) = \hat{\xi}_i g_i; \quad \dot{b}_i(1) = \hat{\xi}_{i+1} g_{i+1}.$

Сегмент сплайна определяется из соотношения:

$$s_i(t) = \exp_{SE(3)}(t \cdot \log_{SE(3)}(b_i(t) a_i^{-1}(t))) a_i(t). \quad (6)$$

Кривая $s_i(t)$ удовлетворяет граничным условиям:

$$s_i(0) = g_i, \quad s_i(1) = g_{i+1}; \quad \dot{s}_i(0) = \hat{\xi}_i g_i, \quad \dot{s}_i(1) = \hat{\xi}_{i+1} g_{i+1}.$$

Результирующий сплайн может быть представлен в форме: $s(t) = s_i((t-t_i)(t_{i+1}-t_i)^{-1})$; $t \in [t_i, t_{i+1}], i = 0, 1, \dots, m-1$, который в контрольных точках удовлетворяет условиям $s(t_i) = g_i; \quad \dot{s}(t_i) = \hat{\xi}_i g_i; \quad i = 0, 1, \dots, m$.

ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧЕК СПЛАЙНА ДЛЯ МНОГООБРАЗИЯ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОГО ГРУППОЙ $SE(3)$

Рассмотрим пример формирования точек сегмента сплайна для многообразия, представляемого группой $SE(3)$, который соединяет две точки

$$g_i(t=0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad g_i(t=1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{со} \quad \text{скоростями}$$

$$\dot{g}_i(t=0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \pi/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\pi/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \dot{g}_{i+1}(1) = \begin{pmatrix} 0 & \pi/2 & 0 & 0 \\ -\pi/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

В таблице 1 приведены значения элементов группы $SE(3)$ – матриц винтового движения для различных значений параметра t функции сегмента сплайна.

Таблица 1 – Значения элементов группы $SE(3)$

t	$g \in SE(3)$
0	$g(0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
0,25	$g(0,25) = \begin{pmatrix} 0,9906 & 0,1353 & 0,0218 & 0,688 \\ -0,1370 & 0,9813 & 0,1353 & 0,141 \\ 0,5217 & -0,1370 & 0,9906 & 0,047 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
0,5	$g(0,5) = \begin{pmatrix} 0,7904 & 0,5306 & -0,3062 & 0 \\ -0,3211 & 0,7844 & 0,5306 & 0,125 \\ 0,5217 & -0,3211 & 0,7904 & 0,125 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
0,75	$g(0,75) = \begin{pmatrix} 0,2720 & 0,9043 & 0,0218 & -0,688 \\ -0,1851 & 0,3848 & 0,9043 & 0,047 \\ 0,5217 & -0,1851 & 0,2720 & 0,141 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
1	$g(1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен метод формирования интерполяционных сплайнов для многообразий, представляемых евклидовыми группами $SE(3)$. В работе [3] представлены методы вычисления экспоненциальных отображений для элементов лиевых алгебр $so(n) \rightarrow SO(n)$, $se(n) \rightarrow SE(n)$ и логарифмических отображений для элементов лиевых групп $SO(n) \rightarrow so(n)$, $SE(n) \rightarrow se(n)$ при значениях $n > 3$. Поэтому метод формирования интерполяционных сплайнов для многообразий, представляемых евклидовыми группами $SE(3)$, может быть распространен на группы $SE(n)$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 10-07-00032а и № 11-08-01349а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Crouch P., Kun G., Leite F. The De Casteljau algorithm on Lie groups and spheres // J.Dynam.Control Systems, 1999. – Vol. 5. – № 3. – P. 397-429.
2. Farin Gerald. Curves and surfaces for CAGD // Academic Press Inc, 2002.
3. Gallier J., Xu D. Computing exponentials of skew-symmetric matrices and logarithms of orthogonal matrices. //Int.Journ.of Robotics and Automation, 2002. – Vol. 17. – № 4. – P. 1-11.
4. Murray R.M., Li Z., Sastry S.S. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation – CRC Press, 1994.
5. Park F.C., Ravani B. Bezier curves on Riemannian manifolds and Lie groups with kinematics applications // ASME J. Mechanical Design, 1995. – Vol. 117. – № 1. – P. 36-40.
6. Rodrigues R., Leite F., Jakubiak J. A new geometric algorithm to generate smooth interpolating curves on riemannian manifolds // LMS J.Comp.Math., 2005. – Vol. 8. – P. 251-266.

Чуканов Сергей Николаевич

Омский филиал Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Омск
 Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, профессор
 Тел.: 8 (3812) 97-22-51
 E-mail: ch_sn@mail.ru

Коблик Андрей Александрович

ФГБОУ ВПО «Сибирская автомобильно-дорожная академия», г. Омск
 Аспирант
 Тел.: 8 (3812) 60-55-50
 E-mail: dron_as87@mail.ru

S.N. CHUKANOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Leading Research Associate*)
Sobolev Institute of Mathematics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Omsk

A.A. KOBLIK (*Post Graduate Student*)
Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk

**FORMING THE INTERPOLATION SPLINE FOR THE POINTS OF THE MANIFOLDS, WHICH
 ARE ELEMENTS OF ONE-PARAMETER LIE GROUPS**

A method of forming the interpolation spline for the points of the manifolds, which are elements of one-parameter Lie groups, is proposed in the paper. The method is based on de Casteljau algorithm for formation of cubic spline segments for Lie groups.

Keywords: *interpolation spline; algorithm de Casteljau; Lie group; screw motion of rigid body.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Crouch P., Kun G., Leite F. The De Casteljau algorithm on Lie groups and spheres // J.Dynam.Control Systems, 1999. – Vol. 5. – № 3. – P. 397-429.
2. Farin Gerald. Curves and surfaces for CAGD // Academic Press Inc, 2002.
3. Gallier J., Xu D. Computing exponentials of skew-symmetric matrices and logarithms of orthogonal matrices. //Int.Journ.of Robotics and Automation, 2002. – Vol. 17. – № 4. – P. 1-11.
4. Murray R.M., Li Z., Sastry S.S. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation – CRC Press, 1994.
5. Park F.C., Ravani B. Bezier curves on Riemannian manifolds and Lie groups with kinematics applications // ASME J. Mechanical Design, 1995. – Vol. 117. – № 1. – P. 36-40.
6. Rodrigues R., Leite F., Jakubiak J. A new geometric algorithm to generate smooth interpolating curves on riemannian manifolds // LMS J.Comp.Math., 2005. – Vol. 8. – P. 251-266.

В.В. ВЛАСОВ, А.В. КОСЬКИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАКРОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Для организации управления системами, в которых важную роль играет обмен информацией между ее частями, требуется разработка модели, учитывающая свойства информации как ресурса; в частности, составить уравнения баланса. В статье с учетом ряда ограничений представлен вариант такой модели применительно к процессу обучения студентов.

Ключевые слова: моделирование процесса передачи информации; макросистемный подход; образовательная система; научно-образовательный комплекс.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в различных сферах деятельности функционируют сложные организационно-технические системы. Одним из классов таких систем являются научно-образовательные комплексы (НОК). Для эффективного управления подобными комплексами необходима модель объекта управления, без которой нельзя построить эффективную автоматизированную систему управления.

Моделирование осложняется тем, что образовательные комплексы представляют собой сложные гетерогенные системы, причем различные подсистемы описываются с помощью принципиально разных математических подходов.

Подсистема – набор объектов, обеспечивающих некоторую функциональность и взаимодействующих между собой в соответствии с их интерфейсами.

Важнейшей подсистемой НОК является «Образование», состоящая из нескольких блоков: «Преподаватели», «Студенты», «Абитуриенты», «Образовательная деятельность».

Для моделирования особенностей работы и взаимодействия этих блоков необходим анализ процесса передачи информации от источника информации (обучающих) к потребителям (обучаемым).

Моделированием процесса передачи информации в экономических макросистемах занимались С.А. Амелькин, О.С. Иванова и другие авторы [1]. Известны попытки применить подобные подходы для моделирования образовательных систем [2], [3], однако эти исследования отличаются недостаточной полнотой, не раскрывают сущности процесса обучения и не направлены на создание в перспективе автоматизированных систем поддержки принятия решений как компонента АСУ НОК.

В экономических макросистемах протекают процессы обмена ресурсами, подчиняющиеся закону сохранения: общий запас ресурса в замкнутой системе во времени не изменяется. Это означает, что в ходе ресурсообмена между двумя подсистемами А и В запасы ресурсов N_A и N_B связаны соотношением:

$$\frac{dN_A}{dt} = -\frac{dN_B}{dt} \quad (1)$$

Однако существует ресурс, для которого уравнение (1) не выполняется: этот ресурс – информация. Действительно, если подсистема А передает информацию подсистеме В, то запас информации у А не уменьшается, а у В – растет. Вместе с тем, общее количество семантической информации в системе остается неизменным, изменяется только распределение информации по подсистемам. Далее рассмотрена математическая модель системы обучения студентов, в которой происходит обмен информацией и предложены

показатели эффективности передачи информации, учитывающие ограничение на продолжительность процесса обмена.

МАКРОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА

Рассмотрим систему, состоящую из ряда подсистем, причем внутри каждой из подсистем процессов обмена ресурсами не наблюдается. Подсистемы могут быть однородными или состоять из элементов, находящихся между собой в состоянии равновесия при любом изменении запасов ресурсов. Такая система называется макросистемой.

Введем ряд ограничений на систему.

- 1) Будем рассматривать две подсистемы:
 - «Преподаватель» (подсистема А);
 - «Студент» (подсистема В).
- 2) Подсистемы могут обмениваться информацией только в направлении от преподавателя к студенту.
- 3) Предполагаем систему замкнутой; в такой системе не существует обмена ресурсами с ее окружением.
- 4) В модельном описании используются абстрактные модели обучающего и обучаемого, не учитывающие ряда их существенных свойств.
- 5) Априори предполагается, что все обучаемые заинтересованы в максимальном усвоении передаваемых им знаний.
- 6) Учебный материал считается в среднем однородным по сложности.

Каждая из подсистем заинтересована в решении определенных задач и характеризуется функцией P , описывающей результативность решения (экономический эффект, вероятность решения задачи и т.д.) в зависимости от имеющейся у подсистемы информации. В зависимости от вида этой функции подсистема заинтересована в передаче, получении или охране информации от другой подсистемы.

Пусть подсистема A передает информацию подсистеме B . Объем информации, находящийся в распоряжении подсистем, можно разделить на:

- информацию, которая имеется только у подсистемы $i (i \in \{A; B\})$, обозначим запас такой информации K_i ;
- информацию, переданную подсистеме B ; обозначим количество этой информации $-J_A$;
- информацию, которая воспринята подсистемой B (обозначим количество такой информации I) – эта информация является общей для подсистем A и B .

Результативность решения задач подсистемой A зависит от информации, имеющейся в ее распоряжении и переданной информации подсистеме B , однако эта подсистема не может контролировать восприятие информации подсистемой B . Таким образом, уравнения состояния подсистем A, B можно записать как

$$P_A = P_A(J_A), \quad P_B = P_B(I). \quad (2)$$

Введем также величину SA , представляющую собой потери информации, то есть часть информации, которая была передана подсистемой A , но не воспринята подсистемой B . Изменения величины $P_i (i \in \{A, B\})$ за счет обмена информацией представляют собой ценность информации:

$$g_B = \frac{dP_B}{dI}, \quad g_A = \frac{dP_A}{dJ_A} \quad (3)$$

Результативность подсистемы A тем выше, чем больше и эффективнее преподаватель передает материала по теме лекции. В программной модели введем три типа преподавателей:

1. «Ассистент» (преподаватель с небольшим опытом работы; на практике это собственно ассистенты, аспиранты, часть старших преподавателей).
2. «Доцент» (как правило, кандидат наук; сюда же можно отнести существенную часть опытных старших преподавателей).

3. «Профессор» (как правило, доктор наук; сюда же можно отнести часть опытных доцентов).

Ценность информации для подсистемы А можно определить дифференциальным уравнением нормального распределения с математическим ожиданием, зависящим от типа преподавателя (80, 90, 100 соответственно). Данные цифры означают процентное раскрытие темы лекции, т.е. профессор на 100% в среднем раскрывает тему лекции. Эффективность падает, если преподаватель даст слишком много материала за лекцию (перенасыщение знаниями) или, наоборот, меньше своего среднего значения (недостаток знаний).

Результативность подсистемы В представляет собой усваиваемость материала. Количество усваиваемой потребителем информации $I_{усв}$ тесно связано с теми знаниями, которые имеет потребитель к моменту получения информации – с тезаурусом (ТЗ) потребителя [4]. Этим определяется полезность информации. Любая учебная дисциплина ориентируется на знания, которые учащийся должен приобрести в предыдущих курсах. Этим объясняется логическая последовательность учебных дисциплин по годам обучения. Введем в подсистеме следующие условные типы студентов:

1. «Отличник»;
2. «Хорошист»;
3. «Троечник»;
4. «Двоечник».

Типы определяются предыдущими учебными успехами студентов, их заинтересованностью, объемом реальных («остаточных») знаний.

Для каждого типа можно задать свой тезаурус, например, 200, 140, 80, 20 соответственно [5]. Зависимость усваиваемой потребителем информации от его тезауруса графически можно отобразить следующей кривой:

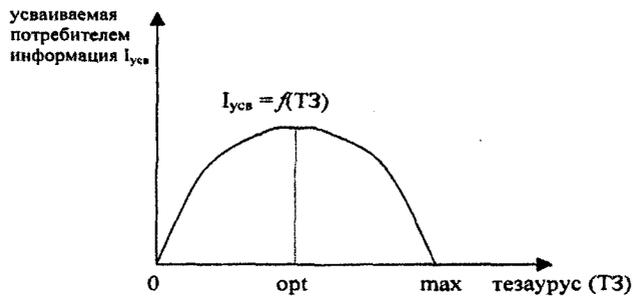


Рисунок 1 – Зависимость усваиваемой потребителем информации от его тезауруса

Как видно из графика, при тезаурусе, равном нулю и максимальному значению в точке max, информация не усваивается: в первом случае потребителю непонятна принимаемая информация, во втором – она ему уже известна. Максимально усваивается информация (т.е. она наиболее полезна) в точке опт, когда потребитель обладает достаточным (но не максимально возможным) тезаурусом для понимания получаемой информации. При значении тезауруса i -го потребителя $TЗ_i$ количество усваиваемой им информации определяется как $I_{усв} = f(TЗ_i)$. Сам тезаурус $TЗ_i$ может быть практически определен как результат интеллектуального тестирования, которое проводится, например, в системах образования некоторых западных стран. При таком тестировании человеку выставляется некоторый балл, который и может расцениваться как его $TЗ_i$. Было принято за точку опт значение 1000, смысл которого в освоении студентом базовой основы дисциплины.

Примем ценность информации для подсистемы В как дифференциальное уравнение нормального распределения с математическим ожиданием, равным 1000.

Положительное значение $\vartheta_i, i \in \{A, B\}$ соответствует положительной мотивации i -ой подсистемы к обмену информацией в случае, когда $\vartheta_i < 0$, i -я подсистема препятствует

передаче или приему информации. Поэтому интенсивность потока информации $q_A(\mathcal{G}_A; \mathcal{G}_B)$ можно представить в простейшем случае как

$$q_A(\mathcal{G}_A; \mathcal{G}_B) = \alpha(\mathcal{G}_A + \mathcal{G}_B) \quad (4)$$

где α – размерный коэффициент пропорциональности, пусть $\alpha = 0,5$.

Интенсивность потока информации q_A определяет изменение запасов информации у подсистемы A :

$$\frac{dJ_A}{dt} = \frac{dK_A}{dt} = q_A(\mathcal{G}_A; \mathcal{G}_B). \quad (5)$$

Интенсивность получения информации подсистемой B $q_B < q_A(\mathcal{G}_A; \mathcal{G}_B)$, так как существует доля информации, не воспринимаемая получателем. Эта доля возрастает с увеличением интенсивности информационного потока. При обратимом процессе обмена информацией, когда $q_A = 0$ вся переданная информация может быть воспринята; в случае, когда $q_A \rightarrow \infty$, доля воспринимаемой информации стремится к нулю:

$$q_B = p(q_A)q_A; \quad \lim_{q_A \rightarrow \infty} p(q_A) = 0, \quad \lim_{q_A \rightarrow 0} p(q_A) = 1. \quad (6)$$

Величина $p(q_A)$ может иметь вероятностный смысл, как вероятность того, что элементарное количество информации, отправленное подсистеме B , будет ею воспринято. Одной из возможных функций $p(q_A)$, является экспоненциальная

$$p(q_A) = e^{-kq_A} \quad (7)$$

В каждый момент времени значение p показывает эффективность процесса обмена. Для определения показателя эффективности информационного обмена запишем баланс для величины $S_A = J_A - I$:

$$\frac{dS_A}{dt} = (1 - p(q_A))q_A = \sigma > 0. \quad (8)$$

Величина σ представляет собой скорость потерь информации за счет необратимости, связанной с восприятием информации. По аналогии с термодинамическими и экономическими системами эту величину можно назвать диссипацией информации.

На основе соображений, изложенных выше, был разработан программный модуль. В модуле имеется интерфейс ввода и настройки параметров модели. Отчетные данные – результативность для студента, интенсивность и другие. Имеется возможность визуализации выходных данных.

На рисунке 2 приведен интерфейс данного программного модуля.

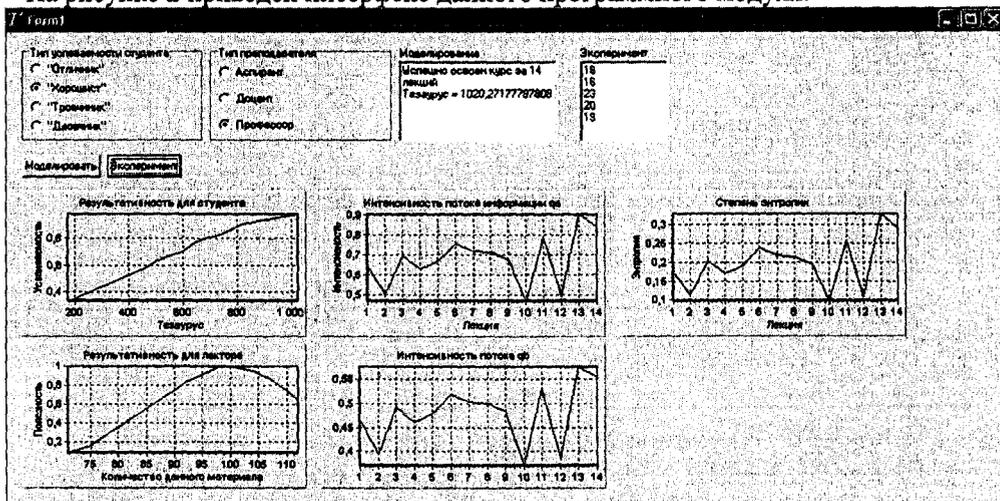


Рисунок 2 – Интерфейс программного модуля

На рисунке 3 в качестве одного из примеров показана результативность для студента.

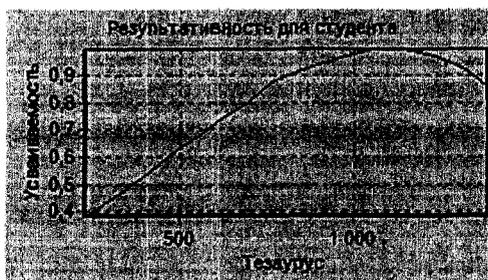


Рисунок 3 – Результативность для студента при входных параметрах: студент – «Отличник», преподаватель – «Аспирант»

На рисунке 4 показана интенсивность потока информации для подсистемы «Преподаватель», где можно проследить, как менялась результативность преподавания на протяжении 18 лекций. Например, на 15 лекции был дан весь запланированный объем информации, а на 13 лекции почти наполовину меньше.



Рисунок 4 – Интенсивность потока информации подсистемы А при входных параметрах: студент – «Отличник», преподаватель – «Аспирант»

При нажатии на кнопку «Эксперимент» для каждой группы будет проведено 5 независимых вычислений и путем усреднения будут получены значения «Количество лекций».

Таблица 1 – План вычислительного эксперимента

Группа	Тип студента	Тип преподавателя	Количество лекций
1	«Отличник»	Аспирант	15
2	«Отличник»	Доцент	14
3	«Отличник»	Профессор	12
4	«Хорошист»	Аспирант	18
5	«Хорошист»	Доцент	16
6	«Хорошист»	Профессор	15
7	«Троечник»	Аспирант	20
8	«Троечник»	Доцент	18
9	«Троечник»	Профессор	16
10	«Двоечник»	Аспирант	23
11	«Двоечник»	Доцент	20
12	«Двоечник»	Профессор	18

С помощью MS Excel была построена поверхность для данных параметров.

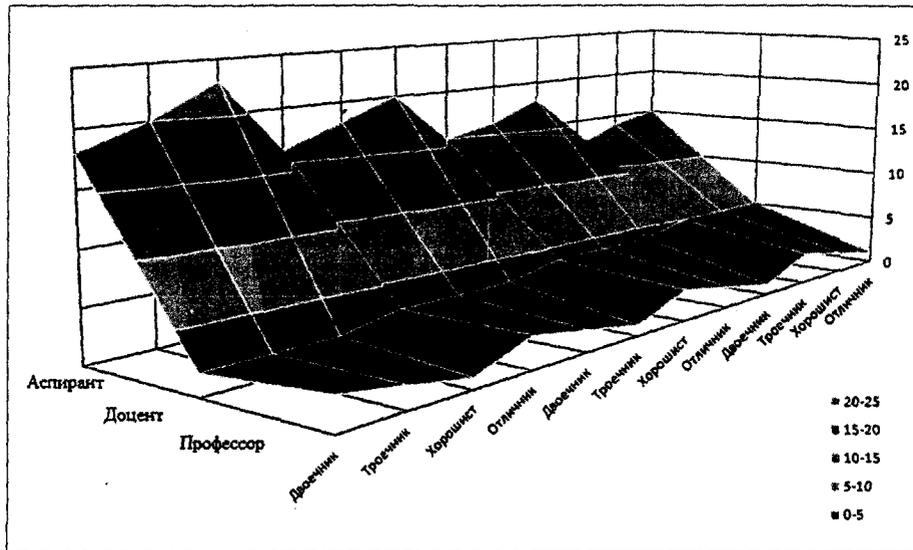


Рисунок 5 – Поверхность уровня для всех групп факторного плана

С помощью представленного программного модуля можно найти адекватное реальной образовательной ситуации число лекций для усвоения студентами необходимых долей учебного материала.

Далее приведен результат работы модели для студента-отличника и преподавателя-ассистента:

Успешно освоен курс за 15 лекций

Тезаурус = 1011,06

Результат работы модели для студента-двоечника и преподавателя-профессора следующий:

Успешно освоен курс за 19 лекций

Тезаурус = 1058,12

Можно провести анализ и при иных соотношениях входных параметров.

По результатам анализа видно, что отличник с начинающим преподавателем быстрее усваивает базовый уровень курса лекций, чем двоечник даже с преподавателем-профессором. С помощью данной модели можно анализировать успеваемость студентов и более точно планировать учебный процесс, учитывая квалификацию преподавателей и реальный уровень студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амелькин С.А., Иванова О.С. Математическая модель процесса передачи информации в экономической макросистеме // Программные системы: теория и приложения, 2010. – № 3(3). – С. 85-91.
2. Солодова Е.А., Антонов Ю.П. Математическое моделирование педагогических систем // МКО, 2005. – Ч. 1. – С. 113-121.
3. Щипанов В. Математическое моделирование как условие проектирования качественных систем образования // Научно-культурологический журнал. – № 7(129) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.relga.ru/Enviro/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=935&level1=main&level2=articles> (дата обращения 12.03.2012).
4. Медведева Л.Г. Принципы формирования профессионально ориентированного тезауруса (на опыте работы со студентами ЮИ ТГУ) // «Вестник Томского государственного университета», 2007. – № 297 [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnik.tsu.ru/vestnik/archive/16-vyshel-iz-pechati-297-aprel-2007.html> (дата обращения 10.03.2012).

5. Подольская Н.Н., Лешайкина М.В., Еремеева М.А., Архипова К.Н. Применение статистических методов в исследовании успеваемости студентов // Системное управление. Материалы I региональной научно-практической конференции «Научный потенциал – будущему Мордовии», 2009 [Электронный ресурс]. – URL: www.sisupr.mrsu.ru/2009-1/pdf/31_Podolnay.pdf (дата обращения 17.03.2012).

Власов Виктор Викторович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Студент

Тел.: 8 (4862) 33-63-39

E-mail: vlasv-viktr@rambler.ru

Коськин Александр Васильевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, директор УНИИ ИТ

Тел.: 8 (4862) 41-98-15

E-mail: koskin@ostu.ru

V.V. VLASOV (*Student*)

A.V. KOSKIN (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director of the Education and Research Institute of Information Technologies*)
State University – ESPC, Orel

**SIMULATION OF EDUCATION PROCESS IN EDUCATIONAL SYSTEMS
WITH MACROSYSTEM APPROACH**

For management systems, which play an important role the exchange of information between its parts, is required to develop a model that takes into account the properties of information as a resource, in particular, to make the equation balance. In this paper, taking into account a number of limitations, a version of the model in relation to the learning process of students is presented.

Keywords: *modeling of the transmission of information; the macrosystem approach; the educational system; scientific and educational complex.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Amel'kin S.A., Ivanova O.S. Matematicheskaya model' processa peredachi informacii v e'konomicheskoi makrosisteme // Programmny'e sistemy': teoriya i prilozheniya, 2010. – № 3(3). – S. 85-91.
2. Solodova E.A., Antonov Yu.P. Matematicheskoe modelirovanie pedagogicheskix sistem // MKO, 2005. – Ch. 1. – S. 113-121.
3. Shhipanov V. Matematicheskoe modelirovanie kak uslovie proektirovaniya kachestvenny'x sistem obrazvaniya // Nauchno-kul'turologicheskij zhurnal. – № 7(129) [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=935&level1=main&level2=articles> (дата обращения 12.03.2012).
4. Medvedeva L.G. Principy' formirovaniya professional'no orientirovannogo tezaurus (na opy'te raboty' so studentami YuI TGU) // «Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta», 2007. – № 297 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://vestnik.tsu.ru/vestnik/archive/16-vyshel-iz-pechati-297-aprel-2007.html> (дата обращения 10.03.2012).
5. Podol'skaya N.N., Leshhajkina M.V., Eremeeva M.A., Arhipova K.N. Primenenie statisticheskix metodov v issledovanii uspevaemosti studentov // Sistemnoe upravlenie. Materialy' I regional'noj nauchno-prakticheskoi konferencii «Nauchny'j potencial – budushhemu Mordovii», 2009 [E'lektronny'j resurs]. – URL: www.sisupr.mrsu.ru/2009-1/pdf/31_Podolnay.pdf (дата обращения 17.03.2012).

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, А.В. КУРЛОВ, С.Л. БАБАРИНОВ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМООЧИСТКИ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ

В статье рассматривается метод артикуляции как объективный критерий оценки эффективности различных методов обработки речевых данных, позволяющих повысить разборчивость записанных речевых сообщений при их воспроизведении за счет очистки от различных типов шума. В качестве подхода к оценке эффективности шумоочистки рассмотрен метод, основанный на применении специально сформированных артикуляционных таблиц, измерения производятся в соответствии с ГОСТ Р 50840-95 «Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости». Проведен анализ эффективности очистки русской речи от шумов различных типов следующими методами: спектрального вычитания, адаптивной фильтрации и субполосного преобразования.

Ключевые слова: речевые сообщения; спектральное вычитание; адаптивная фильтрация; субполосное преобразование; частотное представление; шум; разборчивость; артикуляционные таблицы.

Актуальность работы обусловлена необходимостью применения объективных методов оценки качества звучания речевых сообщений. Область применения полученных результатов находится в различных сферах, связанных с передачей, записью и воспроизведением речевых сообщений. Существующие же методы, например, экспертной оценки качества речевых сообщений, зачастую являются субъективными и не учитывают многих особенностей речевых сообщений, из-за чего ведут к ошибочным оценкам. В роли объективного критерия оценки предлагается использовать метод, основанный на применении артикуляционных таблиц [1, 2]. Артикуляционный метод позволяет не только оценивать тракт связи и аппаратуру для передачи речевых сообщений, но и методы обработки речевых сообщений, применяемые, например, для шумоочистки и компандирования речи, а также позволяет получить комплексную оценку качества передачи или обработки речи.

В ходе проведения экспериментов выполнялись требования ГОСТ Р 50840-95 «Передача речи по трактам связи, методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости». Согласно стандарту разборчивость определяется как относительное количество (в процентах) правильно принятых элементов, будь то: слоги, слова или фразы, артикуляционных таблиц. Стандарт также устанавливает нормы оценки разборчивости, которые представлены в таблице 1.

Измерения проводила бригада операторов (дикторы и аудиторы), не имеющих явных дефектов речи и слуха, в возрасте от 22 до 23 лет, в состав которой входили три диктора (двое мужчин и одна женщина) и трех аудиторов. Аудиторы также являются дикторами.

Бригада операторов прошла специальное обучение (тренировку) путем прослушивания нескольких групп слоговых артикуляционных таблиц, согласно приложению Б ГОСТ Р 50840-95.

Чтение слогов осуществлялся дикторами ровным голосом, четко, но без подчеркивания отдельных звуков с постоянным уровнем речи, также выдерживался постоянный ритм речи на протяжении чтения всей таблицы: 1 слог в $(3 \pm 0,3)$ с.

Каждый диктор зачитывал по пять артикуляционных таблиц из приложения Б ГОСТ Р 50840-95, пример одной таблицы приведен на рисунке 1, которые сохранялись на персональном компьютере с помощью программного пакета Adobe Audition в формате «wav» со следующими параметрами записи: частота дискретизации 8 кГц, глубина дискретизации 16 бит, моно канал.

