МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

№ 2

2012

Часть 1

Курск

2012 № 2 Часть 1
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2010 г.

Выходит два раза в год

Учредитель: ГОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-44620 от 15.04.11).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» включен в перечень ведущих научных журналов ВАК РФ

Редакционный совет

С.Г.Емельянов (председатель, главный редактор), д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;
Л.М. Червяков (зам. председателя), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ;
Е.А.Кудряшов (зам. председателя), д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ.

В.И. Андреев, д-р техн.наук, профессор, МГСУ, г. Москва; **О.И. Атакищев**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **Р.К. Боженкова**, д-р филол. наук, профессор, ЮЗГУ; **Ю.В. Вертакова**, д-р экон. наук, профессор, ЮЗГУ; **В.Н. Гридин**, д-р техн. наук, профессор, ЦИТП РАН, Москва; **С.В. Дегтярев**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **Л.В. Димитров**, профессор, доктор, технический университет, София; **В.Э. Дрейзин**, д-р техн. наук, профессор, ЮЗГУ; **И.А. Каляев**, чл. корр. РАН, д-р техн.наук, профессор, НИИ МВС РАН, Таганрог; **А.Ф. Каперко**, д-р техн.наук, профессор, МГИЭиМ, Москва; **В.И. Колчунов**, академик РААСН, д-р техн. наук, профессор, ОрелГТУ; **Н.А. Кореневский**, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; **П.Ф. Кравчук**, д-р философ.наук, профессор, ЮЗГУ; **А.П. Кузьменко**, д-р физ.-мат.наук, профессор, ЮЗГУ; **Ю.Н. Кульчин**, чл.-корр. РАН, д-р физ-мат.наук,профессор, ИАиПУ РАН, Владивосток; **Д.А. Новиков**, чл.-корр.РАН, д-р техн.наук, профессор, ИПУ РАН, Москва; **А.В. Олейник**, д-р техн. наук, профессор, департамент Минтранс РФ, Москва; **В.Н. Опарин**, чл.корр.РАН, д-р физ-мат. наук, пофессор, ИГД РАН, Новосибирск; **А.В. Островский**, д-р экон. наук, профессор ИДВ РАН, Москва; **В.И. Римшин**, чл.-корр. РААСН, д-р техн.наук, профессор, МГАКХ, Москва; **Г.В. Секесов**, д-р техн.наук, профессор, ИГД РАН, Хабаровск; **В.Н. Сусликов**, д-р юр. наук, профессор, ЮЗГУ; **М.Л. Титаренко**, ак. РАН, д-р философ.наук, профессор, ИДВ РАН, Москва;

СОДЕРЖАНИЕ

Уважаемые коллеги! 10

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 12

Ватутин Э.И., Титов В.С.
Структурно-параметрическая оптимизация систем логического управления с использованием добровольных распределенных вычислений 12

Графов О.Б., Егоров С.И., Титов В.С.
Мягкое декодирование кодов Рида-Соломона 17

Борзов Д.Б., Минайлов В.В.
Метод и алгоритм планирования топологии ПЛИС в многопроцессорных системах 23

Бобынцев Д.О., Борзов Д.Б.
Минимаксиминный критерий оценки качества размещения параллельных подпрограмм в матричных мультиконтроллерах 27

Мухин И.Е.
Укрупненный синтез сигнально-приемных трактов перспективных комплексов телекоммуникаций 31

Векленко Ю.А., Киселев А.С.
Проведение проверки комплекса авиационного вооружения при предполетной подготовке летательного аппарата – гарантия выполнения боевой задачи 36

Титов В.С., Бобырь М.В., Акульшин Г.Ю.
Автоматизированная самонастраивающаяся система управления температруными деформациями 40

Бредихин Р.В., Зотов И.В.
Распределенная процедура циклической барьерной синхронизации для однокристальных матричных мультикомпьютеров 48

Козлов П.С., Труфанов М.И.
Специализированное оптико-электронное устройство вычисления поверхностного натяжения жидкости 54

В.С. Титов, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ; (отв.секретарь); **В.С. Федоров**, акад. РААСН, д-р техн.наук, профессор, Московский гос. ун-т путей сообщения; **А.С. Ястребов**, д-р техн. наук, профессор, СПГУТ, Санкт-Петербург;
С.Ф. Яцун, д-р техн.наук, профессор, ЮЗГУ.

Редакционная коллегия:

Главный редактор
С.Г. Емельянов, д-р техн.наук, профессор

Зам. главного редактора
В.С. Титов, д-р техн.наук, профессор

Члены редколлегии:

Зотов И.В., д-р техн. наук, профессор

Дрейзин В.Э. д-р техн. наук, профессор

Кореневский Н.А., д-р техн.наук, профессор

Ширабакина Т.А., канд. техн. наук, профессор

Адрес редакции: 305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 50-48-19
Факс: (4712) 50-48-00. E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен О.В. Кофановой

Подписано в печать 10.08.12. Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ.л. 29,3.
Тираж 1000 экз. Заказ 97. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» 44023,44288 в объединенном каталоге «Пресса России»

Марухленко С.Л.
Метод и алгоритм расчета показателей риска для опасных производственных объектов 60

Полищук И.В., Дрейзин В.Э.
К вопросу о различиях использования терминологии в области калибровки нейтронных спектрометров в зарубежной и отечественной практике 64

Чепиков Н.А.
Решение задач управления в процессе проведения социально-гигиенического мониторинга региона 68

Титенко Е.А., Зерин И.С., Тутов Е.Б., Крипачев А.В., Зарубин Д.М., Белокопытов А.В.
Индикатор множественных пересечений слов как основа структурно-параметрического синтеза продукционного устройства 76

Калуцкий И.В., Липунов А.А., Савенкова Е.С.
Безопасные технологии беспроводных компьютерных сетей 87

Апальков В.В.
Исследование динамики гасителя колебаний давления жидкости 92

Тутов Е.Б., Титенко Е.А., Атакищев А.О., Цуканов К.С.
Применение контекстно-свободных грамматик для обработки текстов на естественном языке 97

Добрица В.П., Липунов А.А., Савенкова Е.С.
Анализ параметров сортировки информации 101

Титенко Е.А., Белокопытов А.В., Шевченко М.А., Пенькова А.О.
Архитектура реконфигурируемого символьного мультипроцессора потока данных 105

Титенко Е.А., Атакищев О.И., Атакищев А.О., Белокопытов А.В., Старков В.Е.
Продукционная машина-генератор для обработки символьных данных дискретных объектов 111

Тютюнов Д.Н., Бойцова Е.А., Студеникина Л.И., Бойцов А.В.
Характер движения космического тела переменной массы на эллиптической орбите 116

Иванов Н.С., Панищев В.С., Решетникова В.П.
КМОП-датчик с предварительной обработкой изображения 118

Болтенков М.В., Панищев В.С.
Применение методов хаотического аппарата в распознавании изображений 124

Серебровский В.В., Серебровский В.И., Павлова Е.В., Алябьева Т.В., Богомолов С.А.
Упрочнение сульфоцианированием деталей, восстановленных железомолибденовым покрытием 129

Прилуцкий С.В., Титов Д.В., Шлык А.М., Шуклин И.И.
«Клиент-серверная» организация формирования опорных изображений для геокодирования материалов космической съемки местности в геоинформационных системах 133

Ю.П. Муха, В.С. Поляков, С.В. Поляков, Д.В. Титов
Использование нагруженых матриц инцидентора (операторов) для описания конечного автомата 138

Иванов В.И., Клюев А.Л.
Определение параметров пассивных двухполюсников с разрывом цепи на постоянном токе 142

Титов В.С., Бобырь М.В., Глобин П.В.
Структурно-параметрическая адаптация в задачах управления оборудованием с ЧПУ 147

Чернецкая И.Е.
Автоматизированная система управления процессом гранулообразования сыпучих тонкоизмельченных материалов 154

Ященко А.А., Мирошниченко С.Ю.
Метод распознавания объектов дорожной сети на космических снимках 158

Рыбочкин А.Ф., Мельников А.В.
Контроль распределения теплового поля на плоскости с использованием термопарной сетки 163

Егоров С.И., Титов В.С., Панищев В.С., Труфанов М.И.
Расширение возможностей списочного декодирования кодов Рида-Соломона путем выбора вектора ошибок из списка с использованием мягких решений 168

Сизов А.С., Никутин Е.И.
Модель контейнера в формате JPEG для разработки адаптивных методов стеганографической защиты информации 173

Жусубалиев Ж.Т., Михалев А.А., Шеин В.В., Хранцов Е.И.
Бифуркационный анализ системы управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией 181

Зайцев А.Н., Макаров Д.И., Зотов И.В.
Распределенная координирующая среда матричного логического мультиконтроллера, устойчивая к локальным отказам 186

Ватутин Э.И.
Анализ эффективности и программная оптимизация методов синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления в среде PAE 191

Терехова И.А., Непочатых Е.В., Добрица В.П.
Применение графического спектрального теста для выделения защищаемой информации в каналах цифровых систем связи 195

Валяев В.В., Ватутин Э.И.
Метод определения изоморфизма графов общего вида за полиномиальное время 200

Коновальчик А.П., Помельников А.В., Труфанов М.И.
Алгоритм обнаружения движущегося объекта в условиях сложного фона при ограниченных вычислительных ресурсах 207

Афанасьев В.Н., Титов Д.В., Ширабакина Т.А.
Управление нелинейными объектами с параметрами, зависящими от состояния (Часть 1) 212

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ.....220

Мишустин В.Н., Лазурина Л.П.
Математические модели прогнозирования возникновения и ранней диагностики холецистита.....220

Кореневский Н.А., Разумова К.В.
Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений 223

Куценко Г.И., Иванов В.А.
Математико-статистический анализ лечения гипертонической болезни 227

Титов В.С.
Методы численной оценки терапии артериальной гипертензии 232

Серебровский В.И., Бойцов А.В.
Использование нечетких классификационных моделей для оценки эргономики технических систем и её роли в задачах оценки состояния здоровья.....236

Шевякин В.Н., Рябкова Е.Б.
Дифференциальная диагностика стадий виброболезни на основе нечетких моделей принятия решений.....241

Шульга Л.В.
Моделирование распространенности гипертонической болезни 243

Коцарь А.Г., Серегин С.П., Цуканова М.Н.
Способ прогнозирования эффективности литолитической терапии при конкрементах мочеточника 248

К сведению авторов 252

© Юго-Западный государственный университет, 2012

2012 № 2 Part 1

Scientific reviewed journal

Published twice a year

PROCEEDINGS

of the SOUTH-WEST
STATE
UNIVERSITY
Management, computer facilities,
Computer science. Medical instrument making

CONTENS

Respected Colleques! 10

INFORMATICS, COMPUTER SCIENCES 12

Vatutin E.I., Titov V.S.
Structural-parametric optimization of logical control systems using distributed volunteer computing 12

Grafov O.B., Egorov S.I.,Titov V.S.
Soft decoding of Reed-Solomon codes 17

Borzov D.B., Minailov V.V.
Methods and planning algorithm for fpga topology on a multiprocessor system..... 23

Bobyntsev D.O., Borzov D.B.
Minmaxmin criterion for assessing the quality of placement of parallel subroutines in the matrix multicontollers 27

Muhin I.E.
Extended signal-receiving paths synthesis of next-generation telecommunication complexes..... 31

Veklenko Yu.A., Kiselyov A.S.
The structure of a complex of aviation arms and approach to modern carrying out preflight preparation of the aircraft is presented 36

Titov V.S., Bobyr M.V., Akulshin G.U.
The automated adaptive control system of temperature deformation..... 40

Bredikhin R.V., Zotov I.V.
A distributed iterative barrier synchronization procedure for 2d-mesh multicomputer-on-a-chip systems..... 48

Kozlov P.S., Truphanov M.I.
Machine vision system for calculation of a surface tension 54

Marukhlenko S.L.
Method and algorithm of calculation of indicators of risk in management of industrial safety of dangerous industrial objects 60

Polischuk I.V.,Dreizin V.E.
About the differences in russian and foreign terminology in calibration of neutron spectrometers 64

N.A. Chepikov
The solution of management tasks during the socially-hygienic monitoring of a region 68

Titenko E.A., Zerin I.S.,Tutov E.B., Kripachev A.V.,Zarubin D.M., Belokopytov A.V.
The indicator of the multi words intersection as a basis of structural-parametric production device synthesis 76

Kalutsky I.V., Lipunov A.A., Savenkova Y.S.
Safe technology of wireless computer networks 87

Apalkov V.V.
The research of dynamics of oscillations stabilizer of pressure of liquid..... 92

Tutov E.B., Titenko E.A., Atakishchev A.O., Tsukanov K.S.
Application of context-free grammars for processing texts in natural language 97

Dobrica V.P., Lipunov A.A., Savenkova Y.S.
The analysis of parameters of sorting information 101

Titenko E.A., Belokopytov A.V., Shevchenko M.A., Penkova A.O.
The architecture of reconfigurable symbolics multiprocessor of dataflow 105

Titenko E.A., Atakischev O.I., Atakischev O.O., Belokopytov A.V., Starkov V.E.
Productional generator machine for processing character data of discrete objects 111

Tyutyunov D.N., Boytsova E.A., Studenikina L.I., Boytsov A.V.
Motion pattern of the cosmic body with variable mass in the elliptic orbit 116

Ivanov N.S., Panishchev V.S., Reshetnikova V.P.
Cmos sensor with image pre-processing 118

Boltenkov M.V., Panishchev V.S.
Application of chaotic machine image recognition 124

Serebrovskii V.V., Serebrovskii V.I., Pavlova E.V., Alyabieva T.V., Bogomolov S.A.
Hardening sulphitation parts reduced iron-molybdenum-coated 129

Priluzkiy S.V., Titov D.V., Shlik A.M., Shuklin I.I.
Client-server architecture for generation of reference images for geocoding of satellite survey data in geoinformation systems 133

Muha Y.P., Poljakov V.S., Poljakov S.V., Titov D.V.
Using loaded matrixes of incidentor (operator) for description of a finite automaton 138

Ivanov V.I., Klyuev A.L.
Determination of parameters of passive two-poles with the rupture of the chain on the direct current 142

Titov V.S., Bobyr M.V., Globin P.V.
Structural-parametric adaptation of the system to control problems of cnc equipment 147

Chernetskaya I.E.
Automated control system of process pelletizing free-flowing finely materials 154

Yashenko A.A., Miroshnichenko S.Yu.
Method of roads distinction in aerospace images 158

Rybochkin A.F., Melnikov A.V.
Control of thermal field distribution in the plane with nets thermocople 163

Egorov S.I., Titov V.S., Panischev V.S., Trufanov M.I.
List decoding of reed-solomon codes with error pattern selecting from list using soft decisions 168

Sizov A.S., Nikutin E.I.
JPEG stego-image model for adaptive methods constructing ... 173

Zhusubaliyev Zh.T., Mikhalev A.A., Shein V.V., Khrantsov E.I.
Bifurcation analysis of a system with sinusoidal pulse-modulated control 181

Zaitsev A.N., Makarov D.I., Zotov I.V.
A fault-tolerant distributed coordinating environment for mesh-connected logical multi-controllers 186

Vatutin E.I.
Efficiency analysis and program optimization of methods for gettins separations of parallel logic control algorithms under PAE framework 191

Terehova I.A., Nepochatukh E.V., Dobritsa V.P.
The use of graphic spectral test for release of protected information in the channels of digital communication systems .. 195

Valyaev V.V., Vatutin E.I.
Method for determining isomorphism of general form of graph in polynomial time 200

Konovalchick A.P., Pomelnikov A.V., Truphanov M.I.
Algorithm for detecting moving objects in a complex background under limited computing resources 207

Afanasiev V.N., Titov D.V., Shirabakina T.A.
Control of non-linear objects with parameters, depended on condition (Part 1) 212

MEDICAL INSTRUMENT MAKING 220

Mishustin V.N., Lazurina L.P.
Mathematical models of prediction and early diagnostics of cholecystitis 220

Korenevsky N.A., Razumova K.V.
Synthesis of fuzzy classification rules in multi-gomernom the feature space 223

Kutsenko G.I., Ivanov A.V.
Mathematical and statistical analysis of treatment hypertension 227

Titov V.S.
Methods of therapy numerical estimates of
arterial hypertension 232

Serebrovskiy V.I., Boytsov A.V.
Using the fuzzy classification models for ergonomics
assessment of the technical systems and its role in the health
evaluation tasks 236

Shevyakin V.N., Ryabkova E.B.
Differential diagnostics of stages vibrobolezni based
on the decision making 241

Shulga L.V.
Propagation modeling hypertension.....243

Kotsar A.G., Seregin S.P., Tsukanova M.N.
Method of forecasting performance litholytic therapy
in ureteral stones 248

Information for authors 252

© Southwest State University, 2012

Уважаемые коллеги!

Предлагаемый читателям журнал объединяет статьи авторов, посвященные развитию научных исследований в области теории управления, информатики, вычислительной техники и медицинского приборостроения.

В разделе «Управление, вычислительная техника, информатика» рассмотрены следующие вопросы: структурно-параметрическая оптимизация систем логического управления с использованием добровольных распределенных вычислений; мягкое декодирование кодов Рида-Соломона; метод и алгоритм планирования топологии ПЛИС в многопроцессорных системах; укрупненный синтез сигнально-приемных трактов перспективных комплексов телекоммуникаций; проверка комплекса авиационного вооружения при предполетной подготовке летательного аппарата; специализированное оптико-электронное устройство вычисления поверхностного натяжения жидкости; метод и алгоритм расчета показателей риска; индикатор множественных пересечений слов как основа структурно-параметрического синтеза продукционного устройства; безопасные технологии беспроводных компьютерных сетей; анализ параметров сортировки информации; продукционная машина-генератор для обработки символьных данных дискретных объектов, КМОП-датчик с предварительной обработкой изображения; «клиент-серверная» организация формирования опорных изображений для геокодирования материалов космической съемки местности в геоинформационных системах; использование нагруженных матриц инцидентора (операторов) для описания конечного автомата; структурно-параметрическая адаптация в задачах управления оборудования с ЧПУ; метод распознавания объектов дорожной сети на космических снимках; бифуркационный анализ системы управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией; анализ эффективности и программная оптимизация методов синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления в среде PAE; алгоритм обнаружения движущегося объекта в условиях сложного фона при ограниченных вычислительных ресурсах; управление нелинейными объектами с параметрами, зависящими от состояния.

В разделе «Медицинское приборостроение» приведены математические модели прогнозирования возникновения и ранней диагностики холецистита. Сделан синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков. Методам оценки терапии артериальной гипертензии, дифференциальной диагностики стадий виброболезни на основе нечетких моделей принятия решений, моделированию распространенности гипертонической болезни и способу прогнозирования эффективности литолитической терапии при конкрементах мочеточника посвящены отдельные статьи в этом разделе.

Таким образом, сборник отражает достаточно широкий спектр научных результатов, полученных авторами в области управления, вычислительной техники, информатики и медицинского приборостроения. Авторы статей продолжают развивать существующие и выдвигать новые подходы к решению задач в своих предметных областях. Опубликованные работы носят и фундаментальный, и прикладной характер, имеют высокий научный уровень и дают представление о ряде важных и актуальных исследований, существенных результатах, полученных за последнее время.

С.Г.Емельянов, д-р техн. наук,
профессор, ректор ЮЗГУ,
главный редактор журнала

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 681.3

Э.И. Ватутин, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОБРОВОЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Приведены результаты анализа зависимостей, полученных в результате исследования пространства параметров $(X_{\max}, W_{\max}, N)$. *Вычислительные эксперименты выполнены с использованием грид-системы BOINC в рамках проекта Gerasim@home. Получены типовые зависимости средневыборочных величин показателей качества от значений ограничений и среднего размера граф-схем алгоритмов. Сформулированы количественные рекомендации для разработчиков аппаратной части логических мультиконтроллеров. Показано, что построение разбиений при синтезе реальных систем логического управления осуществляется в области сильных ограничений, что накладывает определенные ограничения на методы синтеза разбиений.*

Ключевые слова: *система логического управления, проектирование логических мультиконтроллеров, разбиения, параллельный алгоритм, дискретная комбинаторная оптимизация, BOINC, Gerasim@home.*

***

Одним из перспективных подходов к синтезу многомодульных однородных систем логического управления (СЛУ) является их реализация в базисе логических мультиконтроллеров (ЛМК) [1, 2], состоящих из коллектива параллельно работающих однотипных контроллеров, взаимодействующих между собой в процессе работы. При проектировании подобных систем возникает ряд задач дискретной оптимизации, одной из которых является задача отыскания субоптимального разбиения априорно известной граф-схемы параллельного алгоритма логического управления. Ввиду невозможности отыскания за приемлемое время оптимального решения применяются различные эвристические методы [1–4], существенно отличающиеся по ряду ключевых характеристик, к которым в первую очередь относятся трудоемкость реализации, асимптотическая временна́я и емкостная сложности, состав оптимизируемых частных показателей качества и интегральное качество получаемых решений.