Таблица 1 – Нормы оценки разборчивости речевых сообщений

Виды разборчивости	Классы качества								Суммарная ширина диапазона допустимых оценок, %
	слабое, но допустимое в особых условиях		удовлетворительное		хорошее		отличное		
	границы диапазона, %	ширина, %	границы диапазона, %	ширина, %	границы диапазона, %	ширина, %	границы диапазона, %	ширина, %	
Слоговая, %	25-40	15	40-55	15	55-80	25	80 и выше	20	75
Звуковая, %	64-75	11	75-82	7	82-93	11	93 и выше	7	36
Словесная, %	75-87	12	87-93	6	93-98	5	98 и выше	2	25
Фразовая, %	90-95	5	95-97	2	97-99	2	99 и выше	1	10

Таблица Б.120

ГОСТ Р 50840-95 Приложение Б

д	м	б	эб		д	жъ		г	
БЕТ	ШИХ	ДЮП	ШЕП	ПРОР	ДЕХ	ДВЕТЬ	ТАШ	ПЕЗНЬ	ЧТЭК
	з	жъ	б			ь	б		
ШАНЬ	ПЕСЬ	СИШ	ГАП	РЕЛЬ	ФЫМ	ЛЕЧ	ДЕП	ЖУНЬ	РЮХ
	д			г			нд	в	
ЯХ	ЛЕТ	ПРЯН	КЕРЬ	ЧТУК	ЛЯЙ	ВУЛЬ	ЦЫТ	БУФЬ	ФАЛ
	з	в	з	з	з	в		д	в
ТЫС	БАН	КОФ	ЖЕЦ	РЕСЬ	ТРСЬ	ЛУФЬ	ПЫР	ЕТЬ	ДЕФЬ
		б		г	г	сч з			
НУН	СВАМ	ФЕП	ШТОХ	ПЫЙ	ВЕК	ЩИС	ВЫМ	РОРЬ	ПЕРЬ

Рисунок 1 – Артикуляционная таблица

Полученные записи были подвергнуты воздействию аддитивного шума четырех различных типов: белого (с равномерной спектральной плотностью на всех частотах), розового (спектральная плотность по сравнению с белым шумом затухает на 3 децибела на каждую октаву), коричневого (спектральная плотность по сравнению с белым шумом затухает на 6 децибел на каждую октаву) и шума, представляющего собой псевдослучайную последовательность. Записи шумов были предварительно сгенерированы в программном пакете MATLAB и добавлялись к речевому сообщению в соотношении шум/сигнал 0.3, 0.6, 0.9. Зашумление речевых сообщений производилось по формуле (1):

$$y_t = x_t + c u_t \tag{1}$$

$$c = q \cdot \sqrt{\frac{x_t^2}{u_t^2}}$$

где y_t – смесь исходного речевого сообщения и шума, x_t – исходное речевое сообщение; u_t – шум; q – желаемое отношение шум/сигнал.

В результате было получено по 180 копий записей артикуляционных таблиц, зашумленных различными типами шумов с отношением шум/сигнал 0.3, 0.6 и 0.9.

Затем было произведено измерение разборчивости сформированной базы речевых данных. ГОСТ Р 50840-95 предусматривает проверку артикуляционных таблиц путем прослушивания и записи принятых слогов в специальный бланк. После чего осуществляется сверка принятых и записанных слогов, которая производится вручную, в результате которой определяется величина разборчивости речевого материала. Данная операция требует больших трудозатрат, поэтому с целью повышения эффективности применения артикуляционного метода было разработано программное обеспечение «Программа проверки артикуляционных таблиц», которая осуществляет автоматическую проверку

принятых элементов артикуляционных таблиц, тем самым существенно снижая время, требуемое на проверку одной таблицы.

Рисунок 2 – Создание шаблона артикуляционной таблицы

Программа позволяет создавать, редактировать, просматривать артикуляционные таблицы и хранить их в формате текстовых файлов «txt», а также производить автоматическую проверку занесенных таблиц, т.е. создавать протокол измерения, в который входит: идентификатор таблицы, количество верно принятых слогов, значение разборчивости, точное указание верно/неверно принят ли слог, информацию об аудиторе и дикторе, дате проведения измерения, уровне шума и типе исследуемого тракта/аппаратуры/записи. Таким образом упрощается систематизация протоколов для окончательного принятия решения, а трудоемкая процедура проверки происходит автоматически. На рисунке 2 изображен интерфейс «Программы проверки артикуляционных таблиц» вкладка «Создание таблиц», в которой осуществляется создание шаблона артикуляционной таблицы, на рисунке 3 изображен результат проверки аудитором артикуляционной таблицы во вкладке «Проверка таблиц». В качестве шаблонов использовались артикуляционные таблицы из приложения Б ГОСТ Р 50840-95.

Рисунок 3 – Результат проверки артикуляционной таблицы

Далее для каждого измерения вычисляется среднее значение разборчивости (S) по формуле (2):

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

где S_i – результат единичного измерения, % (диктор – таблица – аудитор);
 N – число единичных измерений.

Далее выявляют сомнительные значения S_i , которые отбрасывают, и вычисляют новое значение S . Методика обработки приведена ниже.

С целью исключения сомнительных результатов измерений разборчивости производят следующую обработку полученных данных:

- 1) вычисляют среднее значение разборчивости по формуле (2);
- 2) вычисляют среднеарифметическое отклонение по формуле (3):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N |S_i - S|}{N}; \quad (3)$$

3) единичные измерения, для которых выполняется условие (4) исключаются, и производится вычисление нового среднего значения по формуле (5)

$$|S_i - S| > 2R \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^{N-k} S_i; \quad (5)$$

где N – число единичных измерений;
 k – число исключенных измерений.

Вычисления имеют достаточно громоздкий характер, поэтому приводится только таблица с результатами вычисления (табл. 3).

Следует отметить, что слоговая разборчивость исходного речевого материала составила 83%, что согласно нормам ГОСТ Р 50840-95 определяет класс качества записи как отличный. Наибольшее влияние на разборчивость оказал белый гауссов шум, это объясняется распределением энергии шума по всему занимаемому спектру, в то время как коричневый шум, энергия которого сосредоточена в узкой полосе низких частот (до 100 Гц) и имеет затухание 6 дБ на октаву, оказывает наименьшее влияние на разборчивость речевого материала, так как практически не искажает энергию речевых формант, сосредоточенных в полосе 0.3-3.4 кГц [2].

Таблица 3 – Разборчивость исходного речевого материала

Тип шума	Отношение шум/сигнал	Разборчивость, S			
		Аудитор А	Аудитор В	Аудитор С	Общая
	0	0,83	0,81	0,85	0,83
Белый	0,3	0,67	0,64	0,68	0,66
	0,6	0,56	0,57	0,58	0,57
	0,9	0,35	0,33	0,34	0,34
Розовый	0,3	0,74	0,70	0,75	0,73
	0,6	0,66	0,63	0,65	0,65
	0,9	0,58	0,55	0,59	0,57
Коричн.	0,3	0,82	0,80	0,84	0,82
	0,6	0,79	0,79	0,82	0,80
	0,9	0,77	0,76	0,80	0,78
ПСП	0,3	0,71	0,72	0,73	0,72
	0,6	0,62	0,64	0,66	0,64
	0,9	0,40	0,39	0,41	0,40

С целью повышения разборчивости речевого материала была проведена обработка имеющейся базы речевых данных тремя различными методами шумоочистки: спектральным вычитанием, адаптивной фильтрацией и субполосным преобразованием [3]. Методы были реализованы в программном пакете MATLAB.

Полученный речевой материал был повторно исследован с целью определения разборчивости по вышеописанной методике. Результаты экспериментов были показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Сводные результаты экспериментов

Тип шума	Отношение шум/сигнал	Разборчивость, S			
		Исходный материал	Субполосное преобразование	Спектральное вычитание	Адаптивная фильтрация
Белый	0,3	0,67	0,74	0,7	0,72
	0,6	0,56	0,64	0,61	0,62
	0,9	0,35	0,42	0,36	0,38
Розовый	0,3	0,74	0,78	0,75	0,76
	0,6	0,66	0,72	0,69	0,7
	0,9	0,58	0,65	0,61	0,63
Коричн.	0,3	0,82	0,83	0,82	0,82
	0,6	0,79	0,82	0,8	0,8
	0,9	0,77	0,8	0,78	0,79
ПСР	0,3	0,71	0,78	0,76	0,77
	0,6	0,62	0,7	0,66	0,68
	0,9	0,4	0,46	0,41	0,43

Анализ таблицы 4 показывает, что наилучший результат достигается при применении субполосного преобразования, чуть худшую разборчивость дает метод адаптивной фильтрации и худший результат показывает спектральное вычитание.

При использовании метода спектрального вычитания уровень шума удается уменьшить, но на отрезках сигнала с отсутствием звуков речи все же присутствует остаточный шум, а на фоне речи появляются небольшие искажения, выраженные в виде появления металлического звучания.

После обработки методом адаптивной фильтрации на фоне речи прослушивается небольшой шум. На отрезках с отсутствием звуков речи шум практически отсутствует благодаря применению в обработке процедуры обнаружения пауз и удаления в них шума, что дает хороший результат при очистке зашумленных речевых данных.

Метод субполосного преобразования дает наилучший результат очистки речи за счет выявления и подавления частотных составляющих шума внутри речевых отрезков. Шума практически не слышно как на отрезках, соответствующим паузам, так и на фоне речи. В данном методе также была применена процедура обнаружения пауз и удаления в них шума.

Исследования выполнены при поддержке гранта РНПВШ, госконтракт №8.2251.2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества разборчивости и узнаваемости // ИПК Издательство стандартов, 1996.
- Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – М.: Связьиздат, 1962.

3. Жилияков Е.Г., Маматов Е.М., Белов А.С., Курлов А.В. Исследование методов очистки речи от шумов. – ОрелГТУ: Информационные системы и технологии, 2010. – № 5(61). – С. 17-25.

Жилияков Евгений Георгиевич

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: 8 (4722) 30-13-58, 8 (4722) 30-13-92

E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Курлов Александр Васильевич

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: (4722) 30-13-00*21-74

E-mail: kurlov@bsu.edu.ru

Бабарин Сергей Леонидович

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: (4722) 30-13-00*21-74

E-mail: alvasetefess@gmail.com

E.G. ZHILYAKOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, head of the department of the Communication Nets and Switching Systems*)

A.V. KURLOV (*Assistant Professor of the department of the Communication Nets and Switching Systems*)

S.L. BABARINOV (*Student of the department of the Communication Nets and Switching Systems*)
Belgorod State University, Belgorod

EVALUATION NOISE REDUCTION SPEECH MESSAGE

In article method of articulation tables was used in the case of analysis efficiency for different methods of noise suppression as a fair assessment. Noise suppression methods allow to rise articulation by clearing noise elements from the signal. In the paper three methods of noise suppression: adaptive filtration, substrip transformation and spectral subtraction are compared. As the new approach, we suggest to use method based on the articulation tables following GOST R 50840-95 «Speech transmission by communication channels. Quality, articulation and recognition assessment».

Keywords: *speech message; spectral subtraction; adaptive filtration; substrip transformation; frequency representation; noise; articulation; articulation tables.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. GOST R 50840-95. Peredacha rechi po traktam svyazi. Metody' ocenki kachestva razborchivosti i uznavaemosti // IPK Izdatel'stvo standartov, 1996.
2. Pokrovskij N.B. Raschyot i izmerenie razborchivosti rechi. – M.: Svyaz'izdat, 1962.
3. Zhilyakov E.G., Mamatov E.M., Belov A.S., Kurlov A.V. Issledovanie metodov ochistki rechi ot шумов. – OryolGTU: Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 5(61). – С. 17-25.

В.В. ЛОМАКИН, Р.Г. АСАДУЛЛАЕВ, С.С. ТРУХАЧЕВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В представленной статье освещаются вопросы формализации объектов и процессов в информационной среде подготовки кадров предприятия с целью автоматизированного построения индивидуальных траекторий обучения. Выделены существенные особенности обучения кадров промышленных предприятий, обоснована необходимость разработки адаптивных систем обучения, учитывающих индивидуальные особенности обучающихся. Построены структурная схема процесса управления усвоением знаний, автоматные модели процессов тестирования знания и переходов между блоками знаний. Для практической реализации алгоритма индивидуально направленного обучения разработана унифицированная модель, учитывающая текущую и ретроспективную информацию.

Ключевые слова: личностно-ориентированное обучение; адаптивное программное обеспечение; индивидуальная траектория обучения; адаптивный алгоритм формирования учебного курса; адаптивный алгоритм тестирования знаний.

Определенная часть профессиональных навыков и знаний сотрудников промышленных предприятий с течением времени теряет актуальность, поэтому они должны периодически проходить стажировки и курсы повышения квалификации. На передний план выходят вопросы необходимости подтверждения компетенции и повышения квалификации для занятия определенной должности, быстрого ввода в профессиональную деятельность, адаптации новых сотрудников, в частности, выпускников ВУЗов к предстоящему выполнению должностных обязанностей. Непрерывное развитие и совершенствование информационно-коммуникационных технологий и автоматизированных систем управления технологическими процессами требует периодической переподготовки кадров предприятия, поддерживая тем самым должный уровень компетентности своих работников и организовывая методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения автоматизированных систем.

Процессы адаптации, обучения и переподготовки сотрудников промышленных предприятий в значительной мере сходны с образовательным процессом в ВУЗе по отдельным дисциплинам. При этом необходимо принимать во внимание следующие особенности процесса обучения персонала промышленных предприятий, связанные с возрастными, временными, мотивационными и производственными характеристиками:

- различный возрастной и профессиональный состав групп обучения;
- процесс обучения практически ориентирован;
- стремление обучаемых к применению полученных компетенций;
- опыт предыдущего обучения;
- осознанность процесса обучения;
- необходимость оптимизации временных показателей обучения;
- влияние на процесс обучения профессиональных, социальных и бытовых факторов;
- тенденция к самостоятельности обучаемого в процессе получения знаний;
- наличие жизненного и профессионального опыта;
- выявление перспективных кадров для включения в резерв.

В процессе обучения и переподготовки персонала промышленных предприятий необходимо применять индивидуально направленные методы и алгоритмы обучения, позволяющие освоить необходимые компетенции в сжатые сроки и на достаточном уровне. В силу уникальных личностных и профессиональных качеств каждый человек усваивает

материал по индивидуальной траектории, где наиболее важны временные параметры и объем получаемых знаний.

Все это говорит о целесообразности применения в процессе подготовки и переподготовки персонала предприятия адаптивных систем электронного обучения, обладающих возможностью организовать наиболее рациональный процесс обучения сотрудников предприятия в зависимости от их индивидуальных способностей и начального уровня знаний.

В настоящее время научные исследования в области адаптивных моделей образовательного процесса представлены двумя направлениями. Одно из них основывается на изменении внешних факторов среды обучения путем формирования траектории развития обучаемого в зависимости от индивидуальных способностей [1, 2]. Второе учитывает внутренние факторы, соответствующие психофизиологическому состоянию обучаемого в процессе получения знаний [3, 4, 5].

На наш взгляд, необходимо развитие существующих моделей обучения с целью повышения степени адаптации к индивидуальным особенностям обучаемых путем разработки специальных процедур изменения внешней среды обучения и анализа внутренних факторов. В качестве результата предполагается построение автоматизированной системы для формирования индивидуальной траектории обучения, что, в свою очередь, подразумевает решение ряда локальных технических задач, таких, как построение структурной схемы процесса управления усвоением знаний, разработка формальных моделей процессов тестирования и адаптивного перехода между блоками знаний, реализация схемы адаптивной модели обучения в виде диаграммы активностей.

В ходе решения задачи построения эффективных информационных систем обучения необходимо разработать модели формирования траектории развития обучаемого, так как без решения данных вопросов невозможно в полной мере воспользоваться результатами исследований по второму направлению.

Для оценки эффективности обучения, определяющейся объемом и качеством полученных знаний, необходим подход, основанный на количественных показателях, которые определенным образом учитывают результативность обучения. Предложенный подход положен в основу построения адаптивной системы обучения, так как предполагается, что встроенная в обучающую программу система принятия решений должна оперировать решающими правилами, генерирующими индивидуальные траектории обучения. Одним из подходов при решении данной проблемной ситуации является 12-ти – бальная шкала оценки знаний В.П. Беспалько [6]. Автор вводит количественную шкалу оценок. Например, обучаемый, набравший 1, 2 или 3 бала, в переводе на традиционный язык получает отметку «удовлетворительно»; 4, 5 или 6 баллов – «хорошо»; 7, 8 или 9 баллов – «отлично»; 10, 11 или 12 – «творческий потенциал». Формализуя основные положения методики В.П. Беспалько для использования в автоматизированных системах обучения, можно построить адаптивную систему, способную эффективно обучать и развивать персонал в зависимости от индивидуальных способностей.

В настоящее время существует ряд методов и алгоритмов адаптации систем обучения, которые ориентированы на временные аспекты обучения. В качестве примера можно рассмотреть метод программного обучения [7], где материал представляется в форме блоков знаний, которые формируют методический материал, основываясь на алгоритме перехода между блоками знаний, а также различной справочной информации. Данная методика позволяет повысить эффективность образовательного процесса за счет сокращения времени на обучение без потери качества усвоения знаний

Для построения эффективных адаптивных моделей обучения необходимо рассмотреть процесс управления усвоением знаний на функциональном уровне. На рисунке 1 представлена обобщенная структурная схема управления усвоением знаний и познавательной деятельностью обучаемого. Так как мы управляем не самим обучаемым, а его знаниями, то в качестве объекта управления (ОУ) выступают знания обучаемого.

Обучающая программа является устройством управления (УУ). УУ представляет интеграцию двух основных модулей. В первом «формирование учебного модуля» принимается решение о формировании контента учебной информации и предоставлении ее ОУ. Второй «модуль адаптации» учитывает индивидуальную траекторию развития и корректирует процесс формирования учебного модуля в зависимости от индивидуальных способностей обучаемого и накопленной ретроспективной информации. Обратная связь обеспечивается модулем оценки результатов обучаемого, корректирующим входное воздействие на систему требований, вытекающих из отраслевых нормативных документов, аналогами которых в сфере образования являются государственные образовательные стандарты (ГОС). В результате на вход обучающей программы поступает ошибка рассогласования и система формирует новый контент учебной информации.

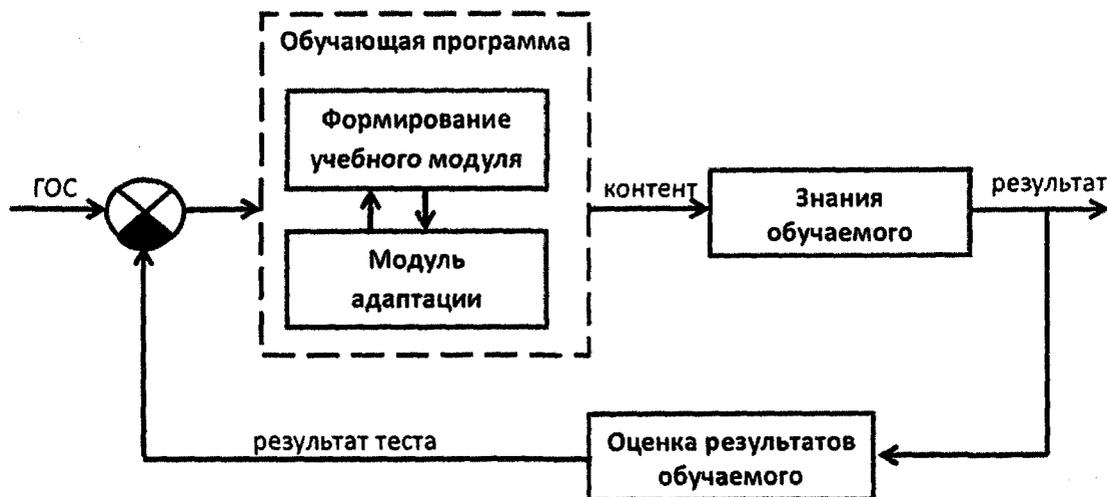


Рисунок 1 – Структурная схема процесса управления усвоением знаний

Для реализации описанной функциональной схемы предлагается дискретизировать учебный материал с сохранением дополнительных метаданных о каждом элементе учебного модуля, включающих минимальные требования, задаваемые ГОС, ряд свойств, определяемых индивидуальной траекторией развития обучаемого. Необходимым условием формирования эффективного контента учебного материала является его представление на семантическом уровне абстракций, наиболее приближенном к знаниям обучаемого.

Модуль адаптации, помимо функций, которые реализованы в существующих автоматизированных обучающих системах, должен реализовывать следующие функции: мониторинг самостоятельной работы обучаемого, учет результатов технологии ступенчатого тестирования, анализ предыдущих траекторий обучения, учет индивидуальных психофизиологических показателей обучаемого, оценка осознанности и автоматизации ответа, мониторинг и минимизация потери знаний.

Ввиду схожести на функциональном уровне процесса обучения персонала предприятий и студентов ВУЗа рассмотрим особенности предложенных алгоритмов и методик на примере освоения материала учебного курса. Построим адаптивную модель обучения, используемую системой принятия решения для формирования индивидуальных траекторий обучения и развития обучаемого с учетом ретроспективной информации. Для этого разработаем модель тестирования, на основании которой будет работать блок «Оценка результатов тестирования». Модель будет строиться на основании технологии ступенчатого тестирования. Для этого вводятся тестовые задания 4-х уровней сложности: оценка знания модуля на «3», «4», «5» и на уровне «эксперт». Данная шкала является универсальной, так ее можно записать и в виде 12 бальной шкалы [6], и в виде 100 бальной шкалы оценивания,

разбивая результаты на диапазоны, которые будут относиться к представленным уровням сложности.

На каждом уровне сложности тестового задания вводится интегрированный коэффициент знания z , учитывающий как показания усвоения текущего материала, так и такие параметры как степень осознанности материала, коэффициент автоматизации ответа и ретроспективную информацию, позволяющую вносить весовой коэффициент, направленный на варьирование пороговой величины уровня сложности задания. Для успешного прохождения i -го уровня сложности тестового задания, обучаемый должен получить коэффициент $z > 0,7$. Таким образом, система будет автоматически предоставлять обучаемому различные уровни сложности тестовых заданий, выявляя тем самым его реальные знания.

Адаптация в данном случае заключается в том, что система тестирования после изучения очередного модуля будет предоставлять уровень сложности тестового задания в зависимости от рассчитанного статистического показателя изучения предыдущих учебных модулей.

Построим модель ступенчатого тестирования, используя теорию конечных автоматов, а именно автомат Мили. Определим для этого пятерку множеств, на основании которой будет построен автомат.

$$A = \{X, Y, S, fp, fv\},$$

где $X = \{X_0, X_1, X_2\}$ – входной алфавит автомата, который представляет собой значение результата i -го уровня сложности тестовых заданий, X_0 – результат теста $z = 0,7$; X_1 – результат теста $z > 0,7$; X_2 – результат теста $z < 0,7$;

$Y = \{Y_0, Y_3, Y_4, Y_5, YЭ\}$ – выходной алфавит автомата, который представляет собой результат теста (оценка). Y_0 – оценка 2; Y_3 – оценка 3; Y_4 – оценка 4; Y_5 – оценка 5; $YЭ$ – обучаемый достиг оценки уровня «эксперт», в частности по методологии В.П. Беспалько это означает, что набрано от 10 до 12 баллов;

$S = \{S_0, S_1, S_3, S_4, S_5, SЭ\}$ – алфавит внутренних состояний автомата, который представляет собой уровень сложности тестовых заданий и точку останова автомата. S_1 – остановка работы автомата, S_3 – сложность вопросов на оценку 3, S_4 – сложность вопросов на оценку 4, S_5 – сложность вопросов на оценку 5, $SЭ$ – уровень сложности «эксперт»;

S_0 – начальное состояние автомата (в момент времени $t = 0$); определяет в зависимости от индивидуальной траектории обучения, группу вопросов для определения следующего уровня сложности тестовых заданий;

$fp(S_i, X_j)$ – функция переходов, осуществляет в зависимости от состояния и входного значения алфавита автомата переход к следующему уровню сложности тестовых заданий или завершению теста;

$fv(S_i, X_j)$ – функция выходов автомата, показывает в зависимости от состояния и входного значения алфавита автомата оценку, заработанную обучаемым.

Таким образом, на основании описанных множеств был построен автомат Мили (рис. 2). Автомат позволяет выявлять степень изучения учебного модуля, выдавая на выходе результат усвоения, который будет использовать система принятия решения о переходе к следующему этапу обучения.

Описанная модель тестирования позволяет оптимизировать время обучаемого, так как состояние S_0 учитывает интегрированный показатель успеваемости и тестирует обучаемого на предмет предоставления тестовых заданий различной сложности. Таким образом, если в состоянии S_0 на вход поступает результат X_1 , то обучаемый направляется в состояние S_5 и на выходе выдается результат Y_4 . Состояние S_5 выдает тестовые задания высшей сложности и оценивает знания на оценку 5. Система в этом случае предсказывает выходное состояние Y_4 .

Функции $fp(S_i, X_j)$ и $fv(S_i, X_j)$, представленные в таблице 1, описывают решающие правила для системы принятия решения, которая на основании достигнутых результатов при тестировании принимает решение о выводе результата, который будет служить входным алфавитом для модели переходов между модулями знаний. Состояние S_1 говорит об

остановке работы автомата и выдает выходное состояние Y_i , полученное в предыдущем состоянии.

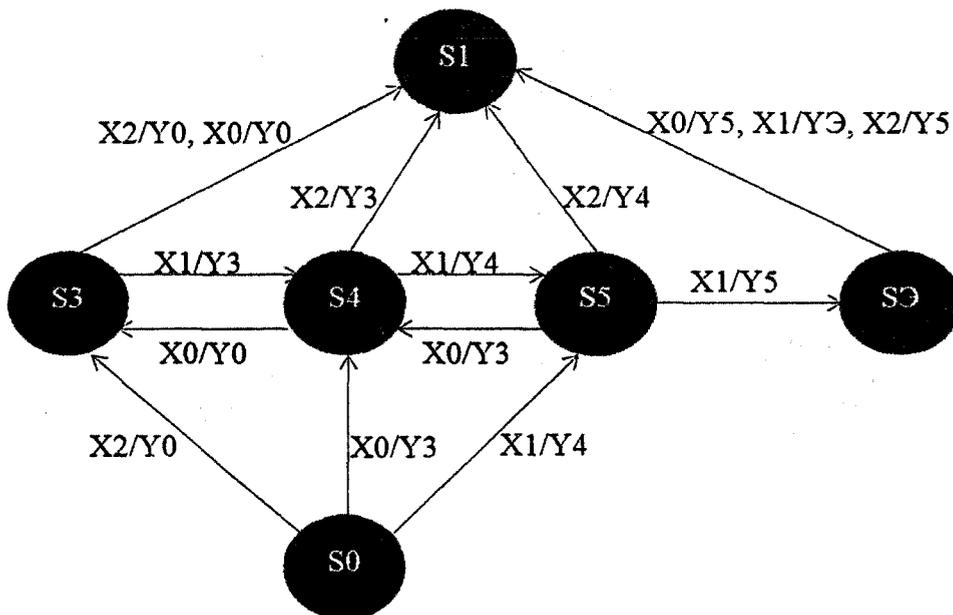


Рисунок 2 – Формализованная модель тестирования

Таблица 1 – Функции перехода и выхода автомата Мили

X_j	X0	X1	X2
S_i			
S0	S4/Y3	S5/Y4	S3/Y0
S1	-	-	-
S3	S1/Y0	S4/Y3	S1/Y0
S4	S3/Y0	S5/Y4	S1/Y3
S5	S4/Y3	S1/Y5	S1/Y4
SЭ	S1/Y5	S1/YЭ	S1/Y5

Модель перехода между блоками знаний построена на основании автомата Мура, так как выходное значение автомата будет зависеть только от состояния, в котором автомат находится в данный момент времени. Данная модель позволит на основании выходного алфавита автомата (рис. 2) принять решение о переходе в следующее устойчивое состояние.

При построении автомата принято соглашение о том, что система при переводе обучаемого на изучение следующего модуля будет автоматически (в зависимости от индивидуальных показателей) генерировать контент нового учебного модуля. В результате чего обучаемый может получить контент, сформированный по одному из перечисленных вариантов:

- согласно требованиям ГОС, то есть минимальный объем информации, который необходимо усвоить для получения положительной оценки;
- урезанный контент, если входное тестирование выявило наличие достаточных знаний по определенным частям модуля;
- контент, содержащий часть предыдущего модуля, которая усвоена в недостаточной степени и не стыкуется с потенциалом обучаемого;
- расширенный контент.

Модель перехода в виде графа автомата Мура (рис. 3) позволяет адаптивно осуществлять управление процессом подачи обучаемому сформированных блоков знаний.

На i -том шаге обучаемому выдается сформированный блок знаний. Степень изучения блока проверяет модель тестирования (рис. 2), которая выявляет степень изученности материала. Далее система принимает решение о переводе обучаемого в следующее состояние.