Наилучшее качество решений, подтвержденное рядом вычислительных экспериментов с использованием априорно заданных выборок $\Lambda = \left\{G_1^0, G_2^0, ..., G_K^0\right\}$ из K тестовых примеров G_k^0, $k = \overline{1, K}$ (граф-схем $G = \langle A, V \rangle$ алгоритмов в данном случае, где A – множество вершин и V – множество дуг), демонстрируют методы С.И. Баранова и метод параллельно-последовательной декомпозиции [5–7]. Сильное влияние на тенденции изменения абсолютных значений показателей качества оказывают как численные значения технологических ограничений $X_{\max}$ – на число сигналов логических условий, принимаемых контроллером, $Y_{\max}$ – на число сигналов микроопераций, выдаваемых контроллером, и $W_{\max}$ – на емкость памяти микрокоманд контроллера, так и средний размер граф-схемы $N = |A|$, выражаемый числом вершин в ее составе.

Зависимости среднего значения выбранного показателя качества y от значения ограничения x, полученные в ходе экспериментов с изменением одной из координат пространства параметров [6], имеют качественно схожий вид, представленный на рис. 1.

Особой точкой на приведенном на рис. 1 графике является точка ограничения области нечувствительности с координатами $(x', y_{\min})$, расположенная между областями 1 и 2: любое ослабление значения ограничения в диапазоне $x' \le x$ не сказывается на значении показателя качества, принимающего свое теоретическое минимально возможное значение $y_{\min}$ для заданных условий вычислительного эксперимента (метод синтеза разбиений, размер граф-схемы алгоритма, параметры генератора псевдослучайных граф-схем и т.д.). Усиление значения ограничения в области $x < x'$ приводит к монотонному возрастанию среднего значения показателя качества y.

Вычислительные эксперименты последней серии [7, 8], выполненные в рамках проекта добровольных распределенных вычислений Gerasim@Home [9] на платформе BOINC [10, 11], имели своей целью исследование срезов пространства параметров $(X_{\max}, N)$ и $(W_{\max}, N)$. В ходе анализа полученных результатов было показано, что типовые зависимости абсолютных значений показателей качества на полученных двумерных картах имеют схожий вид (рис. 2).

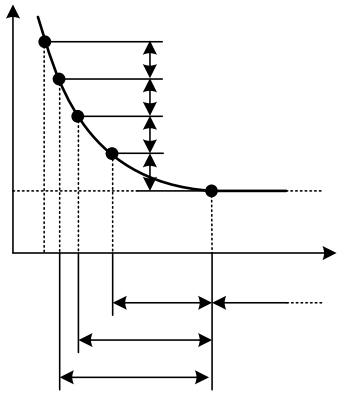


Рис. 1. Типичная зависимость показателя качества *x* от значения ограничения *y*:
1 – область нечувствительности; 2, 3, 4 и т.д. – области соответственно не более чем 5%, 10%, 15% и т.д. ухудшения значения критерия по отношению к значению $y_{\min}$ в области нечувствительности

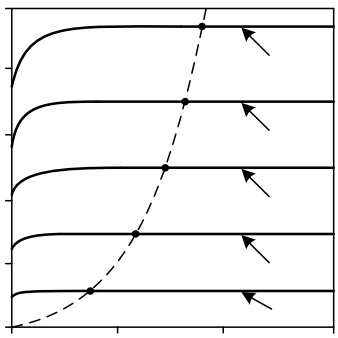


Рис. 2. Пример типовой зависимости абсолютного значения показателя качества y
(в данном примере, среднего числа блоков *H* в разбиениях, полученных методом С.И. Баранова)
от координат области в составе пространства параметров
(пунктирной линией обозначена граница области нечувствительности)

На приведенных двумерных картах также можно выделить две области, располагающаяся слева и справа от пунктирной линии. Область, располагающаяся справа, является областью нечувствительности, в ней для каждого конкретного значения N имеется точка $X'_{\max}$, правее которой изменение численного значения технологического ограничения не оказывает влияния на качество разбиения.

Положение данной точки зависит прежде всего от среднего числа вершин N в граф-схемах алгоритмов выборки Λ, что позволяет экспериментальным путем получить приведенные ниже (рис. 3) графики зависимости положения точки загиба x' от N для различных показателей качества. (Положение точки загиба также зависит от объема выборки граф-схем алгоритмов K в вычислительном эксперименте: с ростом K положение точки x' смещается в область ослабления ограничения, имея конечный предел $\lim\limits_{K\to\infty} x'$. С учетом того, что объем выборки K линейно влияет на время вычислительных экспериментов, для приведенных ниже рекомендаций условно полагаем, что $x'\big|_{K=5\,000} \approx \lim\limits_{K\to\infty} x'$ с точностью в пределах нескольких процентов, это было проверено в ограниченной области пространства параметров при $K = 50\,000$. Для приведенных на рис. 3 зависимостей это означает потенциально возможное незначительное смещение приведенных кривых вверх с увеличением предельных значений технологических ограничений).

Полученные зависимости интересны с первую очередь тем, что с их помощью можно сформулировать рекомендации для разработчиков аппаратной части ЛМК. Например, для ЛМК, ориентированного на реализацию произвольных граф-схем алгоритмов управления из $N = 200$ вершин с использованием параллельно-последовательного метода, в составе контроллеров требуется не более $X'_{\max} = 64$ выводов для приема сигналов логических условий и не более $W'_{\max} = 84$ ячеек памяти исходя из графиков для интегрального показателя качества J (для метода С.И. Баранова указанные значения составляют соответственно $X'_{\max} = 92$ и $W'_{\max} = 98$). А зная значения технологических ограничений, можно определить рекомендуемое число контроллеров в составе ЛМК. Для выбранного значения $N = 200$ оно составляет 26. При усилении ограничений, например из-за производственных ограничений, указанное рекомендуемое значение может возрасти, но не более чем до 37.

Предельные значения ограничений, полученные для ЛМК с различным числом контроллеров, приведены в таблице.

Предельные ограничения на число принимаемых сигналов логических условий являются значительными (в отличие от предельных ограничений на емкость памяти микропрограмм), что вынуждает экономить дорожки, используемые для приема контроллером сигналов логических условий, заставляя переходить в область сильных ограничений, в которой метод параллельно-последовательной декомпозиции выглядит предпочтительнее [6–8].

Еще одной особенностью полученных кривых является зависимость расположения точки ограничения области нечувствительности от метода синтеза разбиения. Из полученных экспериментальных данных следует, что для параллельно-последовательного метода ширина области нечувствительности больше, чем для метода С.И. Баранова, что является неоспоримым преимуществом, т.к. для большего диапазона значений ограничений метод не демонстрирует ухудшения качества разбиений.

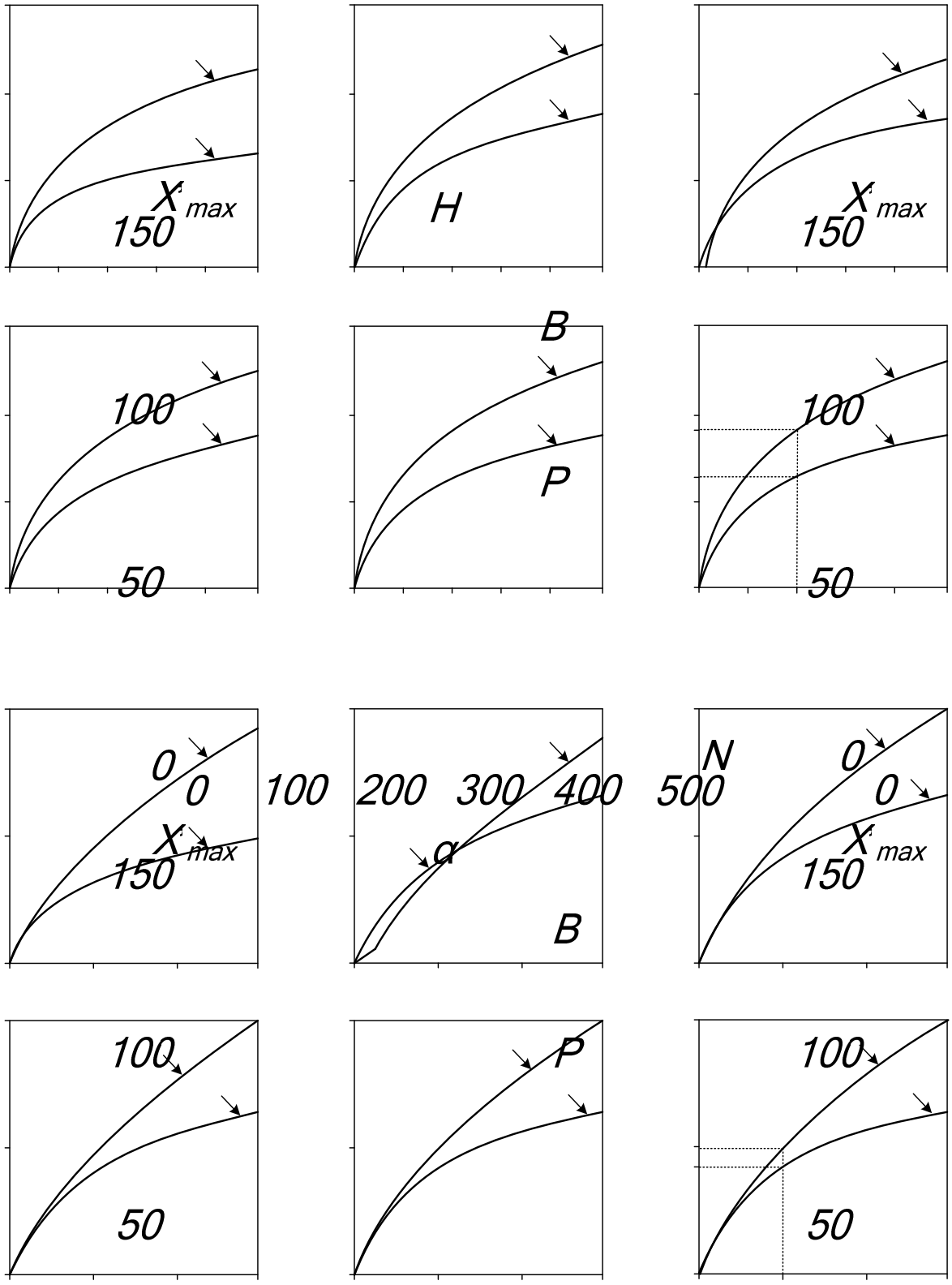


Рис. 3. Зависимости пороговых значений ограничений X'_{max} и W'_{max}
от среднего числа вершин в граф-схемах алгоритмов N
(*B* – метод С.И. Баранова, *P* – параллельно-последовательный метод)

Средний размер граф-схем алгоритмов и значения предельных технологических ограничений в зависимости от числа модулей в составе мультиконтроллера для метода параллельно-последовательной декомпозиции

Число контроллеров (H) в составе мультиконтроллера без учета избыточности	Число вершин (N) реализуемой граф-схемы алгоритма, не более (при условии $X_{\max} \geq X'_{\max}$ и $W_{\max} \geq W'_{\max}$)	Предельные ограничения	
		$X'_{\max}$	$W'_{\max}$
$3\times3=9$	50	30	34
$4\times4=16$	110	49	61
$5\times5=25$	200	64	84
$6\times6=36$	312	76	105
$7\times7=49$	450	86	120

Авторы статьи выражают благодарность всем добровольцам, принявшим участие в выполненных в рамках проекта Gerasim@Home расчетах и обсуждении деталей адаптации расчетного модуля под BOINC грид, а также лично Валяеву Сергею Юрьевичу (SerVal) за предоставление технической возможности использования проекта Gerasim@Home для организации распределенных вычислений и ряд ценных советов и замечаний.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (проект 2012-1.2.1-12-000-2005-5368).

Список литературы

1. Организация и синтез микропрограммных мультимикроконтроллеров / И.В. Зотов, В.А. Колосков, В.С. Титов [и др.]. Курск, 1999. 368 с.

2. Архитектура параллельных логических мультиконтроллеров / С.Г. Емельянов, И.В. Зотов, В.С. Титов. М.: Высш. шк., 2009. 233 с.

3. Комбинаторно-логические задачи синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления при проектировании логических мультиконтроллеров / Э.И. Ватутин, И.В. Зотов, В.С. Титов [и др.]; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2010. 200 с.

4. Ватутин Э.И. Проектирование логических мультиконтроллеров. Синтез разбиений параллельных граф-схем алгоритмов // Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 292 с.

5. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексная сравнительная оценка методов выбора разбиений при проектировании логических мультиконтроллеров // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO’08). М.: ИПУ РАН, 2008. С. 1917–1940.

6. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексный сравнительный анализ качества разбиений при синтезе логических мультиконтроллеров в условиях присутствия технологических ограничений // Параллельные вычисления и задачи управления (PACO’08). М.: ИПУ РАН, 2008. С. 643–685.

7. Ватутин Э.И., Титов В.С. Сравнение методов синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления с использованием двухпараметрических диаграмм // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Распознавание – 2012) / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2012. С. 138–140.

8. Ватутин Э.И., Титов В.С. Сравнение методов синтеза разбиений граф-схем параллельных алгоритмов с использованием двумерных диаграмм // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 3. С. 12–16.

9. URL: http://gerasim.boinc.ru.

10. URL: http://boinc.berkeley.edu.

11. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/BOINC.

Получено 10.04.12.

E.I. Vatutin, Associate Professor, Computer Science Chair, Southwest State University (Kursk) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Head of Computer Science Chair, Southwest State University (Kursk) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

STRUCTURAL-PARAMETRIC OPTIMIZATION OF LOGICAL CONTROL SYSTEMS USING DISTRIBUTED VOLUNTEER COMPUTING

Results of the analysis of parameters space $(X_{\max}, W_{\max}, N)$ *are showed. Computational experiments are performed using BOINC grid under Gerasim@home project. Typical relationships of sample average values of quality criteria from technological constraints values and average size of graph-schemes was given. Quantitative guidance for developers of hardware part of logic multicontrollers are formulated. Shown that design of real logic control systems must be performed in strong restrictions zone with using appropriate heuristic methods.*

Key words: *logic control system, logic multicontrollers design, separations, parallel algorithm, discrete combinatorial optimization, BOINC, Gerasim@home.*

УДК 519.725

О.Б. Графов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: olegraf@gmail.com)

С.И. Егоров, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sie58@mail.ru)

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

МЯГКОЕ ДЕКОДИРОВАНИЕ КОДОВ РИДА-СОЛОМОНА

Предложен метод мягкого декодирования кодов Рида-Соломона, используемых в современных телекоммуникационных системах и системах хранения данных. Дано теоретическое обоснование метода. Предложена формализация предлагаемого метода в виде процедура декодирования кодов Рида-Соломона. Приведены результаты исследования эффективности метода.

Ключевые слова: *коды Рида-Соломона, мягкое декодирование кодов Рида-Соломона, декодирование за границей половины минимального кодового расстояния.*

***

Введение

Помехоустойчивые коды Рида-Соломона широко используются для обеспечения надежной передачи и хранения данных в информационных системах. Они применяются в спутниковых (например, система DVB) и оптоволоконных каналах передачи цифровой информации, в оптических накопителях информации (CD, DVD, Blue Ray).

Коды Рида-Соломона (РС-коды) характеризуются параметрами (n, k, d), где n – длина кодового слова, k – количество информационных символов в кодовом слове и d – минимальное кодовое расстояние. При этом количество проверочных символов в слове $r = (n - k)$ и $d = r + 1$. Символы кодового слова представляют собой элементы поля Галуа $GF(q)$.

Известно, что коды Рида-Соломона могут гарантированно исправлять любой

набор из t ошибочных символов тогда и только тогда, когда выполняется условие $2t + 1 \le d$ или $t \le t_C = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$. В [1] Гурасвами и Судан предложили алгоритм декодирования РС-кодов, исправляющий ошибочные символы и в том случае, когда вышеприведенное неравенство нарушается (т.е. за границей половины минимального кодового расстояния). На основе этого алгоритма Кеттер и Варди разработали алгоритм мягкого декодирования [2]. Их алгоритм позволяет значительно лучше использовать корректирующие возможности кодов Рида-Соломона, чем классические алгоритмы декодирования, исправляющие ошибки в пределах половины минимального кодового расстояния. Основной недостаток алгоритма Кеттера-Варди – большая вычислительная сложность, ограничившая его использование только экспериментальными образцами декодеров.

Альтернативный алгоритм декодирования РС-кодов, позволяющий исправлять максимальное число ошибок за границей половины минимального кодового расстояния независимо от скорости кода (k/n), предложен в [3]. Упрощенная версия алгоритма декодирования, позволяющая исправить t_C+1 ошибочных символов, описана в [4].

В представленной работе предлагается метод мягкого декодирования кодов Рида-Соломона, развивающий подход из [3] путем введения в процедуру декодирования управления поиском позиций ошибок информацией о надежности принятых из канала символов. Такой подход позволяет эффективно реализовать мягкое декодирование широко используемых на практике кодов Рида-Соломона. В работе также приводятся результаты имитационного моделирования предложенного мягкого декодирования для популярных РС-кодов: (204,188), (255,239) и (120,104).

Теоретическое обоснование метода мягкого декодирования

Предлагаемый метод мягкого декодирования кодов Рида-Соломона представляет собой развитие подхода к списочному декодированию кодов Рида-Соломона на основе использования синдромов [3, 4].

Процедура списочного декодирования [3] представляет собой расширение обычной процедуры декодирования, основанной на алгоритме Берлекэмпа-Месси [5]. Эта процедура (при исправлении $t_C + \tau$ ошибок, τ – число дополнительно исправляемых ошибок) в укрупненном виде состоит из следующих шагов:

1. Вычисление многочлена синдрома $S(x)$.

2. Вычисление полинома локаторов ошибок $\Lambda^{(2t_C)}(x)$ и вспомогательного полинома $B^{(2t_C)}(x)$ путем выполнения $2t_C$ итераций алгоритма Берлекэмпа-Месси.

3. Вычисление преобразования Фурье многочленов $\Lambda^{(2t_C)}(x)$ и $B^{(2t_C)}(x)$.

4. Поиск невязок $\Delta_{2t_C+1}, \cdot\Delta_{2t_C+2}, \ldots, \Delta_{2t_C+2\tau}$ таких, что $\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(\alpha^{-i}) = 0$ для точно $t_C + \tau$ значений i. Соответствующие значения i дают позиции ошибок.

5. Вычисление значений ошибок и их исправление.

Списочное декодирование [3] обеспечивает исправление $t_C + \tau$ ошибки путем аналитического продолжения алгоритма Берлекэмпа-Месси еще на 2τ итерации.

Аналитическое продолжение на две итерации описывается следующей формулой:

$$\Lambda^{(2t_C+2)}(x) = $$
$$= (\Lambda^{(2t_C)}(x) - \Delta_{2t_C+1} \cdot x \cdot B^{(2t_C)}(x)) - \Delta_{2t_C+2} \cdot x \times \quad (1)$$
$$\times (\Delta^{-1}_{2t_C+1} \cdot \delta_{2t_C+1} \cdot \Lambda^{(2t_C)}(x) + x \cdot (1 - \delta_{2t_C+1}) \cdot B^{(2t_C)}(x)),$$

где $\delta_k = 1$, если $\Delta_k \neq 0$ и $2L_{k-1} \leq k - 1$, или $\delta_k = 0$ – в противном случае; L_k – формальная степень многочлена локаторов ошибок $\Lambda^{(k)}(x)$.

Аналитическое продолжение на 2τ итерации может быть получено применением формулы (1) τ раз:

$$\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(x) = f^{\delta,\Delta}_{\Lambda^{(2t_C)}(x),B^{(2t_C)}(x)}(x), \qquad (2)$$

где $\delta = \{\delta_k,\ k = 2t_C + 1,\ldots,\ 2t_C + 2\tau\}$, $\Delta = \{\Delta_k,\ k = 2t_C + 1,\ldots,\ 2t_C + 2\tau\}$.

Каждому множеству неизвестных невязок соответствует многочлен $\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(x)$. По определению многочлен локаторов ошибок $\Lambda(x)$ обращается в нуль, когда x принимает значения, обратные к локаторам ошибочных символов. Представляют интерес такие многочлены $\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(x)$, которые имеют степень $t_C+\tau$ и имеют точно $t_C+\tau$ корень в GF(q). Множество допустимых корней многочлена $\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(x)$ составляет $\{\alpha^0, \alpha^{-1}, \alpha^{-2}, \ldots, \alpha^{-(n-2)}, \alpha^{-(n-1)}\}$. Подставляя это множество в уравнение (2), можно получить следующее:

$$\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(\alpha^{-i}) = f^{\delta,\Delta}_{\Lambda^{(2t_C)}(\alpha^{-i}),B^{(2t_C)}(\alpha^{-i})}(\alpha^{-i}), \qquad (3)$$

где $\Lambda^{(2t_C)}(\alpha^{-i})$ и $B^{(2t_C)}(\alpha^{-i})$ – компоненты дискретного преобразования Фурье (DFT) многочленов $\Lambda^{(2t_C)}(x)$ и $B^{(2t_C)}(x)$.

В случае наличия в кодовом слове конфигурации ошибок веса $t_C+\tau$ ровно $t_C+\tau$ правых частей уравнений системы (3) для некоторого набора значений невязок $\Delta_{2t_C+1}, \Delta_{2t_C+2}, \ldots, \Delta_{2t_C+2\tau}$ обращаются в 0. Для определения локаторов этих ошибочных символов необходимо найти соответствующие невязки и зафиксировать номера i уравнений системы (3) с правыми частями, обратившимися в нуль.

Предлагаемый метод мягкого декодирования предполагает выбор подмножества уравнений из системы (3), соответствующих наиболее вероятным позициям ошибочных символов в кодовом слове.

Поиск позиций ошибок осуществляется в порядке возрастания надежностей символов принятого кодового слова. Последовательность номеров позиций символов, упорядоченных по надежности, хранится в таблице L. Диапазон поиска ограничен первыми наименее надежными n_C позициями символов из таблицы.

Формализация метода в виде процедуры мягкого декодирования кодов Рида-Соломона приведена ниже.

Процедура декодирования

Предлагаемая процедура декодирования предусматривает выполнение следующих этапов:

1. Вычисляется полином синдромов $S(x)$ [5]. Если компоненты синдрома нулевые (ошибок нет), осуществляется переход к п.12.

2. Вычисляются полином локаторов ошибок $\Lambda^{(2t_C)}(x)$, вспомогательный полином $B^{(2t_C)}(x)$ и формальная степень полинома локаторов L_{2t_C} путем выполнения $2t_C$ итераций алгоритма Берлекэмпа-Месси.

3. Если $L_{2t_C} \leq t_C$, находятся корни полинома $\Lambda^{(2t_C)}(x)$. Если их число равняется L_{2t_C}, то обратные к ним значения принимаются как локаторы ошибок. По формуле Форни [5] вычисляются значения ошибок. Ложная конфигурация ошибок отфильтровывается, верная добавляется в список.

4. Вычисляется управляющая переменная s (shift): $s = t_C - L_{2t_C}$. Если $s \geq \tau$ или $s < -\tau$, осуществляется переход к п. 11.

5. Вычисляются преобразования Фурье полиномов $\Lambda^{(2t_C)}(x)$ и $B^{(2t_C)}(x)$.

6. Когда $s \geq 0$, вычисляются множества значений дробей $R_i = \alpha^{(2s+1)i} B^{(2t_C)}(\alpha^{-i}) / \Lambda^{(2t_C)}(\alpha^{-i})$, или

$R_i = \alpha^{(-2s-1)i}\Lambda^{(2t_C)}(\alpha^{-i}) / B^{(2t_C)}(\alpha^{-i})$ – в противном случае (α – примитивный элемент поля $GF(q)$; $I = 0, \ldots n-1$).

7. Для $v = 1, \ldots, \tau$ выполняются п. 8 – п. 10 (в каждом таком цикле находятся комбинации ошибок веса $t_C + v$).

8. Вычисляются вспомогательные переменные (см. п.9): $l = 2v$, $o1 = v - |s+1|$, $o2 = v - |s|$, $w = t_C + 1 - v$. После чего пункты 9–10 выполняются $v - |s|$ раз (в случае $v = -s$ эти пункты выполняются один раз).

9. Вычисляются последовательности $S_{L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_{l-1}]}$ возможных значений невязки $\Delta^{L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_l]}$ для наиболее вероятных наборов индексов i_1, $i_2,\ldots,i_{l-1}$ и осуществляется поиск значений Δ, которые встречаются точно w раз в какой-то из этих последовательностей, где

$$S_{L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_{l-1}]} = \{\Delta^{L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_l]} = \frac{F^{o1}(L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_l],R_{L[i_1]},R_{L[i_2]},\ldots,R_{L[i_l]})}{F^{o2}(L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_l],R_{L[i_1]},R_{L[i_2]},\ldots,R_{L[i_l]})};$$

$$i_l = \overline{i_{l-1}+1, n_C - 1}\},$$

$$F^o(L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_l],R_{L[i_1]},R_{L[i_2]},\ldots,R_{L[i_l]}) =$$

$$= \sum_{\substack{\forall\{j_1,j_2,\ldots,j_o\}=J \\ j_1<j_2<\ldots<j_o \\ j_1,j_2,\ldots,j_o\in\{1,2,\ldots,l\}}} \left[\prod_{\substack{\forall\{k1,k2\} \\ k1<k2 \\ k1,k2\in J}} (\alpha^{L[i_{k1}]} + \alpha^{L[i_{k2}]}) \prod_{\substack{\forall\{k1,k2\} \\ k1<k2 \\ k1,k2\in\{1,2,\ldots,l\}\setminus J}} (\alpha^{L[i_{k1}]} + \alpha^{L[i_{k2}]}) \prod_{k=1}^{o} R_{L[i_{j_k}]} \right].$$

В тех случаях, когда при вычислении каких-то из дробей $R_{L[i_j]}$ возникает деление на ноль, вычисление $F^o(L[i_1],L[i_2],\ldots,L[i_l],R_{L[i_1]},R_{L[i_2]},\ldots,R_{L[i_l]})$ упрощается.

Если найдены значения Δ, которые встречаются точно w раз в какой-то из этих последовательностей, то значениями локаторов ошибок являются значения индексов $L[i_1]$, $L[i_2],\ldots$, $L[i_{l-1}]$ этой последовательности и множество значений индекса $L[i_l]$, соответствующего таким Δ. По формуле Форни вычисляются значения ошибок. Ложные конфигурации ошибок отфильтровываются, верные добавляются в список.

10. $l = l - 1$, $o1 = o1 - 1$, $o2 = o2 - 1$, $w = w + 1$.

11. Если список локаторов и значений ошибок пуст, то принимается решение о наличии неисправимых ошибок в кодовом слове. В случае наличия в списке одной конфигурации ошибок соответствующие ошибочные символы кодового слова исправляются. В случае наличия нескольких конфигураций ошибок для коррекции выбирается ближайшая из них к принятому из канала слову.

12. Конец.

Быстродействие приведенной процедуры на порядки выше алгоритма [3], поскольку диапазон перебора индексов i_j в разы меньше длины кода n. Еще более значительное повышение быстродействия возможно, если завершать процедуру декодирования после нахождения ограниченного количества векторов ошибок.

Исследование эффективности предлагаемого метода мягкого декодирования

Эффективность предложенного метода для ряда популярных кодов Рида–Соломона, определенных над полем $GF(2^8)$ с минимальным кодовым расстоянием $d = 17$, была исследована путем имитационного моделирования. При моделировании использовалась модель ка-

нала с гауссовым шумом (AWGN) и модуляцией BPSK. В качестве меры надежности символа принималось минимальное значение модуля LLR составляющих символ бит.

На рисунках 1–3 приведены результаты имитационного моделирования декодеров РС-кодов, содержащие графики зависимостей FER (Frame Error Ratio) от E_b/N_o (отношения энергии сигнала на информационный бит к односторонней спектральной плотности шума). Цифрами обозначены: **1** – классический декодер, исправляющий t_c = 8 ошибок без использования мягких решений; **2** – декодер, реализующий предложенный метод с радиусом декодирования t_c+1; **3** – тот же декодер с радиусом декодирования t_c+2: **4** – декодер с радиусом декодирования t_c+3 на рис. 1, 2 или декодер Кеттера-Варди на рис. 3; **5** – декодер с радиусом декодирования t_c+4.

Рис. 1 показывает эффективность исправления дополнительных ошибок предложенным методом применительно к коду Рида-Соломона (120, 104), используемому в архивных оптических накопителях информации. Из графика видно, что целесообразно исправлять до трех дополнительных ошибок. При этом дополнительный кодовый выигрыш составит около 0,5 *dB* при FER=10^{-3}.

На рис. 2 приведены результаты исследования предложенного метода применительно к коду Рида-Соломона (204,188), используемому в системе DVB. Результаты показывают целесообразность исправления до двух дополнительных ошибок. При этом дополнительный кодовый выигрыш составит около 0,35 *dB* при FER=10^{-2}.

Рис. 3 показывает эффективность декодирования кода Рида-Соломона (255,239), используемого в оптоволоконных системах передачи данных. Результаты показывают целесообразность исправления до двух дополнительных ошибок. При этом дополнительный кодовый выигрыш составит около 0,3 *dB*. Кривая **3**, соответствующая коррекции двух дополнительных ошибок, практически совпадает с кривой **4**, отображающей результаты работы декодера Кеттера-Варди с мультиплисити 2, приведенной в [6].

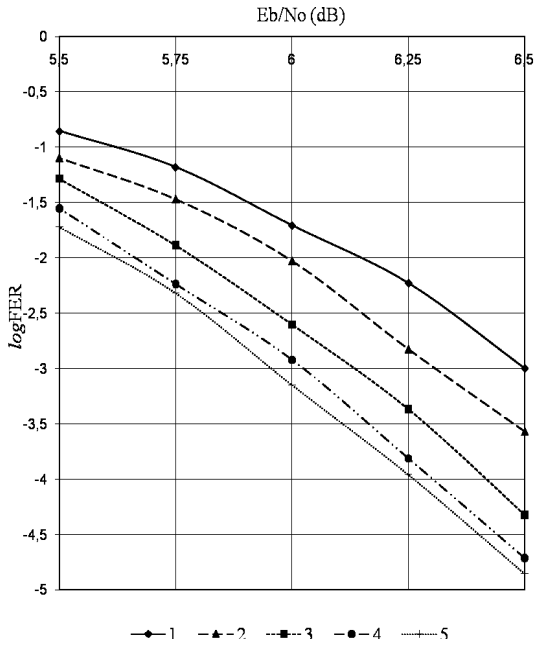


Рис. 1. Зависимость FER от E_b/No для РС-кода (120,104)

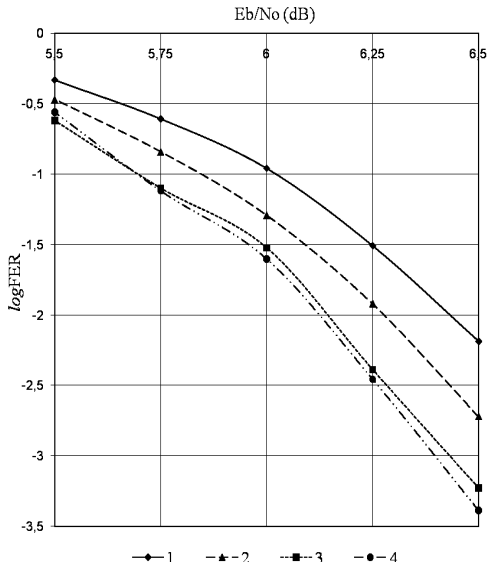


Рис. 2. Зависимость FER от E_b/No для РС-кода (204,188)

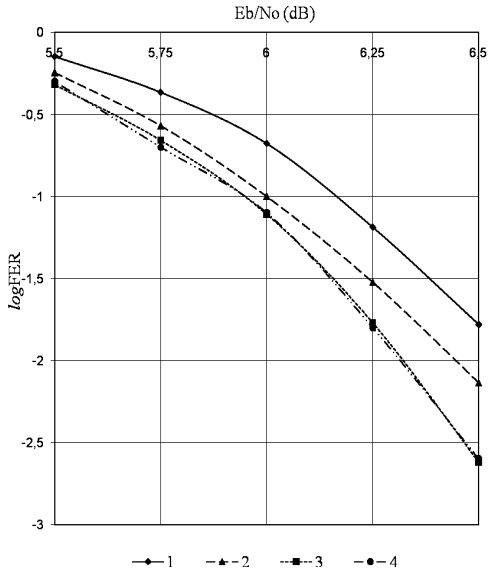


Рис. 3. Зависимость FER от E_b/No для РС-кода (255,239)

Выводы

Представленный метод мягкого декодирования позволяет значительно повысить эффективность применения популярных высокоскоростных кодов Рида-Соломона в системах передачи и хранения данных. Он имеет значительно меньшую вычислительную сложность по сравнению с другими алгоритмами мягкого декодирования за границей половины минимального кодового расстояния при сопоставимой корректирующей способности (для каналов с гауссовым шумом).

Представленная работа поддержана грантом Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», № 14.B37.21.0621.

Список литературы

1. Guruswami V., Sudan M. Improved Decoding of Reed-Solomon and Algebraic-Geometry Codes // IEEE Trans. Inform. Theory. 1999. Vol. 45, № 6. P. 1757–1767.

2. Koetter R., Vardy A. Algebraic soft-decision decoding of Reed-Solomon codes // IEEE Trans. Inform. Theory. 2003. Vol. 49, № 6. P. 2809–2825.

3. Егоров С.И. Алгоритм декодирования кодов Рида-Соломона, исправляющий вплоть до *n-k* ошибок в кодовом слове // Труды РНТОРЭС им. А.С.Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Вып. XI-1. М., 2009. С. 27–30.

4. Egorov S., Markarian G., Pickavance K. A Modified Blahut Algorithm for Decoding Reed-Solomon Codes Beyond Half the Minimum Distance // IEEE Trans. on Commun. 2004. Vol. 52, № 12. P. 2052–2056.

5. Кларк Д. Кейн Д. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: [пер. с англ.]. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.

6. Gross W.J., Kschischang F.R., Koetter R., Gulak P.G. Simulation Results for Algebraic Soft-Decision Decoding of Reed-Solomon Codes // Proc. of the 21st Biennial Symposium on Communications (June, 2002); Queen's University. Kingston, Canada, 2002. P. 356–360.

Получено 10.04.12.

O.B. Grafov, Post-Graduated Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: olegraf@gmail.com)

S.I. Egorov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sie58@mail.ru)

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

SOFT DECODING OF REED-SOLOMON CODES

A method for soft decoding of Reed-Solomon codes is proposed. The theoretical basis of the method is given. The method is formalized as a decoding procedure for Reed-Solomon codes. The simulation results of the method are presented.

Key words: *Reed-Solomon codes, soft decoding, decoding beyond half the minimum distance.*

УДК 681.3

Д.Б. Борзов, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: borzovdb@kursknet.ru)

В.В. Минайлов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kgkptuip2@mail.ru)

МЕТОД И АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ ПЛИС В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена проблема составления плана топологии ПЛИС, показана сложность ее практической реализации в системах высокой готовности, предложен метод и алгоритм.

Ключевые слова: *метод, топология, ПЛИС, планирование, перестановка, многопроцессорная система.*

***

В настоящее время все большее распространение получает параллельная организация вычислительных систем [1], которая организуется в виде множества реконфигурируемых программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) или сверхбольших интегральных схем (СБИС) [2]. В них могут возникать внештатные ситуации, например выход из строя одного из внутренних модулей либо необходимость оперативной перестройки внутренней конфигурации связей. В этом случае применение таких методов, как моделирование отжига [3-4] и методы генетической эволюции [5], реализуемые в основном программными средствами, не удовлетворяет системам высокой готовности из-за недостаточного

быстродействия. Применение для этих целей заранее заготовленных планов топологий также нецелесообразно из-за достаточно долгого времени обращения и поиска в памяти ЭВМ. Поэтому необходимо применение альтернативных подходов и соответствующих аппаратных средств. В работе предлагается методика и алгоритм планирования топологии ПЛИС.

Программу (подпрограмму) исходной задачи будем представлять графом взаимодействия задач G=<X,E>, где X – множество вершин графа G, вершины $x_{qk} \in X$ которого соответствуют подпрограммам, а дуги $e_{ij} \in E$ – связям между ними, могут быть сведены в матрицу смежности (МС) $M = \left\| m_{ij} \right\|_{N \times |E|}$, где $N = |X|$. Топологию ПЛИС будем задавать графом H, который представим в виде прямоугольника:

$$H = \begin{Bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{\varpi,\theta} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{\varpi,\theta} & & p_{2,n} \\ \cdots & & & & & \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \cdots & p_{\varpi,\theta} & \cdots & p_{m,n} \end{Bmatrix},$$

где $P_{\varpi,\theta}$ – модули ПЛИС, причем ($\varpi = \overline{1,m}$, $\theta = \overline{1.n}$).

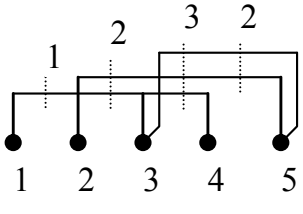
Модуль $P_{\varpi,\theta}$ представляется функцией $F(O,X)$, т.е. $P_{\varpi,\theta} = F(O,X)$, где $O = o_1, o_2, \ldots, o_p$ – множество входных выводов модуля, а $X = x_1, x_2, \ldots, x_p$ – это множество выходных выводов, выводы модулей ПЛИС соединяются с выводами других модулей. Тогда общее количество передаваемых сигналов в ПЛИС определяют итоговую коммуникационную задержку [6], которую необходимо минимизировать для увеличения производительности ПЛИС.

Введем дополнительные определения. Каналом в модуле ПЛИС назовем проложенную трассу от одного вывода o_i или x_j ($i = (1,p)$, $j = (1,p)$) модуля к другому. Матрица цепей (МЦ) – описывающая вариант размещения модулей ПЛИС-прямоугольная матрица $V = \left| v_{i,j} \right|_{n,\alpha}$, где $i = \overline{1,N}$, $j = \overline{1,\alpha}$, $n = |X|$, α – суммарное количество каналов, полученных в результате размещения подпрограмм в модулях ПЛИС. Параметр α соответствует количеству каналов. Тогда должно выполняться соотношение

$$\sum \alpha \to \min . \qquad (1)$$

На рис. 1 проиллюстрировано понятие канала и МЦ. На рис. 1, *а* черными кружками обозначены выводы гипотетических модулей ПЛИС, числа над пунктирными линиями обозначают степени загрузки каналов между парами смежных выводов.

На рис. 1, *б* приведена МЦ, соответствующая варианту размещения на рис. 1, *а*, в ней строкам соответствуют выводы модуля(ей) ПЛИС, а столбцам – соответствующие каналы.



а)

	1	2	3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	1	0	1
4	1	0	0
5	0	1	1

б)

Рис. 1. Каналы и матрица цепей в ПЛИС: *а* – каналы; *б* – матрица цепей

Тогда размещение модулей в ПЛИС может быть описано отображением

$$\beta_s = \begin{Bmatrix} x_{S_{1.1}} & x_{S_{1.2}} & \dots & x_{S_{1.k}} & \dots & x_{S_{1.\alpha}} \\ x_{S_{2.1}} & x_{S_{2.2}} & \dots & x_{S_{2.k}} & \dots & x_{S_{2.\alpha}} \\ \dots & & & & & \\ x_{S_{q.1}} & x_{S_{q.1}} & \dots & x_{S_{q.k}} & \dots & x_{S_{q.\alpha}} \\ \dots & & & & & \\ x_{S_{n.1}} & x_{S_{n.2}} & \dots & x_{S_{n.k}} & \dots & x_{S_{n.\alpha}} \end{Bmatrix} \rightarrow \quad (2)$$

$$\rightarrow \begin{Bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,k} & \dots & p_{1,\alpha} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,k} & \dots & p_{2,\alpha} \\ \dots & & & & & \\ p_{q,1} & p_{q,2} & \dots & p_{q,k} & \dots & p_{q,\alpha} \\ \dots & & & & & \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \dots & p_{n,k} & \dots & p_{n,\alpha} \end{Bmatrix},$$

где $S = \overline{1, N!}$; символ → означает отображение одной из вершин $x_{S_{q,k}} \in X$ на один из модулей $p_{q,k} \in H$; $x_{S_{q.k}}$ – номер очередной перестановки, соответствующий s-му варианту размещения.

Пусть Ψ – множество всевозможных отображений вида (2). Мощность множества $\psi = \{\beta_S\}$ всевозможных отображений (2) равна числу всевозможных перестановок задач $x_{qk} \in X$ в матрице $M : |\psi| = N!$.