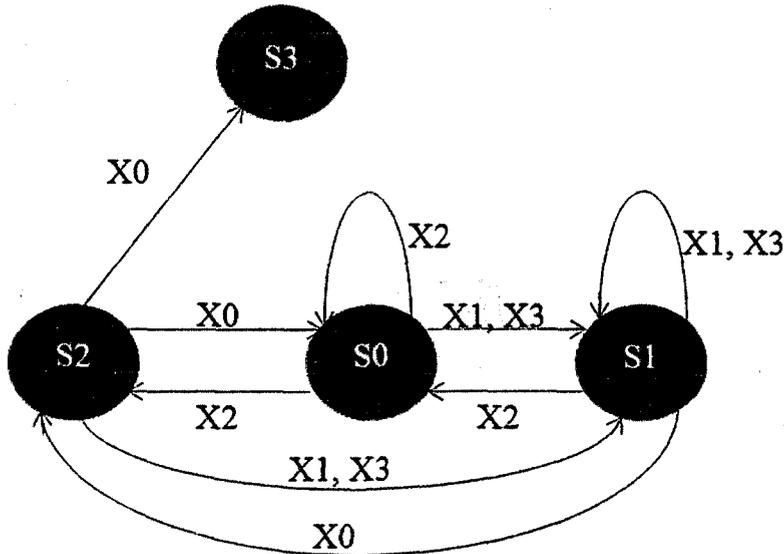


Рисунок 3 – Формализованная модель адаптивного перехода между блоками знаний

Здесь входной алфавит представляет интегрированный показатель, совмещающий результаты тестирования по текущему модулю и показатель траектории обучения (ретроспектива) $X = \{X_0, X_1, X_2, X_3\}$, где: X_0 – результаты теста 2; X_1 – результат теста положительный (3, 4, 5, т), который совпадает со среднестатистической оценкой обучаемого; X_2 – результат теста положительный (3, 4, 5, т), который ниже среднестатистической оценки обучаемого; X_3 – результат теста положительный (3, 4, 5, т), который выше среднестатистической оценки обучаемого.

Выходной алфавит зависит только от состояния, в котором система находится на данный момент времени.

Внутренние состояния модели указывают на направление перехода в то или иное состояние $S = \{S_0, S_1, S_2, S_3\}$, где S_0 – переход на текущий модуль; S_1 – переход на следующий модуль; S_2 – переход на предыдущий модуль; S_3 – перевод обучаемого к преподавателю.

Функции перехода и выхода автомата (рис. 3) представлены в таблице 2, в которой не отражено состояние S_3 , говорящее о переходе к преподавателю. Преподаватель может обнулить автомат, завершить изучение курса или вернуть обучаемого в любое исходное состояние. Основная задача данного состояния заключается в следующем: если система на произвольном этапе обучения не смогла адаптироваться под обучаемого (например, переход на блок ниже не дает должного уровня усвоения материала), то управление при возникшей проблеме передается преподавателю, который принимает решение о дальнейшем ходе обучения и корректирует индивидуальную траекторию.

Таблица 2 – Функции перехода и выхода автомата Мура

Вход \ Выход	Состояние	X_0	X_1	X_2	X_3
$f_v(S_0)$	S_0	S_2	S_1	S_0	S_1
$f_v(S_1)$	S_1	S_2	S_1	S_0	S_3
$f_v(S_2)$	S_2	S_3	S_1	S_0	S_1

Разработанная адаптивная модель процесса обучения описывается диаграммой активностей, представленной на рисунке 4.

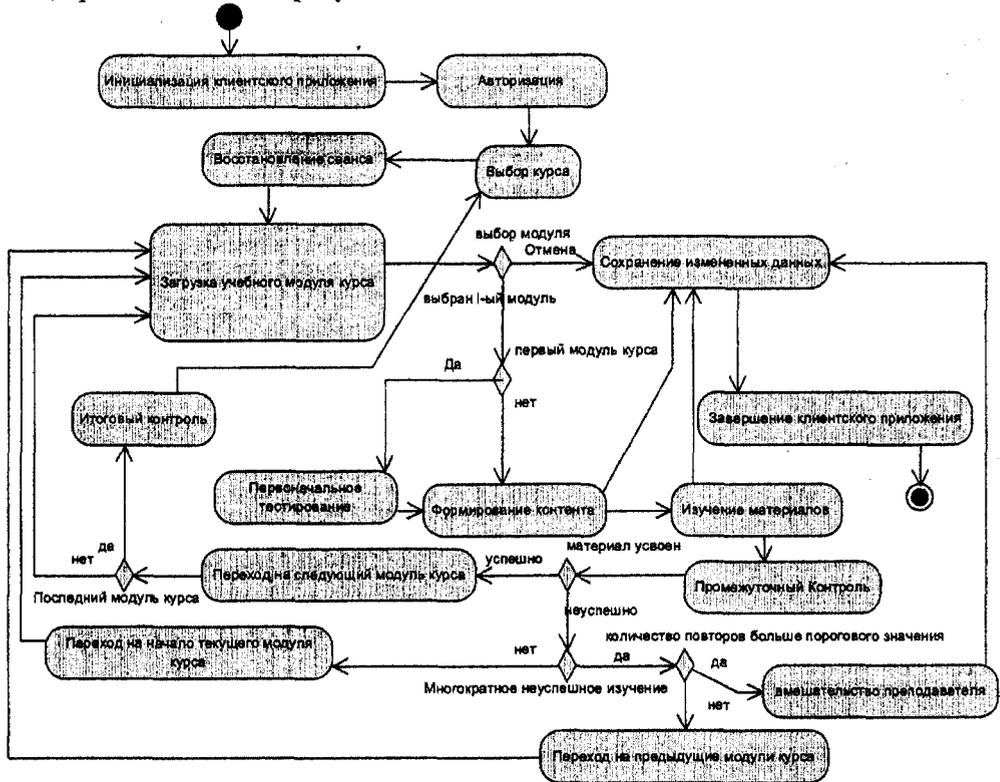


Рисунок 4 – Схема адаптивной модели обучения

В рамках современных информационных систем образования обязательным требованием к архитектуре является поддержка клиент-серверной технологии. Поэтому входной точкой модели адаптивного обучения является инициализация клиентского приложения, которое может быть запущено также в локальном варианте на одном терминальном устройстве.

Процесс авторизации обеспечивает возможность идентифицировать функционал системы с разрешениями, установленными для отдельных пользователей, а также сохранять персонализированную историю обучения. Прохождение процедуры авторизации позволяет осуществить выбор требуемого курса для обучения посредством интерактивного взаимодействия с пользователем либо посредством автоматизированной системы, функционирующей на основе интеллектуальной модели принятия решений.

После того, как пользователь прошел авторизацию и выбрал курс для изучения, система автоматически восстанавливает последний сеанс работы пользователя с определением требуемой ретроспективной информации для формирования и загрузки учебного модуля курса. При условии, что загруженный учебный модуль изучается впервые, обучаемому предоставляется «первоначальное тестирование» с целью корректировки формируемого учебного контента. Если же учебный модуль изучается повторно, то система анализирует имеющуюся информацию об учебном курсе, успехах обучаемого, на основе чего формируется учебный контент.

По окончании формирования учебного контента обучаемый активно работает с представленным материалом. Ввиду того, что процесс обучения может занять длительное время, имеется возможность сохранить состояние системы до следующей инициализации сеанса работы с системой. Выход из системы возможен также и на этапе формирования контента. В этом случае будет сохранена текущая информация о сформированных модулях

для последующего возобновления формирования контента после очередного запуска системы.

Усвоение изучаемого материала проверяется модулем промежуточного контроля, предназначенным для координации направления перехода между изучаемыми модулями учебного курса. При успешном изучении материала осуществляется переход к очередному учебному модулю курса. Если же курс изучен полностью, то проводится итоговый контроль, в результате чего может быть осуществлен переход к другому курсу, или же на основе интеллектуальной системы принятия решений переход на формирование учебного материала текущего курса для устранения пробелов в знаниях.

При первом неуспешном прохождении промежуточного контроля предоставляется возможность перейти на начало текущего модуля, сформированного на основании информации о его прошлом прохождении. При многократном неуспешном изучении материала до определённого порогового количества повторов осуществляется переход на предыдущие модули курса, по которым наблюдается значительный провал в области знаний обучаемого. При превышении порогового значения неуспешных попыток изучить материал осуществляется корректировка индивидуальной траектории обучения преподавателем, так как автоматизированная система на основе интеллектуальных алгоритмов не смогла добиться требуемого уровня знаний у обучаемого.

Модель тестирования и перехода между блоками должна представляться обучаемому в виде единой структуры. Проходя тесты, обучаемый должен лишь видеть перед собой набор тестовых заданий, не придавая значения их логической организации. Переход по модулям обучаемым не должен осознаваться. На основе предлагаемой адаптивной модели обучения реализуется нелинейное перемещение обучаемого по курсу в зависимости от его способностей и требований к уровню знаний.

Преимущества предлагаемой адаптивной модели обучения заключаются в эффективном формализованном описании исследуемого процесса на основе автоматов Мили и Мура, разработке унифицированного модельного представления в виде диаграммы активностей, позволяющих обеспечить более качественную детализацию процесса обучения с использованием последних научных достижений в области информационных систем с учетом ретроспективной информации об обучаемом и его траектории обучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы. Госконтракт № 14.740.11.0591 от 05 октября 2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов С.Д. Педагогика и психология высшего образования. От деятельности к личности. – М.: АCADEMIA, 2005. – 400 с.
2. Тархов С.В. Реализация механизмов многоуровневой адаптации в системе электронного обучения «Гефест» // Education Technology & Society 8(4), 2005. – P. 280-290.
3. Юрков Н.К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы: моногр. – Пенза: ПГУ, 2010. – 304 с.
4. Разыграева В.А., Лямин А.В. Алгоритмическое обеспечение формирования индивидуальной траектории обучения с учетом функционального состояния студента // Материалы V Международной научно-практической конференции «Информационная среда ВУЗа XXI века», г. Петрозаводск, 2011. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. – С. 158-161.
5. Ларцов С.В., Плотников С.В. Алгоритм оценки функциональной надежности операторов сложных технических систем // Информатизация образования и науки, 2010. – № 2. – С. 114-126.
6. Беспалько В.П. Природосообразная педагогика. – М.: Народное образование, 2008. – 512 с.
7. Кривицкий Б.Х. Обучающие компьютерные программы: психология разработки преподавателями обучающих курсов в АСО // Educational Technology & Society, 2007. – № 10(3). – С. 395-406.

Ломакин Владимир Васильевич

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
Белгород

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационного менеджмента

Тел.: 8 (4722) 30-12-94

E-mail: lomakin@bsu.edu.ru

Асадуллаев Рустам Геннадьевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аспирант кафедры информационного менеджмента

Тел.: 8 (4722) 30-12-94

E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru

Трухачев Сергей Сергеевич

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационного менеджмента

Тел.: 8 (4722) 30-12-94

E-mail: trukhachev@bsu.edu.ru

V.V. LOMAKIN (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, head of the department of the informational management*)
National Research University Belgorod State University, Belgorod

R.G. ASADULLAEV (*Post-graduate student*)
Belgorod Shukhov State University, Belgorod

S.S. TRUKHACHEV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the informational management*)
National Research University Belgorod State University, Belgorod

AUTOMATION OF THE PROCESS OF BUILDING INDIVIDUAL LEARNING PATHS FOR TRAINING SYSTEM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

The present article deals with the issues of formalization of objects and processes in the information environment of personal training to automate the individual learning path constructions. Essential features of training for industrial enterprises were chosen, the need of development of adaptive learning systems that take into account the individual characteristics of students was substantiated. The structural diagram of learning process control, the automata models of knowledge testing and transitions between blocks of knowledge were built. For the practical implementation of the individually oriented learning algorithm the unified model was developed. The current and retrospective information is used during the modeling process.

Keywords: *student-oriented learning; adaptive software; individual learning path; adaptive algorithm for the formation of the course; an adaptive algorithm for knowledge testing.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Smirnov S.D. Pedagogika i psixologiya vy'sshego obrazovaniya. Ot deyatel'nosti k lichnosti. – M.: ACADEMIA, 2005. – 400 s.
2. Tarxov S.V. Realizaciya mexanizmov mnogourovnevoj adaptacii v sisteme e'lektronnoho obucheniya «Gefest» // Education Technology & Society 8(4), 2005. – P. 280-290.
3. Yurkov N. K. Intellektual'ny'e komp'yuterny'e obuchayushhie sistemy': monogr. – Penza: PGU, 2010. – 304 s.
4. Razy'graeva V.A., Lyamin A.V. Algoritmicheskoe obespechenie formirovaniya individual'noj traektorii obucheniya s uchotom funkcional'nogo sostoyaniya studenta // Materialy' V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Informacionnaya sreda VUZa XXI veka», g. Petrozavodsk, 2011. – Petrozavodsk: PetrGU, 2011. – S. 158-161.
5. Larczov S.V., Plotnikov S.V. Algoritm ocenki funkcional'noj nadyozhnosti operatorov slozhny'x texnicheskix sistem // Informatizaciya obrazovaniya i nauki, 2010. – № 2. – S. 114-126.
6. Bespal'ko V.P. Prirodosoobraznaya pedagogika. – M.: Narodnoe obrazovanie, 2008. – 512 s.
7. Kriviczkij B.X. Obuchayushhie komp'yuterny'e programmy': psixologiya razrabotki prepodavatelyami obuchayushhix kursov v ASO // Educational Technology & Society, 2007. – № 10(3). – S. 395-406.

П.В. ЛУКЬЯНОВ, А.И. ФРОЛОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ДАННЫХ АДМИНИСТРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В статье рассматриваются вопросы организации процессов обработки данных в автоматизированной системе административного мониторинга. Проанализирована роль системы административного мониторинга в процессах принятия управленческих решений. Построена формализованная модель процессов обработки данных. Разработана структура подсистем обработки данных в системе административного мониторинга.

Ключевые слова: автоматизированная система; мониторинг; моделирование; принятие решений; процессы обработки данных; анализ данных; контроль данных.

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от автоматических систем, в которых после их запуска роль человека сводится к контролю за работой системы, в автоматизированных системах человек является важным, определяющим звеном, поэтому при проектировании АСУ необходимо учитывать такие «человеческие» факторы, как «пропускная способность» человека, скорость реакции, допустимые объемы перерабатываемой информации. В этой связи даже наличие полной (с требуемой долей абстракции) информации об объекте управления (мониторинга) не гарантирует возможности принятия качественного управленческого решения. Это особенно актуально для сложных организационно-технических систем (ОТС), когда само понятие «сложность» определяется как невозможность целостного одновременного их охвата некоторым наблюдателем (Уильям Росс Эшби).

Поэтому процесс принятия решений в той или иной мере должен сопровождаться и подкрепляться использованием соответствующих формальных моделей. Именно процессы моделирования и прогнозирования позволяют из огромных массивов исходных данных (информационных ресурсов) получать информационно-аналитические ресурсы [1], отличающиеся более высоким уровнем абстракции и пригодные для анализа, оценки и принятия управленческих решений.

В работах Коськина А.В., посвященных управлению в сложных ОТС, выделяются следующие основные этапы формирования управления:

1. Возникновение проблемы.
2. Постановка задачи.
3. Исследование внутренней структуры ОТС.
4. Исследование состояния внешней среды.
5. Комплексное применение ряда методов научных исследований для получения множества предварительных вариантов управленческих решений.
6. Выбор окончательного решения.

Очевидно, что третий и четвертый этапы с точки зрения общей методики организации процесса административного мониторинга [2] соответствуют процедурам сбора и организации хранения информации в системе административного мониторинга. Пятый этап предполагает генерацию альтернатив управляющих воздействий. Именно в рамках этого этапа происходит анализ состояния объекта управления и возникшей проблемной ситуации. Лицо, принимающее решение, на основе информации, полученной при сборе данных, должно выявить причину проблемы и только после этого формулировать цель управления и переходить к генерации и оценке альтернатив. Вопрос автоматизации оценки альтернатив выходит за рамки исследования и лежит в плоскости имитационного моделирования. Однако вопросы анализа состояния объекта управления, то есть вопросы аналитической обработки

данных мониторинга могут быть решены системой административного мониторинга за счет реализации подсистемы анализа и контроля данных.

Формализованная постановка задач анализа и контроля данных в системе административного мониторинга (САМ) приведена в работах [3, 4]. В ходе проведенных ранее исследований выявлено, что данные задачи (построение сводных отчетов, контроль показателей, прогнозирование, классификация и др.), могут иметь различные информационные связи, результаты решения одной задачи могут являться исходными данными для других. В связи с этим в целях определения структурной модели подсистем обработки данных в САМ необходимо построить формализованную модель процессов анализа и контроля данных административного мониторинга.

МЕСТО СИСТЕМЫ АДМИНИСТРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА В АСУ ОТС

Для определения места системы административного мониторинга в АСУ организационно-технической системой выделим основные контуры системы управления ОТС (рис. 1):

1. Контур проектного управления (основной контур). Результаты управляющего воздействия на объект управления (мониторинга) оцениваются по его данным, поступающим на вход системы административного мониторинга. Результатом функционирования САМ как составного элемента основного контура является формирование информации о состоянии объекта управления как в текущее время, так и в ретроспективе. Также система административного мониторинга может выполнять часть функций поддержки принятия решений, преобразуя информацию о состоянии объекта управления в информационно-аналитические ресурсы.



Рисунок 1 – Место системы административного мониторинга в АСУ ОТС

Роль исполнительного механизма, оказывающего управляющее воздействие на объект управления, выполняет система реализации управляющих воздействий, то есть формирования, согласования и контроля исполнения организационно-распорядительных документов. В случае автоматизированной реализации данного процесса такую систему называют обычно системой электронного документооборота.

2. Контур управления (адаптации) системы административного мониторинга. Данный контур используется при изменении внутренних и внешних условий функционирования

организационно-технической системы, при решении стратегических задач управления, связанных с изменением организационной структуры, перераспределения ресурсов, реорганизации производственного процесса и т.п. При решении таких задач зачастую данных об объекте управления недостаточно для принятия решения. В этом случае на основе анализа текущего состояния объекта управления, которое характеризует не только деятельность организационно-технической системы, но и функции САМ, формируется вектор управляющей информации, преобразование которого в вектор управления системой мониторинга приводит к изменению ее функций сбора данных и функций хранения и обработки данных. Необходимо отметить, что изменение состояния объекта управления и ИАР, характеризующих его состояние, может осуществляться и при неизменных входных информационных потоках системы мониторинга. Такое изменение будет соответствовать адаптации процедур обработки, представления, анализа и контроля данных в системе мониторинга.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Модель процессов обработки данных в системе административного мониторинга можно представить с помощью графа (сети), где вершины соответствуют процессам, а дуги – информационным потокам в САМ (рис. 2).

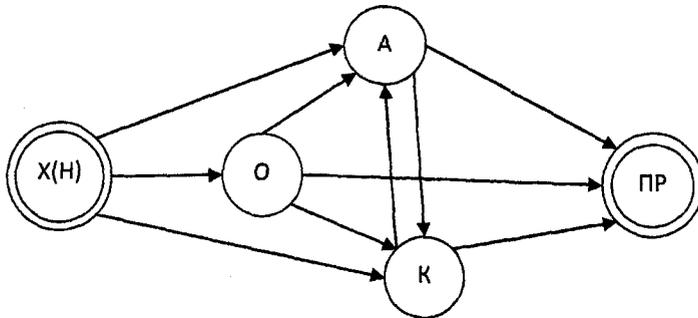


Рисунок 2 – Модель процессов обработки данных

Источком является процесс хранения или накопления (X(H)) данных о состоянии объекта управления, стоком является процесс принятия решения (ПР). Дуга (X(H),O) показывает множество экземпляров объектов учета и их показателей, которые процесс генерации отчетов (O) получает от процесса накопления. Процесс анализа данных (A) в зависимости от вида задачи, получает от процесса накопления (дуга (X(H),A)) совокупность экземпляров объектов учета одного типа с выбранными показателями, принадлежащими данному типу, или экземпляр объекта учета со значениями периодического показателя, принадлежащего данному экземпляру объекта учета. Процесс контроля данных (K) получает от процесса накопления (дуга (X(H),K)) множество экземпляров объектов учета одного типа с показателем, принадлежащим данному типу. От процесса генерации отчетов процессы принятия решений (ПР), анализа и контроля данных (дуги (O,ПР), (O,A) и (O,K)) получают совокупность взаимосвязанных множеств экземпляров ОУ с итоговыми показателями (полученные путем агрегирования). От процесса анализа данных процессы контроля данных и принятия решений в зависимости от задачи анализа получают (дуги (A,K) и (A,ПР)) множество экземпляров объектов учета, разбитых по группам, или экземпляр объекта учета со значениями периодического показателя для будущих периодов учета. От процесса контроля данных процессы анализа данных и принятия решения получают (дуги (K,A) и (K,ПР)) множество экземпляров объектов учета, разбитых на группы. Основываясь на формализме представления объекта мониторинга [5] в подсистеме хранения данных и приведенном выше описании информационных потоков, можно вывести следующее их формализованное представление:

Дуга (X(H),O): V_o, P , где V_o – множество экземпляров объектов учета (ОУ), P – множество показателей.

Дуга (X(H),A): $V_{ot}, X_{ptl}, o_l, p_l, S_n$, где V_{ot} – множество ОУ типа t , X_{ptl} – подмножество набора показателей ассоциированных с типом t , $o_l \in V_o$ – экземпляр объекта учета, имеющий периодический показатель p со множество значений S_n за n периодов учета.

Дуга (X(H),K): V_{ot}, p_l , где V_{ot} – множество ОУ типа t , имеющих показатель p_l .

Дуги (O,ПР), (O,A), (O,K): $V_o, P' = f(P)$, где P' – множество итоговых показателей, полученных в результате применения функции f ко множеству показателей P . Функция f может являться функцией агрегирования, нахождения среднего арифметического, минимального, максимального значения показателя в зависимости от задачи мониторинга.

Дуги (A,K), (A,ПР): $V_{oz}, o_l, p_l, S_{n+k}$, где V_{oz} – множество z групп (классов, кластеров, подмножеств) экземпляров объектов учета, $o_l \in V_o$ – экземпляр объекта учета, имеющий периодический показатель p со множество значений S_{n+k} за $n+k$ периодов учета.

Дуги (K,A), (K,ПР) – V_{ox} , где V_{ox} – множество x подмножеств экземпляров ОУ.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОДСИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ АДМИНИСТРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА

На основе проведенного анализа места САМ в АСУ ОТС и построенной модели процессов обработки данных можно определить структуру подсистем обработки данных САМ. Таковыми являются (рис. 3): подсистема настройки анализа и контроля данных, подсистема настройки отчетов, подсистема анализа данных, подсистема контроля данных, подсистема генерации отчетов.

Подсистема анализа данных использует данные, полученные из хранилища или подсистемы генерации отчетов. Результаты анализа в подавляющем большинстве случаев могут рассматриваться как самостоятельные ИАР, пригодные для принятия управленческих решений. Однако для некоторых задач анализа, например, задачи прогнозирования, где результатом являются значения показателей, возможно использование этих результатов как объекта контроля.

Исходными данными для подсистемы контроля данных могут являться результаты подсистемы генерации отчетов или данные из хранилища. Результаты контроля данных могут использоваться как готовые информационно-аналитические ресурсы. Также по результатам контроля данных можно проводить анализ данных, например, прогнозирование для объектов учета, у которых показатели близки к выходу за пределы нормативных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задачи анализа и контроля данных административного мониторинга являются неотъемлемой частью процесса управления в сложных ОТС. При этом процедуры анализа данных обычно реализуются в ходе этапа выработки альтернатив управляющего воздействия, а процедуры контроля реализуются в текущем режиме с целью отслеживания отклонений параметров, характеризующих состояние объекта управления, от приемлемых.

Процессы анализа и контроля данных, обмениваясь между собой своими результатами (так, прогнозирование может осуществляться на детальных данных, полученных непосредственно из хранилища, на агрегированных данных отчетов, результаты прогнозирования могут подвергаться контролю и т.п.), являющимися информационно-аналитическими ресурсами, обеспечивают повышение уровня абстракции представления состояния объекта мониторинга, тем самым их результаты деятельности становятся более пригодными для принятия решений.

Полученная формализованная модель процессов обработки данных в системе административного мониторинга является основой не только для разработанной структуры подсистем обработки данных, но и для построения спецификаций протоколов информационного обмена между подсистемами.

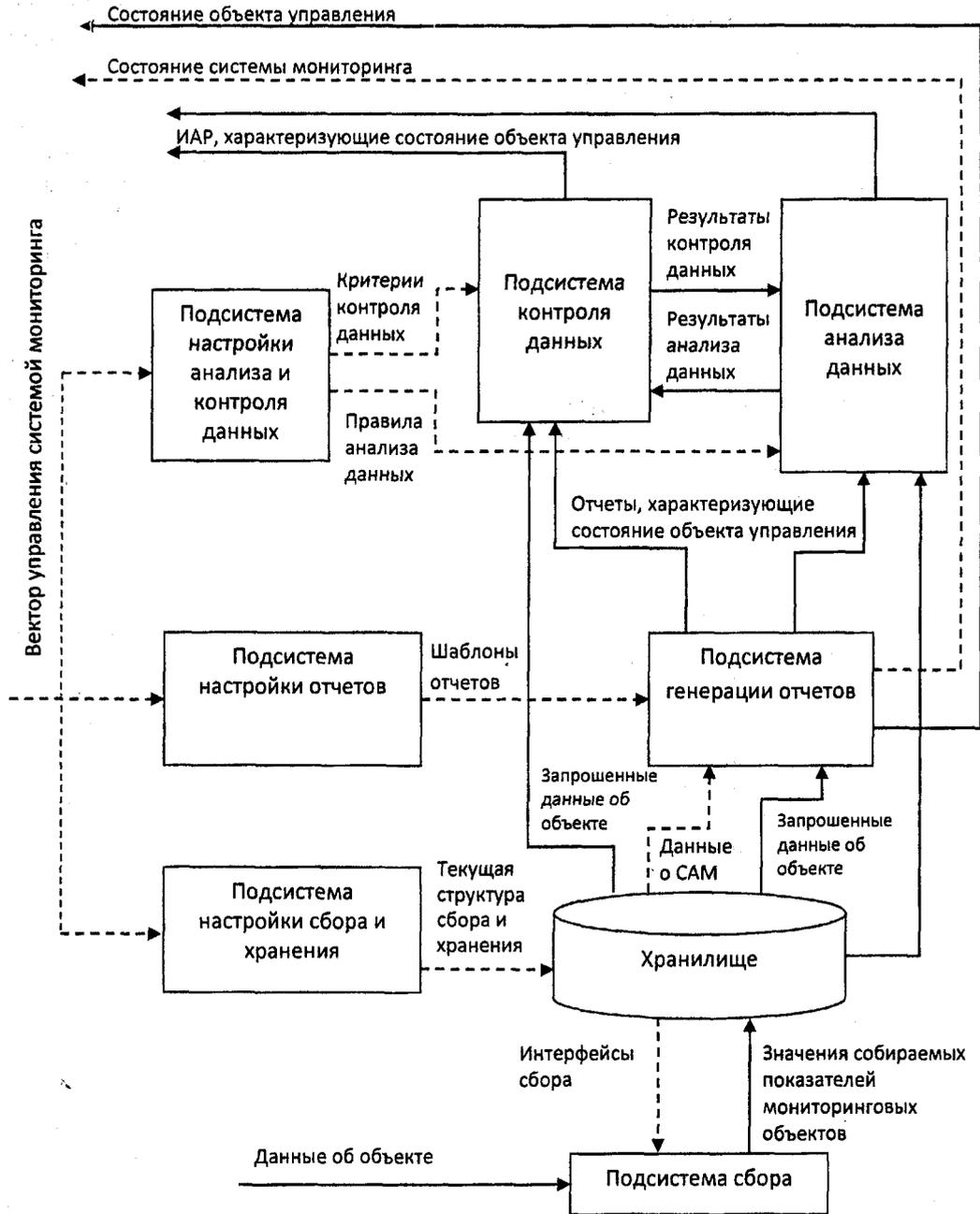


Рисунок 3 – Структурная схема подсистем обработки данных САМ

Примечание: исследования проводились при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Орловской области, грант № 12-07-97528-р_центр_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коськин А.В. Информационно-аналитические ресурсы для управления организационно-техническими системами: монография. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 208 с.

2. Кравцова Н.А. Методика организации процессов сбора, хранения и обработки данных в автоматизированной адаптивной системе административного мониторинга // Сборник трудов X Всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГТУ, 2010. – В 4-х частях. – Ч. 1. – С. 139-141.
3. Константинов И.С., Фролов А.И., Лукьянов П.В. Формализация задач анализа и контроля данных в автоматизированной адаптивной системе административного мониторинга // Информационные системы и технологии: материалы Международной научно-технической интернет-конференции. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», 2011. – С. 31-37.
4. Константинов И.С., Фролов А.И., Лукьянов П.В. Модели правил анализа и критериев контроля данных в системе административного мониторинга // Информационные системы и технологии, 2012. – № 4(72). – С. 70-77.
5. Константинов И.С., Фролов А.И., Кравцова Н.А. Модель хранения данных в адаптивной автоматизированной системе административного мониторинга // Информационные системы и технологии, 2010. – № 4(60). – С. 66-73.

Лукьянов Павел Вадимович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Инженер-программист кафедры «Информационные системы»

Email: ckboji@gmail.com

Фролов Алексей Иванович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, зам. директора УНИИ ИТ по научной работе и инновациям

Тел.: 8 (4862) 43-56-11

E-mail: aifrolov@ostu.ru

P.V. LUKYANOV (*Software Engineer of the department «Information Technologies»*)

A.I. FROLOV (*Candidate of Engineering Sciences, Professor, Associate director of the Education and Research Institute of Information Technologies of scientific work and innovations*)
State University – ESPC, Orel

THE MODELING OF THE ADMINISTRATIVE MONITORING DATA ANALYSIS AND CHECK PROCESSES BY THE AUTOMATION OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS CONTROL

In article the questions of the data processing organization in the automated are considered. The role of the administrative monitoring system in the processes of the management decision making is analyzed. The formalized model of the data processing is constructed. The structure of the data processing subsystems in the administrative monitoring system is designed.