Тогда задача размещения формулируется как поиск отображения $\beta^* \in \Psi$ такого, что

$$T_{\beta^*} = \min_{\Psi} \{ \max_{\beta_s \in \Psi} \{ T_{\beta_s} (|\mathrm{V}|_{\mathrm{p_{q,k}}}) \} \}, \quad (3)$$

где $\mathrm{T}_{\beta_s}(|\mathrm{V}|_{\mathrm{p_{q,k}}})$ – задержка при передаче данных в модуле $\mathrm{p_{q,k}}$, соответствующая отображению β_s. В выражении (3) $\max\limits_{\beta_s \in \Psi}$ означает поиск максимальной задержки при передаче данных в процессоре $\mathrm{p_{q,k}}$, где $\mathrm{q} = \overline{1, n}$, $\mathrm{k} = \overline{1, \alpha}$; выражение $\min\limits_{\Psi}$ соответствует поиску минимально возможного значения задержки для максимального $\max\limits_{\beta_S \in \Psi} \left\{ T_{\beta_s} \left(|\mathrm{V}|_{\mathrm{p_{q,k}}} \right) \right\}$.

Поиск наилучшего варианта размещения по критерию (3) с учетом условия (1) является сложной переборной задачей. Поэтому необходимо контролировать степень уменьшения величины образующихся коммуникационных задержек (3) и принимать решение о целесообразности продолжения поисковых перестановок в матрице $V : |\psi| = N!$. Оно может быть принято в результате анализа величины отношения значения (3) к гипотетической минимально возможной ее величине. При ее вычислении будем назначать дуги графа G на самые короткие маршруты в графе H, не обращая внимания на ограничения, накладываемые фактическими связями между подпрограммами в графе G. Процедура поиска минимальной нижней оценки можно представить в виде алгоритма.

1. Переписать элементы $\mathrm{m_{k}}_{l} \neq 0$ ($k = \overline{1, N}$, $\overline{l = 1, N}$) матрицы $M = \left\| m_{ij} \right\|_{N \times |E|}$ в вектор-строку $\mathrm{M'} = \left\| \mathrm{m}_{\mathrm{k}l}^{\mathrm{z}} \right\|$, где z – порядковый номер элемента в M', причем $k = \overline{1, N}$, $l = \overline{1, N}$. При этом $\mathrm{z}_1 > \mathrm{z}_2$ и $\mathrm{z}_1, \mathrm{z}_2$ – порядковые номера элементов в M'.

2. Положить

$$T_{\mathrm{inf}} = \sum_{i=1}^{j=|E|} m_i^z, \quad (4)$$

где $i = \overline{1, |E|}$, $z = \overline{1, |E|}$, m^z – мощность множества E в графе G; m^z – одноименные элементы вектора M'.

Для решения задачи планирования размещения в ПЛИС предлагается процедура, в которой критерием оптимальности размещения является степень отклонения η минимаксного значения критерия (3) от T_{inf} (4). Цель задачи стоит в снижении по критерию (4) коммуникационной задержки, возникающей при обра-

ботке назначенных на ПЛИС подпрограмм, описываемых графом G, и определяемой как максимальная задержка между обрабатываемыми в ПЛИС подпрограммами:

$$T = \max\{\sum_{i=1}^{j=|E|} m_i^z\}, \qquad (5)$$

где $i, j = \overline{1,|E|}$.

Это может быть сделано путем целенаправленных поисковых перестановок, заключающихся в перестановке строк МЦ.

Таким образом с учетом приведенных выше теоретических положений методика поиска плана топологии ПЛИС будет состоят из следующих этапов:

1) выполняется первичное размещение вершин графа G, представляющего исходный комплекс решаемых в ПЛИС подпрограмм, описанных графом H. Размещение реализуется путем наложения матрицы МС $M = \|m_{ij}\|_{N\times|E|}$ на матрицу МЦ $V = \left|v_{i,j}\right|_{n,\alpha}$. По формуле (5) находим максимальную задержку $T_н$, соответствующую начальному варианту размещения;

2) для сопоставления вариантов размещения по критерию (3) вначале выполняется поиск T_{inf} по (4). Затем вычисляется степень близости максимальной задержки $T_н$ к нижней оценке T_{inf} в виде

$$\eta_и = \frac{T_н}{T_{inf}}; \qquad (6)$$

3) начиная с элемента $m_{ij} \in H$, которому соответствует $\max\{\sum v_j\}$ в первичном варианте, перемещаем строку на место другой строки так, чтобы оценка

$$\eta = \frac{T}{T_{inf}} \qquad (7)$$

снижалась по сравнению с $\eta_и$ (6) и оценками η по предыдущим вариантам размещения;

4) анализ достигнутой величины η (7) и оценка степени улучшения размещения выполняются по следующей формуле выигрыша в снижении коммуникационной задержки:

$$\sigma = \frac{\eta_н}{\eta} = \frac{T_н}{T}. \qquad (8)$$

Вывод результатов перестановки в виде новой матрицы МС и соответствующей новой МЦ. Обобщенный алгоритм планирования топологии ПЛИС выглядит следующим образом.

1. Записать МС (M) размером $N \times N$ и V размером $N \times \alpha$, где α – это суммарное количество каналов, полученных в результате первичного размещения в ПЛИС.

2. Создать области $M1$, $M2$ размерами $N \times \alpha$.

3. Найти T_{inf} как нижнюю оценку размещения по (4).

4. Найти $T_н$ как начальное значение коммуникационной задержки.

5. Рассчитать $\eta_н = \frac{T_н}{T_{inf}}$.

6. Записать $T_0 = T_н$ и инициализировать $M1 = V$.

7. Просмотреть по порядку элементы $M1$, начиная со строки $N-1$ столбца N до столбца 1 текущей строки. Ввести счетчики $k = N$ и i=N–1.

8. Найти первую единицу, что означает наличие канала, соединяющего данный столбец с данной строкой. Если $M2_{i,k} \neq -1$, то найти $k-i$, а если $(k-i) > 1$, то п. 9, иначе $M2_{ik} = -1$.

9. Выполнить перестановку в матрице M строк i и $(k-i+1)$ и сформировать новую матрицу $M1$.

10. Вычислить по матрице $M1$ значение T_1. Если $T_1 \le T_0$, то п. 12. Иначе $k = k-1$ и – п.13.

11. Рассчитать $\eta = \frac{T_и}{T_1}$, если $\eta \le \eta_п$, остановить работу, иначе п. 12.

12. $M = M1$.

13. $T_0 = T_1$, зафиксировать текущий элемент в $M2$ как просмотренный $M2_{ik} = -1$.

14. Изменить по порядку счетчик *i* и *k* и п.8, если $i < 1$, то конец.

В результате в $M1$ будет содержаться план топологии ПЛИС. В дальнейших исследованиях планируется формализовать предложенный алгоритм и разработать соответствующее устройство.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект 2012-1.2.1-12-000-2005-5368).

Список литературы

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ–Петербург, 2002. 608 с.

2. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с.

3. LaPotin D.Рю, Director S.W. Mason; A global floorplaning tool // IEEE Int. Conf. on Computer – Aided Design, Santa Clara, CA, 1985. P. 143–145.

4. Sechen C., Sangiovanni A. The Timberwolf placement and routing package // IEEE Journal of Solid-State circuits. 1985. Vol. sc-20, № 2. P. 510–522.

5. Cohoon J.P., Hegde S.U., Martin W.N. Distributed genetic algorithms for the floorplan design problem // IEEE Transactions on Computer – Aided Design. 1991. Vol. 10, № 4. 1991. P. 483–492.

6. Gogniat G. Communication synthesis and HW/SW integration for embedded system design // CODES. 1998. P. 49–53.

Получено 12.05.12.

D.B. Borzov, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail borzovdb@kursknet.ru)

V.V. Minailov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail kgkptuip2@mail.ru)

METHODS AND PLANNING ALGORITHM FOR FPGA TOPOLOGY ON A MULTIPROCESSOR SYSTEM

The problem of planning the FPGA topology, shows the complexity of its implementation in a high-availability systems, the method and the algorithm based on sequential search permutations.

Key words: *method, topology, FPGA, planning, moving, multi-processor system.*

УДК 004.042

Д.О. Бобынцев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail daniel8728@yandex.ru)

Д.Б. Борзов, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail borzovdb@kursknet.ru)

МИНИМАКСИМИННЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАЗМЕЩЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОДПРОГРАММ В МАТРИЧНЫХ МУЛЬТИКОНТРОЛЛЕРАХ

Рассмотрена проблема размещения параллельных подпрограмм в матричных мультиконтроллерах, предложен новый критерий оценки качества размещения.

Ключевые слова: *матричные мультиконтроллеры, планирование размещения задач.*

***

Планирование оптимального размещения задач по множеству обрабатывающих процессоров – важный этап в процедурах подготовки комплекса взаимодействующих программ к параллельной обработке в мультиконтроллерах [1]. Оно выполняется с целью минимизации величин коммуникационных задержек,

обусловленных способом обмена данными между задачами в ходе их обработки путем передачи сообщений между процессорами. Неудачное распределение задач между процессорами может привести к появлению длинных составных и перекрывающихся маршрутов транзитной передачи данных, возрастанию коммуникационных задержек и существенному снижению степени ускорения обработки, ожидаемой от распараллеливания [1]. Данная проблема решается средствами планирования размещения задач по процессорам. Целью работы является разработка критерия оценки качества размещения, предполагающего анализ перекрытий кратчайших каналов передачи данных.

Задача размещения комплекса параллельных подпрограмм по процессорам в работе [2] формализована в следующей математической постановке.

1. Подмножество подпрограмм описывается графом взаимодействия задач $G=<X,E>$, где

$$X=\begin{Bmatrix} x_{1.1} & x_{1.2} & \dots & x_{1.k} & \dots & x_{1.n} \\ x_{2.1} & x_{2.2} & \dots & x_{2.k} & \dots & x_{2.n} \\ \dots & & & & & \\ x_{q.1} & x_{q.1} & \dots & x_{q.k} & \dots & x_{q.n} \\ \dots & & & & & \\ x_{n.1} & x_{n.2} & \dots & x_{n.k} & \dots & x_{n.n} \end{Bmatrix}-$$

множество вершин графа G, вершины $x_i \in X$ которого соответствуют задачам, а взвешенные дуги $\mathrm{e}_{\mathrm{ij}} \in E$ описывают связи между задачами и задают объёмы данных m_{ij} (в байтах), передаваемых при обмене между задачами. Граф G представляется матрицей обмена информацией (МОИ): $M=\left\|m_{ij}\right\|$, где m_{ij} – вес дуги e_{ij}.

2. Мультиконтроллер представляется топологической моделью в виде графа $H=<P,V>$, где $P=\begin{Bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,n} \\ \dots & & & \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \dots & p_{n,n} \end{Bmatrix}-$ множество идентификаторов процессорных модулей базового блока, организованных в матрицу $|P|_{n\times n}$; V – множество межпроцессорных связей, задаваемых матрицей смежности $\left\|W\right\|_{N\times N}$ размером $n^2\times n^2$.

3. По описанной выше матрице смежности строится матрица минимальных расстояний (ММР) $\mathrm{D}=\|\,\mathrm{d}_{\mathrm{ij}}\,\|_{\mathrm{N\times N}}$, где d_{ij} – кратчайший путь от вершины p_i до вершины p_j в графе H, измеренный числом последовательно соединенных каналов. $N=n^2=\left|H\right|$.

4. Размещение пакета подпрограмм (комплекса задач), описываемых графом G, может быть аналитически описано отображением

$$\beta_s=\begin{Bmatrix} x_{S_{1.1}} & x_{S_{1.2}} & \dots & x_{S_{1.k}} & \dots & x_{S_{1.n}} \\ x_{S_{2.1}} & x_{S_{2.2}} & \dots & x_{S_{2.k}} & \dots & x_{S_{2.n}} \\ \dots & & & & & \\ x_{S_{q.1}} & x_{S_{q.1}} & \dots & x_{S_{q.k}} & \dots & x_{S_{q.n}} \\ \dots & & & & & \\ x_{S_{n.1}} & x_{S_{n.2}} & \dots & x_{S_{n.k}} & \dots & x_{S_{n.n}} \end{Bmatrix}\rightarrow$$

$$\rightarrow\begin{Bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,k} & \dots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,k} & \dots & p_{2,n} \\ \dots & & & & & \\ p_{q,1} & p_{q,2} & \dots & p_{q,k} & \dots & p_{q,n} \\ \dots & & & & & \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \dots & p_{n,k} & \dots & p_{n,n} \end{Bmatrix},$$

где $s=\overline{1,N!}$ – номер очередной перестановки, соответствующий s-му варианту размещения, $k=\overline{1,n}$, $q=\overline{1,n}$.

Поиск наилучшего варианта размещения в работе [2] происходит по алгоритму перестановки строк и столбцов

МОИ, направленному на размещение дуг графа G на кратчайшие каналы наименьшей длины. Минимаксный критерий поиска выглядит следующим образом:

$$T_{\beta}^{*} = \min_{\Psi}\{\max_{\beta_S \in \Psi}\{T_{\beta_S}(p_i, p_j)\}\},$$

где $T_{\beta_S}(p_i, p_j)$ – коммуникационная задержка при передаче данных между процессорами p_i и p_j, соответствующая текущему варианту размещения β_S, пропорциональная произведению $d_{ij} \cdot m_{ij}$.

Описанный выше критерий поиска не учитывает возможных перекрытий кратчайших каналов передачи данных.

Для достижения наибольшей оптимальности размещение параллельных взаимодействующих процедур по процессорам должно быть таким, чтобы:

1) для наибольших объёмов передаваемых данных выделялись наиболее короткие пути в топологии многопроцессорной системы;

2) последующая маршрутизация передачи данных между процессорами не приводила бы к увеличению коммуникационной задержки.

Задержка может увеличиваться после маршрутизации, если размещение выполняется без учёта перекрытий каналов обмена данными в разных парах процессоров. При этом все избыточные кратчайшие пути в какой-либо паре удалённых процессоров могут оказаться перекрытыми кратчайшими путями в других парах процессоров, поэтому при маршрутизации невозможно избежать возрастания задержки из-за необходимости прокладывания более длинного обходного маршрута или появления очередей к линиям связи между соседними процессорами. В последнем случае один и тот же канал используется многократно для последовательной разновременной передачи данных в нескольких разных парах процессоров.

Если при поиске наилучшего варианта размещения контролировать степень возрастания задержки из-за вероятных перекрытий каналов, представляется возможным автоматически подобрать такое размещение процедур по процессорам, что:

1) на перекрывающиеся каналы передачи данных между процессорами будут назначены наименьшие объёмы передаваемых данных, а за счёт этого уменьшена величина суммарной задержки при разделении времени использования одних и тех же каналов разными парами процессоров;

2) степень перекрытия каналов будет минимизирована.

Для этого необходимо в каждом очередном варианте размещения оценивать худший случай вероятного перекрытия каналов по величине возросшей из-за этого суммарной задержки и далее выполнять поиск следующего варианта по уменьшению названной максимальной задержки. Худший случай находится путём вычисления суммарных задержек на всевозможных кратчайших путях во всевозможных парах взаимодействующих процессоров с учётом варианта размещения и затем последующего выделения максимального значения этой суммарной коммуникационной задержки.

Если худший случай находить по максимуму из множества наименьших задержек, получаемых по каждому кратчайшему каналу в соответствии с матрицей ММР путём нахождения минимума из суммарных задержек по всем его избыточным путям с учётом их перекрытий с более короткими путями, то после дальнейшей маршрутизации по традиционному критерию использования наименее загруженных линий связи между процессорами коммуникационная задержка никогда не увеличится более ве-

личины, найденной в результате такого поиска субоптимального размещения.

Представляется возможным существенно повысить степень уменьшения коммуникационной задержки, если в разреженной матрице МОИ случайного исходного размещения окажутся перекрытыми все избыточные пути кратчайшего канала, хотя бы в одной паре процессоров, и из-за этого увеличится начальная суммарная задержка. Тогда по описанному выше методу поиска возможно нахождение такого размещения, что хотя бы один избыточный путь будет освобождён от перекрытий или будет иметь наименьшую степень перекрытия с другими каналами обмена данными в других парах процессоров. При этом существенно уменьшится коммуникационная задержка и будут созданы условия для последующей маршрутизации без её увеличения.

Предлагаемый минимаксиминный критерий, учитывающий перекрытия каналов, выглядит следующим образом:

$$T_{\beta}^{*} = \min_{\varphi \; no \; S} \left\{ \max_{\beta_S \in \varphi no k} \left\{ \min_{no \; t} \left\{ \sum_{Z_t=1}^{n_{kt}} T_{\beta_S}^{(Z_t)} \left(P_i, P_j \right) \right\} \right\} \right\},$$

где S – номер очередной перестановки задач в МОИ в процессе поиска; $\varphi=\{\beta_S\}$ – множество всевозможных отображений вершин графа задач на множество идентификаторов процессоров; β_S – отображение, соответствующее S-й перестановке задач в МОИ; k – номер кратчайшего пути (канала) между процессорами P_i и P_j; t – номер избыточного пути длиной, равной кратчайшему каналу между процессорами P_i и P_j; Z_t – номер кратчайшего пути в любой паре процессоров длиной $d^{(Zt)} \le d^{(k)}$, меньшей или равной k-му кратчайшему пути между процессорами P_i и P_j, перекрывающегося с k-м каналом; n_{kt} – число кратчайших путей с длинами $d^{(Zt)} \le d^{(k)}$, в том числе и основной k-й путь, перекрывающихся с k_t-м избыточным путём длины $d^{(k)}$; $T_{\beta s}^{(Zt)}(P_i,P_j)=d_{ij}^{(Zt)} \cdot m_{ij} \cdot c \neq 0$ при $m_{ij} \neq 0$ – задержка при передаче данных в паре процессоров по Z_t-му кратчайшему пути в β_S-м варианте отображения после S-й перестановки задач в МОИ, в том числе и задержка в k-м кратчайшем пути по матрице ММР при $Z_t=k$: $T_{\beta s}^{(k)}(P_i, P_j)=d_{ij}^{(k)} \cdot m_{ij} \cdot c$; $\sum_{Z_t=1}^{n_{kt}} T_{\beta_S}^{(Z_t)} \left(P_i, P_j \right)$ – суммарная задержка на t-м избыточном пути, равном по длине k-му кратчайшему каналу $d^{(t)} = d^{(k)}$, с учётом перекрытия t-го пути другими Z_t-ми путями длины $d^{(Zt)} \le d^{(k)}$.

В последующих работах будет проведён сравнительный анализ эффективности рассмотренных критериев поиска наилучшего варианта размещения с оценкой влияния латентной составляющей коммуникационной задержки.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект 2012-1.2.1-12-000-2005-5368).

1. Борзов Д.Б., Мараят Б.И., Типикин А.П. Акселератор планирования размещения задач в кластерных вычислительных системах высокой готовности // Известия вузов. Серия «Приборостроение». 2008. № 2. С. 29–33.

2. Борзов Д.Б., Мараят Б.И. Методика планирования размещения задач в матрично-торроидальных базовых блоках кластерных мультиконтроллеров. Деп. в ВИНИТИ 18.07.06 г., № 961-В 2006.

Получено 18.04.12.

D.O. Bobyntsev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail daniel8728@yandex.ru)

D.B. Borzov, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail borzovdb@kursknet.ru)

MINMAXMIN CRITERION FOR ASSESSING THE QUALITY OF PLACEMENT OF PARALLEL SUBROUTINES IN THE MATRIX MULTICONTOLLERS

The paper was considered the problem of placing of parallel subroutines in the matrix multicontrollers, was proposed a new criterion for assessing the quality of placement.

Key words: *matrix multicontrollers, scheduling placement subroutines.*

УДК 621.394.74

И.Е. Мухин, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: okbavia@fitmail.ru)

УКРУПНЕННЫЙ СИНТЕЗ СИГНАЛЬНО-ПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Разработан метод укрупненного синтеза сигнально-приемных трактов перспективных комплексов телекоммуникаций, включающих в себя антенно-фидерные, радиоприемные и демодуляторные устройства, на основе применения нового системообразующего фактора – суммарных энергетических потерь.

Ключевые слова: *эквивалентные энергетические потери, сигнально-приемные тракты, системообразующий фактор.*

***

Одной из важнейших ступеней приемных комплексов телекоммуникаций является сигнально приемный тракт (СПТ), состоящий из антенно-фидерных (АФУ), радиоприемных (РПУ) и демодуляторных (ДМ) устройств. Эта ступень является определяющей при формировании уравнения энергетического баланса телекоммуникационных линий связи при объективных ограничениях, налагаемых на излучаемую мощность передающей стороны и стоимость всей системы. В условиях усложнения радиоэлектронной обстановки задача синтеза СПТ приобретает новые формы, обусловленные существенным усложнением частотно-временной структуры (ЧВС) применяемых сигналов. Это обстоятельство обусловлено тем фактом, что энергетические потери (ЭП) находятся в функциональной зависимости от степени сложности ЧВС сигналов, а повышение кратности модуляции приводит к резкому росту потерь нешумового характера – эквивалентных энергетических потерь (ЭЭП) [1]. В этих условиях основным системообразующим фактором при синтезе СПТ будут являться суммарные энергетические потери (ЭП), в том числе ЭЭП, а решение задачи синтеза СПТ в силу сложности таких систем должно производиться двумя этапами. На первом этапе (укрупненный синтез СПТ) необходимо произвести распределение допустимых ЭП по АФУ, РПУ и ДМ. Это распределение производится на основе учета суммарных ЭП, обусловливающих заданную электромагнитную доступность абонентов телекоммуникационных сетей, и нормированной предельной цены создания СПТ. В свою очередь, суммарные ЭП находятся в функциональной зависимости от цены их достижения: чем выше затраты, тем меньших ЭП возможно достичь [2].