Keywords: *automated system; monitoring; modeling; decision making; data processing; data analyses; data control.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kos'kin A.V. Informacionno-analiticheskie resursy' dlya upravleniya organizacionno-texnicheskimi sistemami: monografiya. – M.: Mashinostroenie-1, 2006. – 208 s.
2. Kravcova N.A. Metodika organizacii processov sbora, xraneniya i obrabotki danny'x v avtomatizirovannoj adaptivnoj sisteme administrativnogo monitoringa // Sbornik trudov X Vserossijskoj nauchnoj konferencii molody'x uchyony'x «Наука. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГТУ, 2010. – В 4-х chastyax. – Ч. 1. – С. 139-141.
3. Konstantinov I.S., Frolov A.I., Luk'yanov P.V. Formalizaciya zadach analiza i kontrolya danny'x v avtomatizirovannoj adaptivnoj sisteme administrativnogo monitoringa // Informacionny'e sistemy' i tehnologii: materialy' Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj internet-konferencii. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2011. – С. 31-37.
4. Konstantinov I.S., Frolov A.I., Luk'yanov P.V. Modeli pravil analiza i kriteriev kontrolya danny'x v sisteme administrativnogo monitoringa // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2012. – № 4(72). – С. 70-77.
5. Konstantinov I.S., Frolov A.I., Kravcova N.A. Model' xraneniya danny'x v adaptivnoj avtomatizirovannoj sisteme administrativnogo monitoringa // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2010. – № 4(60). – С. 66-73.

УДК 658.012.11

О.В. ЗАХАРОВА

**ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ**

В работе представлен вариант программных инструментальных средств, которые необходимы, чтобы оценивать задержки при отработке элементарных операций и формировать точные представления о задержке вычисления управляющего воздействия в цифровом регуляторе.

Ключевые слова: промышленный контроллер; производительность; арифметико-логическое устройство (АЛУ).

Управляющее воздействие должно быть сформировано в цифровом регуляторе за время $\tau_{рег}$, несколько меньшее, чем время задержки реакции управляемого объекта $t_{об}$ (учитывая вывод в исполнительные механизмы, время преобразования в исполнительном механизме, а также задачи контроля, учета и планирования в самом регуляторе) [1]:

$$\tau_{рег} < t_{об}. \quad (1)$$

Однако в зависимости от сложности закона регулирования (управления) соотношение (1) может не выполняться. Тогда при проектировании стараются учесть максимальные временные задержки, которые могут произойти в цифровом регуляторе при вычислении управляющих воздействий сложного закона регулирования $G(t)$. Эти оценки и определяют возможность управления конкретным объектом: фактически, объект управления выбирают так, чтобы удовлетворить соотношение (1) при отработке $G(t)$ на реальном регуляторе.

Другими словами, реальные возможности построения регуляторов влияют либо на выбор скоростных характеристик объекта управления (то есть на объект управления), либо на вид закона регулирования, чтобы вложиться во время задержки реакции объекта управления. Ориентация на максимально возможные временные задержки очевидно сужает класс объектов управления – для данного регулятора и данного вида закона управления надо выбирать объекты управления менее быстродействующие, чем хотелось бы.

Поскольку вычисление управляющих воздействий проводится в конкретном процессоре цифрового регулятора, а оценка в нем времени выполнения каждой текущей вычислительной операции конкретного закона регулирования практически не возможна (хотя бы потому, что в процессоре нет таких средств оценки, а любое программное решение приведет к сокращению быстродействия), максимальные временные задержки, которые могут произойти в цифровом регуляторе, как правило, оцениваются статистически (в среднем, с использованием максимально возможных значений задержки как случайной величины, посредством смесей Гибсона, методом проф. Ю.Я. Базилевского и Ю.А. Шрейдера [2], методами акад. В.М. Глушкова [3], методами теории массового обслуживания проф. Г.Т. Артамонова [4] и др.) и фактически не отражают реальные задержки на выполнение реальных вычислительных операций при отработке реальных законов регулирования. В простейшем случае задержка на выполнение вычислительной операции может быть оценена тривиально многократным выполнением операции на тех же данных и последующим усреднением времени для одного вычисления.

Отсюда следует, что с целью расширения класса объектов управления, требующих заданного сложного закона регулирования, решение вопросов оценки не усредненных, а реальных временных задержек при отработке законов регулирования в процессоре цифрового регулятора является актуальным.

В настоящей работе сделан первый шаг в решении сформулированной задачи и предложены основные программные инструментальные средства моделирования структуры арифметико-логического устройства (АЛУ), которая обрабатывает все элементарные вычислительные операции с одинаковым максимальным методическим быстродействием [5, 6], что позволяет при моделировании задавать любые задержки при обработке элементарных операций.

НОВОЕ АЛУ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Результат любой вычислительной операции может быть представлен в виде:

$$c = a \Delta b, \quad (2)$$

где c – n -разрядный результат вычислительной операции; a, b – k -разрядные входные операнды; Δ – операция; n, k – натуральные числа.

Учитывая, что машинная арифметика строится на n разрядах $\{2^{n-1}, 2^{n-2}, \dots, 2^1, 2^0\}$, то результат любой вычислительной операции может быть представлен в виде $c = c_{n-1} \cdot 2^{n-1} + c_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + c_1 \cdot 2^1 + c_0 \cdot 2^0$, где $c_i \in [0, 1]$; $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$.

Это указывает на то, что результат вычислительной операции может быть получен не в процессе традиционного поразрядного вычисления результата с формированием соответствующих переносов в следующие разряды, а непосредственно в виде его выбора из таблицы соответствия (табл. 1) [5].

Таблица 1 – Соответствие операндов результата и данных

Строка	k -разрядное число a				k -разрядное число b				n -разрядный результат Операции $c = a \Delta b$				
	a_{k-1} (2^{k-1})	...	a_1 (2^1)	a_0 (2^0)	b_{k-1} (2^{k-1})	...	b_1 (2^1)	b_0 (2^0)	c_{n-1} (2^{n-1})	c_{n-2} (2^{n-2})	...	c_1 (2^1)	c_0 (2^0)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
...
2^k	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
...
2^{2k}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Таким образом, каждая вычислительная операция может быть представлена соответствующей таблицей истинности и может быть реализована в виде комбинационной схемы или конечного автомата без памяти (непосредственное формирование результата). Это снимает проблему быстродействия, характерную «традиционным» вычислениям (по принципу последовательного поразрядного формирования результата), обеспечивая реализацию операции в методическом плане без задержки, то есть методически с максимальной производительностью.

Вычислитель (вычислительное средство), построенный на основе идеи непосредственного формирования результата, называется арифметико-логическим устройством непосредственного формирования (АЛУ НФ).

Исходя из принципа непосредственного формирования, n -разрядный результат операции (табл.1) можно рассматривать не только как результат выполнения операции $c = a \Delta b$, его можно трактовать и как совокупность функций алгебры логики (ФАЛ):

$$c_{n-1} = c_{n-1}(a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0),$$

$$\begin{aligned} c_{n-2} &= c_{n-2} (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0), \dots, \\ c_1 &= c_1 (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0), \\ c_0 &= c_0 (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) \end{aligned} \quad (3)$$

от $2k$ логических переменных $a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0$, а таблицу 1 понимать не как таблицу выполнения операции $c = a \Delta b$, а как таблицу истинности ФАЛ (3). В этом и заключена идея построения нового АЛУ для промышленных контроллеров.

Традиционно для синтеза ФАЛ каждая ФАЛ представляется в дизъюнктивной совершенной нормальной форме (ДСНФ) или конъюнктивной совершенной нормальной форме (КСНФ). Поскольку данные формы не обладают универсальностью (способны формировать только одну логическую функцию из возможных $2^{2^{2k}}$), то были предложены унифицированные совершенные нормальные формы (УСНФ) [7, 8]:

1) унифицированные дизъюнктивные совершенные нормальные формы (УДСНФ):

$$\begin{aligned} f_i (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) &= \\ &= f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 0) \cdot \bar{a}_{k-1} \cdot \bar{a}_{k-2} \cdot \dots \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 \cdot \bar{b}_{k-1} \cdot \bar{b}_{k-2} \cdot \dots \cdot \bar{b}_1 \cdot \bar{b}_0 \vee \\ &\vee f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 1) \cdot \bar{a}_{k-1} \cdot \bar{a}_{k-2} \cdot \dots \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 \cdot \bar{b}_{k-1} \cdot \bar{b}_{k-2} \cdot \dots \cdot \bar{b}_1 \cdot b_0 \vee \\ &\vee \dots \vee f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 0) \cdot a_{k-1} \cdot a_{k-2} \cdot \dots \cdot a_1 \cdot a_0 \cdot b_{k-1} \cdot b_{k-2} \cdot \dots \cdot b_1 \cdot \bar{b}_0 \vee \\ &\vee f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 1) \cdot a_{k-1} \cdot a_{k-2} \cdot \dots \cdot a_1 \cdot a_0 \cdot b_{k-1} \cdot b_{k-2} \cdot \dots \cdot b_1 \cdot b_0, \end{aligned} \quad (4)$$

или в форме представления характеристическими функциями единицы φ_j ($j = 1, 2, \dots, 2^{2k} - 1, 2^{2k}$):

$$\begin{aligned} f_i (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) &= \\ &= f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 0) \cdot \varphi_1 (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) \vee \\ &\vee f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 1) \cdot \varphi_2 (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) \vee \\ &\vee \dots \vee f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 0) \cdot \varphi_{2^{2k}-1} (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) \vee \\ &\vee f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 1) \cdot \varphi_{2^{2k}} (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0); \end{aligned} \quad (5)$$

2) унифицированные конъюнктивные совершенные нормальные формы (УКСНФ):

$$\begin{aligned} f_i (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) &= \\ &= [f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 0) \vee a_{k-1} \vee a_{k-2} \vee \dots \vee a_1 \vee a_0 \vee b_{k-1} \vee b_{k-2} \vee \dots \vee b_1 \vee b_0] \& \\ &\& [f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 1) \vee a_{k-1} \vee a_{k-2} \vee \dots \vee a_1 \vee a_0 \vee b_{k-1} \vee b_{k-2} \vee \dots \vee b_1 \vee \bar{b}_0] \& \\ &\& \dots \& [f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 0) \vee \bar{a}_{k-1} \vee \bar{a}_{k-2} \vee \dots \vee \bar{a}_1 \vee \bar{a}_0 \vee \bar{b}_{k-1} \vee \bar{b}_{k-2} \vee \dots \vee \bar{b}_1 \vee b_0] \& \\ &\& [f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 1) \vee \bar{a}_{k-1} \vee \bar{a}_{k-2} \vee \dots \vee \bar{a}_1 \vee \bar{a}_0 \vee \bar{b}_{k-1} \vee \bar{b}_{k-2} \vee \dots \vee \bar{b}_1 \vee \bar{b}_0], \end{aligned} \quad (6)$$

или в форме представления характеристическими функциями нуля ψ_j ($j = 1, 2, \dots, 2^{2k} - 1, 2^{2k}$):

$$\begin{aligned} f_i (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0) &= \\ &= [f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 0) \vee \psi_1 (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0)] \& \\ &\& [f_i(0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, 1) \vee \psi_2 (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0)] \& \\ &\& \dots \& [f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 0) \vee \psi_{2^{2k}-1} (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0)] \& \\ &\& [f_i(1, 1, \dots, 1, 1, 1, \dots, 1, 1) \vee \psi_{2^{2k}} (a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_1, a_0, b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0)]. \end{aligned} \quad (7)$$

Поскольку посредством форм (4), (5) и (6), (7) можно формировать произвольные ФАЛ из множества функций с $2k$ логическими переменными, то они являются математическими моделями логического устройства (комбинационной схемы или конечного

автомата без памяти), следовательно, моделирование вычислительных операций должно проводиться именно как реализация соответствующих формул УДСНФ (рис. 1) или УКСНФ (рис. 2), а сами реализации – как ядра АЛУ НФ [7].

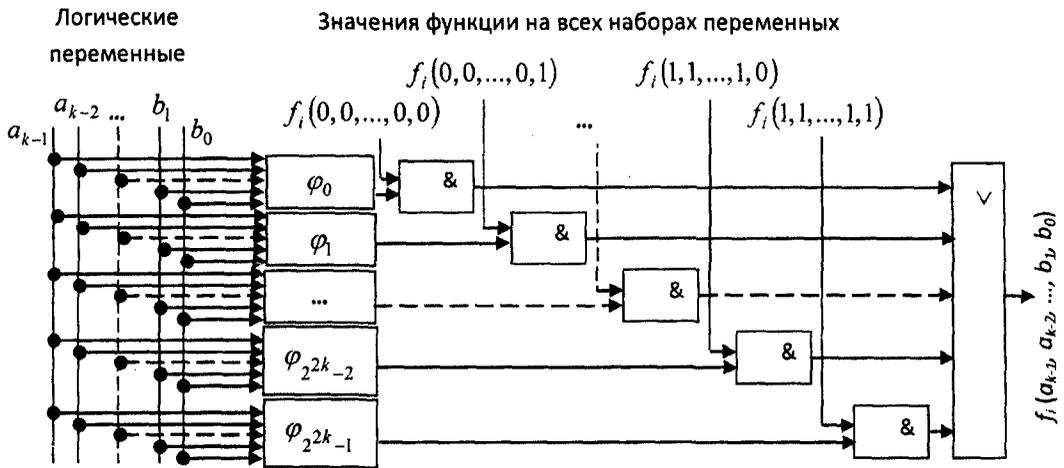


Рисунок 1 – Структурная единица АЛУ НФ, где $\{\varphi_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, 2^{2k} - 1, 2^{2k}$) – компоненты обработки характеристических функций единицы, а « \vee » и « $\&$ » – соответственно операций дизъюнкции и конъюнкции

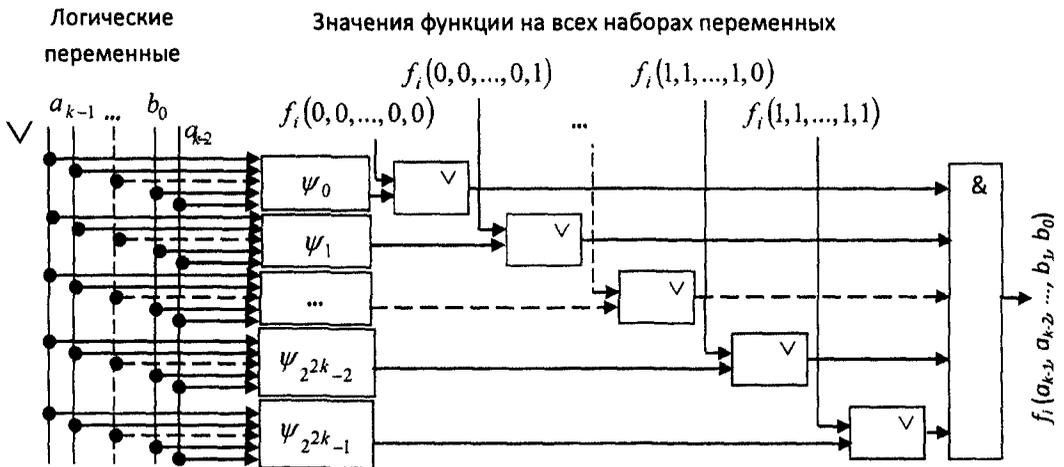


Рисунок 2 – Структурная единица АЛУ НФ, где $\{\psi_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, 2^{2k} - 1, 2^{2k}$) – компоненты обработки характеристических функций нуля, а « \vee » и « $\&$ » – соответственно операций дизъюнкции и конъюнкции

Общая структура ядра АЛУ НФ формируется простым объединением n -ого количества структурных единиц АЛУ (по количеству разрядов результата) [6, 7].

Исходя из изложенного, программный инструментарий для моделирования АЛУ НФ должен включать, по меньшей мере, следующие инструментальные средства:

1. Построение и проверка автоматных таблиц вычислительных операций (построение таблиц истинности в соответствии с (2) и таблицей 1).
2. Построение и проверка УСНФ (построение УСНФ в соответствии с (4), (5) и (6),(7)).

3. Построение структуры АЛУ, структуры УСНФ и моделирование процесса функционирования ядер (построение общей структуры ядра АЛУ НФ, структурных единиц АЛУ НФ в соответствии с рисунками 1, 2 и моделирование (имитация) процессов функционирования ядер АЛУ НФ), в том числе, для проверки правильности построенных автоматных таблиц, УСНФ и структуры.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Исходя из требуемого набора инструментальных средств, программная система имеет структуру, представленную на рисунке 3 [9].

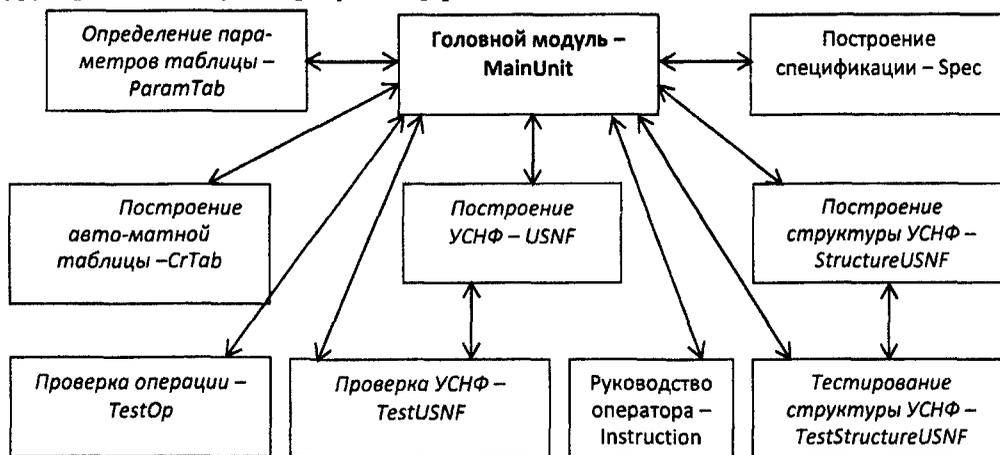


Рисунок 3 – Схематичное представление программной системы «Программный инструментальный для моделирования вычислительных средств управления»

Построение и проверка автоматных таблиц вычислительных операций реализуется модулями: «Определение параметров таблицы», «Построение автоматной таблицы», «Проверка операции» (рис. 3). При выборе пункта меню «Таблица – Создать проект» открывается окно «Параметры автоматной таблицы», где указывается выбор режимов (рис. 4):

1) режим «Вычислительная операция»: выбирается тип операции («+ (сложение)», «- (вычитание)», «* (умножение)», «/ (деление)», «произвольная операция»); указывается наличие или отсутствие знака у входных операндов; вводится количество разрядов входных операндов (если отмечено наличие знака, то знаковый разряд учитывается во введенном количестве разрядов входных операндов); указывается наличие или отсутствие знака у операнда результата; вводится количество разрядов результата операции (если отмечено наличие знака, то знаковый разряд учитывается во введенном количестве разрядов результирующего операнда); в случае выбора операции «/ (деление)» необходимо указать разрядность целой части результата и разрядность дробной части результата; в случае выбора операции «произвольная операция» необходимо присвоить имя «произвольной операции».

2) режим «Логическая функция»: задается количество логических переменных; задается количество функций алгебры логики.

Подтверждаются параметры моделирования нажатием на кнопку «ОК», после чего формируется автоматная таблица (рис. 4).

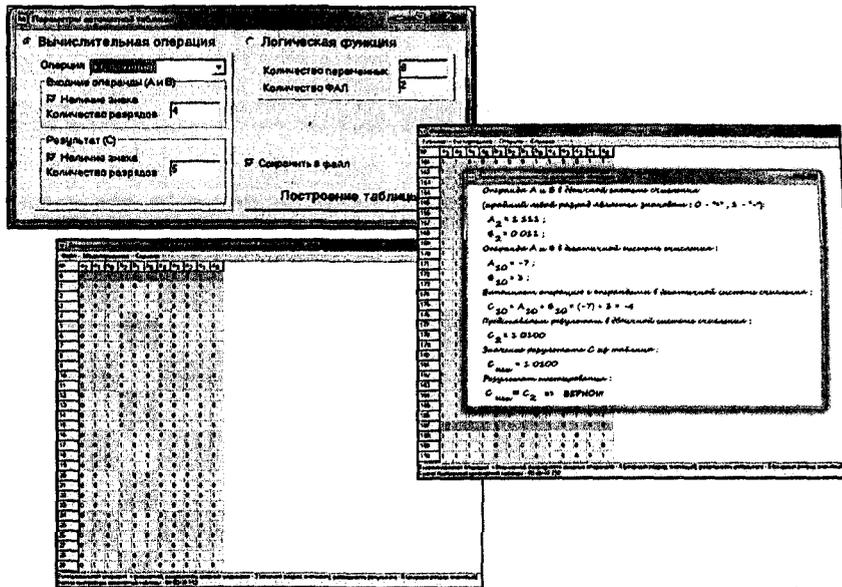


Рисунок 4 – Скриншоты использования инструментальных средств построения и проверки автоматных таблиц вычислительных операций

Пункты главного и всплывающего меню «Тестирование» доступны только в режиме «Вычислительная операция» для операций «+ (сложение)», «- (вычитание)», «* (умножение)», «/ (деление)». Они реализуют возможность тестирования (наглядного, визуального) выделенной строки. Результатом тестирования является: отображение операндов в двоичной и десятичной форме; выполнение операции над числами в десятичной форме с представлением результата в десятичной форме; перевод результата из десятичной формы в двоичную; сравнение табличного результата с полученным в ходе выполнения тестирования (рис. 4).

Построение и проверка УСНФ реализуется модулями: «Построение УСНФ», «Проверка УСНФ» (рис. 3). Пункт меню «Моделирование – УСНФ» главной формы доступен только после построения автоматной таблицы. Он реализует возможность построения УСНФ. При выборе данного пункта меню открывается форма «Унифицированные совершенные нормальные формы», где (рис. 5):

1) Возможно построение унифицированных дизъюнктивных совершенных нормальных форм при помощи переключателя (RadioButton) «УДСНФ – унифицированные дизъюнктивные совершенные нормальные формы» и унифицированных конъюнктивных совершенных нормальных форм при помощи переключателя (RadioButton) «УКСНФ – унифицированные конъюнктивные совершенные нормальные формы».

2) При выборе пункта меню «Тестирование» открывается форма «Проверка правильности построения УСНФ». Для тестирования правильности построенных УСНФ: вводятся значения входных операндов А и В двойным щелчком мышкой по соответствующим разрядам; нажимается кнопка «Подстановка значений» (в текстовом поле с отображенными УСНФ происходит подстановка введенных значений операндов в логическую форму, которую можно посмотреть прокруткой текстового поля); нажимается кнопка «Расчет значений УСНФ» (в соответствующем текстовом поле происходит расчет значений УСНФ). При нажатии кнопки «Reset» происходит очистка формы для повторного тестирования.

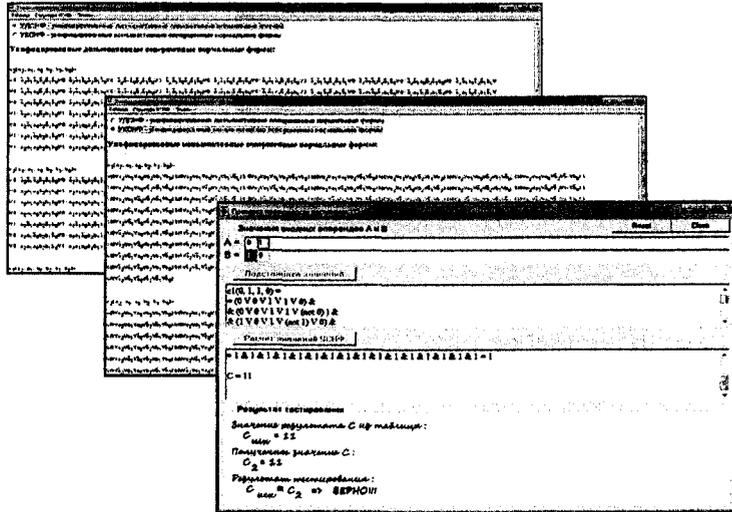


Рисунок 5 – Применение инструментальных средств построения и проверки УСНФ

Построение структуры АЛУ, структуры УСНФ и моделирование процесса функционирования ядер реализуется модулями: «Построение структуры УСНФ», «Тестирование структуры УСНФ» (рис. 3). При выборе пункта меню «Моделирование -> Структура УСНФ» главной формы открывается форма «Структура УСНФ» с изображением структурной схемы логического устройства (рис. 6).

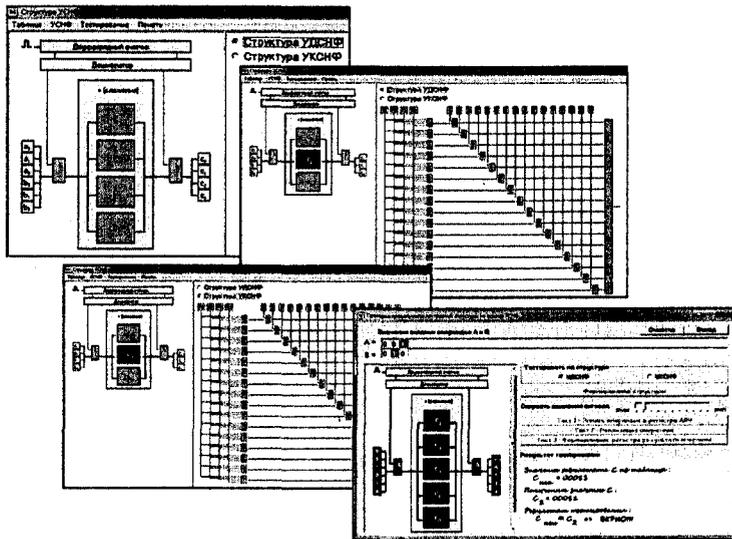


Рисунок 6 – Скриншоты использования инструментальных средств построения структуры АЛУ, структуры УСНФ, моделирования процессов функционирования ядер и проверки структуры УСНФ

Для просмотра структуры отработки отдельного разряда как логической функции выбирается тип структуры («Структура УСНФ» или «Структура УСНФ») и нажимается левая клавиша мышки на блоке c_i структурной логической схемы устройства (выбранный блок выделяется красным цветом). На экране отображается детализированная логическая структура устройства с использованием элементов НЕ-И, И, НЕ-ИЛИ, ИЛИ (рис. 6).

При выборе пункта «Тестирование» открывается форма «Проверка правильности построения структуры на основе УСНФ». Для тестирования правильности построения структуры УСНФ: вводятся значения входных операндов А и В двойным щелчком мышкой

по соответствующим разрядам; указывается тип структуры (УДСНФ или УКСНФ); нажимается кнопка «Формирование структуры»; задается скорость моделирования положением ползунка в поле «Скорость движения сигнала»; нажимается кнопка «Такт 1 – Запись операндов в регистры АЛУ»; нажимается кнопка «Такт 2 – Реализация оператора»; нажимается кнопка «Такт 3 – Формирование регистра результата операции». При этом после каждого нажатия кнопки на экране отображается имитация движения сигнала по линиям связи.

При нажатии кнопки «Очистка» происходит очистка формы для повторного тестирования (рис. 6).

В функциональном плане описание блоков (рис. 3) представляется следующим образом.

Модуль MainUnit. Центральный модуль является связующим для остальных модулей программы. На форме данного модуля графически отображается автоматная таблица истинности операции.

Модуль ParamTab. На форме модуля находятся разнообразные компоненты для ввода параметров автоматной таблицы. Построение автоматной таблицы осуществляется на основе введенных параметров.

Модуль CrTab. Данный модуль формирует автоматную таблицу. Для формирования таблицы определен класс TContTab:

```
TContTab = class
    Num : integer; A, B : string; C : string;
    constructor Create(Num1: integer; A1, B1, C1: string);
end;
```

Структура данного класса определяется структурой таблицы, где: *Num* – номер строки таблицы; *A, B* – входные операнды для позиции *Num*; *C* – результирующий операнд для позиции *Num*.

Модуль содержит следующие процедуры и функции:

```
procedure CreateTable – формирование таблицы;
procedure TemplateTable(regim:boolean; Op:integer; SIO:integer; IO:integer; SR:integer;
R:integer; RD:integer; var M, N: integer) – формирование шаблона таблицы;
procedure ContentsTable(regim:boolean; Op:integer; SIO:integer; IO:integer; SR:integer;
R:integer; RD:integer; M:integer) – формирование содержимого таблицы;
function TwoToTen(s: string):integer – перевод числа из двоичной системы счисления в десятичную систему счисления;
function TenToTwo(num: integer; R:integer):string – перевод числа из десятичной системы счисления в двоичную систему счисления (для целой части);
function TenToTwoD(num: extended; R:integer):string – перевод числа из десятичной системы счисления в двоичную систему счисления (для дробной части).
```

Модуль TestOp. Модуль разработан для проверки построенной автоматной таблицы истинности в режиме «Вычислительная операция» на основе данных, указанных пользователем (номер строки автоматной таблицы):

```
procedure TestOperation(A, B, C:string; SIO, SR:boolean; Op:integer; NumR:integer;
NumRD:integer).
```

Выходными данными является отчет с детальным выполнением операции в выбранной строке и сравнением полученного результата операции с результатом в автоматной таблице.

Модуль USNF. Модуль для построения унифицированных совершенных нормальных форм (УСНФ) включает две основные процедуры:

- 1) *procedure UDSNF(regim:boolean; IO:integer; R:integer; RD:integer; M:integer)* – построение унифицированных дизъюнктивных совершенных нормальных форм;
- 2) *procedure UKSNF(regim:boolean; IO:integer; R:integer; RD:integer; M:integer)* – построение унифицированных конъюнктивных совершенных нормальных форм.

На форме данного модуля графически отображаются УСНФ.

Модуль **TestUSNF**. Модуль для проверки правильность сформированных унифицированных совершенных нормальных форм. Проверка осуществляется процедурой *SubstitutionVal*. Основная идея проверки - подстановка введенных пользователем значений в сформированные УСНФ, расчет результата и сопоставление полученного результата с результатом таблицы истинности.

Модуль **StructureUSNF**. Данный модуль формирует структуру ядра операции арифметико-логического устройства непосредственного формирования (АЛУ НФ):

procedure ModelAT(Im: TImage; regim:boolean; op:string; r,rd:integer).

Также модуль формирует и отображает на форме структуру УСНФ выбранного пользователем разряда: *procedure StructureUDSNF_Block(RedBloc:integer).*

Модуль **TestStructureUSNF**. Проверка структуры УСНФ. Тестируется структура УСНФ выбранного пользователем разряда АЛУ НФ с имитацией движения сигнала по микрооперациям (тактам).

Модуль **Spec**. Модуль формирует спецификацию (перечень всех действий пользователя).

Модуль **Instruction**. Отображает инструкцию (руководство оператора) и сведения о программе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что предложенный программный инструментарий может использоваться независимо, он не заменяет известные модельные средства исследования и проектирования процессоров, но расширяет их возможности по проектированию быстродействующих микропроцессорных компонент.

Однако, по самому построению предложенного программного инструментария он ориентирован на моделирование вычислительных средств управления, в частности для моделирования различных формул регуляторов (рис. 7) [10].

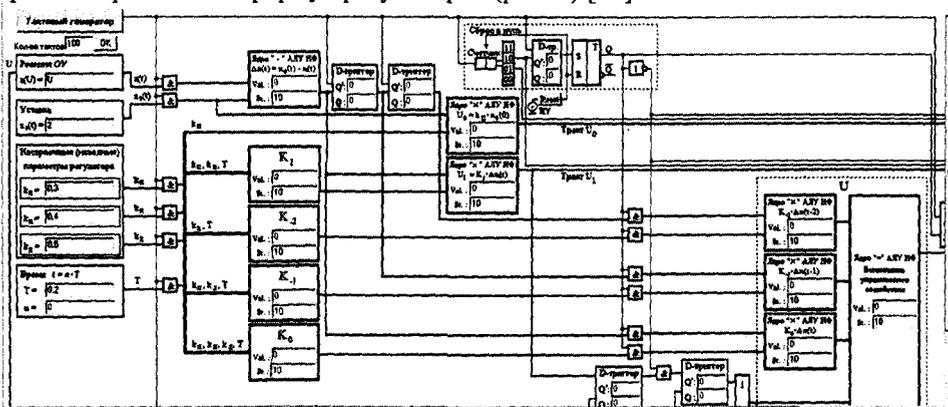


Рисунок 7 – Пример моделирования пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов на АЛУ НФ, где окошко ввода «St.» задает временные задержки в ядрах АЛУ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение №14.132.21.1367, октябрь 2012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раков В.И. Заметка о частных моделях контура управления при обеспечении требуемого функционирования // Промышленные АСУ и контроллеры, 2010. – № 11. – С. 7-20.
2. Базилевский Ю.Я., Шрейдер Ю.А. Методы оценки производительности универсальных цифровых машин с программным управлением // Вопросы теории математических машин. – М.: Изд-во физ-мат. лит-ры, 1958. – № 1. – 230 с.
3. Глушков В.М. Два универсальных критерия эффективности вычислительных машин // Доклады АН УССР, 1960. – № 4. – С. 477-481.

4. Артамонов Г.Т. Анализ производительности ЦВМ методами теории массового обслуживания. – М.: Энергия, 1972. – 176 с.
5. Раков В.И., Захарова О.В. Реализация быстрых вычислений посредством комбинационных структур // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: Машиностроение, 2007. – № 8. – С. 51-55.
6. Раков В.И. О новом подходе к повышению производительности промышленных контроллеров // Промышленные контроллеры и АСУ. – М.: Машиностроение, 2011. – № 3. – С. 35-46.
7. Захарова О.В. Формальные средства организации вычислительных операций для быстродействующих промышленных контроллеров // Промышленные АСУ и контроллеры, 2012. – №1. – С. 51-60.
8. Захарова О.В. Построение унифицированных совершенных нормальных форм // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. – Реестр программ для ЭВМ, 2 марта 2012. – № 2012612286.
9. Захарова О.В., Раков В.И. Программный инструментарий для моделирования вычислительных средств управления // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. – Реестр программ для ЭВМ, 2 марта 2012. – № 2012612287.
10. Захарова О.В. Формула ПИД-регулятора для АЛУ непосредственного формирования // Информационные системы и технологии, 2012. – № 2. – С. 11-25.

Захарова Ольга Владимировна

ФБГОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирантка учебно-научно-исследовательского института информационных технологий

Тел.: 8 (4862) 76-19-10

E-mail: cvaig@mail.ru

O.V. ZAKHAROVA (*Post Graduate Student of the Education and Research
Institute of Information Technologies
State University – ESPC, Orel*)

SOFTWARE SIMULATION OF HIGH-SPEED CONTROLLERS

Program components for modeling of management processes are offered. These components are necessary to estimate the delay optimization of primitive operations and to form exact model about computing delay of demand in digital control.

Keywords: industrial computer; productivity; arithmetic and logic unit (ALU).

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Rakov V.I. Zаметка o chastny'x modelyax kontura upravleniya pri obespechenii trebuemogo funkcionirovaniya // Promy'shlenny'e ASU i kontrollery', 2010. – № 11. – S. 7-20.
2. Bazilevskij Yu.Ya., Shrejder Yu.A. Metody' ocenki proizvoditel'nosti universal'ny'x cifrovyy'x mashin s programmny'm upravleniem // Voprosy' teorii matematicheskix mashin. – М.: Izd-vo fiz-mat. lit-ry', 1958. – № 1. – 230 s.
3. Glushkov V.M. Dva universal'ny'x kriteriya e'ffektivnosti vy'chislitel'ny'x mashin // Doklady' AN USSR, 1960. – № 4. – S. 477-481.
4. Artamonov G.T. Analiz proizvoditel'nosti CzVM metodami teorii massovogo obsluzhivaniya. – М.: E'nergiya, 1972. – 176 s.
5. Rakov V.I., Zaxarova O.V. Realizaciya by'stry'x vy'chislenij posredstvom kombinacionny'x struktur // Vestnik komp'yuterny'x i infrmacionny'x texnologij. – М.: Mashinostroenie, 2007. – № 8. – S. 51-55.
6. Rakov V.I. O novom podxode k povы'sheniyu proizvoditel'nosti promy'shlenny'x kontrollerov // Promy'shlenny'e kontrollery' i ASU. – М.: Mashinostroenie, 2011. – № 3. – S. 35-46.
7. Zaxarova O.V. Formal'ny'e sredstva organizacii vy'chislitel'ny'x operacij dlya by'strodejstvuyushix promy'shlenny'x kontrollerov // Promy'shlenny'e ASU i kontrollery', 2012. – №1. – S. 51-60.
8. Zaxarova O.V. Postroenie unificirovanny'x sovershenny'x normal'ny'x form // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya E'VM. – Reestr programm dlya E'VM, 2 marta 2012. – № 2012612286.
9. Zaxarova O.V., Rakov V.I. Programmny'j instrumentarij dlya modelirovaniya vy'chislitel'ny'x sredstv upravleniya // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlya E'VM. – Reestr programm dlya E'VM, 2 marta 2012. – № 2012612287.
10. Zaxarova O.V. Formula PID-regulyatora dlya ALU neposredstvennogo formirovaniya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 2. – S. 11-25.

НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В данной статье рассмотрены настройки системы лингвистического управления. Выделен перечень ключевых настроек, представлена структура программного средства, реализующего настройки системы лингвистического управления.

Ключевые слова: лингвистическое управление; режим настроек; датчик; управляющее воздействие; исполнительный механизм; оценка качества управления.

Лингвистическое управление – машинная (формальная) процедура, которая обеспечивает интерактивную реализацию структур типа [1]:

$$\dots, \tag{1}$$

$$W^{i-1}, L_f^{i-1}, L_w^{i-1}, L_s^{i-1}, S^{i-1}, T^{i-1}, \tag{2}$$

$$W^i, L_f^i, L_w^i, L_s^i, S^i, T^i; \tag{3}$$

$$W^{i+1}, L_f^{i+1}, L_w^{i+1}, L_s^{i+1}, S^{i+1}, T^{i+1}, \tag{4}$$

$$\dots, \tag{5}$$

$$W^{i+k}, L_f^{i+k}, L_w^{i+k}, L_s^{i+k}, S^{i+k}, T^{i+k}, \tag{6}$$

$$W^{i+(k+1)}, L_f^{i+(k+1)}, L_w^{i+(k+1)}, L_s^{i+(k+1)}, S^{i+(k+1)}, T^{i+(k+1)}, \tag{7}$$

$$\dots, \tag{8}$$

где L_f^i, L_w^i, L_s^i – соответственно лингвистические модели чувственного, практического и теоретического опыта в i -ую дискрету управления, W – конкретные обстоятельства функционирующей системы, S – конкретные результаты использования опыта (совокупности сформированных управляющих решений) и T – оценки адекватности принятых управляющих решений (оценки качества управления) [2].

Лингвистическое управление конкретного объекта определяется его конкретными $W, S, T, L_f^i, L_w^i, L_s^i$. Фиксирование текущих обстоятельств функционирования системы сводится к сбору информации с датчиков, являющихся элементами этой системы. Каждая конкретная система имеет в своем составе свой набор различных датчиков.

На каждый конкретный объект управления в зависимости от обстоятельств будут оказываться конкретные управляющие воздействия в соответствии с принятыми в регуляторе управляющими решениями. Для различных систем такие решения и воздействия будут уникальны. Следовательно, и оценка качества управления различных систем будет различной.

Таким образом, лингвистическое управление конкретного объекта, исходя из определения, определяется конкретными настройками, позволяющими сформировать W, S и T . Следовательно, возникает необходимость в режиме, позволяющем подстроить систему управления под объект управления, то есть разработка вопросов настройки системы лингвистического управления актуальна.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ РЕЖИМА НАСТРОЙКИ

Считается, что настройки системы задают требуемое функционирование системы управления [3]. Так как каждый элемент контура {ОУ – Д – Р – ИМ}, где ОУ – объект управления, Д – датчик, Р – регулятор, ИМ – исполнительный механизм, взаимодействует с различными объектами внешней и внутренней среды, то параметры, необходимые для функционирования подобной системы в рамках программно-аппаратного комплекса, должны

быть соответствующим образом введены в систему посредством соответствующего программного инструментария.

Режим настройки системы лингвистического управления таким образом должен учитывать особенности конкретного участка контура управления и в соответствии с этим предоставить возможность введения тех параметров, которые бы удовлетворяли потребности каждого конкретного элемента в необходимых информационных потоках. Это объясняется тем, что все функции производства можно запечатлеть с помощью множества «сигналов» [4].

Создание системы управления не является разовым событием – это длительная работа, относящаяся к таким процессам, как проектирование изделий (САПР) или исследование возможности проектирования (АСНИ). В связи с этим специалист вынужден, работая над созданием системы управления, прерываться, а потом вновь продолжать работу по созданию процессов управления. Таким образом, для удобства использования и автоматизации последующего доступа к системе, режим настройки должен предоставить средства сохранения нового проекта и загрузки уже существующих. Необходимо указание имени проекта и пути к файлу на жестком диске.

Функционирование предприятия можно отобразить его конкретными обстоятельствами в каждый момент времени, в частности, в те моменты [4], когда происходит опрос датчиков в системе. В связи с этим необходима функция задания формата и шага времени, в соответствии с которыми будет отображено время и будет происходить опрос датчиков.

Зачастую система управления содержит большое количество датчиков. В соответствии с принятыми значениями датчиков лицо, принимающее решение, должно оказать соответствующее управляющее воздействие. Считают [2], что благодаря лингвистическому управлению человеку-эксперту, организующему процессы управления (принятия решений), предоставляются: сведения о похожих управленческих ситуациях (моментах) в предыстории функционирования системы; возможности передачи управляющих функций самой процедуре лингвистического управления в зависимости от текущей управленческой обстановки. В момент появления управляющего воздействия в зависимости от его конкретного значения должен срабатывать определенный исполнительный механизм. Применение конкретных управляющих воздействий к текущей ситуации вызывает изменение системы в соответствии с этими воздействиями. Такое изменение должно быть оценено. Полученная оценка должна повлиять на дальнейший выбор управляющих воздействий для следующих текущих ситуаций. Исходя из всего выше сказанного, был сделан вывод о том, что существует потребность в настройке датчиков, управляющих воздействий, исполнительных механизмов и оценок. Таким образом основными функциями режима настройки являются:

- 1) Сохранение проекта;
- 2) Загрузка проекта;
- 3) Настройка формата времени;
- 4) Возможность изменения формата времени в момент функционирования системы;
- 5) Настройка шага времени;
- 6) Возможность изменения шага времени в момент функционирования системы;
- 7) Настройка датчиков;
- 8) Настройка управляющих воздействий;
- 9) Настройка исполнительных механизмов;
- 10) Настройка оценки.

Функции режима настройки фактически определяются контурами управления {ОУ – Д – Р – ИМ} и теми требованиями, которые предъявляются для контролирования состояния всех элементов контура.

ФУНКЦИЯ ТАЙМЕРА

В момент функционирования возможна потребность изменения формата времени, потому что возможны перерывы в функционировании системы, изменения периода опроса датчиков в связи с модернизацией структуры, возможно структурное изменение самого процесса управления. Поэтому в программной системе лингвистического управления должны быть инструментальные средства оперативного внесения изменений в формат и шаг времени. В любой системе управления производственными процессами должен осуществляться тотальный контроль за изменениями любых параметров системы, будь то санкционированные или несанкционированные акции. Инструментальным средством, позволяющим осуществлять изменение формата времени в процессе функционирования системы, служит журнал изменения, благодаря которому сигнал о смене формата может подаваться как по истечению определенного количества срабатываний считывания данных, так и по истечению определенного заданного количества времени. Включить и отключить журнал можно в процессе функционирования системы. Благодаря журналу можно изменить не только формат, но и шаг времени, с которым происходит считывание данных. Изменение шага включает в себя настройку числа миллисекунд, секунд, минут, часов, дней, месяцев, лет. Однако изменение формата и шага возможно напрямую, без использования журнала.

ДАТЧИКИ, УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ОЦЕНКИ

Система управления содержит в своем составе различные по своему устройству и типу функционирования датчики. Так как датчики имеют отличительные особенности, то при настройке датчиков их необходимо учитывать. В рамках режима настройки датчиков под отличительными особенностями датчика будем понимать имя датчика и тип датчика. В связи с этим в режиме настройки датчиков необходимо задать:

1) Имя датчика;

2) Вид сигнала (тип датчика). Подразделяется на:

а) Лингвистический (словами). В этом случае необходимо задать полный перечень фраз.

б) Числовой. В таком случае есть несколько способов задания:

– интервал (дискретный или непрерывный);

– перечисление значений;

– комбинированный (интервал и перечисление значений).

Датчик не может быть одновременно лингвистическим и числовым.

В соответствии с показаниями датчиков принимаются управляющие решения. Управляющие воздействия оказываются в соответствии с принятыми управляющими решениями. В процессе функционирования системы в отношении управляющих воздействий устанавливаются связи между текущими показаниями датчиков и накопленным опытом управления. То есть решение о выборе конкретного управляющего воздействия будет строиться не только на основании текущих значений датчиков, но и на предыдущем опыте функционирования системы. Режим настройки управляющих воздействий аналогичен режиму настройки датчиков:

1) Имя управляющего воздействия;

2) Тип управляющего воздействия. Подразделяется на:

а) Лингвистический (словами). В этом случае необходимо задать полный перечень фраз.

б) Числовой. В таком случае есть несколько способов задания:

– интервал (дискретный или непрерывный);

– перечисление значений;

– комбинированный (интервал и перечисление значений).

Управляющих воздействий должно быть не больше датчиков.

Исполнительный механизм является неотъемлемой частью контура управления. Так как исполнительный механизм активируется в момент появления определенного значения управляющего воздействия, то в режиме настройки необходимо задать:

1) Имя исполнительного механизма;

- 2) Управляющее воздействие, благодаря которому будет активизироваться ИМ;
- 3) Выбор из списка допустимых значений значения (интервала) или указание значения (интервала), при появлении которого будет активизироваться конкретный исполняемый файл;
- 4) Выбор исполняемого файла.

Выбор значения управляющего воздействия, при котором будет активирован исполнительный механизм, возможно не только путем выбора из списка допустимых значений, но и с помощью указания значения напрямую, причем указанное значение может представлять не только заданное с помощью перечисления значение, но и входить в заданный интервал. Задание интервала для исполнительного механизма также осуществляется не только с помощью выбора из списка допустимых значений, но и прямым указанием интервала, причем указанный интервал может находиться внутри допустимого интервала. После указания исполнительных механизмов осуществляется проверка на наличие значений, для которых не указан исполнительный механизм.

Оценивание управления позволяет делать выводы о качестве принятых управляющих воздействий. При появлении новой текущей ситуации оценка позволяет отдать предпочтение тем управляющим воздействиям, значения которых в ситуации, подобной или аналогичной текущей, показали более высокое качество управления. Режим настройки оценок должен включать:

- 1) Имя оценки.
- 2) Тип оценки. Может быть лингвистическим и числовым. В любом случае требуется полный перечень значений.

После окончания ввода параметров конкретного объекта (Д, УВ, ИМ, О), где Д – датчик, УВ – управляющее воздействие, ИМ – исполнительный механизм, О – оценка, он должен быть отображен в специальном списке, указывающем ключевые параметры настройки. Из этого списка настроенный объект можно удалить или отредактировать. Информация о (Д, УВ, ИМ, О) должна храниться в специальных структурах данных, учитывающих их требования. Проверка правильности вводимых данных должна проводиться для каждого параметра каждого из объектов.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Реализация всех ранее заявленных функций режима настройки системы лингвистического управления осуществляется посредством системы, структура которой включает в себя следующие модули:

- Интерфейс взаимодействия (главный модуль системы) – организует взаимодействие ключевых модулей, диалог с пользователем, позволяет переключаться между режимами настроек. Отображает результат работы программы.

- Модуль заполнения структур данных – создает, заполняет, изменяет структуры данных с информацией об объектах (Д, УВ, ИМ, О). Обменивается данными через интерфейс взаимодействия с модулями настроек. Отправляет данные в модуль сохранения данных в файл. Принимает данные из модуля загрузки данных.

- Модуль сохранения данных в файл – позволяет сохранить информацию, полученную из модуля заполнения структур данных в файл формата XML.

- Модуль загрузки данных из файла – позволяет считать информацию из файла формата XML, полученные данные отправляет на обработку в модуль заполнения структур данных.

- Модуль настройки времени – задает формат и шаг времени, создает и заполняет журнал изменения, который позволяет проводить изменения формата и шага времени в процессе функционирования системы. Отображает текущее время в соответствии с выбранным форматом. С помощью интерфейса взаимодействия отправляет данные в модуль заполнения структур данных.

- Модуль настройки датчиков – обеспечивает интерфейс и логику взаимодействия для создания, редактирования и удаления датчиков. Позволяет ввести необходимые данные о датчиках. Отправляет данные через интерфейс взаимодействия в модуль заполнения структур данных. Отображает ранее настроенные датчики.

– Модуль настройки управляющих воздействий – обеспечивает интерфейс и логику взаимодействия для создания, редактирования и удаления управляющих воздействий. Отображает ранее настроенные управляющие воздействия. Через интерфейс взаимодействия отправляет данные в модуль заполнения структур данных и в модуль настройки исполнительных механизмов.

– Модуль настройки исполнительных механизмов – обеспечивает интерфейс и логику взаимодействия для создания, редактирования и удаления исполнительных механизмов. Отображает ранее настроенные исполнительные механизмы. Отправляет данные через интерфейс взаимодействия в модуль заполнения структур данных. С помощью интерфейса взаимодействия принимает данные из модуля настройки управляющих воздействий.

– Модуль настройки оценок – обеспечивает интерфейс и логику взаимодействия для создания, редактирования и удаления оценок. Отображает ранее настроенные оценки. Отправляет данные через интерфейс взаимодействия в модуль заполнения структур данных.

Структура взаимодействия модулей представлена на рисунке 1. Блоками на рисунке обозначены основные модули системы, стрелками – управляющие воздействия и потоки передачи данных.

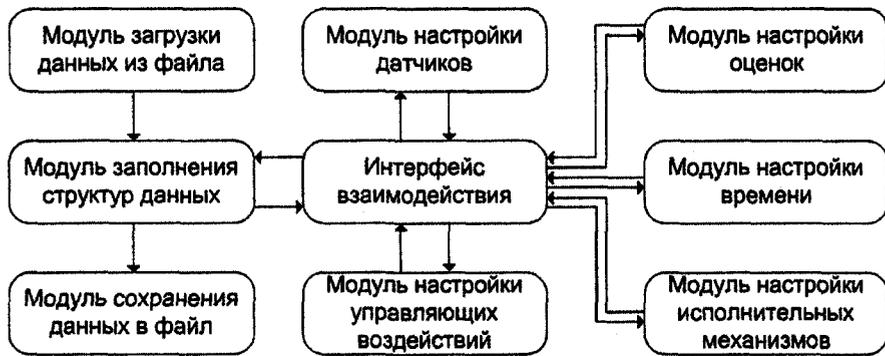


Рисунок 1 – Структура взаимодействия модулей

Скриншоты работы программы представлены на рисунках 2-6.

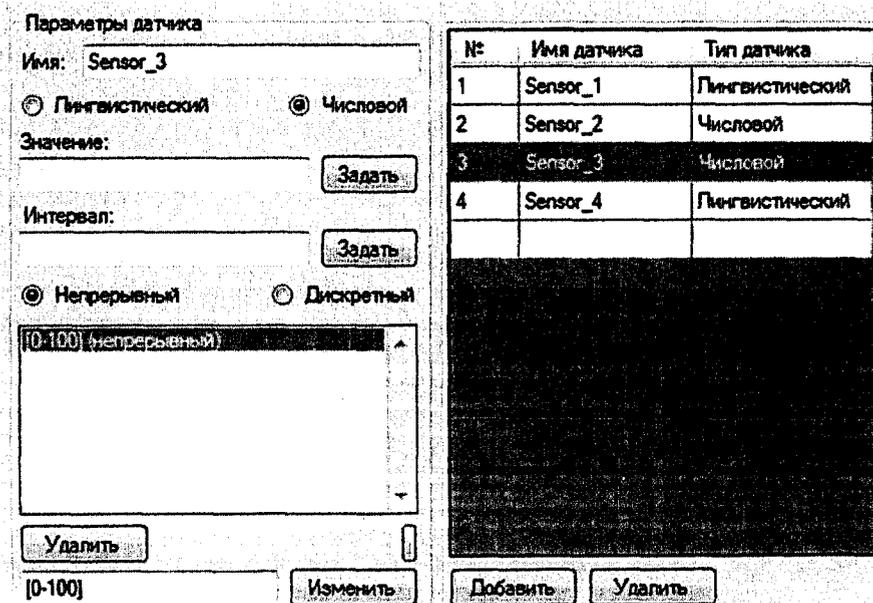


Рисунок 2 – Скриншот режима настройки датчиков

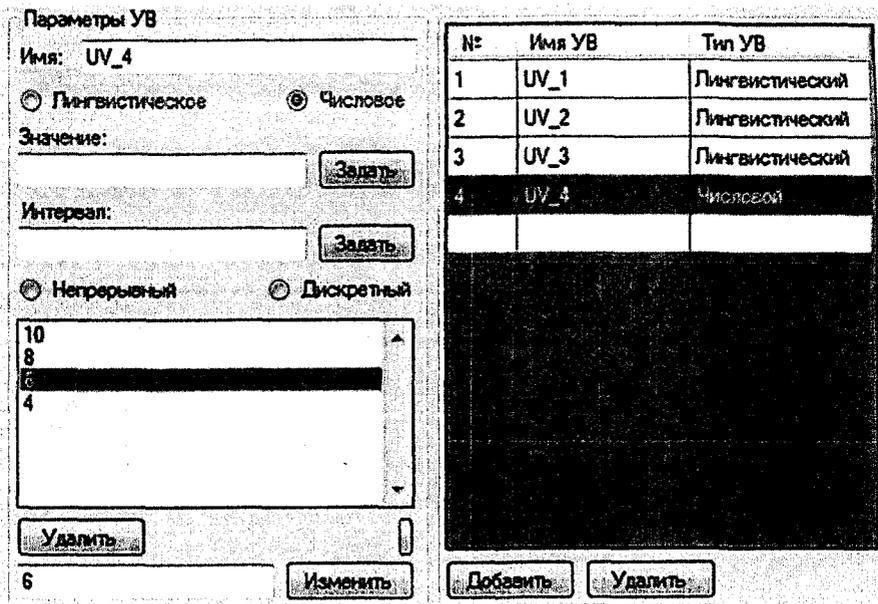


Рисунок 3 – Скриншот режима настройки управляющих воздействий

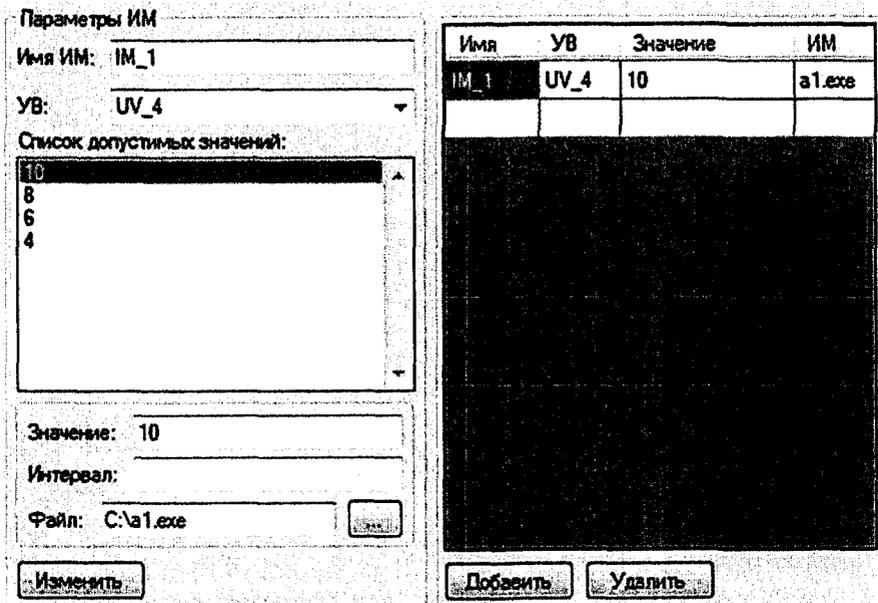


Рисунок 4 – Скриншот режима настройки исполнительных механизмов

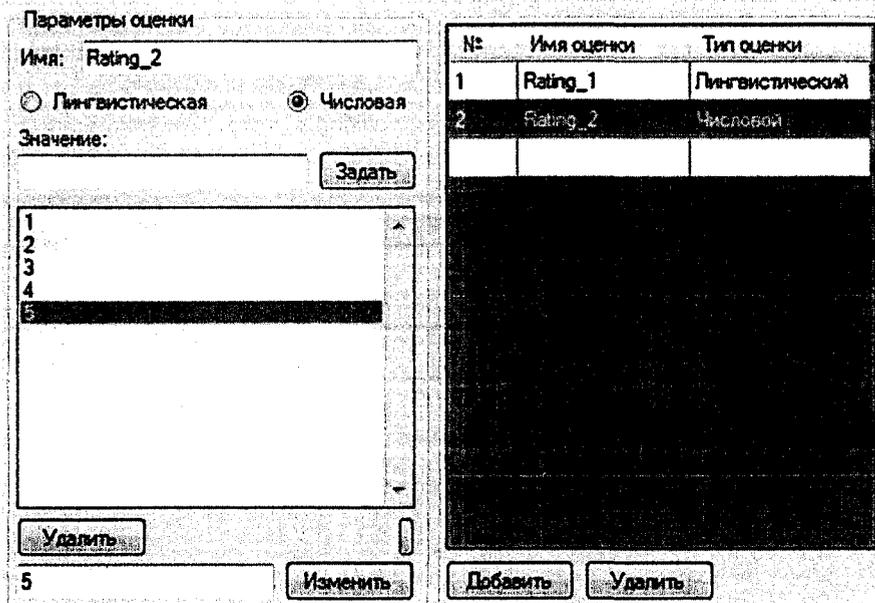


Рисунок 5 – Скриншот режима настройки оценок

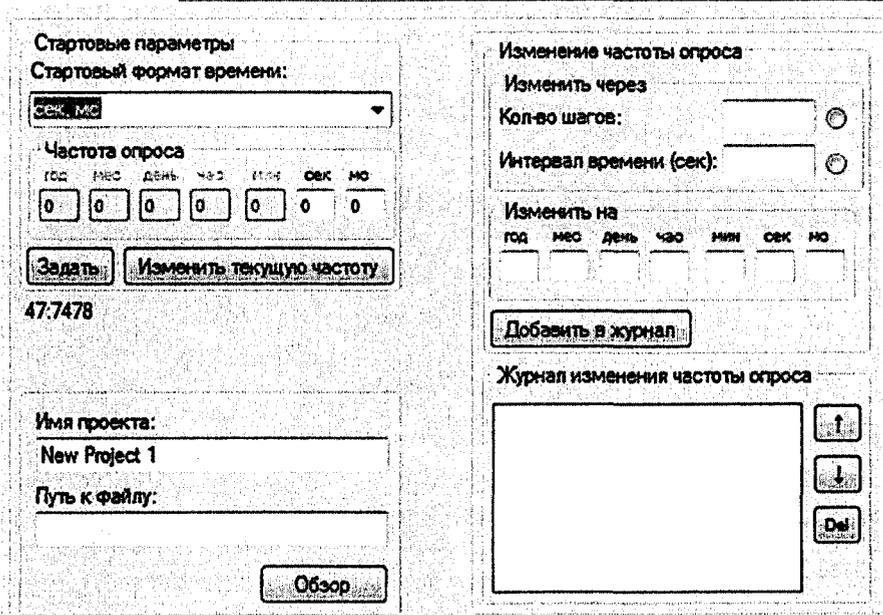


Рисунок 6 – Скриншот режима настройки времени

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Набор функций режима настройки полный, он достаточен для организации лингвистического управления. По существу самих функций режим настройки может оперативно применяться в процессе функционирования системы лингвистического управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раков В.И. Вопросы лингвистического управления при проектировании интегрированных АСУ // Промышленные АСУ и контроллеры, 2006. – № 9.
2. Раков В.И. О некоторых преимуществах и возможностях лингвистического управления в интегрированных АСУ // Промышленные АСУ и контроллеры, 2007. – № 2.
3. Захаров В.Н., Поспелов Д.А., Хазацкий В.Е. Системы управления. Задание. Проектирование. Реализация. – 2 изд. – М.: «Энергия», 1977. – 424 с.
4. Раков В.И., Чулков В.О. Нелинейность инфографического моделирования в управлении интеллектуальными инженерными объектами / под редакцией проф. В.О. Чулкова. – М.: Изд-во «Св-АРГУС», 2006. – 256 с.