На втором этапе синтеза выбираются такие варианты исполнения АФУ, РПУ и ДМ из множества возможных комбинаций типовых узлов, которые минимизируют общую цену создания СПТ при заданных ЭП.

Целью настоящей статьи является разработка метода укрупненного синтеза СПТ. Исходными данными являются ретроспективные данные о параметрах АФУ, РПУ и ДМ на различных периодах их востребованности службами телекоммуникаций и относительный уровень нормированных цен АФУ, РПУ и ДМ, соответствующий этим периодам развития. Основные численные данные по вложенным ценам в создание АФУ, РПУ и ДМ приведены в таблице.

Ретроспективные данные соответствия достижимых уровней суммарных ЭП нормированной цене их достижения

Наименование субсистемы СПТ	Достижимые ЭЭП, дБ	Приведенная цена достижения ЭЭП	Условия сравнения вариантов субсистем СПТ
АФУ-1	40	0,05	В условиях многолучевости
АФУ-2	10	1	
АФУ-3	3	200	
РПУ-1	15	1	В условиях приема сигналов КАМ-256
РПУ-2	5	2	
РПУ-3	2	10	
ДМ-1	10	1	В условиях приема сигналов КАМ-256
ДМ-2	3	2	
ДМ-3	0,5	7	

Процесс обеспечения ЭМД абонентов телекоммуникационной сети будем рассматривать как операцию. Для разработки метода построена имитационная модель операции. Влияние случайных факторов имитировалось путём моделирования случайных параметров источников излучения, параметров СПТ и параметров среды распространения.

Обобщенный алгоритм представлен на рис. 1.

Рассмотрим последовательность работы блоков алгоритма.

Блок 1 осуществляет ввод исходных параметров синтезируемой СПТ (виды модуляции, предельную стоимость СПТ, являющуюся агрегатом от ЭП в АФУ, РПУ и ДМ).

Блок 2 осуществляет ввод исходных параметров среды распространения радиоволн (тип местности, количество лучей в многолучевом канале, распределение амплитуд и фаз в лучах).

Блок 3 осуществляет ввод верхней границы частного показателя эффективности операции $\nu_{\langle м \rangle}$ обеспечения ЭМД (при количестве видов модуляции $n = 1$ $\nu_{\langle м \rangle} = N_m$).

Блок 4 организует начало цикла генерации случайных параметров СПТ и среды распространения.

Блок 5 (стохастический) моделирует случайные эквивалентные энергетические потери, обусловленные многолучевым распространением радиоволн $\hat{L}^i_{змн}(R^i)$.

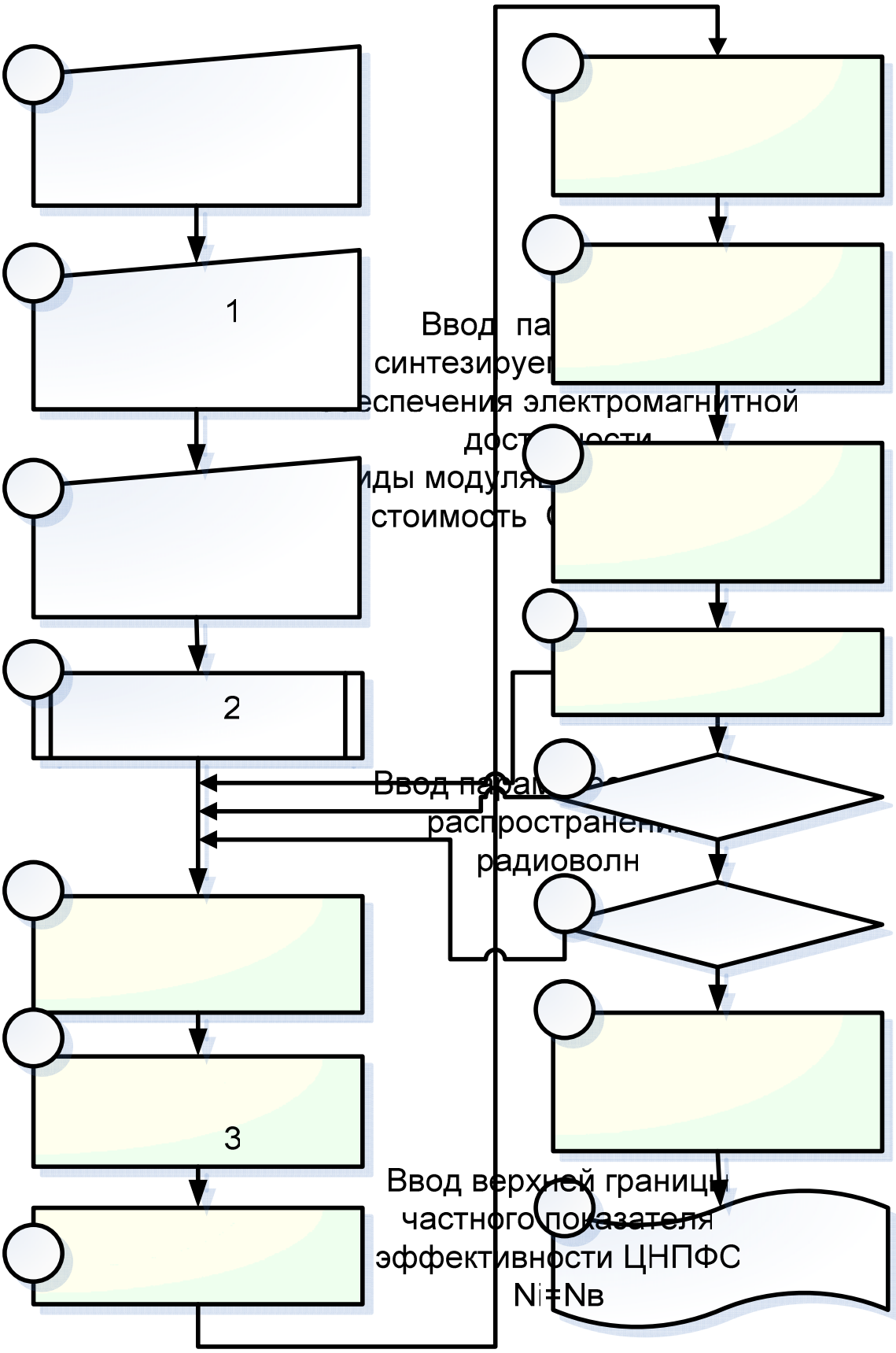


Рис. 1. Обобщенный алгоритм вычисления оценки вероятности достижения цели операции по обеспечению ЭМД

Блок 6 (стохастический) генерирует случайные значения стоимостей подсистем АФУ, РПУ и ДМ, распределенных равномерно от 0 до их верхних предельных стоимостей.

Блок 7 (стохастический) осуществляет вычисление вариаций достижимых ЭП в подсистемах АФУ, РПУ и ДМ ($\Delta^i_{афу}, \Delta^i_{рпу}, \Delta^i_{дм}$) в зависимости от величины финансовых вложений для их реализации. Вычисление ЭП производится как нахождение корней квадратных уравнений аналитических зависимостей стоимостей субсистем СПТ от достижимых ЭП по формулам:

для АФУ:

$$Ц_{афу} = 308,3 - 38,40\Delta + 0,7673\Delta^2; \quad (1)$$

для РПУ:

$$Ц_{рпу} = 17,3 - 4,04\Delta + 0,197\Delta^2; \quad (2)$$

для ДМ:

$$Ц_{ДМ} = 8,293 - 2,684\Delta + 0,1954\Delta^2. \quad (3)$$

Блок 8 (стохастический) осуществляет вычисление случайной реализации общих ЭП СПТ:

$$\Delta^i_{\sum} = \Delta^i_{афу} + \Delta^i_{рпу} + \Delta^i_{дм}. \quad (4)$$

Блок 9 (стохастический) осуществляет вычисление общих ЭП, входящих в модифицированное уравнение энергетического баланса линии связи $\hat{\Delta}^{рл}_{\sum_i}$:

$$\hat{\Delta}^{рл}_{\sum_i} = \hat{\Delta}^i_{\sum} + \hat{L}^i_{змн}(R^i). \quad (5)$$

Блок 10 (арифметический) вычисляет реализацию общей цены СПТ как сумму случайных цен создания подсистем АФУ, РПУ и ДМ.

Блок 11 формирует случайную реализацию двумерного вектора виртуальных результатов операции $\hat{Y}_{\langle 2\rangle}$ по обеспечению ЭМД к абонентам телекоммуникационных сетей. Производится вычисление стохастического частного показателя эффективности операции относительно количества обнаруженных и демодулированных сигналов абонентов телекоммуникационной сети.

Блок 12 (логический) устанавливает факт, что случайная реализация двумерного вектора $\hat{Y}_{\langle 2\rangle}$ удовлетворяет условию $\hat{Y}_{\langle 2\rangle} \geq \hat{Z}_{\langle 2\rangle}$.

Блок 13 (логический) подсчитывает и сравнивает количество случайных реализаций с заданным пределом *K*.

Блок 14 (арифметический) определяет значение оценки вероятности достижения цели операции по обеспечению ЭМД. Результатом имитационного моделирования будет оценка вероятности события, вычисляемая как отношение числа удачных опытов $\hat{Y}_{\langle 2\rangle} \geq \hat{Z}_{\langle 2\rangle}$ к общему числу проведенных опытов.

Блок 15 осуществляет вывод полученных в ходе статистического имитационного моделирования оценок $\tilde{P}_{ДЦ}$, реализаций цен создания АФУ, РПУ и ДМ, на основе которых возможен синтез СПТ, удовлетворяющий условию $\hat{Y}_{\langle 2\rangle} \geq \hat{Z}_{\langle 2\rangle}$ и конкретному значению оценки вероятности достижения цели.

Результатом моделирования является множество точек вероятностей достижения целей при заданных значениях допустимых цен на создание СПТ и предельных значениях частного показателя эффективности. При этом в декартовой системе координат каждой координате $Ц_i$ соответствует своя тройка цен $Ц_{афу}$, $Ц_{рпу}$, $Ц_{дм}$ (рис. 2).

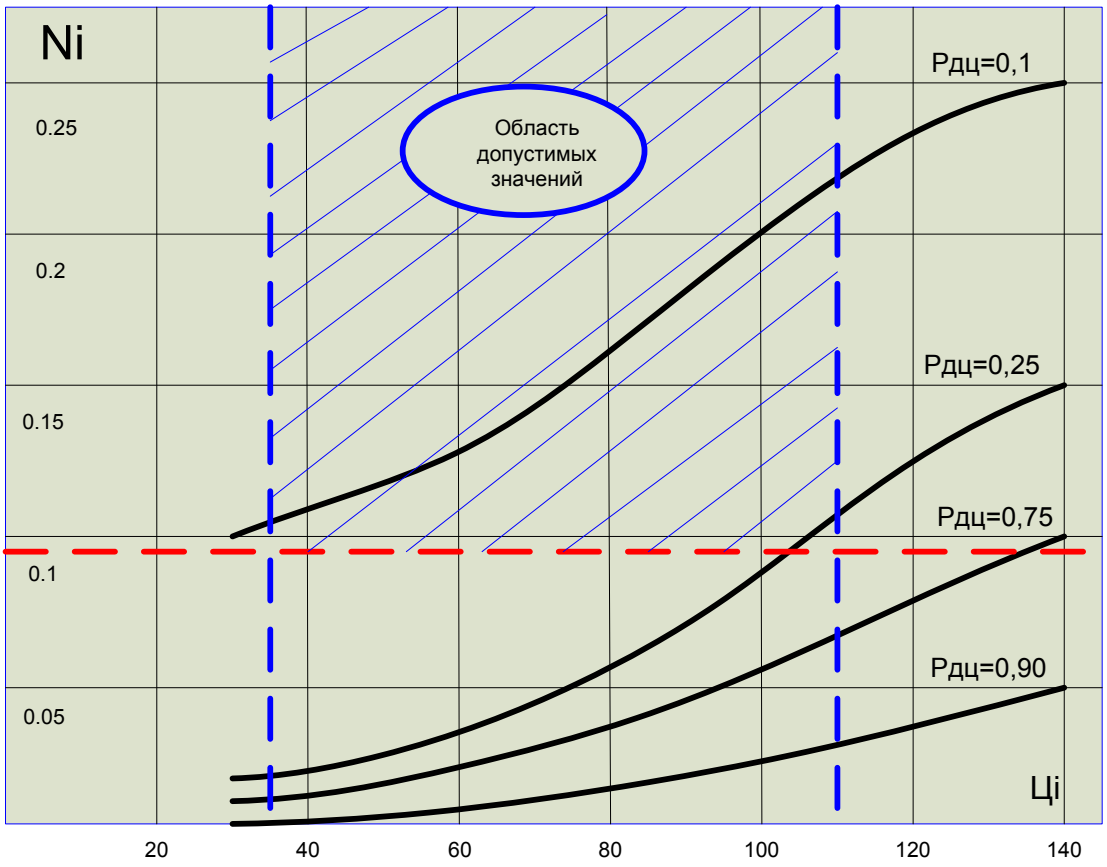


Рис. 2. Зависимости частного показателя эффективности операции от нормированной стоимости СПТ при фиксированных вероятностях достижения цели операции по достижению ЭМД

Из множества кривых достижения вероятностей цели, представленных на рис. 2, выбираются такие, которые попадают в заранее оговоренную область допустимых значений (ОДЗ), это кривые 1 и 2. Из этих кривых выбирается кривая 1, так как она обеспечивает наибольший виртуальный показатель целевого эффекта операции. На кривой 1, в свою очередь, выбираются пары эффективных точек, обеспечивающих максимальное значение виртуального целевого эффекта операции при затратах, не превышающих директивных. Этой паре точек соответствует точка № 5. По выборкам результатов статистического имитационного моделирования, соответствующим Ni = 0,23, и нормированной цене $Ц$ = 110 определяем «тройку» цен АФУ, РПУ и ДМ. Эти цены являются определяющими при укрупненном параметрическом синтезе СПТ. Исходя из выражений (1)–(3) определяются допустимые ЭП для АФУ, РПУ и ДМ.

Выводы

1. Разработан метод укрупненного синтеза антенно-фидерных, радиоприемных и демодуляторных устройств сигнально-приемного тракта.

2. Результаты укрупненного синтеза позволяют предъявить требования к предельно допустимым ЭЭП АФУ, РПУ и ДМ. Это, в свою очередь, является основой для второго этапа – параметрического синтеза АФУ, РПУ и ДМ.

Список литературы

1. Мухин И.Е. Методологические основы синтеза технических средств обеспечения автоматизированного радиомониторинга современных систем телекоммуникаций: монография. Курск, 2010. 256 с.

2. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М., 2006. 501 с.

3. Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения. М., 2005. 332 с.

Получено 20.04.12.

I.E. Muhin, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: okbavia@fitmail.ru)

EXTENDED SIGNAL-RECEIVING PATHS SYNTHESIS OF NEXT-GENERATION TELECOMMUNICATION COMPLEXES

The method of extended signal-receiving paths synthesis of next-generation complex telecommunications is developed, which includes antenna-feeder device, radio receiver and demodulator device, based on new backbone factor application of overall power losses.

Key words: *equivalent power losses, signal-receiving paths, backbone factor.*

УДК 004.94

Ю.А. Векленко, канд. техн. наук, начальник отдела стендов и технологических средств контроля, ОАО «Прибор» ОКБ «Авиаавтоматика» (Курск)
(e-mail: okb@aviavtom.kursk.ru)

А.С. Киселев, инженер-конструктор, ООО «ОКБ «Авиаавтоматика» (Курск)
(e-mail: kbavia@fitmail.ru)

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРКИ КОМПЛЕКСА АВИАЦИОННОГО ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ПРЕДПОЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА – ГАРАНТИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ БОЕВОЙ ЗАДАЧИ

Представлен состав комплекса авиационного вооружения и подход к современному проведению предполетной подготовки летательного аппарата.

Ключевые слова: *комплекс авиационного вооружения, предполетная подготовка летательного аппарата.*

***

Проблема предполетной подготовки, особенно в период наземных и летных испытаний летательного аппарата (ЛА), всегда волновала генеральных разработчиков и испытателей ЛА.

Цель предполетной подготовки, одного из направлений системы технического обслуживания самолетов фронтовой авиации, является контроль технического состояния комплекса авиационного вооружения (КАВ). Предполетная подготовка ЛА позволяет предотвратить выпуск в полет неисправного самолета, снаряженного авиационными средствами поражения (АСП).

В связи с отсутствием специальной аппаратуры, обеспечивающей предполетную подготовку с имитацией АСП, разработчиками самолетов издавна использовались самодельные устройства, так называемые «заглушки», повышавшие на какой-то период эффективность отладочных работ на этапе предполетной подготовки [1].

С течением времени эффективность предполетных проверок ЛА, осуществляемых при помощи «заглушек», сильно снизилась в связи с усложнением КАВ. Усложнились логика функционирования, реализация каналов сопряжения и информационного канала управления АСП. Расширилась номенклатура стандартных интерфейсов, обеспечивающих взаимодействие на всех уровнях, от межмодульного в составе СУО и межмашинного обмена в составе КАВ до взаимодействия с наземными комплексами. Современные авиационные бортовые системы представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы, принимающие

и обрабатывающие до 12 000 единиц информации, поступающей от датчиков и смежных систем по таким цифровым и аналоговым бортовым интерфейсам, как ARINC-429, ARINC-708, ARINC-717, MIL-STD-1553, IEEE-488, CAN, RS-232/422/485, ЦАП, АЦП, дискретные сигналы, интерфейс телевизионной информации [3].

Комплекс авиационного вооружения (КАВ) – совокупность систем и устройств, предназначенных для поражения воздушных, наземных, надводных и подводных целей.

Структурная схема КАВ представлена на рисунке 1. КАВ включает множество систем и подсистем, количество которых определяется объемом задач, решаемым комплексом, и номенклатурой целей.

Неуправляемые АСП – это АСП, траектория движения которых к цели не корректируется. К ним относятся: авиационные бомбы (АБ), неуправляемые авиационные ракеты (НАР), артиллерийские боеприпасы.

Управляемые АСП – это АСП, которые имеют специальные устройства для формирования управляющей силы, изменяющей направление движения АСП с целью устранения ошибок (прицеливания, стартовых, случайных воздействий) и наведения на маневрирующею цель.

Поражающие факторы действия АСП на объекты противника: ударное действие, фугасное, осколочное, кумулятивное (бронебойное, бетонобойное) и зажигательное.

Устройства снаряжения ЛА авиационным вооружением – совокупность различных устройств, расположенных на летательном аппарате и предназначенных для эффективного боевого применения АСП.

По типу применяемых АСП установки подразделяются на ракетно-бомбардировочные установки (РБУ) и артиллерийские установки (АУ).

РБУ служат для загрузки, крепления, обеспечения условий транспортировки и безопасного отделения от ЛА авиационных бомб, неуправляемых и управляемых ракет.

АУ служат для крепления оружия, наведения его на цель, питания его патронами, отвода стреляных гильз и звеньев.

Система управления вооружением – совокупность подсистем и устройств, предназначенных для связи АСП с объектами летательного аппарата для решения следующих задач:

– обеспечения АСП и установок необходимыми номенклатурами электропитания, сжатых газов;

– обеспечения условий транспортировки АСП и подготовки в соответствии с заданными алгоритмами расчетов траекторий движения, установок взрывательных устройств;

– обеспечения предстартовой подготовки и организации огня всеми видами АСП для достижения максимальной эффективности поражения целей и безопасности их отделения от ЛА, а также аварийное использование подвесок, регистрация параметров работы объектов КАВ и команд, выдаваемых экипажем.

Прицельно-навигационные системы – совокупность датчиков информации, средств их обработки, предназначенных для решения задач прицеливания для различных типов и видов АСП и выдача экипажу текущей и разовой информации о целях и о степенях готовности АСП к применению.

Наземные средства обеспечения – это аппаратура для контроля и подготовки к боевому вылету ЛА и АСП, а также средства с помощью которых осуществляется снаряжение ЛА авиационными средствами поражения. Часть наземных средств обеспечения входит в состав бортового оборудования ЛА, часть – в состав наземного аэродромного оборудования [4].

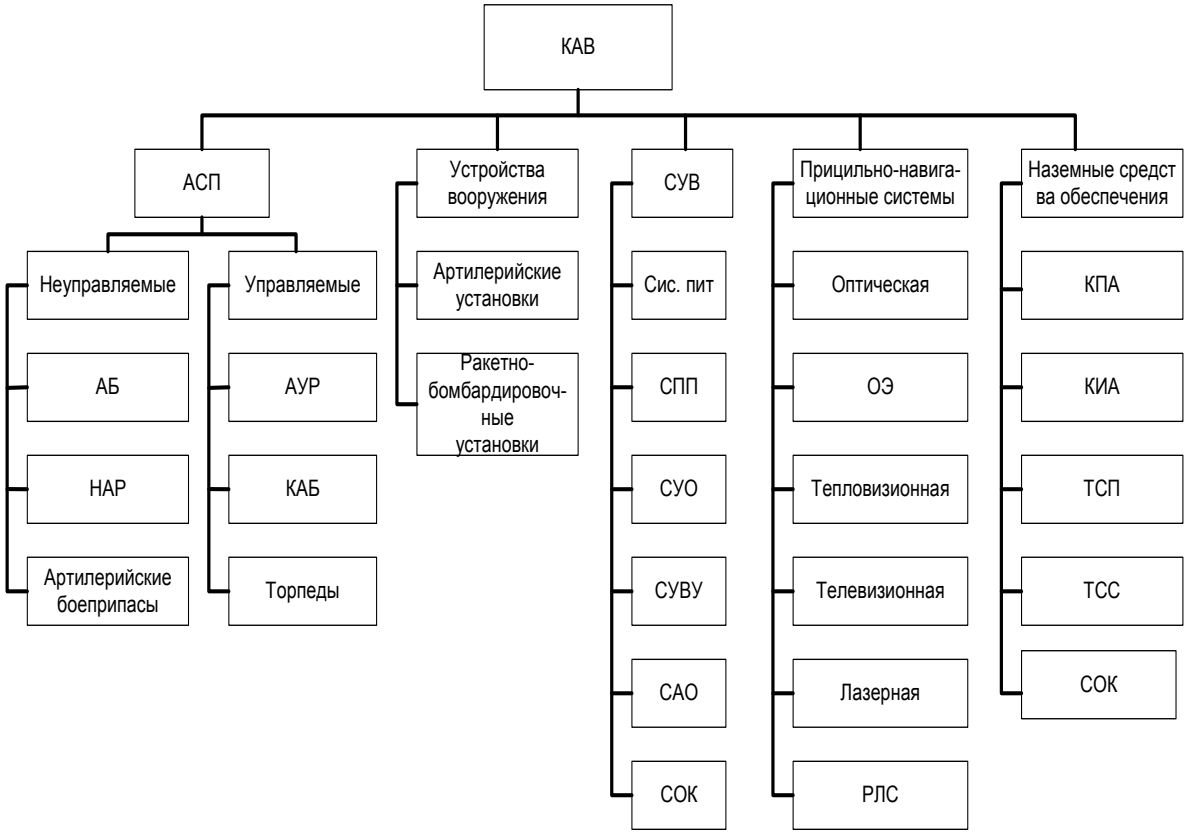


Рис. 1. Структурная схема КАВ: СУВ – система управления вооружением; СПП – система предстартовой подготовки; СУО – система управления оружием; СУВУ – система управлением взрывательных устройств; САО – система аварийного отделения; СОК – система объективного контроля; КПА – контрольно-проверочная аппаратура; КИА – контрольно-испытательная аппаратура; ТСП – транспортная система подвески АСП; ТСС – транспортная система стыковки

В состав информационного канала управления АСП был введен мультиплексный канал связи. Значительно усложнилась аппаратная реализация систем, ответственных за информационный обмен с АСП.

При этом развитие бортовых средств вычислительной техники, каналов информационного обмена и систем встроенного контроля не привело к отказу от наземной аппаратуры контроля по причине того, что часть аппаратуры КАВ, выполняющая функции коммутации и преобразования электрических сигналов, не охвачена и принципиально не может быть охвачена средствами встроенных систем контроля (ВСК) без существующего увеличения бортовых аппаратных затрат [2].

В связи с этим четко прослеживается тенденция усложнения аппаратуры контроля цепей управления АСП – от специализированных «заглушек» для имитации определенных типов АСП, работающих по жестко заданным алгоритмам, до унифицированной высокоинтеллектуальной АКПА, способной к осуществлению различных функций.

Основное отличие нового поколения такой аппаратуры – наличие центрального пульта управления в виде защищенного ноутбука, планшетного компьютера или иного устройства, имеющего встроенный вычислитель и устройства ввода/вывода информации и реализующего алгоритмы контроля, а также наличие электронных блоков, так называемых «адаптеров», подключаемых к точкам подвески ЛА и выполняющих функции преобразователей интерфейсов.

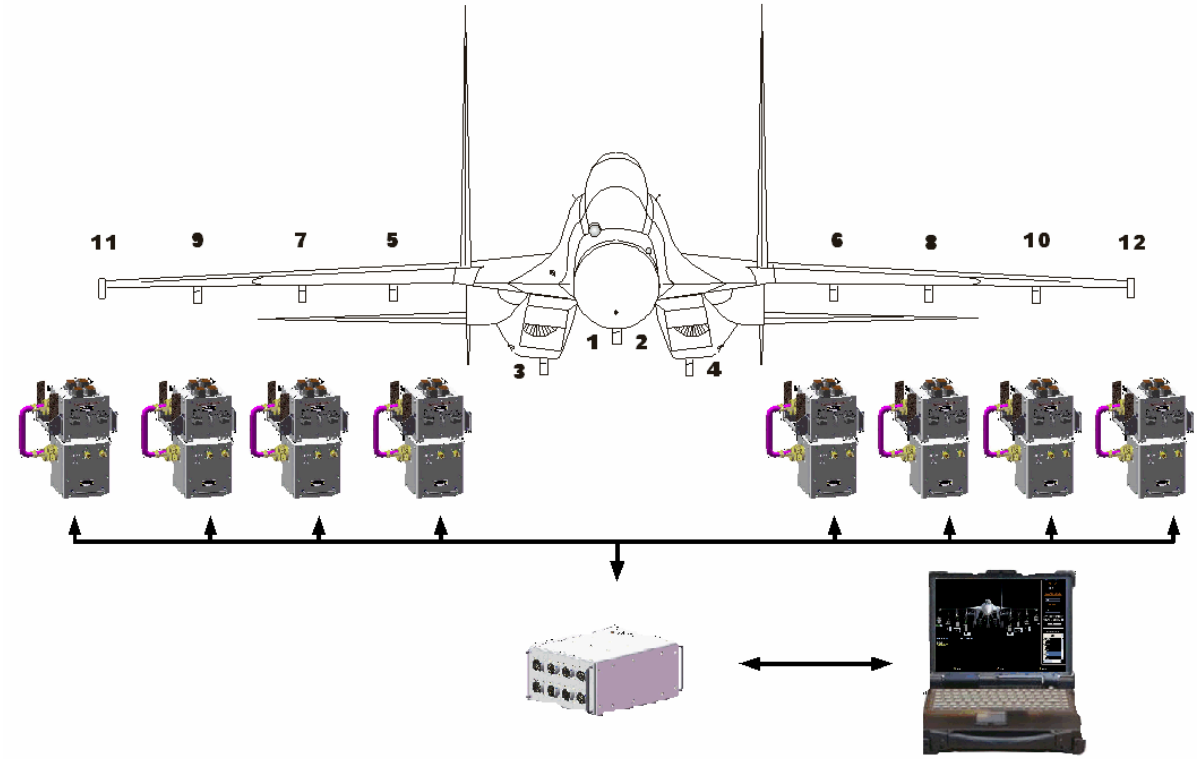


Рис. 2. Подключение АКПА к точкам подвески ЛА

АКПА имитирует сигналы АСП, цепи которых подлежат проверке, посредством подключения через отрывные разъемы к подвесному устройству точки подвески ЛА электронных блоков. Центральный пульт управления, обеспечивающий связь с адаптерами посредством мультиплексного канала связи, осуществляет наглядную и логически понятную визуализацию процесса контроля проведения предполетной подготовки.

Режим контроля цепей управления (КЦУ) задается либо с пульта наземной подготовки ЛА, либо путем задания признака КЦУ программным методом, контролер КАВ начинает работать с АКПА и другим оборудованием по мультиплексному каналу информационного обмена. Проверка оборудования, обеспечивающего применение АСП, осуществляется циклически. Контролер КАВ работает с АКПА в режиме «команда-ответ». Формируя информационный массив данных, он передает его в АКПА, которая имитируя сигналы АСП, передает информационный массив данных в контролер КАВ по мультиплексному каналу связи. Тем самым реализуется замкнутый цикл, который за счет своего многократного повторения и анализа временных задержек позволяет судить об исправности оборудования, обеспечивающего применение АСП. Эти данные используются по окончании процесса предполетной проверки для отрисовки диаграмм в графическом анализаторе, формирования электронного отчета и пополнения банка данных обслуживания ЛА.

Предполетная подготовка ЛА, как часть системы технического обслуживания самолетов фронтовой авиации, является важнейшей составляющей контроля технического состояния ЛА. Проведение предполетной подготовки с помощью АКПА перед каждым вылетом ЛА позволит предотвратить выпуск в полет неисправного самолета, снаряженного АСП, а также значительно снизить время проведения предполетной подготовки ЛА, и в частности КАВ, гарантировать работу

КАВ при прицеливании управляемыми АСП. Дополнительное преимущество проверки ЛА с АКПА с мультиплексным каналом информационного обмена – отсутствие необходимости изменения борта ЛА.

Список литературы

1. Тарасов В.В. ОКБ «Авиаавтоматика».45 лет созидания. Годы и люди. М.: «Издательская группа «Бедретдинов и Ко», 2003. С. 49.

2. Тарасов В.В. Время выбрало нас… М.: «Издательская группа «Бедретдинов и Ко», 2008. С. 93.

3. Шишкин В.В., Черкашин С.В., Кочетков А.Н. Диагностирование авиационных бортовых информационных систем в режиме реального времени // Датчики и системы. М., 2010. С. 24.

4. Чечик Д.Л. Вооружение летательных аппаратов: учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 2002. С. 6.

Получено 19.04.12.

Yu.A. Veklenko, Candidate of Sciences, Head of Testbed and Technological Control Means Department, «Aviaavtomatika» Development Labs, Kursk Joint-stock Company «Pribor» (e-mail: yu.veklenko@gmail.com)

A.S. Kiselyov, Engineer, «Aviaavtomatika» Development Labs (Kursk) (e-mail: kbavia@fitmail.ru)

THE STRUCTURE OF A COMPLEX OF AVIATION ARMS AND APPROACH TO MODERN CARRYING OUT PREFLIGHT PREPARATION OF THE AIRCRAFT IS PRESENTED

Represented by the complex air armament and modern approach to conducting the preflight preparation of the aircraft.

Key words: *complex of aviation arms, automation of check of the flying machine.*

УДК: 681.518; 004.896.

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

М.В. Бобырь, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

Г.Ю. Акульшин, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ak.grigoriy@gmail.com)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТРУНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

В статье рассматривается автоматизированная самонастраивающаяся система управления температурными деформациями, которая позволяет в режиме реального времени устранять погрешности, возникающие при обработке деталей.

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, нечётко-логический вывод, температурные деформации.*

***

Введение. При высокоскоростной обработке (ВСО) на станках с ЧПУ причинами несоответствия полученных размеров детали требуемым являются как геометрические отклонения исходной заготовки, так и отклонения её физико-механических свойств [1]. Но помимо этого на конечный результат ВСО детали влияют тепловые деформации, которые вызывают изменение формы и смещение относительного положения рабочих элементов технологической системы. В результате изменяется размер статической настройки станка, что приводит к погрешностям базирования и обработки деталей.

Значения температурных деформаций обусловлены количеством тепла, выделяемого в процессе ВСО, поэтому важно предупреждать резкое возрастание температуры в различных зонах технологической системы путем корректирования параметров обработки. Особенное внимание следует обратить на зону резания, так как количество выделяемого здесь тепла повышается с увеличением скорости резания, что ведет к появлению температурных деформаций.

Для решения этой задачи авторами предлагается автоматизированная самонастраивающаяся система управления температурными деформациями, позволяющая автоматически изменять параметры ВСО (на основании нечеткологического вывода) для поддержания требуемых температурных значений в рабочих зонах технологической системы.

Методы компенсации температурных деформаций

Значение и направление действия температурных деформаций в значительной степени определяется размещением тепловыделяющих элементов, а также компоновкой и конструкцией базовых механизмов станка. Наибольшее влияние на температурные деформации оказывают собственные элементы станка и устройства ЧПУ, выделяющие тепло вследствие:

– превращения электрической энергии в тепло;

– превращения механической энергии в тепло (потери на трение деталей друг о друга, в процессе резания и др.);

– потери энергии в гидроустройствах станка.

По этим причинам в процессе ВСО на оборудовании с ЧПУ происходит выделение избыточного тепла и неравномерный нагрев его механизмов и деталей. В результате происходит изменение первоначальных размеров и относительного положения в пространстве подвижных органов станка.

Температурные деформации таких элементов станка, как передняя и задняя бабки, станина, суппорт, в отличие от режущего инструмента происходят за более длительный промежуток времени. При этом влияние деформаций инструмента на точность ВСО деталей часто является наиболее выраженным (0,001–0,1 мм и более). Значительное влияние на точность ВСО могут оказывать и температурные деформации деталей, так как количество тепла, проходящего через них, может составлять 50-60% от общего его количества.

В настоящее время основными методами, направленными на уменьшение температурных деформаций, являются: применение искусственного охлаждения, правильное закрепление деталей с условием обеспечения компенсации их деформаций, правильная компоновка узлов станка, применение различного рода компенсаторов, установка теплообменников и рациональное построение гидросхем для станков с гидроприводами, применение вентиляционных устройств, правильная конструкция деталей станка и ряд других. Недостатками большей части описанных выше методов уменьшения температурных деформаций являются усложнение конструкции станка и увеличение финансовых затрат на запуск производства.

Наиболее эффективным средством борьбы с погрешностями ВСО, возникающим из-за температурных деформаций, следует считать применение систем автоматического управления, которые позволяют осуществлять контроль над точностными параметрами обрабатываемых деталей.

Структура системы управления температурными деформациями

В технологической системе, представленной на рисунке 1 [2], значение

температурных деформаций в зоне резания напрямую зависит от температуры резания t (°С), которая изменяется пропорционально изменению скорости резания V (м/мин). Электрореологический патрон служит для компенсации тепловых деформаций шпинделей, уменьшает биения и помогает точнее базировать деталь.

Поддерживая определенные значения температуры резания для различных температурных режимов обработки, возможно предотвратить возникновение температурных деформаций резца и детали, а следовательно, уменьшить погрешности обработки на текущей и последующих стадиях производства. Для того чтобы автоматизировать процесс поддержания температурных значений в рамках заданного температурного режима, необходимо определить с помощью корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязь исследуемых параметров – скорости резания V (м/мин) и температуры в зоне резания t (°С).

Корреляционно-регрессионный анализ взаимосвязи температуры резания и скорости резания

Наблюдения показали, что зависимость температуры резания t от скорости резания v предпочтительно описывать функцией вида [3]

$$t = av^b, \qquad (1)$$

где a, b – неизвестные коэффициенты.

Рассмотрим экспериментальное исследование взаимосвязи скорости резания и температуры (при температурном режиме обработки от 90°С до 220°С), которое задано нелинейным выражением (1), данные для расчета приведены в таблице.

По методике, рассмотренной в [4], получено уравнение регрессии

$$t = e^{2,15}V^{0,45} = 8,59 \cdot V^{0,45}. \qquad (2)$$

Таким образом, данный анализ показал, что взаимосвязь между скоростью резания и температурой резания описывается выражением (2), графическое представление которого показано на рисунке 2.

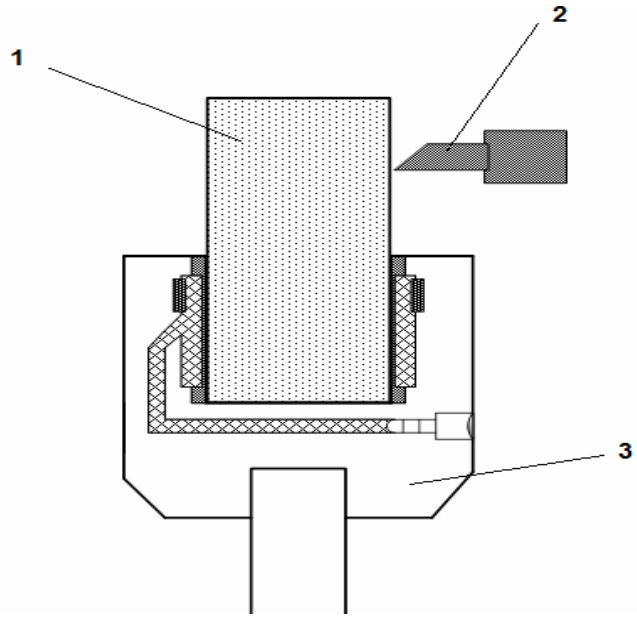


Рис. 1. Приспособление для высокоскоростной обработки:
1 – деталь; 2 – резец; 3 – электрореологический патрон

Взаимосвязь скорости резания и температуры резания

№ опыта	*v*, м/мин	*t*, °C	№ опыта	*v*, м/мин	*t*, °C
1	200	102	11	700	158
2	250	104	12	750	164
3	300	110	13	800	170
4	350	116	14	850	176
5	400	122	15	900	182
6	450	128	16	950	188
7	500	134	17	1000	194
8	550	140	18	1050	200
9	600	146	19	1100	206
10	650	152	20	1150	212

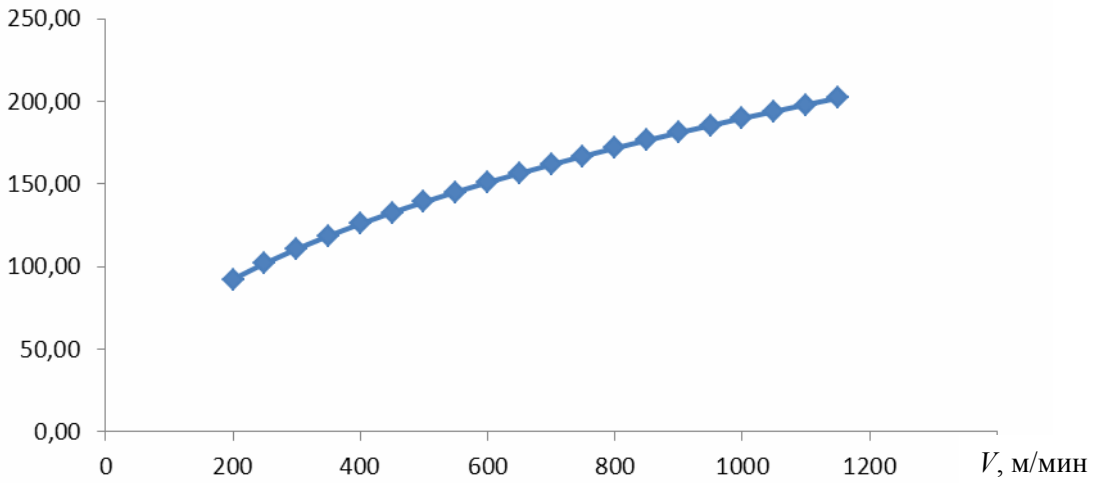


Рис. 2. График уравнения регрессии, полученного в ходе КРА

Также были проведены экспериментальные исследования взаимосвязи скорости резания и температуры резания, которая задана нелинейным выражением (1), при температурных режимах обработки от 190°C до 320°C и от 290°C до 420°C.

В результате исследования получены следующие результаты:

1. При температурном режиме обработки от 190°C до 320°C взаимосвязь между скоростью резания и температурой резания описывается выражением

$$t = e^{2,15} V^{0,45} = 42,37 \cdot V^{0,28}.$$

2. При температурном режиме обработки от 290°C до 420°C взаимосвязь между скоростью резания и температурой резания описывается выражением $t = e^{2,15} V^{0,45} = 105,51 \cdot V^{0,19}$.

Создадим систему нечеткологического вывода (НЛВ) и покажем, что она способна моделировать зависимость температуры резания от скорости резания при трех температурных режимах работы станка, а также автоматически корректировать значения скорости резания для поддержания заданной температуры в зоне резания.

Реализация системы управления температурными деформациями

Для моделирования работы автоматизированной самонастраивающейся системы управления температурными де-

формациями целесообразно использовать алгоритм НЛВ Тсукамото, так как он способен поддерживать систему в устойчивом состоянии во всем диапазоне рабочих значений входных параметров, при этом заключения функций принадлежности (ФП) имеют вид монотонной функции: экспонента, парабола, константа, канторова лестница и др. Алгоритм НЛВ системы управления температурными деформациями представлен на рис. 3.