Зюзин Дмитрий Иванович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 920 282 71 30

E-mail: dmivz@mail.ru

D.I. ZYUZIN (*Post Graduate Student of the Department of «Informational Systems»
State University – ESPC, Orel*)

SYSTEM SETUP LINGUISTIC CONTROL

In this article describes the system setup linguistic control. Selected list of key settings, presented the structure of the software that implements the system setup linguistic control.

Keywords: linguistic control; mode settings; sensor; control action; executive mechanism; the assessment of the quality of governance.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Rakov V.I. Voprosy' lingvisticheskogo upravleniya pri proektirovanii integrirovanny'x ASU // Promy'shlenny'e ASU i kontrollery', 2006. – № 9.
2. Rakov V.I. O nekotory'x preimushhestvax i vozmozhnostyax lingvisticheskogo upravleniya v integrirovanny'x ASU // Promy'shlenny'e ASU i kontrollery', 2007. – № 2.
3. Zaxarov V.N., Pospelov D.A., Xazaczkiy V.E. Sistemy' upravleniya. Zadanie. Proektirovanie. Realizaciya. – 2 izd. – M.: «E'nergiya», 1977. – 424 s.
4. Rakov V.I., Chulkov V.O. Nelinejnost' infograficheskogo modelirovaniya v upravlenii intellektual'ny'mi inzhenerny'mi ob'ektami / pod redakciej prof. V.O. Chulkova. – M.: Izd-vo «Sv-ARGUS», 2006. – 256 s.

УДК 681.518.5:621.31

А.В. БЕЛОУСОВ, С.Н. ГЛАГОЛЕВ, Ю.А. КОШЛИЧ, А.Б. БЫСТРОВ

СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ WEB-БАЗИРОВАННОГО ДОСТУПА

В статье рассматривается реализация многоуровневой системы мониторинга и оперативной визуализации технологических параметров объектов энергопотребления на основе WEB-базированного доступа. Представлена техническая реализация трех уровней системы с учетом их взаимосвязи. Описывается схема клиент-серверного взаимодействия верхнего функционального уровня системы. Особое внимание направлено на организацию событийно-ориентированного доступа с использованием реверсивного AJAX.

Ключевые слова: мониторинг энергопотребления; WEB-базированный доступ; учет электроэнергии.

Энергобезопасность является неотъемлемой составляющей современной концепции энергоэффективности. Особую роль играет мониторинг состояния электропотребления с целью выявления энергоемких объектов и формирования мероприятий по энергосбережению для повышения эффективности функционирования системы электроснабжения в целом.

В Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова внедрена многоуровневая система мониторинга электропотребления распределенных объектов – учебных корпусов, технических зданий и общежитий. Электронный ресурс расположен по адресу <http://ntk.intbel.ru/energo>. Обеспечен круглосуточный доступ к параметрам электросчетчиков в режиме реального времени, а также представлена возможность просмотра архивов распределения мгновенных значений электрической нагрузки объектов.

Разработанная система состоит из трех взаимосвязанных уровней (рис. 1). Нижний уровень системы представлен трехфазным счетчиком Меркурий 230. Используемый электросчетчик позволяет измерять до пятнадцати параметров, характеризующих энергопотребление и качество получаемой электроэнергии: потребляемую активную мощность, реактивную мощность, напряжение, ток и частоту в каждой из фаз. Применение счетчика Меркурий 230 модификации AR-03 позволило использовать имеющийся интерфейс RS-485 для связи с промежуточными программируемыми логическими контроллерами среднего уровня I-7188EXD производства ICPDAS для сбора информации с устройств локального управления и контроля.

В процессоре I-7188 содержится информация обо всех контролируемых и регулируемых параметрах, которая посредством разработанного программного обеспечения контроллера I-7188 и коммуникационного протокола ModBus доступна оборудованию верхнего уровня. ПЛК выступает в роли преобразователя интерфейса RS485 – Ethernet. При этом все особенности связи между контроллером I-7188 и верхним уровнем системы обеспечиваются программным обеспечением, установленным в контроллере. Использование процессора в этой роли вызвано специфичностью интерфейса обмена данными с Меркурием (контрольная сумма, использование уровней доступа к параметрам электросчетчика, команды запроса и установки системного времени и тарифов). Запросы со стороны ПЛК делятся на четыре группы:

- запрос на тестирование канала связи;
- запросы на открытие/закрытие канала связи;
- запросы на запись (программирование);
- запросы на чтение.

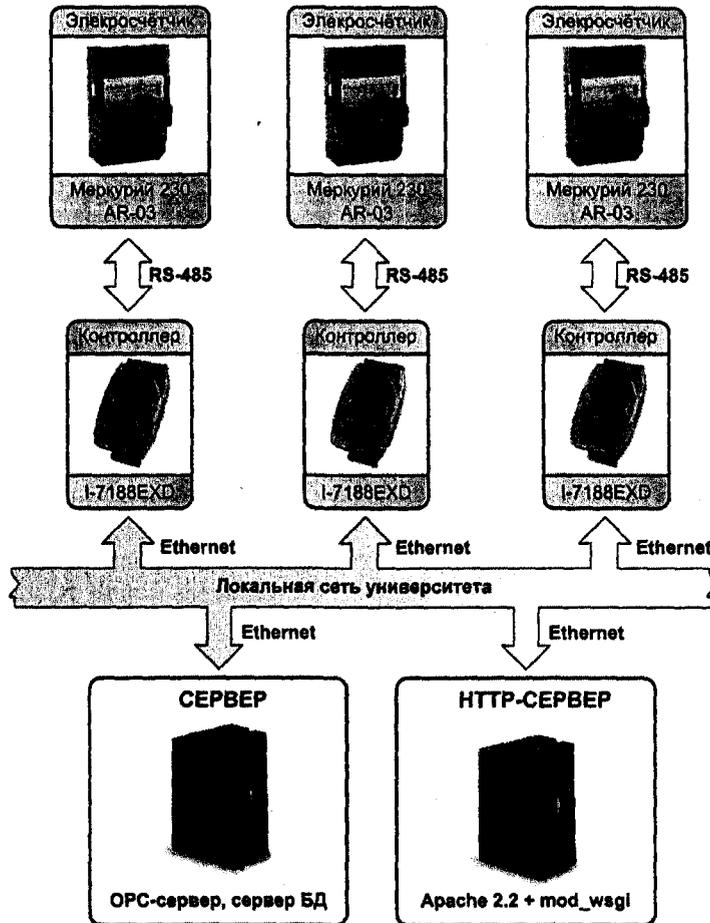


Рисунок 1 – Структура системы мониторинга технологических параметров распределенных объектов электропотребления

Процессор I-7188, используя интерфейс Ethernet, транслирует в локальную сеть университета по протоколу ModbusTCP/IP текущие параметры электропотребления:

- системное время и дату;
- частоту питающей электросети;
- токи по трем фазам;
- напряжение по трем фазам;
- фактор мощности по фазам;
- активную мощность по каждой фазе и суммарно за текущий день;
- активную мощность по каждой фазе и суммарно за текущий год;
- интегральный показатель активной мощности;
- активную мощность по каждой фазе и суммарно за предыдущий день;
- активную мощность по каждой фазе и суммарно за предыдущий год;
- реактивную мощность по фазам;
- реактивную мощность по сумме фаз;
- статус соединения;
- тариф.

Подключение процессора I-7188 к верхнему уровню, представленного HTTP-сервером Apache и WEB-браузером, обеспечивается с помощью ОПС-сервера. Визуализация технологической информации осуществляется в WEB-браузере оператора.

Требование оперативности получаемых посредством технологии WEB-данных означает, что отображение информации на стороне клиента должно происходить

динамически без необходимости полной перезагрузки страницы. Данное требование противоречит первоначальной концепции обмена информацией по протоколу HTTP, когда для каждого следующего запроса клиент открывает соединение, которое будет закрыто сразу же после получения ответа от сервера. Этот подход исключает возможность частичного обновления запрошенной страницы.

Подходы к решению данной задачи прошли несколько эволюционных этапов развития, каждый из которых нашёл отражение в системах мониторинга.

Среди наиболее распространённых в настоящее время схем функционирования веб-приложений можно выделить схемы, основанные на использовании средств Java-среды и технологий AJAX, в том или ином виде; применение технологий .NET, таких, как ASP.NET и Remote Scripting [1, 2]. Результатом изысканий явилась разработка метода, подразумевающего использование технологии реверсивного AJAX и long poll (рис. 2).

В простейшем виде схема такого клиент-серверного взаимодействия может быть описана следующим образом. После загрузки статической информации с WEB-сервера (страница, изображения, клиентские сценарии и т.д.) клиент посылает асинхронный HTTP-запрос с информацией, определяющей его текущее состояние. WEB-сервер фиксирует это состояние, оставляя HTTP-соединения открытым – таким образом происходит регистрация конкретного клиента на последующее обновление. Серверное приложение, осуществляющее опрос датчиков объекта, уведомляет WEB-сервер об очередном изменении состояния. Информация о данном изменении отсылается WEB-сервером клиенту, после чего клиент закрывает HTTP-соединение.

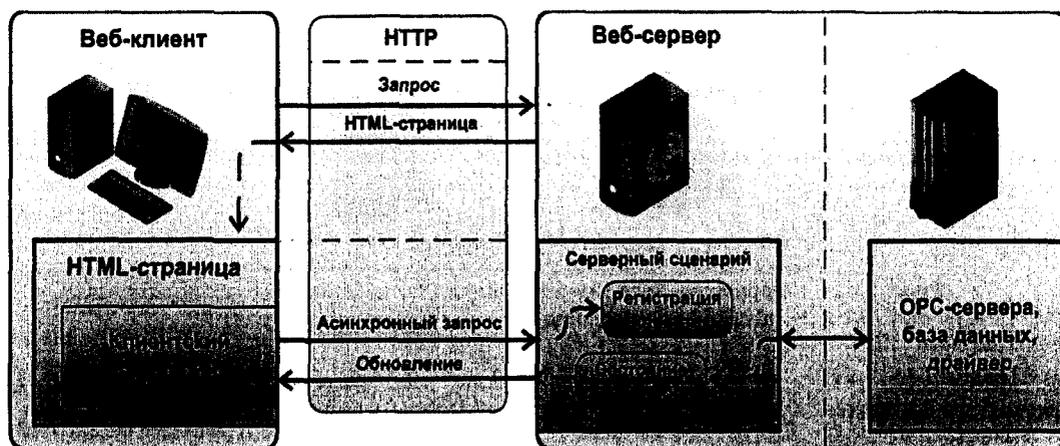


Рисунок 2 – Событийно-ориентированный доступ на основе реверсивного AJAX

Тот факт, что соединение может оставаться открытым продолжительное время позволяет:

- избавить клиента от частой отправки регулярных запросов, снижая нагрузку на сеть и сервер;
- сократить время реакции системы – клиент получает обновлённые данные без задержек, связанных с созданием нового соединения.

Реверсивность работы AJAX в данном случае объясняется переносом инициативы от клиента к серверу: сервер самостоятельно определяет моменты рассылки обновлений клиентам. При этом не требуется ни использование нестандартных портов для создания дополнительных соединений, ни каких-либо расширений браузера на стороне клиента.

Подобный подход иногда альтернативно именуют Comet AJAX, однако устоявшейся общепринятой терминологии не существует.

В качестве языка разработки серверного приложения был выбран Python. Решающими факторами, склонившими чашу весов в его пользу, оказались интенсивное и устойчивое его развитие в течение последних нескольких лет, выдающиеся возможности расширения,

относительная простота реализации взаимодействия с OPC-сервером средствами данного языка, а также его высокая популярность в сфере разработки web-приложений.

Организация коммуникации по протоколу OPC была реализована с помощью распространяемого по открытой лицензии модуля «OpenOPC» для Python. Связь с OPC-сервером осуществляется по протоколу OPC-DA 2.05a [3-6].

В качестве WEB-сервера выступает распространённый HTTP-сервер, наделённый поддержкой спецификаций WSGI (WebServerGatewayInterface). Apache 2.2 с модулем «mod_wsgi», однако возможны и предпочтительны более сложные варианты с разделением на «легковесный» «front-end» сервер, обслуживающий статические запросы и выступающий в качестве прокси, перенаправляя динамические запросы на обработку back-end серверу. Такая функциональность может быть достигнута связкой из «nginx» и «Apache» соответственно.

Были разработаны и испытаны несколько вариантов серверного приложения, отличающихся способом взаимодействия с клиентской частью и максимальным количеством одновременно обслуживаемых клиентов.

Задача одновременного обслуживания большого числа клиентов может быть решена применением потоков исполнения, порождаемых WEB-сервером для каждого зарегистрировавшегося клиента. Здесь возникает ограничение на число одновременно обрабатываемых заявок на обновление, так как создание и уничтожение потока — достаточно ресурсоёмкие операции, к тому же каждый поток занимает некоторое количество оперативной памяти.

Именно по этим причинам обоснован переход к применению сопрограмм, которые вышеуказанных недостатков лишены (рис. 3). Этот подход также гарантирует меньшую вероятность возникновения ошибок в процессе разработки приложения, так как точки передачи управления между сопрограммами указываются программистом явно, а потому заранее известны, в отличие от ситуации с потомками, когда управление передаётся в произвольные моменты времени, определяемые операционной системой.

Конкретная реализация опирается на модуль «greenlet» для Python в вопросе управления сопрограммами. При этом общение с OPC-сервером осуществляется в отдельном потоке, чтобы избежать ситуации, когда большое число зарегистрированных заявок препятствует своевременной экстракции экспортируемых значений переменных.

Решение на базе сопрограмм в плане масштабируемости значительно превосходит многопоточное. Если в случае потоков удавалось добиться стабильной работы в режиме с 60-70 заявками, то сопрограммы обеспечивают обновлениями сотни клиентов (рис. 3).

В итоге оператор получает обновления состояния по протоколу HTTP, используя WEB-браузер в качестве клиента. Единственным требованием является разрешённое исполнение JavaScript-сценариев в браузере, так как вся клиентская часть системы реализована именно на их основе. Данное требование практически невозможно считать обременяющим.

Система мониторинга и оперативной визуализации технологических параметров распределенных объектов электропотребления на основе WEB-базируемого доступа в полной мере соответствует требованиям современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии и обеспечивает:

- автоматический сбор данных учета потребления электроэнергии по каждой точке учета на заданных интервалах;
- хранение параметров учета в базе данных;
- обеспечение многотарифного учета потребления электроэнергии;
- вывод расчетных параметров на терминал и на устройство печати по требованию оператора;
- ведение единого системного времени с возможностью его корректировки.

В настоящее время ведутся работы по модернизации системы и разработке системы анализа данных по электропотреблению для создания интеллектуальной системы принятия решений в режиме реального времени с целью оценки функционирования распределенных объектов и формирования эффективных организационных и технических мероприятий по оптимизации энергоснабжения и электропотребления.

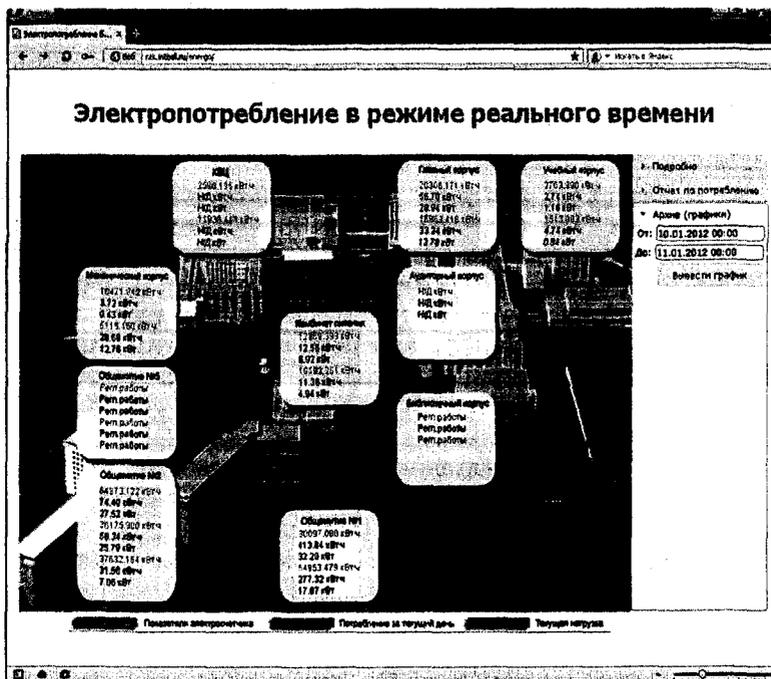


Рисунок 3 – Взаимодействие потоков и сопрограмм в рамках обработки заявок

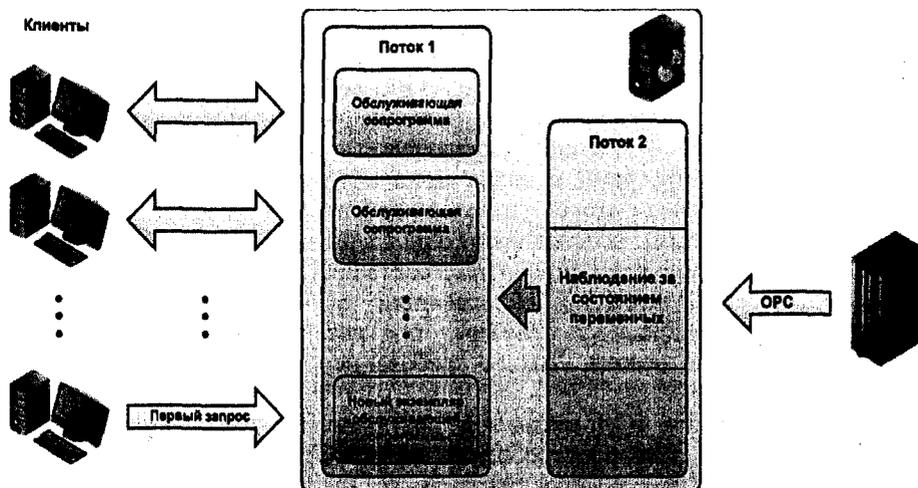


Рисунок 4 – Экранная форма системы визуализации и мониторинга технологических параметров систем энергопотребления на основе WEB-базированного доступа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов А.В., Кошлич Ю.А., Быстров А.Б. Web-базированный доступ к технологическим параметрам распределенных объектов энергоснабжения и энергораспределения зданий // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11-12 окт. 2011 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 1. – С. 45-51.
2. Тимирбаев А., Лангманн Р. Web-базированный доступ к технологической информации // Мир компьютерной автоматизации, 2002. – № 5.
3. Григорьев А.Б. Взаимодействие с OPC-серверами через Internet // Промышленные

- АСУ и контроллеры, 2002. – № 11.
4. OPC Data Access Automation Interface Specification, Version 2.02. Instead of version 2.01; released 03.02.99. OPC Foundation, 1999.
 5. OPC Data Access Custom Interface Standard Version 2.05A; released 28.06.2002. OPC Foundation, 2002.
 6. OPC XML-DA Specification, Version RC1.8, Release Candidate, released 13.06.2002. OPC Foundation 2002.

Белоусов Александр Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент, начальник управления информатизации и коммуникаций
E-mail: ntk@intbel.ru

Глаголев Сергей Николаевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Доктор экономических наук, профессор, ректор
E-mail: rector@intbel.ru

Кошлич Юрий Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Аспирант кафедры технической кибернетики
E-mail: koshlich@yandex.ru

Быстров Алексей Борисович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Аспирант кафедры технической кибернетики
E-mail: bddn.ru@gmail.com

A.V. BELOUSOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, head of the Informatization and Communication Management*)

S.N. GLAGOLEV (*Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector of the University*)

Yu.A. KOSHLICH (*Post Graduate Student of the Department of «Engineering Cybernetics»*)

A.B. BYSTROV (*Post Graduate Student of the Department of «Engineering Cybernetics»
Belgorod Shukhov State University, Belgorod*)

SYSTEM OF VISUALIZATION AND MONITORING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE DISTRIBUTED OBJECTS OF POWER CONSUMPTION ON THE BASIS OF THE WEB-BASED ACCESS

The article describes the implementation of multilevel monitoring systems and operational visualization of process parameters on the basis of the power of objects WEB-a based access. The scheme of client-server interaction of the upper level of the functional system is shown. The technical realization of the three levels of the system, taking into account their interaction, are represented. Particular attention is directed to organize an event-based access using reverse AJAX.

Keywords: *monitoring of energy consumption; WEB-based access; electricity metering.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Belousov A.V., Koshlich Yu.A., By'strov A.B. Web-bazirovanny'j dostup k texnologicheskim parametram raspredelyonny'x ob''ektov e'nergosnabzheniya i e'nergoraspredeleniya zdaniy // Innovacionny'e materialy' i texnologii: sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Belgorod, 11-12 okt. 2011 g. / Belgor. gos. texnol. un-t. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2011. – Ch. 1. – S. 45-51.
2. Timirbaev A., Langmann R. Web-bazirovanny'j dostup k texnologicheskoj informacii // Mir komp'yuternoj avtomatizacii, 2002. – № 5.
3. Grigor'ev A.B. Vzaimodejstvie s OPC-serverami cherez Internet // Promy'shlenny'e ASU i kontrollery', 2002. – № 11.
4. OPC Data Access Automation Interface Specification, Version 2.02. Instead of version 2.01; released 03.02.99. OPC Foundation, 1999.
5. OPC Data Access Custom Interface Standard Version 2.05A; released 28.06.2002. OPC Foundation, 2002.
6. OPC XML-DA Specification, Version RC1.8, Release Candidate, released 13.06.2002. OPC Foundation 2002.

В.Т. ЕРЕМЕНКО, Д.В. АНИСИМОВ, Д.А. ПЛАЩЕНКОВ, Д.А. КРАСНОВ,
С.А. ЧЕРЕПКОВ, А.Е. ГЕОРГИЕВСКИЙ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ РЕСУРСАМИ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ АСУП

Рассматривается управление сетевыми ресурсами беспроводной сети АСУП в условиях динамического изменения ее конфигурации. Предложена аналитическая модель оптимального управления сетевыми ресурсами для беспроводных сетей АСУП. Предложен критерий оптимальности управления ресурсами в сетях АСУП.

Ключевые слова: управление сетевыми ресурсами; беспроводные сети; маршрутизация; пропускная способность.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач на современном этапе развития беспроводных сетей АСУП является обеспечение требуемого уровня качества обслуживания (Quality of Service, QoS) информационного взаимодействия. Это требует оптимального управления информационными ресурсами таких сетей (пропускной способностью каналов связи, трафиком и оптимизацией используемых протоколов, реализующих данный процесс на технологическом уровне, емкостью буферного пространства у маршрутизаторов). Для решения задачи управления сетевыми ресурсами необходимо определить критерии оценки эффективности управления. Наиболее интересными для проведения исследования в данной области являются беспроводные сети, имеющие смешанную структуру.

Использование проводных сетей теряет свою актуальность в связи с высокой стоимостью их реализации, отсутствием возможности быстрого изменения пространственной конфигурации сети, а также с существующим уровнем пропускной способности беспроводных сетей, их приемлемой безопасностью и помехозащищенностью (табл. 1). Требование динамического изменения конфигурации сети часто становится фактором предопределяющим выбор использования беспроводных сетей на предприятии, в качестве основного элемента АСУП [1-3].

На практике сеть АСУП является многосегментной, имеющей различные составляющие как в части среды передачи данных (проводные, оптические и беспроводные сегменты), так и архитектуры (локальные сегменты в качестве конечных базовых сетей предприятия и элементы глобальных сетей в качестве магистральной составляющей, и среды доступа к внешним информационным ресурсам). В качестве магистральных каналов могут использоваться глобальные сети передачи данных (Internet) выделенные каналы передачи данных, каналы ведомственных и корпоративных сетей, так же имеющие возможность передачи данных через разные среды (проводные, оптические, спутниковые, радиоканал).

Основными критериями, используемыми при проектировании сети АСУП, в большинстве случаев становятся минимизация расходов при построении сети, гибкость изменения ее пространственной конфигурации и масштабируемости [1-3]. В связи со всем вышесказанным в качестве базовой сети АСУП будет рассматриваться беспроводная сеть, взаимодействующая с различными внешними сетями передачи данных.

Таблица 1 – Характеристики стандартов беспроводной связи

Стандарт	Применение	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты	Модуляция	Технологии защиты данных
802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 м	5,0 ГГц	OFDM	WEP, WPA, WPA2, VPN
802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц	DSSS	
802.11g	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц	DSSS, OFDM	
802.11n	WLAN	до 450 Мбит/с (теоритическ и до 600 Мбит/с)	до 100 м	2,4 – 2,5 или 5,0 ГГц	OFDM	
802.11ac	WLAN	до 1,3 Гбит/с	н/д (стандарт в разработке)	5,0 ГГц	OFDM	
802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	6-10 км	1,5-11 ГГц	OFDM-256	DES, 3DES
802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1-5 км	2,3-13,6 ГГц	SOFDMA	AES
802.16m	WMAN, Mobile WMAN	до 1 Гбит/с (WMAN), до 100 Мбит/с (Mobile WMAN)	н/д (стандарт в разработке)	н/д (стандарт в разработке)	SOFDMA	н/д (стандарт в разработке)

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ РЕСУРСАМИ

Сетевое взаимодействие целесообразно рассматривать с позиций сложной динамической системы с целью обеспечения оптимального управления сетевыми ресурсами в пространстве состояний и можно описать в виде совокупности трех уравнений [4]:

$$- \text{состояния} \quad \frac{d\vec{x}(t)}{dt} = F(\vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{y}(t)); \quad (1)$$

$$- \text{наблюдения} \quad \vec{\sigma}(t) = \Sigma(\vec{x}(t), \vec{\varphi}(t)); \quad (2)$$

$$- \text{управления} \quad \vec{u}(t) = U(\vec{x}(t), \vec{y}(t)), \quad (3)$$

где $\vec{x}(t)$ – вектор переменных состояний, $\vec{u}(t)$ – вектор переменных управления, $\vec{y}(t)$ – вектор возмущений, действующий на систему, $\vec{\varphi}(t)$ – вектор результатов измерений, $\vec{\sigma}(t)$ – шум наблюдения.

Параметры беспроводной сети носят стохастический характер, так как находятся под влиянием различных случайных факторов, таких, как:

- конфигурационные изменения сети, что ведет к перераспределению нагрузки;
- коллизии, возникающие в процессе передачи данных;
- изменение маршрутизации в сети;
- отказы сетевого оборудования, в результате чего происходит снижение показателей производительности или некоторые элементы сети выходят из строя;
- переполнение буфера у сетевых устройств и связанные с этим их перегрузка и сети в целом;
- ошибки управления сетью, связанные со сбоями в определении состояний показателей сети и с обработкой и выработкой управляющих воздействий.

Функция $F(\vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{y}(t))$ является стохастической, так как значения $\vec{x}(t)$, $\vec{u}(t)$, $\vec{y}(t)$ могут носить вероятностный характер.

Процесс пакетной передачи данных является дискретным, поэтому введем интервал дискретизации $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ – интервал времени между соседними отсчетами. Тогда вектор переменных состояний будет иметь значения $\vec{x}(k)$ и $\vec{x}(k+1)$ в моменты времени t_k и t_{k+1} соответственно.

Состояние системы может быть описано системой из $N(N-1)$ уравнений [4]:

$$x_{i,j}(k+1) = x_{i,j}(k) - \sum_{l=1, l \neq i}^N b_{l,i}(k)u_{l,i}^j(k) + \sum_{m=1, m \neq i,j}^N b_{m,i}(k)u_{m,i}^j(k) + y_{i,j}(k), \quad (4)$$

где N – количество узлов в сети; $i, j = \overline{1, N}$; $i \neq j$; $b_{i,l}(k) = C_{i,l}(k)\Delta t$; $C_{i,l}$ – общая пропускная способность тракта передачи на интервале (i, l) ; $x_{i,j}(k)$ интенсивность потока данных в момент времени t_k на узле i и предназначенная узлу j ; $u_{i,l}^j(k)$ доля пропускной способности тракта (i, l) , выделенная в момент времени t_k , с адресом j , которая изменяется в интервале $[0, 1]$; $y_{i,j}(k) = \mathcal{J}_{i,j}(k)\Delta t$ – объем нагрузки поступающей в момент времени t_k на узел i и предназначенной для передачи узлу j ; $\mathcal{J}_{i,j}(k)$ – интенсивность поступающей нагрузки, которая определяется как суммарная интенсивность потоков абонентов, подключенных к узлу i и ведущих обмен с абонентами, подключенными к узлу j .

На переменные состояния и управления для недопустимости перегрузки элементов сети и ограниченности размеров буфера на узлах, возникающей из-за очередей, а также из-за пропускных способностей цифровых трактов, накладываются следующие ограничения [5]:

$$0 \leq x_{i,j}(k) \leq x_{i,j}^{max}, \quad 0 \leq u_{i,l}^j(k) \leq 1, \quad \sum_{n=1}^N u_{i,l}^n(k) \leq 1, \quad (5)$$

где $x_{i,j}^{max}$ – максимально допустимая длина очереди на i -м узле для трафика с адресом j .

Современные маршрутизаторы имеют такой механизм формирования очередей, который позволяет от ограничений (5) перейти к ограничениям следующего вида:

$$0 \leq x_{i,j}(k), \quad \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N x_{i,j}(k) \leq x_i^{max}, \quad (6)$$

где x_i^{max} – максимально допустимый объем буфера на узле i .

В выражение (4) может быть введен параметр в виде матрицы $A(k)$, который учитывает стратегию отбрасывания пакетов на узлах сети при приближении размера очереди к предельно допустимому значению. В результате выражение (4) принимает следующий вид [4]:

$$\vec{x}(k+1) = A(k)\vec{x}(k) + B(k)\vec{u}(k) + \vec{y}(k), \quad (7)$$

где $\vec{x}(k)$ – объем данных в очереди на узле в момент времени t_k ; $\vec{y}(k)$ – объем нагрузки на транспортную среду. Матрица $A(k)$ содержит значения статических маршрутных таблиц. Она содержит ненулевые недиагональные элементы. Элементы матрицы $a_{i,l}^j \in A(k)$ являются долей передаваемых данных из буфера очереди (i, j) к узлу j через узел l . На них накладываются ограничения:

$$0 \leq a_{i,l}^j; \quad \sum_{i=1}^n a_{i,l}^j \leq 1, \quad l \neq i. \quad (8)$$

$B(k)$ – матрица с элементами $\pm b_{i,j}(k)$.

Объем нагрузки на транспортную среду $\vec{y}(k)$ описывается следующим выражением:

$$\vec{y}(k) = G(k)\vec{w}(k), \quad (9)$$

где $G(k)$ – матрица, определяющая порядок подключения элементов сети к транспортной среде, а $\vec{w}(k)$ – вектор нагрузки, создаваемой отдельными элементами сети.

Параметр $\vec{w}(k)$ носит вероятностный характер.

Источниками нагрузки на узлы сети являются как абоненты, так и сети доступа. С учетом распределения трафика от сетей доступа по приграничным маршрутизаторам транспортной сети получим следующее уравнение [5]:

$$\vec{x}(k+1) = A(k)\vec{x}(k) + B(k)\vec{u}(k) + G(k)\vec{w}(k). \quad (10)$$

Для элементов матрицы $G(k)$ имеются следующие условия, связанные с их физическим смыслом:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^N g_{m,i}^j \leq 1, \quad m = \overline{1, N_d}, \quad (11)$$

где $g_{m,i}^j$ – доля трафика, поступающего от сети доступа m на i -й приграничный узел с адресом j ; N_d – количество сетей доступа.

Для полного описания стохастического процесса функционирования исследуемой ТКС необходимо задать уравнение наблюдения. Уравнение наблюдения будет иметь следующий вид [8, 9]:

$$\bar{y}(k) = H(k)\bar{x}(k) + \bar{\pi}(k), \quad (12)$$

где $\bar{y}(t)$ – вектор измерений, с элементами $y_{i,j}(k)$; $H(k)$ – масштабирующая матрица, определяющая, насколько усилены (при $H > 1$) или ослаблены (при $H < 1$) измеряемые переменные состояния; $\bar{\pi}(k)$ – шумы измерений.

При определении оптимальной стратегии управления стохастической системой необходимо определение законов распределения для возмущающих воздействий $\bar{w}(t)$ и шумов измерения $\bar{\pi}(k)$.

Рассматривая случайный процесс $\bar{w}(t)$ как процесс поступления внешней нагрузки от сетей доступа на приграничные узлы транспортной сети, согласно [6], может быть принята гипотеза о нормальности процесса $\bar{w}(k)$ с известным средним $\bar{w}(k)$ и спектральной плотностью мощности $N_w(k)$. Это обусловлено высокой степенью агрегированности данного потока, получаемого путем наложения множества информационных потоков отдельных абонентов.

Для радиосети при моделировании процессом $\bar{w}(k)$ нефизических шумов закон распределения является нормальным. Процесс $\bar{\pi}(k)$ в уравнении (12) является шумом измерений и является гауссовским центрированным белым шумом с матрицей интенсивностей $N_{\pi}(k)$ [5].

КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ В СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ

При решении задач управления сетевыми ресурсами должны учитываться качество управления и затраты ресурсов. Поэтому критерий оптимальности будет включать функции, описывающие степень использования канальных ресурсов. Целевая функция в этом случае будет иметь следующий вид [7, 9]:

$$J = \sum_{k=0}^{K-1} [X(k)^T Q_X X(k) + U(k)^T Q_U U(k)] \rightarrow \min, \quad (13)$$

где Q_X – диагональная неотрицательно определенная весовая матрица и Q_U – диагональная положительная определенная весовая матрица. Матрицы определяют приоритетность очередей на узлах и важность трактов передачи в сети.

Выражение (13) описывает суммарную стоимость использования сетевых ресурсов в процессе решения задач управления. В левой его части определены затраты использования буферных устройств на узлах сети, а в правой – использование канальных ресурсов.

Однако с учетом стохастического изменения состояния сети задача управления сетевыми ресурсами формулируется как задача оптимального управления с одновременным усреднением. В качестве критерия оптимальности в таких условиях выступает экстремум математического ожидания квадратичной формы, который имеет следующий вид:

$$J = M \left\{ \sum_{k=0}^{K-1} [\bar{x}(k)^T Q_X \bar{x}(k) + \bar{u}(k)^T Q_U \bar{u}(k)] \right\} \rightarrow \min. \quad (14)$$

Исходными данными являются характеристики шумов объекта управления и шумов измерений; а параметры объекта управления предполагаются либо детерминированными, либо случайными, но с известными статистическими характеристиками. Совокупность ограничений, накладываемых на переменные состояния и управления, образуется динамическим уравнением состояния (10) и выражениями (5) и (6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена модель оптимального управления ресурсами, которая позволяет решать задачи управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП. Достоинство представленной модели заключается в учете стохастического характера воздействий на сеть, что позволяет получить результаты, близкие к реальным.

Полученный критерий оптимальности управления учитывает суммарную стоимость использования сетевых ресурсов в процессе решения задач управления, что является важным аспектом при построении беспроводных сетей АСУП.

Предложенный подход по решению задачи управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации сети в рамках предложенной стохастической модели может быть использован при проектировании сетей АСУП и разработке механизмов их управления. Такими механизмами могут быть как маршрутизация в сети, так и оптимальное управление загрузкой буферных устройств в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т., Афонин С.И., Максаков С.А., Куленич А.И. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011. – № 9. – С. 46-49.
2. Еременко В.Т., Афонин С.И., Краснов Д.А. и др. Математическая модель оценки производительности беспроводной вычислительной сети АСУ предприятия // Информационные системы и технологии, 2011. – № 5. – С. 11-20.
3. Еременко В.Т., Афонин С.И., Кузьмина Л.В. и др. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов // Информационные системы и технологии, 2012. – № 1. – С. 78-84.
4. Поповский В.В., Лемешко А.В., Евсеева О.Ю. Динамическое управление ресурсами ТКС: математические модели в пространстве состояний // Наукові записки УНДІЗ, 2009. – № 1(9). – С. 3-26.
5. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / за загал. ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
6. Norros I., Pruthi P. On the applicability of Gaussian traffic models // Proc. of The Thirteenth Nordic Teletraffic Seminar. Trondheim (Norway), 1996. – P. 37-50.
7. Сэйдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. – М.: Наука, 1971. – 424 с.
8. Аоки М. Оптимизация стохастических систем. – М.: Наука, 1971. – 424 с.
9. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

Еременко Владимир Тарасович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 41-98-79

E-mail: wladimir@orel.ru

Анисимов Дмитрий Владимирович

Академия ФСО, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 920 286 86 35

E-mail: dimadikiy@mail.ru

Плащенко Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-58

E-mail: rv3eff@yandex.ru

Краснов Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 965 299 02 13

E-mail: ekshin@mail.ru

Черепков Сергей Анатольевич

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель

Тел.: 8 953 615 84 01

E-mail: perspectiva2010@mail.ru

Георгиевский Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 41-23-71

E-mail: gae6@yandex.ru

V.T. EREMENKO (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, head of the department «Electronics, computer facilities and information security»*)
State University – ESPC, Orel

D.V. ANISIMOV (*Research Associate*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

D.A. PLASCHENKOV (*Post-graduate Student of the department «Electronics, computer facilities and information security»*)

D.A. KRASNOV (*Post-graduate Students of the department «Electronics, computer facilities and information security»*)
State University – ESPC, Orel

S.A. CHEREPKOV (*Teacher of a Military Academy*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

A.E. GEORGIEVSKY (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Electronics, computer facilities and information security»*)
State University – ESPC, Orel

SOLUTION FOR MANAGING NETWORK RESOURCES IN CONDITIONS OF DYNAMIC CONFIGURATION CHANGE WIRELESS CAM

The control of network resources of wireless network in conditions of dynamic changes of its configuration is considered. Analytical model of optimal control network resources for wireless is offered. Optimal control and its estimation test in ASCE are proposed.

Keywords: network resources control; wireless network; routing; throughput rate.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Eryomenko V.T., Afonin S.I., Maksakov S.A., Kulenich A.I. Optimizaciya resursov i upravlenie processami informacionnogo obmena v setyax ASUTP na osnove polevy'x shin // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2011. – № 9. – S. 46-49.
2. Eryomenko V.T., Afonin S.I., Krasnov D.A. i dr. Matematicheskaya model' ocenki proizvoditel'nosti besprovodnoj vy'chislitel'noj seti ASU predpriyatiya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 5. – S. 11-20.
3. Eryomenko V.T., Afonin S.I., Kuz'mina L.V. i dr. Metody' resheniya zadach raspredeleniya informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x predpriyatiya na osnove rezervirovaniya resursov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 1. – S. 78-84.
4. Popovskij V.V., Lemashko A.V., Evseeva O.Yu. Dinamicheskoe upravlenie resursami TKS: matematicheskie modeli v prostranstve sostoyanij // Naukovi zapiski UNDIZ, 2009. – № 1(9). – S. 3-26.
5. Matematy'chni osnovy' teorii telekomunikacijny'x sy'stem / za zagal. red. V.V. Popovskogo. – Xarkiv: TOV «Kompaniya SMIT», 2006. – 564 s.
6. Norros I., Pruthi P. On the applicability of Gaussian traffic models // Proc. of The Thirteenth Nordic Teletraffic Seminar. Trondheim (Norway), 1996. – P. 37-50.
7. Se'jdzh E'.P., Uajt Ch.S. Optimal'noe upravlenie sistemami. – M.: Nauka, 1971. – 424 s.
8. Aoki M. Optimizaciya stoxasticheskix sistem. – M.: Nauka, 1971. – 424 s.
9. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya / pod red. A.A. Krasovskogo. – M.: Nauka, 1987. – 712 s.

П.О. АРХИПОВ, А.И. СОРОКИН

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

В статье авторы описывают информационную технологию формирования характеристических признаков предварительной идентификации цветных изображений. Цветное изображение можно представить в виде набора цветовых характеристик и их геометрического расположения, однозначно определяющих местоположение цветовых пикселей. Предлагается структурная модель идентификации цветных пятен.

Ключевые слова: цвет; изображение; пиксель; зона толерантности; идентификация; координата.

В связи с широким развитием глобальной сети Интернет организация систем безопасного хранения и защиты пользовательского контента является актуальной задачей. Наиболее широко представлен мультимедийный контент, объем которого увеличивается в геометрической прогрессии каждый год. Главенствующую роль в таком контенте занимает графическая информация: рисунки, картины, фотографии, эмблемы, значки и т.п.

Действующие в настоящее время Федеральный закон РФ №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» и также Гражданский кодекс РФ оговаривают права автора на принадлежащие ему произведения, в том числе, в виде проектов, чертежей, изображений и макетов; фотографические произведения и произведения, полученные способами, аналогичными фотографии; географические, геологические и другие карты, планы и эскизы.

Существует программное обеспечение, позволяющее осуществлять хранение графических изображений в сети Интернет без подтверждения подлинности (различные файлообменные сервисы). Установить авторство создателя графического изображения, размещенного в сети Интернет, является очень сложной задачей.

Известны методы надления графических изображений идентифицирующими их создателя свойствами (криптографические, полиграфические и др.). Эти методы решают частные задачи и не позволяют в требуемом объеме и на применяемом пользователями оборудовании создавать средства, обеспечивающие однозначную идентификацию графического изображения. С другой стороны, в таких системах, как система маркировки и идентификации графического интернет контента (СМГИК) [1], осуществляется регистрация графических изображений с выдачей защищенного сертификата на бумажном носителе и последующая идентификация с подтверждением подлинности изображения, представленного в электронной форме, и его авторства. В СМГИК нанесение уменьшенной копии изображения на сертификат и сравнение с представленным оригиналом производится оператором системы визуально. Решение о достоверности изображения в таком случае является субъективным.

Чтобы избавиться от субъективности в оценках изображения, мы предлагаем вносить в метаданные сертификата изображения специальную последовательность, описывающую палитру и структуру охраняемого изображения. Для установления авторства графического изображения нами предлагается технология формирования характеристических признаков предварительной идентификации цветных изображений.

Для решения поставленной задачи необходимо искомое изображение представить в виде набора цветовых характеристик и их геометрического места расположения, однозначно определяющих местоположение цветовых пикселей.

Нами предлагается структурная модель идентификации цветовых пятен, основу которой составляют следующие пункты:

1) Из полной палитры (16 млн. цветов) необходимо выбрать рабочую палитру (например, 4096 цветов) [2]; целесообразным может быть выбор компонентов палитры по следующей формуле:

$$M = \{(r_i, g_i, b_i)\} = \{(j \cdot 17, k \cdot 17, n \cdot 17)\}, \quad (1)$$

$$j, k, n = 0, \dots, 15,$$

$$i = j + k \cdot 16 + n \cdot 256 = 0, 1, \dots, 4095.$$

2) Привести исследуемую нами палитру.

Обрабатываемое изображение приводится в соответствие с рабочей палитрой. Это происходит путем создания массива RGB-значений [3]. В нем хранятся наиболее близкие цветовые координаты из рабочей палитры, которые соответствуют пикселям на изображении. Координаты пикселя на изображении соответствуют индексу ячейки в массиве. Размер этого массива равен размеру изображения.

При сопоставлении цветовых координат пикселя с рабочей палитрой берется первый пиксель изображения и сравнивается с каждым цветом в рабочей палитре. Сравнение евклидовой метрики происходит путем вычитания из цветовых координат пикселя изображения координаты цвета рабочей палитры по формуле

$$E = \sqrt{(R^{ij} - R^{SP})^2 + (G^{ij} - G^{SP})^2 + (B^{ij} - B^{SP})^2} \quad (2)$$

Данное значение сравнивается с константой, которая выбирается в зависимости от точности сопоставления цветовых координат. Она является пороговым значением и называется коэффициентом цветоразличия.

Если в результате были просмотрены все цвета рабочей палитры и не был найден наиболее близкий цвет, то данный пиксель исключается из дальнейшего рассмотрения. Если при сопоставлении с рабочей палитрой нужно получить все пиксели изображения, то после просмотра всех цветов палитры необходимо увеличить пороговое значение и просмотреть палитру заново.

Таким образом, мы выбираем из всей совокупности цветов рабочей палитры только те, которые присущи палитре данного изображения. Т.е. мы получаем пользовательскую палитру конкретного изображения [4].

3) Выявить зону толерантности и объединить толерантные пиксели в зоны.

После того, как все пиксели изображения просмотрены и создан RGB-массив, необходимо объединить все пиксели в зоны толерантности.

$$D_i = p_i \cup p_j, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где p_i, p_j – пиксели одной зоны толерантности,

$t = 1, \dots, T$ – количество зон толерантности.

Опишем процедуру отбора пикселей в зоны толерантности. Берется первый пиксель. Он образует первую зону толерантности. Далее рассматривается следующий пиксель. Происходит сравнение его цветовых координат с цветом зоны толерантности, которую образует первый пиксель. Если сравнение цветов удовлетворяет условиям близости, то текущий пиксель помечается как принадлежащий зоне толерантности. Если показатель близости цветов превышает пороговое значение, то необходимо произвести сравнение цветовых координат данного пикселя с цветами рабочей палитры и найти наиболее близкое значение. После нахождения наиболее близкого значения создать еще одну зону толерантности, первым пикселем в которой будет текущий.

Исключить текущий пиксель из дальнейшего рассмотрения. Аналогично поступить

со всеми пикселями изображения. Информация о зонах толерантности сохраняется. Также сохраняется информация о количестве пикселей, принадлежащих каждой зоне толерантности, о её цвете.

Находим пиксели с одинаковыми цветовыми характеристиками, упорядочиваем их и заносим цветовых значения и геометрическое местоположение в таблицу.

$$\begin{aligned} \text{Tab}[r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}, x_l, y_m] &= P[r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}] + Z[x_l, y_m], \\ i, j &= 0, \dots, 255, \\ l, m &= 0, \dots, W, \end{aligned} \quad (4)$$

где P – массив цветовых координат пикселя,

Z – массив геометрических координат пикселя.

4) Запись информации о геометрии зон толерантности в массив.

Индекс ячейки массива соответствует положению точки на анализируемом изображении. В нем указывается для каждого пикселя индекс сегмента, к которому он принадлежит, цвет пикселя и счетчик пикселей в сегменте.

$$\begin{aligned} S &= \{N_{ij}, C_{ij}, SN\}, \\ i &= 0, \dots, F, j = 0, \dots, K, \end{aligned} \quad (5)$$

где i, j – размер матрицы сегмента S ,

F, K – размер анализируемого изображения.

5) Аппроксимация зон толерантности.

Осуществляется структурирование зон толерантности. Для каждой зоны толерантности просматриваются все пиксели, принадлежащие ей. Координаты пикселей сравниваются и находятся максимальное и минимальное значение x и y внутри зоны. Эти значения образуют две точки, через которые строится прямоугольник, описывающий данную зону толерантности. Затем находятся координаты середин сторон описанного прямоугольника. Точка с этими координатами будет являться его центром.

С помощью координат точек, по которым строится описанный прямоугольник, строится прямоугольник, вписанный в зону толерантности. Определяется середина сторон вписанного прямоугольника.

Далее вычисляется середина горизонтального отрезка, проходящего через центр прямоугольника. Центральная точка делит отрезок на два [5]. Затем находятся середины двух образованных отрезков. Просматриваем все точки зоны толерантности, которые лежат выше центрального отрезка. Проверяются точки, у которых координата x равна координате x точки середины одного из центральных отрезков. Находятся значения y наиболее удаленных точек от центра прямоугольника, описывающего зону толерантности. У найденных точек сравниваются значения y и берется то, которое ближе к центральному отрезку. Далее проверяются значения x и y , находящиеся в диапазоне между найденными точками, с целью исключения возможности выхода вписанного прямоугольника за границы зоны толерантности. Аналогично анализируются точки, находящиеся ниже центрального отрезка. На рисунке 1 представлено разбиение описанного прямоугольника.

В результате для каждой зоны толерантности получаем координаты её геометрического местоположения.

Последовательно выполняя все вышеописанные стадии, мы реализуем технологию формирования характеристических признаков предварительной идентификации цветных изображений. Для уменьшения перебора всех не толерантных пикселей целесообразно разбивать все изображение на фиксированное количество геометрических зон, например, 256. Тогда внутри такой зоны выбирается центральный пиксель, однозначно характеризующий геометрическое положение зоны толерантности и её цветовое значение.

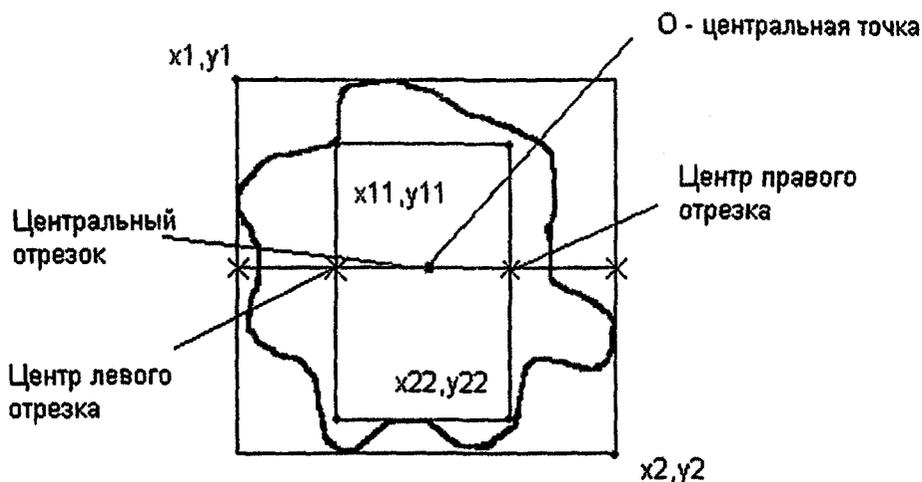


Рисунок 1 – Разбиение описанного прямоугольника

Таким образом, при возникновении ситуации, в которой требуется определить подлинность какого-либо изображения, мы «разбиваем» его на множество зон толерантности и сравниваем значение цветовых и геометрических характеристик с оригинальными. Если такие значения совпадают – перед нами оригинал изображения, в противном случае можно говорить о модификации оригинального изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611475. Система маркировки и идентификации графического интернет-контента: заявка № 2010617906 от 16.12.2010 РФ / И.С. Константинов, О.П. Архипов, П.О. Архипов, Р.А. Лунёв, А.А. Стычук, А.В. Голенков, А.С. Засимов, А.А. Мотин. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.02.2011 г. (РФ)
2. Архипов О.П., Зыкова З.П. Интеграция гетерогенной информации о цветных пикселях и их цветовосприятии // Информатика и ее применения. – М.: ИПИ РАН, 2010. – Том 4. – Вып. 4. – С. 14-25.
3. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – Москва: Бином, 2006. – 752 с.
4. Архипов О.П. Технология оцифровки цветовосприятия отпечатков / Архипов О.П., Бородина Л.Н., Зыков Р.В., Зыкова З.П., Носова Н.Ю., Рябинкин Е.В. – М.: ИПИ РАН, 2009. – 115 с.
5. Архипов П.О., Стычук А.А. Технология создания палитры цветоразличаемых пикселей // «Информационные технологии в науке, образовании и производстве». Материалы III Международной научно-технической конференции. – Орел: Известия ОрелГТУ, 2008. – № 1-2. – С. 22-24.

Архипов Павел Олегович

ОФ ИПИ РАН, г. Орел

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел.: 8 (4862) 36-86-88

E-mail: arpaul@mail.ru

Сорокин Андрей Иванович

ОФ ИПИ РАН, г. Орел

Инженер-исследователь

Тел.: 8 (4862) 36-86-84

E-mail: webdi@mail.ru

P.O. ARKHIPOV (*Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher*)

A.I. SOROKIN (*Engineer Researcher*)

The Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences (IPI RAN), Orel

**INFORMATION TECHNOLOGY FORMATION OF CHARACTERISTIC INDICATIONS
FOR ADVANCE IDENTIFICATION OF COLOR PICTURES**

In this article authors describe information technology formation of characteristic indications for advance identification of color pictures. The color image can be represented in the form of a set of color characteristics and their geometric location, uniquely determining the location of color pixels. Suggested structural model of identification of color stains.

Keywords: *color; image; pixel; zone of tolerance; identification; coordinate.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2011611475. Sistema markirovki i identifikacii graficheskogo internet-kontenta: zayavka № 2010617906 ot 16.12.2010 PФ / I.S. Konstantinov, O.P. Arxipov, P.O. Arxipov, R.A. Lunyov, A.A. Sty'chuk, A.V. Golenkov, A.S. Zasimov, A.A. Motin. Zaregistrirvano v Reestre programm dlya E'VM 15.02.2011 g. (RF)
2. Arxipov O.P., Zy'kova Z.P. Integraciya geterogennoj informacii o czvetny'x pikselyax i ix czvetovospriyatii // Informatika i eyo primeneniya. – M.: IPI RAN, 2010. – Tom 4. – Vy'p. 4. – S. 14-25.
3. Shapiro L., Stokman Dzh. Komp'yuternoe zrenie. – Moskva: Binom, 2006. – 752 s.
4. Arxipov O.P. Texnolgiya ocifrovki cvetovospriyatiya otpechatkov / Arxipov O.P., Borodina L.N., Zy'kov R.V., Zy'kova Z.P., Nosova N.Yu., Ryabinkin E.V. – M.: IPI RAN, 2009. – 115 s.
5. Arxipov P.O., Sty'chuk A.A. Texnologiya sozdaniya palitry' czvetorazlichaemy'x pikselej // «Informacionny'e texnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve». Materialy' III Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. – Oryol: Izvestiya OryolGTU, 2008. – № 1-2. – S. 22-24.

А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, Е.В. БОЛГОВА

О ПОГРЕШНОСТИ СТЕГОВНЕДРЕНИЙ В ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЗАМЕНЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДКП

В работе проведена оценка устойчивости к внешним воздействиям в виде аддитивного шума стеганографического внедрения информационных бит в изображение методом Коха-Жао. Показана зависимость погрешности восстановления информации от размеров используемых для внедрения блоков пикселей изображения-контейнера.

Ключевые слова: стеговнедрение; изображение; дискретное косинусное преобразование; погрешность; восстановление.

Для защиты информации от несанкционированного доступа и защиты авторских прав в настоящее время широко используются методы стеганографии.

Стеганография (от греч. «тайнопись») предполагает передачу информации при скрытии самого факта ее передачи. В отличие от криптографии, которая скрывает содержимое сообщения, стеганография скрывает само его существование. Стеганографию обычно используют совместно с методами криптографии.

Одной из основных характеристик методов стеганографии является оценка их робастности – устойчивости внедренной на основе данных методов информации к внешним воздействиям.

В настоящее время широкое распространение получили методы внедрения информации в изображения. В данной группе методов используется психовизуальная избыточность информации, содержащаяся в изображении, что позволяет осуществлять ее значительное изменение без существенной потери визуального качества [1].

В данной работе исследована модификация одного из наиболее распространенных методов внедрения информации на основе скрытия данных в области преобразований – модификация метода Коха-Жао относительной замены величин коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП) [2], основанная на использовании блоков пикселей изображения-контейнера произвольной размерности.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА КОХА-ЖАО ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЗАМЕНЫ ВЕЛИЧИН КОЭФФИЦИЕНТОВ ДКП

Исходной информацией в методе Коха-Жао [3] является изображение-контейнер и встраиваемое (внедряемое) в него сообщение. Внедрение информации осуществляется в изображение-контейнер, которое задается в виде матрицы $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$, значения элементов которой соответствуют яркости пикселей изображения. Внедряемая информация представляется в виде последовательности бит $B = (b_m)$, $m = 1, 2, \dots, N_B$.

Изображение-контейнер разбивается на N_B блоков (матриц) $\Phi_m = (f_{ik}^m)$, $m = 1, 2, \dots, N_B$, $i = 1, 2, \dots, 8$, $k = 1, 2, \dots, 8$, содержащих $N_{B1} \times N_{B2}$ элементов.

$$\Phi = \bigcup_{m=1}^{N_B} \Phi_m.$$

Каждый бит информации $B = (b_m)$, $m = 1, 2, \dots, N_B$ внедряется в отдельную матрицу Φ_m изображения-контейнера. Рассмотрим внедрение отдельного бита b_m в соответствующую матрицу Φ_m .

К элементам матрицы Φ_m применяется ДКП:

$$y_{n_1 n_2} = \alpha_{n_1} \alpha_{n_2} \sum_{i=1}^{N_{B1}} \sum_{k=1}^{N_{B2}} f_{ik}^m \cos\left(\frac{\pi n_1}{N_2} \left(i - \frac{1}{2}\right)\right) \cos\left(\frac{\pi n_2}{N_2} \left(k - \frac{1}{2}\right)\right),$$

$$\alpha_{n_1} = \begin{cases} 1/\sqrt{N_1}, n_1 = 0, \\ \sqrt{2/N_1}, n_1 = 1, 2, \dots, N_1 - 1, \end{cases} \quad \alpha_{n_2} = \begin{cases} 1/\sqrt{N_2}, n_2 = 0, \\ \sqrt{2/N_2}, n_2 = 1, 2, \dots, N_2 - 1, \end{cases}$$

$$n_1 = 1, 2, \dots, N_{B1}, \quad n_2 = 1, 2, \dots, N_{B2}.$$

В матрице $Y_m = (y_{n_1 n_2})$, $n_1 = 1, 2, \dots, N_{B1}$, $n_2 = 1, 2, \dots, N_{B2}$ коэффициенты ДКП с индексами (u_1, v_1) и (u_2, v_2) изменяются таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\begin{cases} |y_{u_1 v_1}| - |y_{u_2 v_2}| < -P_1, \text{ при } b_m = 0, \\ |y_{u_1 v_1}| - |y_{u_2 v_2}| > P_1, \text{ при } b_m = 1, \end{cases}$$

где P_1 – пороговое значение.