Алгоритм Тсукамото состоит из трех этапов:

1. Этап фаззификации входных данных. Сначала, исходя из предпосылок нечетких правил управления (НПУ), производится формирование функций принадлежности термов входной переменной: температуры в зоне резания T, а также выходной переменной: скорости резания V:

$$T = \{< t,\ \mu(t) >\},\ V = \{< v,\ \mu(v) >\},$$

где t – численные значения температуры в зоне резания; $\mu(t) \rightarrow [0,\ 1]$ – соответствующие величинам температуры значения функции принадлежности (из интервала от 0 до 1); v – численные значения скорости резания; $\mu(v) \rightarrow [0,\ 1]$ – соответствующие величинам скорости резания значения функции принадлежности (из интервала от 0 до 1).

Функции принадлежностей входной переменной T, полученные методом парных сравнений [5], состоят из трех термов (рис. 4).

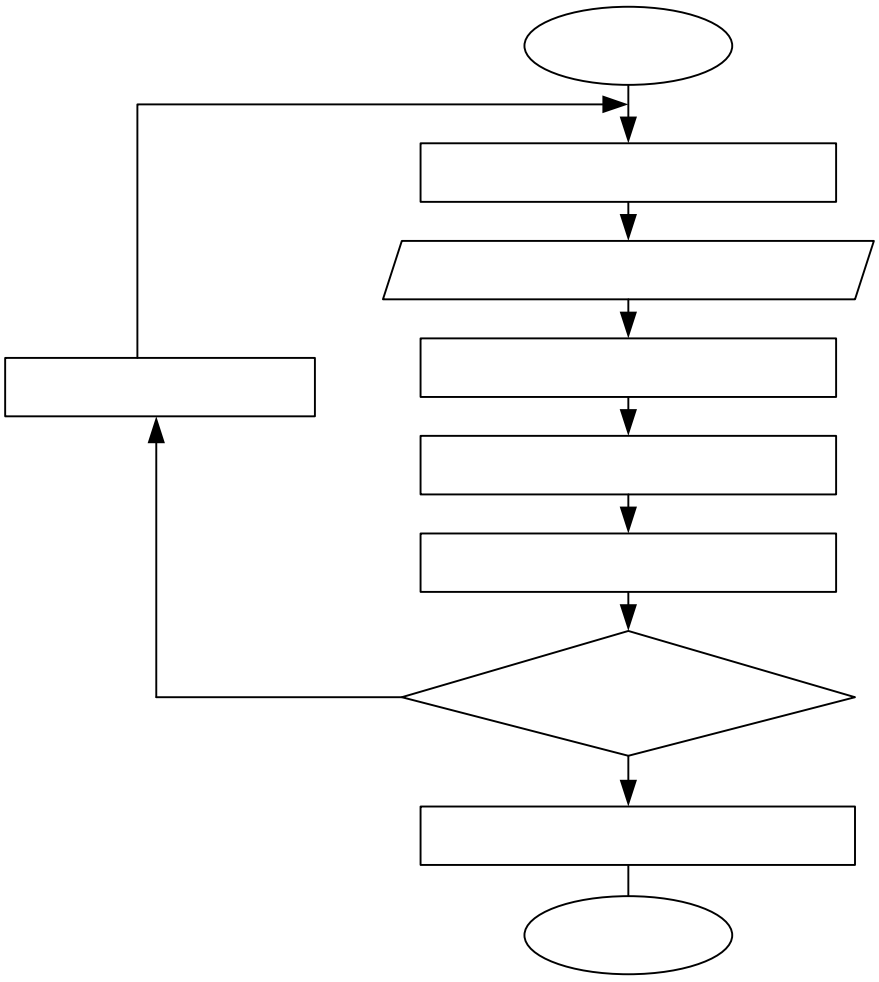


Рис. 3. Алгоритм функционирования системы управления температурными деформациями

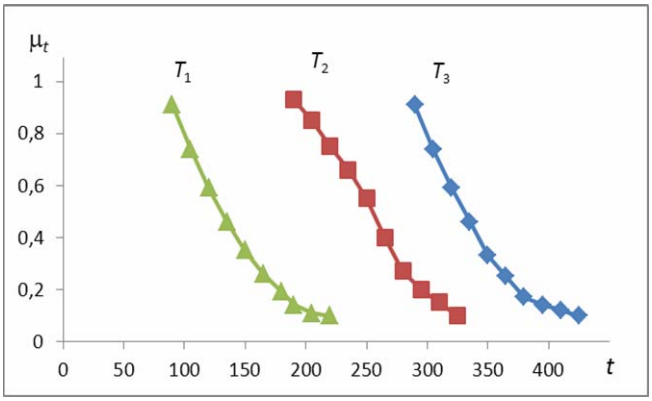


Рис. 4. Функции принадлежности трех термов температуры резания

Для температуры $T = (t_1, t_2, t_3)$ функция принадлежности t_1 формируется для значений температуры от 90°С до 220°С, t_2 – от 190°С до 320°С и t_3 – от 290°С до 420°С.

Функция принадлежности для выходной переменной V состоит из одного терма – скорость резания $V=(v_1)$ и формируется для значений скорости резания от 200 до 1200 м/мин. Изображение функции принадлежностей выходной переменной V, полученной методом парных сравнений, представлено на рисунке 5.

После того, как функции принадлежности сформированы, производится фаззификация, при которой в зависимости от текущего значения температуры t формируется фаззифицированный вектор значений для каждого терма функции принадлежности t', где текущее значение температуры t является аргументом $\mu(t)$, позволяя найти количественное значение из интервала [0, 1] для $t'=\mu(t)$. Этап фаззификации считается законченным, когда будут найдены значения t' для трех термов функций принадлежностей входной величины T:

$$t' = (t'_1,\ t'_2,\ t'_3).$$

2. Этап логического вывода. Во время операции импликации находятся уровни отсечения для каждой предпосылки НПУ $a_i=t_i(t)$. Затем на этапе композиции, используя известные уравнения заключений НПУ, определяются координаты по оси абсцисс:

$$v_i = V_i(a_i).$$

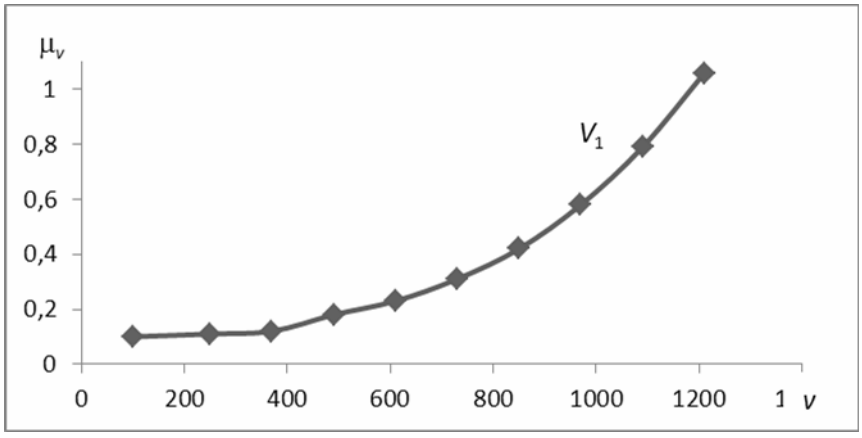


Рис. 5. Функция принадлежностей скорости резания

3. Этап дефаззификации. С помощью одного из методов дефаззификации находится выходное значение системы [6].

Рассмотрим пример функционирования данного алгоритма. Этапы его выполнения изображены на рисунке 6.

На вход информационной системы поступает значение температуры в зоне резания: t = 200°С.

На первом этапе определяются степени принадлежности для входных переменных: $\alpha_1(t) = 0{,}12$; $\alpha_2(t) = 0{,}85$.

На этапе логического вывода при реализации операции импликации находятся уровни отсечения: $\alpha_2 = 0{,}12$; $\alpha_3 = 0{,}85$.

На шаге композиции определяются координаты по оси абсцисс: $v_1(a_1)$ = = 390 м/мин; $v_1(\alpha_2) = 1090$ м/мин.

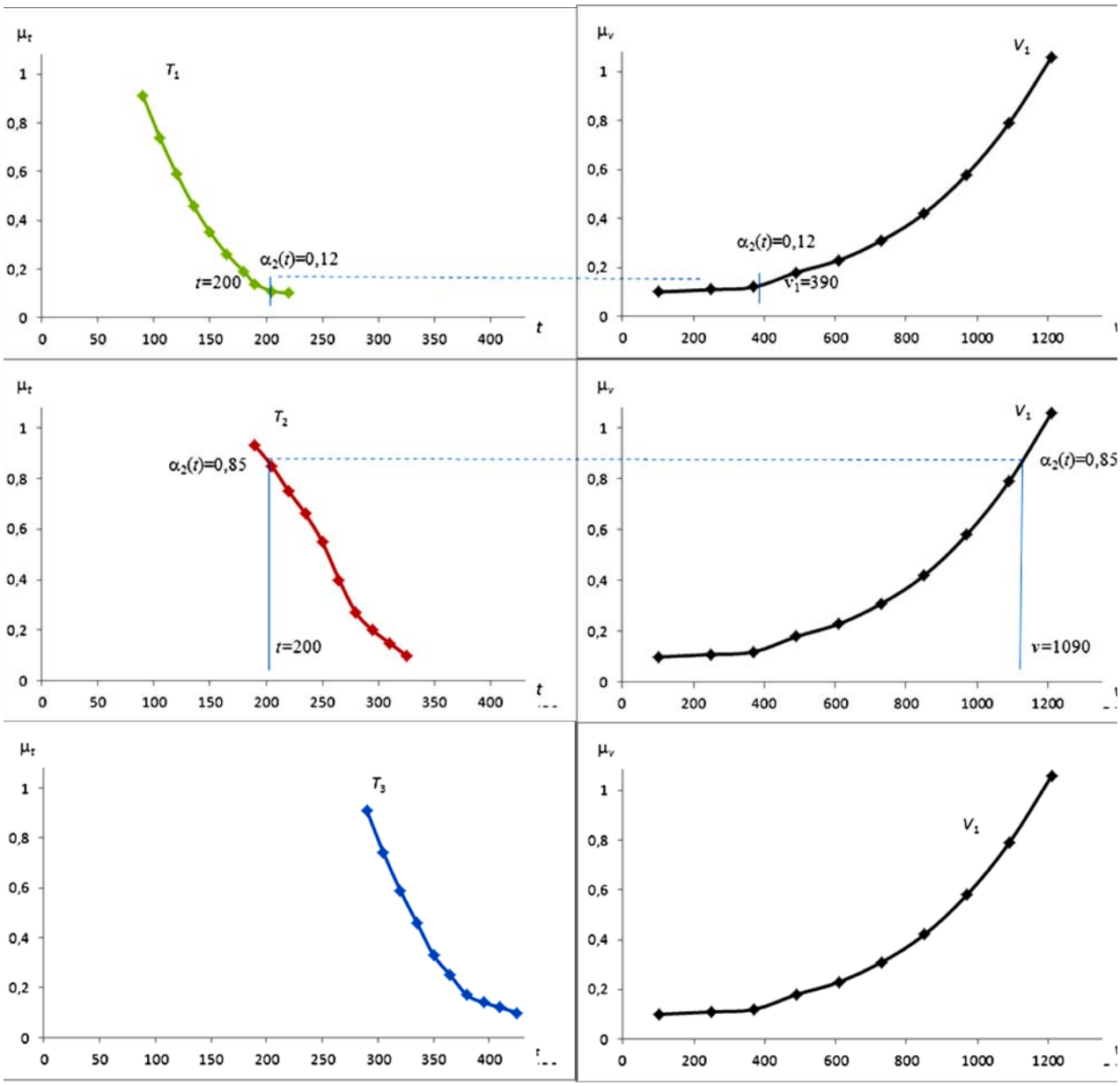


Рис. 6. Этапы функционирования системы управления температурными деформациями

На третьем этапе алгоритма выполняется операция дефаззификации выходного значения по формуле

$$y = \frac{\alpha_1 v_1(a_1) + \alpha_2 v_1(a_2)}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{0{,}12 \cdot 390 + 0{,}85 \cdot 1090}{0{,}85 + 0{,}12} = 1074 \ .$$

В результате получаем значение выходного параметра скорости резания v = 1074 м/мин. Подставим значение v_1 = 1074 м/мин в выражение (2) и получим температуру резания при заданном температурном режиме: t = 198,54°С. При этом, чтобы получить реальную температуру резания t = 200°С, скорость резания должна равняться v = 1091 м/мин (см. рис. 2), следовательно, необходимо скорректировать значение скорости резания на 17 м/мин для получения реальной температуры резания, равной t = 200°С.

Таким образом, автоматизированная самонастраивающаяся система управления температурными деформациями позволяет в автоматическом режиме регулировать скорость резания для поддержания заданной температуры резания при различных температурных режимах обработки, что способствует уменьшению значений температурных деформаций и погрешностей обработки деталей.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ МК-277.2012.8 и АВЦП. Шифр: 7.3522.2011.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. С. 300–303.

2. Бобырь М.В., Акульшин Г.Ю., Ширабакина Т.А. Система фиксации деталей на основе электрореологического эффекта // Известия высших учебных заведений. Сер. «Приборостроение». 2012. № 2. С. 47–51.

3. Физические эффекты в машиностроении: справочник / В.А. Лукьянец, З.И. Алмазова, Н.П. Бурмистрова [и др.]; под общ. ред. В.А. Лукьянеца. М.: Машиностроение, 1993. 224 с.

4. Бобырь М.В., Титов В.С., Червяков Л.М. Адаптация сложных систем управления с учётом прогнозирования возможных состояний // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 5. С. 3–10.

5. Бобырь М.В. Модифицированный алгоритм нечетко-логического вывода в задачах управления оборудованием с ЧПУ // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2011. № 4. С. 26–32.

6. Бобырь М.В., Титов В.С., Анциферов А.В. Алгоритм высокоскоростной обработки деталей на основе нечеткой логики // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2012. № 6. С. 21–26.

Получено 24.04.12.

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

M.V. Bobyr, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

G.U. Akulshin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: ak.grigoriy@gmail.com)

THE AUTOMATED ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF TEMPERATURE DEFORMATION

The article describes the automated adaptive control system of temperature deformation, which allows in the real-time mode eliminate the errors that arise during the processing of parts. The work is done in the framework of the АВЦП Code: 7.3522.2011 and grants of the president of the RUSSIAN federation MK-277.2012.8.

Key words: *automated control system, fuzzy logic conclusion, temperature deformation.*

УДК 004.272.3

Р.В. Бредихин, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)

И.В. Зотов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: zotovigor@yandex.ru)

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ПРОЦЕДУРА ЦИКЛИЧЕСКОЙ БАРЬЕРНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ ОДНОКРИСТАЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ МУЛЬТИКОМПЬЮТЕРОВ

Представлена распределенная аппаратно-ориентированная процедура, описывающая процесс барьерной синхронизации в циклических параллельных программах, выполняемых однокристальными матричными мультикомпьютерами, проведено исследование динамической корректности процедуры с использованием аппарата сетей Петри.

Ключевые слова: *однокристальные мультикомпьютеры, СБИС, параллельные процессы, барьерная синхронизация, сети Петри.*

***

Современная технология дает возможность создания СБИС емкостью свыше 2 млрд транзисторов, позволяя реализовать на одной микросхеме мощные мультикомпьютеры, содержащие 100 и более процессорных модулей. Типичными представителями таких однокристальных систем являются матричные мультикомпьютеры фирмы Tilera, объединяющие от 32 до 100 процессорных элементов, связанных коммуникационной средой в двухмерную матричную структуру [1].

Функционирование мультикомпьютеров сопряжено с выполнением ряда коммуникационных операций, к числу которых относится барьерная синхронизация. Она заключается в согласовании моментов завершения и запуска параллельных ветвей программы в определенной ее точке (называемой барьером) и предполагает приостановку выполнения некоторых ветвей (процессов) до наступления условия синхронизации, при котором все требуемые процессы достигли барьера [2]. Недостаточно эффективная организация синхронизации может значительно увеличить общее время выполнения параллельной программы, ограничивая производительность мультикомпьютера.

Реализация барьерной синхронизации на программном уровне связана с необходимостью передачи большого числа служебных сообщений между взаимодействующими процессами, в связи с чем на практике большее распространение получила синхронизация на аппаратном уровне. Идея подобной аппаратной синхронизации уже нашла воплощение во многих коммерческих системах и широко представлена в литературе в форме различных аппаратно-ориентированных процедур синхронизации [3-6]. На современном этапе развития вычислительной техники особый интерес представляют распределенные аппаратные процедуры синхронизации, которые, с одной стороны, органично вписываются в архитектуру однокристальных мультикомпьютеров, а с другой стороны, позволяют достичь более высокой скорости межпроцессорного взаимодействия при сохранении уровня гибкости и масштабируемости, присущего программно реализованным процедурам синхронизации [7,8].

В данной статье предлагается модификация известной распределенной процедуры барьерной синхронизации, основанной на применении многослойной координирующей среды [9], обеспечивающая дальнейшее ускорение межпроцессорного взаимодействия в матричных мультикомпьютерах при реализации циклических параллельных программ.

Характеристика задачи обеспечения барьерной синхронизации

Барьерная синхронизация заключается во временно́м согласовании этапов

завершения и запуска некоторого подмножества параллельных процессов (барьерной группы), размещенных в различных процессорных модулях. Процесс синхронизации состоит из двух последовательно протекающих фаз. Начало первой фазы определяется моментом завершения первого из процессов, входящих в барьерную группу. По завершении последнего синхронизируемого процесса первая фаза считается законченной (барьер достигнут). Далее сразу же начинается вторая фаза синхронизации, заключающаяся в запуске (активизации) группы процессов, которые должны выполняться после данного барьера. Время окончания второй фазы определяется моментом запуска последнего из активизируемых процессов.

Барьерная синхронизация должна быть организована таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

$$T_{BS} \to \min;\ C_{BS} \to \max;\ E_{BS} \le \overline{E}_{BS},$$

где T_{BS} – среднее время, затрачиваемое на синхронизацию; C_{BS} – комбинаторная гибкость средств синхронизации; E_{BS} – структурная сложность средств синхронизации ($\overline{E}_{BS}$ – предельно допустимое значение).

Сущность предлагаемой процедуры барьерной синхронизации

Представим структуру матричного мультикомпьютера в виде графа $H =< M, U >$, где M – множество вершин, соответствующее множеству процессорных модулей, а U – множество дуг, отражающее связи между ними. Для каждого модуля зададим порядковый номер (i, j), $i = \overline{1, N_1}$, $j = \overline{1, N_2}$, где N_1 – число строк в матрице, а N_2 – число столбцов (считаем, что $N_1 > 1$, $N_2 > 1$ и в общем случае $N_1 \ne N_2$). Вершины графа H сопоставим множеству модулей так, что

$$\begin{cases} \left(m_{i,j}, m_{(i+1),j}\right) \in U, i = \overline{1,(N_1 - 1)}, j = \overline{1, N_2}; \\ \left(m_{i,j}, m_{i,(j+1)}\right) \in U, j = \overline{1,(N_2 - 1)}, i = \overline{1, N_1}, \end{cases}$$

где $m_{i,j}$ – модуль с номером (i, j).

Основу предлагаемой процедуры составляют следующие принципы. Процесс синхронизации базируется на формировании и циклическом распространении координирующих сигналов, являющихся значениями двоичных индикаторных функций $Z_s(t) \in \{0,1\}$, в множестве одноразрядных слоев синхронизации $\tilde{K}_u = \{K_1, K_2, .., K_n\}$, где n – максимально возможное количество параллельных барьеров. Каждый слой синхронизации K_l, $l = \overline{1, n}$ соответствует определенному барьеру v_s и представляет собой совокупность ячеек координирующей среды, распределенных между модулями и соединенных согласно матричной структуре.

Каждому модулю $m_{i,j}$ поставим в соответствие вектор $\sum^{i,j}(u) = (y_1^{i,j}(u), y_2^{i,j}(u), .., y_n^{i,j}(u))$, устанавливающий зависимость между модулями и барьерами *u*-й параллельной программы. Значение $y_s^{i,j}(u) = 0$, если $m_{i,j}$ выполняет ветвь программы *u*, завершающуюся барьером v_s, в противном случае $y_s^{i,j}(u) = 1$. Также введем признак завершения ветви $\varsigma_e^s(t)$. Если $\varsigma_e^s(t) = 0$, то $m_{i,j}$ еще не выполнил *e*-ю ветвь программы, завершающуюся барьером v_s, если же $\varsigma_e^s(t) = 1$, то эта ветвь программы завершена.