Значения элементов модифицированной матрицы $\tilde{\Phi}_m = (\tilde{f}_{ik}^m)$, $i = 1, 2, \dots, N_{B1}$, $k = 1, 2, \dots, N_{B2}$ определяются на основе применения обратного ДКП к измененной матрице Y_m :

$$\tilde{f}_{ik}^m = \frac{1}{2N} \sum_{n_1=1}^{N_{B1}} \sum_{n_2=1}^{N_{B2}} \alpha_{n_1} \alpha_{n_2} y_{n_1 n_2} \cos\left(\frac{\pi n_1}{N_2} \left(i - \frac{1}{2}\right)\right) \cos\left(\frac{\pi n_2}{N_2} \left(k - \frac{1}{2}\right)\right),$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{B1}, \quad k = 1, 2, \dots, N_{B2}.$$

Контейнер с внедренной информацией представляется в виде объединения модифицированных матриц Φ^*_m , $m = 1, 2, \dots, N_B$:

$$\Phi = \bigcup_{m=1}^{N_B} \Phi_m.$$

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОЦЕНОК УСТОЙЧИВОСТИ ВНЕДРЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Исследуем устойчивость информации, внедренной на основе приведенного выше алгоритма, к внешнему воздействию в виде аддитивного шума.

Устойчивость внедренной информации будем определять на основе среднеквадратического отклонения (погрешности) восстановленной из преобразованного контейнера информации $B^* = (b^*_m)$, $m = 1, 2, \dots, N_B$ относительно исходных данных $B = (b_m)$, $m = 1, 2, \dots, N_B$:

$$MSE_B = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{N_B} (b_m - b^*_m)^2}{\sum_{m=1}^{N_B} b_m^2}}.$$

В ходе вычислительных экспериментов также было вычислено среднеквадратическое отклонение изображения-контейнера с внедренной информацией и добавленным шумом относительно исходного контейнера:

$$MSE_{\Phi_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} (f_{ik} - \tilde{f}_{ik})^2}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} f_{ik}^2}}, \quad MSE_{\Phi_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} (f_{ik} - \hat{f}_{ik})^2}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} f_{ik}^2}},$$

где $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$ – исходное изображение-контейнер, размерностью $N_1 \times N_2$ пикселей, $\tilde{\Phi} = (\tilde{f}_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$ – изображение-контейнер с внедренной информацией, $\hat{\Phi} = (\hat{f}_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$ – изображение-контейнер с внедренной информацией и аддитивным шумом $U = (u_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$ с отношением шум-сигнал δ :

$$\hat{f}_{ik} = \tilde{f}_{ik} + c \cdot u_{ik},$$

Значения матрицы $U = (u_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$ соответствуют последовательности случайных чисел, распределенных по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, вычисленных стандартными средствами пакета Matlab.

Коэффициент c определяется на основании следующего соотношения:

$$c = \delta * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} f_{ik}^2}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} u_{ik}^2}}.$$

ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При проведении вычислительных экспериментов в качестве контейнера выбрано изображение, размером 256×256 пикселей, приведенное на рисунке 1, на котором представлен фрагмент земной поверхности с изображением действующего вулкана.



Рисунок 1 – Исходное изображение-контейнера (256x256 пикселей)

Внедряемая (модельная) информация представлена в виде матрицы и приведена на рисунке 2.

2	3	6
4	5	8
5	9	7

Рисунок 2 – Внедряемая информация (сообщение)

Значения индексов (u_1, v_1) и (u_2, v_2) изменяемых элементов матриц $\Phi_m = (f_{ik}^m)$, $m = 1, 2, \dots, N_B$, $i = 1, 2, \dots, 8$, $k = 1, 2, \dots, 8$ выбраны так, чтобы они соответствовали диапазону средних частот при ДКП: $u_1 = 4$, $v_1 = 5$, $u_2 = 5$, $v_2 = 4$.

Для вычислительных экспериментов были определены следующие изменяемые параметры:

- величина порогового значения $P_1 = \{0.5, 5, 25, 50, 100\}$.
- размер блока $N_{B1} = N_{B2} = \{8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times 32, 64 \times 64\}$.
- отношение шум/сигнал $\delta = \{0, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3\}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В результате применения модифицированного метода относительной замены величин коэффициентов ДКП вычислены:

- погрешность контейнера после внедрения MSE_{Φ_1} .
- погрешность контейнера после наложения шума MSE_{Φ_2} .
- погрешность восстановления MSE_B .

Расчеты выполнены многократно и усреднены для большого количества расчетов.

В таблице 1 показаны результаты вычислительных экспериментов для исходного изображения при величине порогового значения $P_1 = 5$.

Таблица 1 – Погрешности представления контейнера и восстановленной информации при $P_1 = 5$

$N_1 = N_2 = 256,$ $P_1 = 5$	Уровень шум/сигнал δ						
	0	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3
$N_{B1} = N_{B2} = 8$							
MSE_{Φ_1}	0,0009						
MSE_{Φ_2}	0,0009	0,01004	0,02002	0,05001	0,1	0,2	0,3
MSE_B	0	0	0,43301	0,61237	0,86824	0,913	0,956
$N_{B1} = N_{B2} = 16$							
MSE_{Φ_1}	0,00399						
MSE_{Φ_2}	0,00399	0,01076	0,02039	0,05014	0,10008	0,20005	0,3
MSE_B	0	0	0,35355	0,629	0,66143	0,82915	0,93541
$N_{B1} = N_{B2} = 32$							
MSE_{Φ_1}	0,03217						
MSE_{Φ_2}	0,03217	0,03365	0,03793	0,0593	0,1051	0,20252	0,30165
MSE_B	0	0	0,25	0,55901	0,583	0,90138	0,925
$N_{B1} = N_{B2} = 64$							
MSE_{Φ_1}	0,13784						
MSE_{Φ_2}	0,13784	0,1382	0,13941	0,14646	0,1704	0,2434	0,33063
MSE_B	0	0	0	0,33333	0,375	0,509	0,533

В таблице 2 показаны результаты вычислительных экспериментов для исходного изображения при пороговом значении $P_1 = 100$.

Аналогичные вычисления были выполнены при пороговых значениях 0.5, 25, 50.

На рисунке 3 приведены изображения-контейнеры, содержащие внедренную информацию и аддитивный шум.

Таблица 2 – Погрешности представления контейнера и восстановленной информации при $P_1=100$

$N_1=N_2=256,$ $P_1=100$	Уровень шум/сигнал δ						
	0	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3
$N_{B1} = N_{B2} = 8$							
MSE_{α_1}	0,01471						
MSE_{α_2}	0,01471	0,0178	0,02471	0,05211	0,10104	0,20057	0,30031
MSE_{β}	0	0	0	0	0	0,25	0,5
$N_{B1} = N_{B2} = 16$							
MSE_{α_1}	0,01565						
MSE_{α_2}	0,01565	0,01862	0,02537	0,05239	0,10116	0,20061	0,30046
MSE_{β}	0	0	0	0	0	0	0,35355
$N_{B1} = N_{B2} = 32$							
MSE_{α_1}	0,03738						
MSE_{α_2}	0,03738	0,03865	0,04239	0,06215	0,10671	0,20349	0,30233
MSE_{β}	0	0	0	0	0	0	0,35355
$N_{B1} = N_{B2} = 64$							
MSE_{α_1}	0,14109						
MSE_{α_2}	0,14109	0,14146	0,14246	0,15002	0,17318	0,24497	0,33217
MSE_{β}	0	0	0	0	0	0	0,33333

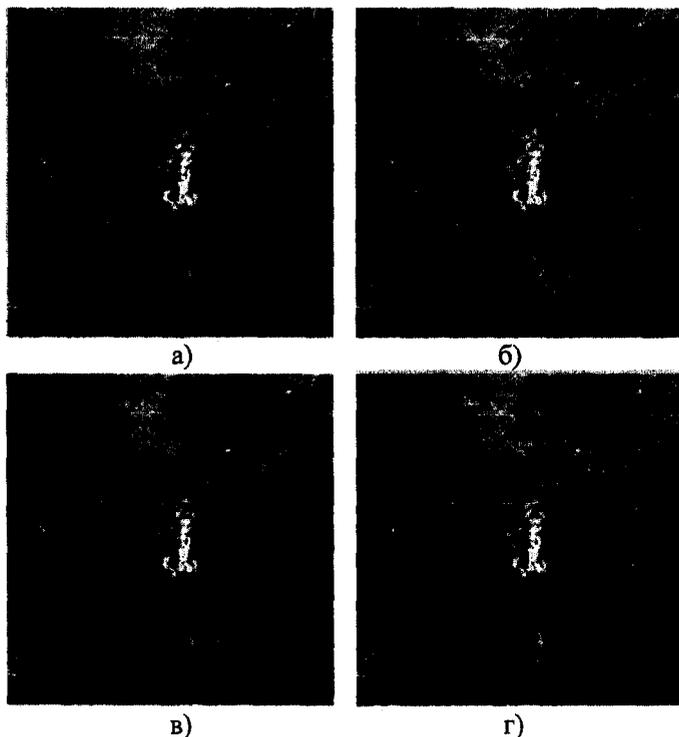


Рисунок 3 – Изображение-контейнер:

а) $N_{B1} = N_{B2} = 8, \delta = 0.05, P_1 = 100$, б) $N_{B1} = N_{B2} = 16, \delta = 0.05, P_1 = 50$, в) $N_{B1} = N_{B2} = 32, \delta = 0.05, P_1 = 25$, г) $N_{B1} = N_{B2} = 64, \delta = 0.05, P_1 = 5$

На рисунке 4 приведены значения оценки погрешности представления контейнера с внедренной информацией.

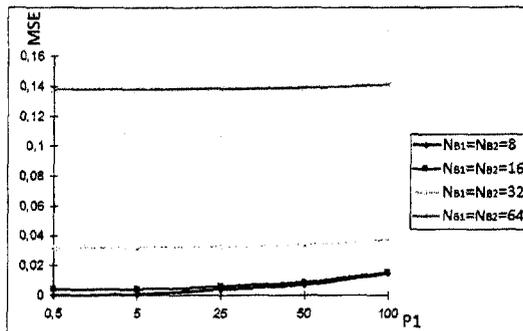


Рисунок 4 – Погрешность представления контейнера с внедренной информацией

На рисунке 5 приведены зависимости погрешности восстановления внедренной информации от параметров преобразования при $N_{B1} = N_{B2} = 8$. При других значениях размерности блоков графики имеют аналогичный характер.

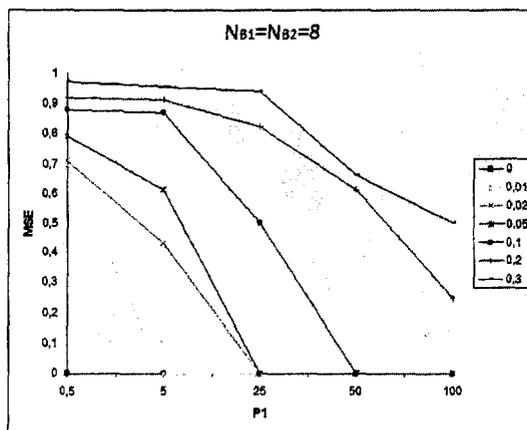


Рисунок 5 – Погрешность восстановления информации при $N_{B1} = N_{B2} = 8$

ВЫВОДЫ

Приведенные результаты вычислительных экспериментов показали, что метод Коха-Жао относительной замены величин коэффициентов ДКП позволяет восстанавливать внедренные информационные биты в изображение с низкой погрешностью при уровне шум-сигнал не более 0.05 и пороговом значении не менее 25.

При этом можно наблюдать, что при увеличении размеров блоков пикселей, используемых для внедрения, увеличивается погрешность представления контейнера с внедренной информацией, аналогично изменяется данная погрешность при увеличении порогового значения P_1 . При увеличении размера блоков также несколько увеличивается устойчивость метода к аддитивному шуму.

Полученные результаты оценки погрешности восстановления информации при ее внедрении на основании метода Коха-Жао и погрешности представления изображения-контейнера при наличии аддитивного шума могут быть использованы при интерактивном выборе параметров исследованного метода в процессе решения реальных задач скрытия информации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00257-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железняк В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учебное пособие. – СПб.: ГУАП, 2006. – 188 с.
2. Коначович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 288 с.
3. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.

Черноморец Андрей Алексеевич

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики

Тел.: 8 (4722) 30-13-56

E-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

Болгова Евгения Витальевна

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Студентка 4 курса факультета компьютерных наук и телекоммуникаций

Тел.: 8 950 717 49 33

E-mail: jenechka_90@list.ru

A.A. CHERNOMORETS (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, head of the department of the applied informatics*)

E.V. BOLGOVA (*Student of faculty of computer science and telecommunications National Research University Belgorod State University, Belgorod*)

ABOUT THE ACCURACY OF STEGANOGRAPHIC EMBEDDING IN THE IMAGE USING METHOD OF RELATIVE REPLACEMENT OF DCT COEFFICIENTS

In this work we propose the estimate for the stability against the external influences such as the additive noise of the steganographic information embedding in the image using Koch-Zhao method. We present the dependence of information restoration accuracy on the size of the pixel blocks of the container image that were used for embedding.

Keywords: *stegoembedding; image; discrete cosine transform; accuracy; recovery.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Zheleznyak V.K. Zashhita informacii ot utechki po texnicheskim kanalām: uchebnoe posobie. – SPb.: GUAP, 2006. – 188 s.
2. Konaxovich G.F., Puzy'renko A.Yu. Komp'yuternaya steganografiya. Teoriya i praktika. – K.: «MK-Press», 2006. – 288 s.
3. Gribunin V.G. Cifrovaya steganografiya / V.G. Gribunin, I.N. Okov, I.V. Turincev. – M.: Solon-Press, 2002. – 272 s.

УДК 681.518.3

Н.И. КОРСУНОВ, А.А. НАЧЕТОВ

**ОБНАРУЖЕНИЕ И КОРРЕКЦИЯ ОШИБОК
В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

В результате развития технической и приборной базы электроэнергетики, усложнения систем энергоснабжения и их элементов, широкого использования силовой полупроводниковой техники и микропроцессорных систем управления обозначились проблемы электромагнитной совместимости элементов, быстрого и полного обеспечения пользователей информацией для оперативного принятия решений. Для обеспечения комплексной автоматизации систем энергоснабжения потребовалась новая информационная технология, позволяющая изменить существующие подходы. Основными требованиями к этой технологии являются существенное ускорение получения решений, использование методов и средств обнаружения и устранения отказов.

Ключевые слова: обнаружение ошибки; коррекция ошибки; помеха; отказоустойчивость; умножение.

Одной из важнейших задач информационно-измерительных систем в энергетике является получение данных о потребляемых мощностях различными линиями электропередач с целью принятия решений о перераспределении электрической энергии [1]. При определении мощности в электрических цепях используются методы обработки цифровых сигналов [2], в которых наиболее часто выполняются операции умножения чисел [3]. Для принятия правильных решений по управлению перераспределением энергии важно получить достоверную информацию о потребляемых мощностях, что связано с повышением требований к моментоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры, используемой для вычисления мощности по значениям токов и напряжений [4]. Обеспечение отказоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры обеспечивается методами дублирования, которые выявляют неисправные устройства, отключают их для последующего тестирования и повторного включения в систему после устранения обнаруженных неисправностей [5]. Однако во многих случаях результаты тестирования характеризуют контролируемое устройство как исправное [6]. При длительной процедуре тестового контроля возможен отказ оставшихся устройств и остановка системы. Подобная ситуация является характерной при фиксации отказов, вызванных воздействием помех, не приводящих к неисправности в радиоэлектронной аппаратуре [7]. Поэтому обнаружение и коррекция ошибок в радиоэлектронной аппаратуре, используемой в информационно-измерительных системах энергетики, обусловленных воздействием внешних и внутренних помех, является актуальной задачей.

Целью исследований, приводимых в докладе, является разработка метода и технических решений обнаружения и коррекции ошибок выполнения умножений при вычислениях потребляемых мощностей в линиях электропередач. Следствием этого является повышение точности умножения.

Подход к повышению точности перемножителей аналоговых сигналов, основанный на введении корректирующей поправки при разработке перемножителей, которая определяется обработкой экспериментальных данных на этапе макетирования [8], не приводит к положительному эффекту в случае коррекции ошибок, вызванных воздействием помех.

Новый подход к обнаружению и коррекции ошибок умножения основан на выполнении двух умножений, по результатам которых вычисляется ошибка приведенная ко входу одного из сомножителей с последующим использованием для формирования корректирующей поправки результата умножения.

Пусть заданы два сигнала A^* и B^* , значения которых запомнены. Вычисляют произведение этих чисел:

$$C^* = A^* \cdot B^* \quad (1)$$

Пусть под воздействием помехи при выполнении умножения (1) получено значение сигнала:

$$C_1 = (C^* + \Delta C_1) = A^* \cdot B^* \quad (2)$$

Так как значения A^* и B^* запомнены, то результат произведения (2) может быть представлен следующим образом:

$$C_1 = A \cdot B^* = (A^* + \Delta A_1) \cdot B^* = A^* \cdot B^* + \Delta A_1 \cdot B^* \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) следует, что значение сигнала ошибки равно:

$$\Delta C_1 = \Delta A_1 \cdot B^* \quad (4)$$

Для того, чтобы скорректировать ошибку ΔC_1 в (2), необходимо определить ΔA_1 , т.е. отклонение A^* , приводящее к ошибке результата произведения (4).

Будем считать, что в течение интервала Δt помеха, приводящая к возникновению ошибки ΔC_1 , остается неизменной и этот интервал достаточный для того, чтобы выполнить умножение числа A^* на новое число B , смещенное на величину U , т.е. получить и запомнить произведение

$$C_2 = A^* \cdot (B^* + U) = A^* \cdot B_1$$

Так как по-прежнему произведение получается с ошибкой, то

$$C_2 = (C^* + \Delta C_2) = A^* \cdot B^* + \Delta A_2 \cdot B_1$$

и ошибка значения произведения

$$\Delta C_2 = \Delta A_2 \cdot (B^* + U) \quad (5)$$

Так, при постоянном значении множителя A^* значение произведения есть линейная функция от второго множителя

$$C_2 = \frac{(B^* + U)}{B^*} \cdot C^* \quad (6)$$

то из (4) и (5) следует, что

$$\Delta C_2 = \Delta C_1 \frac{\Delta A_2 \cdot (B^* + U)}{\Delta A_1 \cdot B^*} \quad (7)$$

С учетом введенного ограничения на характер помехи и линейной зависимости (6) следует линейная зависимость (7), что обеспечивается при

$$\Delta A_2 = \Delta A_1 = \Delta A$$

Следовательно, ошибка при втором умножении может быть определена следующим образом:

$$\Delta C_2 = \Delta C_1 \frac{(B^* + U)}{B^*}.$$

Так как U произвольная постоянная, то принимая $U = 1$, получаем:

$$\Delta C_2 = \Delta C_1 \frac{(B^* + 1)}{B^*}$$

Линейная зависимость ошибки от второго сомножителя в полученном произведении позволяет определить результат произведения так:

$$C_2 = (C^* + \Delta C_2) = (A^* + \Delta A) \cdot (B^* + 1) = A^* \cdot B^* + \Delta A(B^* + 1) + A^*. \quad (7)$$

Используя полученные произведения (3) и (7), можно определить отклонение сомножителя A^* , приводящее к ошибке ΔA .

Для этого требуется запомнить результат второго произведения (7) и вычесть его из запомненного результата первого произведения:

$$D = C_1 - C_2 = A^* \cdot B^* + \Delta A \cdot B^* - A^* \cdot B^* - \Delta A \cdot B^* - A^* - \Delta A = -(A^* + \Delta A). \quad (8)$$

А так как запомнено значение A^* без каких-либо ошибок, то, зная D (8), можно найти значение отклонения ΔA , приведшее к ошибке ΔC :

$$\Delta A = D + A^*.$$

Если известна степень округления результата, определяющая пороговое значение ΔA по абсолютному значению, то при превышении порога выводится сигнал об ошибке и производится коррекция запомненного произведения (2):

$$\delta C = \Delta A \cdot B^*,$$

которое суммируется с запомненным значением (3):

$$C = C_1 - \delta C = A^* \cdot B^*.$$

Так как процессоры цифровой обработки сигналов обладают высоким быстродействием, то для обнаружения и коррекции ошибок умножения в информационно-измерительных системах при реализации приведенного метода будем использовать временную избыточность.

Алгоритм обнаружения и коррекции ошибок умножения, основанный на введении временной избыточности, показан на рисунке 1.

При использовании аппаратного реализованного блока умножения при совмещении операций, выполняемых разными функциональными элементами с использованием регистровой памяти, данный алгоритм преобразуется к виду, приведенному на рисунке 2.

Здесь A , B , B_1 , C_1 – имена регистров для хранения сомножителей промежуточных результатов и значения скорректированного произведения.

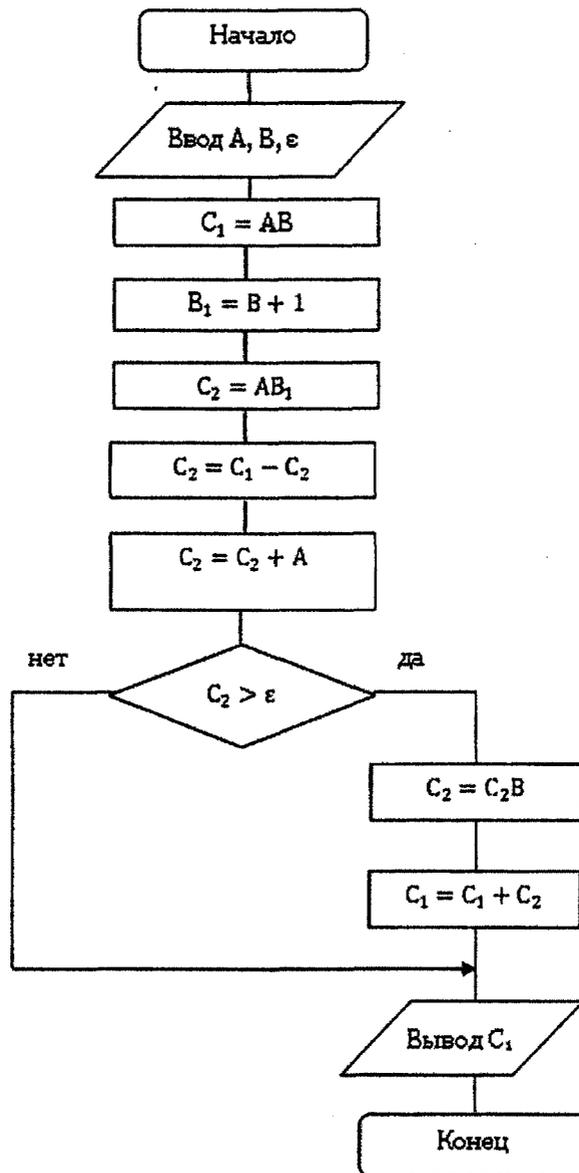


Рисунок 1 – Алгоритм умножения с коррекцией ошибки

Для реализации алгоритма используется блок умножения, сумматор, компаратор для сравнения, регистры. Выполнение всех операций приведенных алгоритмов обеспечивается за счет управляющих сигналов разнесенных во времени, это обеспечивается счетчиком импульсов с выходным дешифратором, на который возложены функции организации цепей передач данных между определенными регистрами функциональными блоками и включение функциональных блоков и регистров в выбранных цепях.

В соответствии с приведенным алгоритмом значение сомножителей A и B вводится в регистры A , B , включаются блок умножения и сумматоры, что приводит к запоминанию в регистрах C_1 и B_1 значений произведения C_1 и сомножителя B_1 . После вычисления произведения B_1 производится вычитание содержимого регистров B_1 , C_1 и сложение содержимого регистров A_1 и A . В зависимости от сравнения полученного результата со значением ϵ выводится полученное значение произведения C_1 или проводится коррекция

этого произведения. Значение корректирующей поправки вычисляется последовательным выполнением умножения содержимых регистров B_1 , B и сложением полученного произведения с содержимым произведения C_1 .

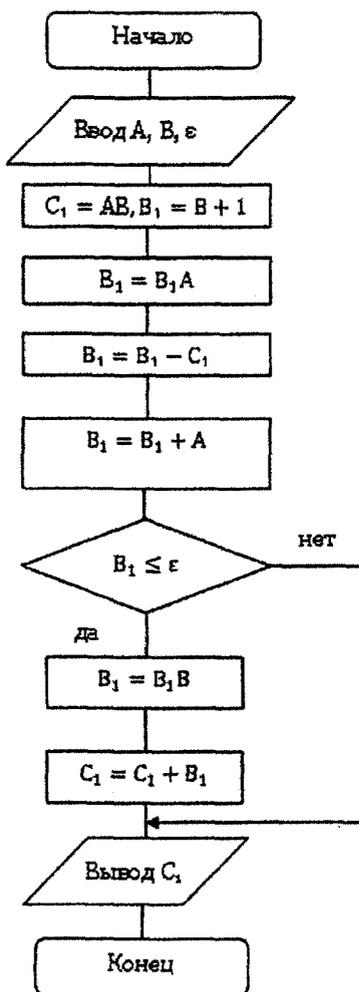


Рисунок 2 – Алгоритм умножения с коррекцией ошибок при совмещении операций

В обоих случаях в регистре C_1 формируется скорректированное произведение.

Таким образом, предложенный метод обнаружения и коррекции ошибки умножения, вызванной воздействием помехи на результат, не требует отключения блока умножения и последующего тестового контроля этого блока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Новый подход к измерению электрической мощности // Промышленная энергетика, 2004. – № 2. – С. 30-33.
2. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Определение составляющих полной мощности в электрических цепях с несинусоидальными напряжениями и токами методами цифровой обработки сигналов // Электротехника, 2005. – № 7. – С. 45-48.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
4. Геворкян М.В. Современные компоненты компенсации реактивной мощности (для низковольтных сетей). – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2003. – 64 с.

5. Патент № 2439674 Российская Федерация, МПК. Способ формирования отказоустойчивой вычислительной системы и отказоустойчивая вычислительная система / А.С. Сыров, В.П. Андреев и др.; опубл. 10.01.2012. Бюл. №1.
6. Гобземис А.Ю., Удалов В.И. Методы тестового контроля микропроцессорных устройств // Автоматика и вычислительная техника, 1978. – № 6.
7. Волин М.Л. Паразитные помехи в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Радио и связь, 1981. – 296 с.
8. Тимонтеев В.Н. Аналоговые перемножители сигналов в радиоэлектронной аппаратуре / В.Н. Тимонтеев, Л.М. Величко, В.А. Ткаченко. – М.: Радио и связь, 1982. – 112 с.

Корсунов Николай Иванович

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры математического и программного обеспечения информационных систем.
Тел.: 8 (4722) 30-13-53
E-mail: korsunov@intbel.ru

Начетов Александр Александрович

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант
Тел.: 8 919 221 01 21
E-mail: aleksandr@nachetov.org.ua

N.I. KORSUNOV (*Doctor of Engineering Sciences,
Professor of the department of the mathematics and software*)

A.A. NACHETOV (*Post Graduate Student*)
National Research University Belgorod State University, Belgorod

**DETECTION AND CORRECTION ERRORS
IN INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEMS OF ENERGETICS**

As a result of technical and instrumental base electric power supply systems and the complexity of their elements, extensive use of power semiconductor technology and microprocessor control systems to identify the problems of electromagnetic compatibility elements, ensuring rapid and complete user information for operational decision-making. To provide comprehensive automation of power systems needed new information technology to change the existing approaches. The main requirements for this technology are a significant acceleration of obtaining solutions, methods and means to detect and eliminate faults.

Keywords: *error detection; correction of error; noise; fault tolerance; multiplication.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Agunov M.V., Agunov A.V., Verbova N.M. Novy'j podxod k izmereniyu e'lektricheskoy moshhnosti // Promy'shlennaya e'nergetika, 2004. – № 2. – S. 30-33.
2. Agunov M.V., Agunov A.V., Verbova N.M. Opredelenie sostavlyayushhix polnoj moshhnosti v e'lektricheskix ceyax s nesinusoidal'ny'mi napryazheniyami i tokami metodami cifrovoj obrabotki signalov // E'lektrotexnika, 2005. – № 7. – S. 45-48.
3. Sergienko A.B. Cifrovaya obrabotka signalov. – SPb.: Piter, 2002. – 608 s.
4. Gevorkyan M.V. Sovremennyye komponenty' kompensacii reaktivnoj moshhnosti (dlya nizkvol'tny'x setej). – M.: Izdatel'skij dom «Dode'ka-XXI», 2003. – 64 s.
5. Patent № 2439674 Rossijskaya Federaciya, MPK. Sposob formirovaniya otkazoustojchivoj vy'chislitel'noj sistemy' i otkazoustojchivaya vy'chislitel'naya sistema / A.S. Sy'rov, V.P. Andreev i dr.; opubl. 10.01.2012. Byul. №1.
6. Gobzemis A.Yu., Udalov V.I. Metody' testovogo kontrolya mikroprocessorny'x ustrojstv // Avtomatika i vy'chislitel'naya texnika, 1978. – № 6.
7. Volin M.L. Parazitny'e pomexi v radioe'lektronnoj apparature. – M.: Radio i svyaz', 1981. – 296 s.
8. Timonteev V.N. Analogovy'e peremnozhiteli signalov v radioe'lektronnoj apparature / V.N. Timonteev, L.M. Velichko, V.A. Tkachenko. – M.: Radio i svyaz', 1982. – 112 s.