Синхронизация протекает в три этапа. На первом этапе происходит выделение слоя координирующей среды, инициализация барьерной группы и формирование прямоугольной ограничивающей области (прямоугольника), внутри кото-

рой будет происходить распространение координирующих сигналов. На втором этапе синхронизации происходит циклический опрос и запуск модулей, входящих в барьерную группу. Третий этап синхронизации заключается в финализации барьерной группы и освобождении соответствующего слоя координирующей среды.

Каждому модулю поставим в соответствие признак его вхождения в ограничивающую область $k_s^{i,j}(t)$. Если $k_s^{i,j}(t)=1$, то модуль находится в границах области, в противном случае он находится вне области и не принимает участия в синхронизации. Значение признака $k_s^{i,j}(t)$ формируется на основании значений следующих признаков наличия соседних модулей: $ht_s^{i,j}(t)$ – для соседа сверху, $ht_s^{i,j}(t)$ – для соседа снизу, $hr_s^{i,j}(t)$ – для соседа справа, $hl_s^{i,j}(t)$ – для соседа слева. Указанные признаки вычисляются согласно следующим условиям:

$$ht_s^{i,j}(t)=ht_s^{(i-1),j}(t)\vee k_s^{(i-1),j}(t);$$
$$hb_s^{i,j}(t)=hb_s^{(i+1),j}(t)\vee k_s^{(i+1),j}(t);$$
$$hr_s^{i,j}(t)=hr_s^{i,(j+1)}(t)\vee k_s^{i,(j+1)}(t);$$
$$hl_s^{i,j}(t)=hl_s^{i,(j-1)}(t)\vee k_s^{i,(j-1)}(t),$$

$$k_s^{i,j}(t)=\begin{cases}1 \text{ при } y_s^{i,j}(u)=0;\\ (ht_s^{i,j}(t)\wedge hb_s^{i,j}(t))\vee(ht_s^{i,j}(t)\wedge hr_s^{i,j}(t))\vee\\ \quad\vee(ht_s^{i,j}(t)\wedge hl_s^{i,j}(t))\vee(hb_s^{i,j}(t)\wedge hr_s^{i,j}(t))\vee\\ \quad\vee(hb_s^{i,j}(t)\wedge hl_s^{i,j}(t))\vee(hl_s^{i,j}(t)\wedge hr_s^{i,j}(t)) \text{ при } y_s^{i,j}(u)=1.\end{cases}$$

Признак $k_s^{i,j}(t)$ принимает значение 1, если модуль выполняет ветвь программы u, завершающуюся барьером v_S, либо он получил любые два признака наличия соседних модулей. В целом процесс формирования ограничивающей области и установка признаков $k_s^{i,j}(t)$ происходят поэтапно, начиная с модулей, входящих в барьерную группу, а затем посредством распространения признаков наличия соседних модулей $ht_s^{i,j}(t)$, $hb_s^{i,j}(t)$, $hr_s^{i,j}(t)$, $hl_s^{i,j}(t)$. Это позволяет логически пометить не участвующие в синхронизации модули без каких-либо данных о размещении синхронизируемых ветвей.

Второй этап синхронизации начинается тогда, когда определяются значения $k_s^{i,j}(t)$ для всех модулей мультикомпьютера. Опрос и запуск модулей организуются в виде последовательности циклов распространения координирующих сигналов в слое $K_s\in\overline{K}_u$. Каждый такой цикл включает две фазы: 1) опрос модулей о завершении ими ветвей программы и формирование признака синхронизации $Z_s=1$; 2) запуск модулей по достижении барьера и восстановление исходного значения $Z_s=0$. Распространение признака синхронизации происходит от модуля, находящегося в верхнем левом углу ограничивающей области, и до модуля, расположенного в ее нижнем правом углу. Обозначим эти угловые модули как m_{i^*,j^*} и $m_{i^{**},j^{**}}$ соответственно.

Выделим из множества M подмножество вершин $m_{i,j}\in M^*$, удовлетворяющее условию $(\forall i,j\in M^*:(i\ge i^*)\wedge(j\ge j^*)\wedge\wedge(i\le i^{**})\wedge(j\le j^{**}))$. Такое подмножество M^* будет определять область структуры мультикомпьютера, внутри которой про-

исходит распространение координирующих сигналов.

Индикаторную функцию $Z_s(t)$ s-го барьера определим в виде $Z_s(t) = \underset{m_{i,j}\in M^*}{\wedge} z_s^{i,j}(t)$, где $z_s^{i,j}(t) = y_s^{i,j}(t) \vee \varsigma_e^s(t)$ – текущее состояние процессора. Для определения значения функции $Z_s(t)$ на выходе каждого модуля введем понятие большего и меньшего порядкового номера.

Будем считать, что модуль m_{i_1,j_1} имеет меньший порядковый номер, чем m_{i_2,j_2}, т.е. $m_{i_1,j_1} < m_{i_2,j_2}$, если $(i_1 \le i_2) \wedge (j_1 \le j_2) \wedge ((i_1 \ne i_2) \vee (j_1 \ne j_2))$. Аналогично будем считать, что модуль m_{i_1,j_1} имеет больший порядковый номер, чем m_{i_1,j_1}, т.е. $m_{i_1,j_1} > m_{i_2,j_2}$, если $(i_1 \ge i_2) \wedge (j_1 \ge j_2) \wedge ((i_1 \ne i_2) \vee (j_1 \ne j_2))$.

Тогда значение функции $Z_s(t)$ на выходе (i,j)-й ячейки слоя K_s для модуля $m_{i,j}$ будет равно 1, если этот модуль завершил свою ветвь программы (или не участвует в *s*-м барьере) и все модули с меньшими порядковыми номерами к этому моменту также завершили ветви программы, относящиеся к *s*-му барьеру (или не участвуют в нем). Соответственно, момент времени t' завершения всех ветвей барьера v_s задается условием $Z_s(t') = Z_s^{i^{**},j^{**}}(t') = 0 \to 1$ (условие окончания первой фазы синхронизации).

Значение функции $Z_s(t)$ на выходе (i,j)-й ячейки слоя K_s для модуля $m_{i,j}$ не зависит от его текущего состояния и равно 1, только если на выходах модулей с большими порядковыми номерами уже установлено единичное значение.

Условие окончания второй фазы синхронизации:

$$Z_s(t'') = Z_s^{i^*,j^*}(t'') = 1 \to 0.$$

На третьем этапе синхронизации путем обнуления признаков $k_s^{i,j}(t)$ всех модулей и признаков $ht_s^{i,j}(t)$, $hb_s^{i,j}(t)$, $hr_s^{i,j}(t)$, $hl_s^{i,j}(t)$ происходит логическое удаление ограничивающей области. Сброс признаков наличия соседних модулей происходит согласно выражениям:

$$ht_s^{i,j}(t) = ht_s^{(i-1),j}(t) \wedge k_s^{(i-1),j}(t);$$
$$hb_s^{i,j}(t) = hb_s^{(i+1),j}(t) \wedge k_s^{(i+1),j}(t);$$
$$hr_s^{i,j}(t) = hr_s^{i,(j+1)}(t) \wedge k_s^{i,(j+1)}(t);$$
$$hl_s^{i,j}(t) = hl_s^{i,(j-1)}(t) \wedge k_s^{i,(j-1)}(t).$$

Признаки $k_s^{i,j}(t)$ обнуляются согласно следующим условиям:

$$k_s^{i,j}(t) = \begin{cases} 0 \text{ при } y_s^{i,j}(u) = 0; \\ (ht_s^{i,j}(t) \wedge hb_s^{i,j}(t) \wedge hr_s^{i,j}(t) \wedge hl_s^{i,j}(t)) \text{ при } y_s^{i,j}(u) = 1. \end{cases}$$

Таким образом, признак вхождения $k_s^{i,j}(t)$ сбрасывается, если модуль $m_{i,j}$ выполняет ветвь программы *u*, завершающуюся барьером v_s, либо хотя бы один из признаков наличия соседних модулей для $m_{i,j}$ равен 0.

Исследование динамической корректности процедуры

Для оценки корректности функционирования разработанной процедуры синхронизации использовался аппарат сетей Петри [10].

Исследование динамики формирования ограничивающей области на первом этапе синхронизации осуществлялось с

использованием сети Петри $\Theta_{i,j}$, изображенной на рис. 1 и включающей ряд подсетей.

Подсети $\Lambda_{i.j}^{h}$, $h=\{t,b,r,l\}$ моделируют получение и распространение признаков $ht_s^{i,j}(t)$, $hb_s^{i,j}(t)$, $hr_s^{i,j}(t)$, $hl_s^{i,j}(t)$. Подсеть $\Lambda_{i.j}^{k}$ отображает формирование признака вхождения модуля в ограничивающую область $k_s^{i,j}(t)$. Соединенные между собой согласно двумерной матричной топологии сети Петри $\Theta_{i,j}$ образуют объединенную сеть Θ, моделирующую формирование ограничивающей области в отдельном слое координирующей среды на первом этапе синхронизации.

Динамика функционирования отдельной ячейки координирующей среды на втором этапе синхронизации описывается подсетями Петри $\Lambda'_{i,j}$, $\Lambda''_{i,j}$, приведенными на рис. 2. Данные подсети моделируют соответственно функционирование ячейки в первой и второй фазах синхронизации на втором этапе.

Переход $\pi_{i.j}^{-}$ отображает завершение выполнения ветви программы модулем $m_{i.j}$; $\pi_{i,j}^{+}$ – запуск модуля по завершении барьера; $\overline{\pi}_{i,j}$ и $\pi_{i,j}$ – прохождение сигнала синхронизации через ячейку координирующей среды. Соединение подсетей $\Lambda'_{i,j}$ и $\Lambda''_{i,j}$ согласно двумерной матричной топологии приводит к получению двух подсетей: Λ' и Λ''. Подсеть Λ' отражает динамику формирования признака синхронизации внутри ограничивающей области, а подсеть Λ'' – передачу данного признака и запуск модулей. Соединенные между собой подсети Λ' и Λ'' образуют сеть Λ, моделирующую поведение отдельного слоя координирующей среды на втором этапе синхронизации.

Динамика функционирования ячейки координирующей среды на третьем этапе синхронизации определяется сетью Петри $\Xi_{i,j}$, которая показана на рис. 3. Соединенные между собой согласно двумерной матричной топологии сети $\Xi_{i,j}$ образуют сеть Петри Ξ, моделирующую функционирование слоя координирующей среды на третьем этапе синхронизации.

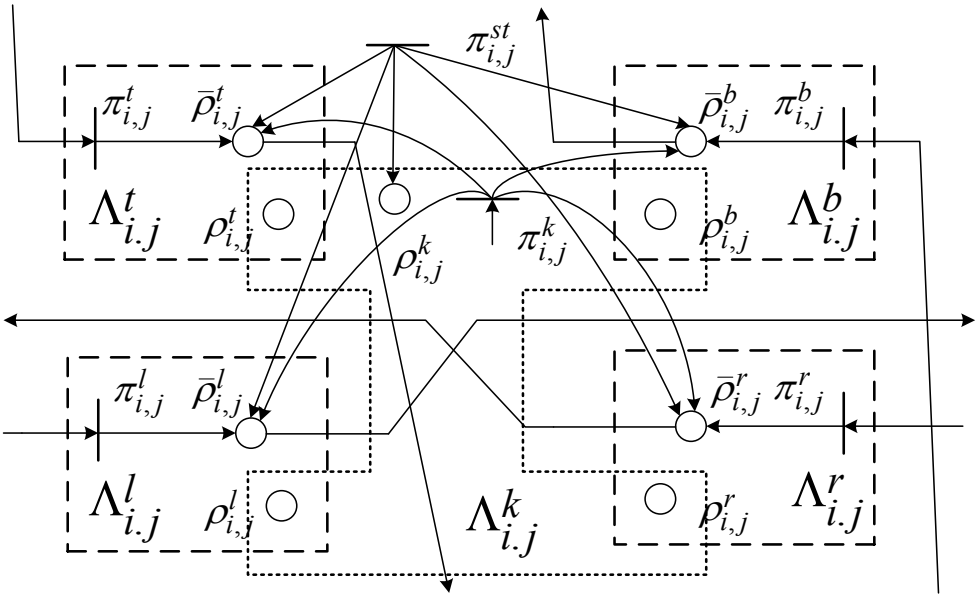


Рис. 1. Сеть Петри $\Theta_{i,j}$

а) *б*)

Рис. 2. Подсеть $\Lambda'_{i,j}$ (*а*); подсеть $\Lambda''_{i,j}$ (*б*)

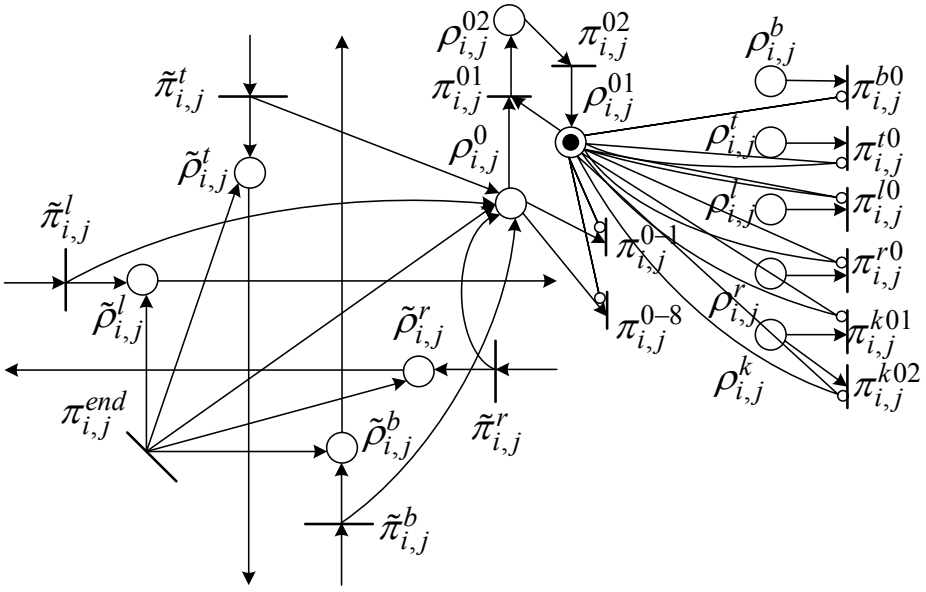


Рис. 3. Сеть Петри $\Xi_{i,j}$

Анализ достижимых маркировок сетей Петри Θ, Λ, Ξ показал, что обладают свойством живости, а максимальная емкость позиций равна 3, 1 и 8, соответственно. Это доказывает отсутствие тупиковых ситуаций как при построении/удалении области распространения координирующих сигналов, так и при опросе и запуске процессорных модулей.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-2218.2011.8.

Список литературы

1. TILE-Gx 3036 [Электронный ресурс] // Tilera Corporation, 2012. URL: http://www.tilera.com/ sites/ default/ files/ productbriefs/ Tile-Gx%203036%20SB012-01.pdf (дата обращения: 15.09.2012).

2. Panda D.K. Fast Barrier Synchronization in Wormhole k-ary n-cube Networks // First IEEE Symposium on High Performance Computer Architecture, 1995. P. 200–209.

3. Four-ary tree-based barrier synchronization for 2d meshes without nonmember involvement / S. Moh, C. Yu, B. Lee [et al.] // IEEE Trans. Comput. 2001. Vol. 50, № 8. P. 811–823.

4. Efficient barrier and allreduce on InfiniBand clusters using hardware multicast and adaptive algorithms [Текст] / A.R. Mamidala, J. Liu, D.K. Panda // Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Cluster Computing, 2004. P. 135–144.

5. Efficient synchronization for embedded on-chip multiprocessors / M. Monchie-

ro, G. Palermo, C. Silvano, O. Villa // IEEE Transactions on very large scale integration (VLSI) systems. 2006. Vol. 14, № 10. P. 1049–1062.

6. Аль-Хади А.М. Зотов И.В., Волобуев С.В. Методы распределенной барьерной синхронизации параллельных процессов в матричных СБИС-системах // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2009. № 12. С. 46–52.

7. Волобуев С.В., Зотов И.В. Распределенный механизм барьерной синхронизации на основе параллельно-конвейерной координирующей среды // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. №7. С. 35–39.

8. Zotov I.V. Distributed Virtual Bit-Slice Synchronizer: A Scalable Hardware Barrier Mechanism for n-Dimensional Meshes // IEEE Trans. Comput. 2010. Vol. 59, № 9. P. 1187–1199.

9. Аль-Хади А.М., Муратов С.А., Зотов И.В. Распределенная процедура барьерной синхронизации с динамическим ограничением области распространения координирующих сигналов // Телекоммуникации. 2011. № 5. С. 2–7.

10. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. 160 с.

Получено 26.04.12.

R.V. Bredikhin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

I.V. Zotov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: zotovigor@yandex.ru)

A DISTRIBUTED ITERATIVE BARRIER SYNCHRONIZATION PROCEDURE FOR 2D-MESH MULTICOMPUTER-ON-A-CHIP SYSTEMS

A hardware-level procedure representing the barrier synchronization in iterative parallel programs performed by 2D-mesh multicomputer-on-a-chip systems is presented, the correctness of dynamic behavior of the procedure is investigated based on the Petri nets theory.

Key words: *multicomputer-on-a-chip, VLSI, parallel processes, barrier synchronization, Petri nets.*

УДК 004.932

П.С. Козлов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: ps.kozlov@ gmail.com)

М.И. Труфанов, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: temp1202@mail.ru)

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Представлена структурно-функциональная организация и принципы функционирования оптико-электронного устройства для вычисления поверхностного натяжения жидкости посредством анализа формы сформированного в исследуемой жидкости пузырька. Получены экспериментальные результаты, отражающие время обработки данных и относительную ошибку вычисления поверхностного натяжения жидкости.

Ключевые слова: *распознавание изображений, поверхностное натяжение, форма, оптические искажения, калибровка.*

***

Наблюдающееся в настоящее время революционное развитие современных вычислительных средств обработки цифровых данных обусловливает их внедрение в области промышленности, где традиционно их использование не было предусмотрено, что позволяет в конченом итоге не только исключить или значительно снизить человеческий труд, но и многократно повысить эффективность технологических процессов, определяе-

мую выходом полезной продукции в единицу времени.

Такой областью промышленности, где до сих пор применяются методики, разработанные в начале и середине 20 века, является обогащение полезных ископаемых на основе процесса флотации. Под флотацией понимается процесс прилипания мелких частиц полезного ископаемого к микроскопическим пузырькам в пульпе; затем из полученной пены, содержащей такие пузырьки с частицами искомого вещества, извлекается полезное ископаемое.

Одним из параметров, влияющих на флотационные свойства реагента, является поверхностное натяжение жидкости с реагентом, вычисление которого в настоящее время производится в лабораторных условиях, что является длительным процессом и никак не обеспечивает управление технологическим процессом в реальном времени.

Вместе с тем более века назад [1] разработан метод вычисления поверхностного натяжения жидкости по изображению микроскопического пузырька газа в исследуемой жидкости, который был модифицирован и доработан для определения флотационной активности веществ по фотографическому микроизображению пузарька газа в исследуемой жидкости [2]. Однако данный метод не применялся на практике ввиду отсутствия инструментальных средств для его реализации. Эффективное применение в промышленных условиях данного метода возможно только с применением современных цифровых средств получения изображений и последующей обработки на специальных вычислительных устройствах. Выполненный анализ научно-технических источников показал, что разрабатываемое специализированное вычислительное устройство должно корректировать искажения, обеспечивать высокоточное измерение формы контура пузырька и при этом выполнять перечисленные действия в реальном времени.

Рассмотрим структурно-функциональную организацию предлагаемого устройства для вычисления поверхностного натяжения жидкости.

Принцип функционирования устройства основан на методе автоматического вычисления поверхностного натяжения жидкости по цифровому изображению расположенного в ней динамически меняющегося пузырька газа [2].

Предлагаемое устройство состоит из оптической системы, приемника изображения, осветителя, модуля ввода, контроллера-арбитра, ОЗУ, модуля коррекции, контроллера вычислителя, модуля фильтрации, модуля выделения контуров, цифрового сигнального процессора (ЦСП) и контроллера передачи данных (рис. 1).

Устройство работает в двух режимах – калибровки и основном.

В режиме калибровки определяются систематические оптические искажения оптической системы на базе способа, представленного в [3]: на рабочей сцене последовательно размещаются сферы разных диаметров, и по их изображению определяются параметры искажений, которые затем на основе подхода [4] используются при коррекции искажений изображений, поступающих в устройство в рабочем режиме.

Рассмотрим основной режим работы. В специальной кювете, в которой содержится исследуемая жидкость, посредством выдувания формируется пузырек газа [3]. Пузырек освещается осветителем. Изображение пузырька формируется оптической системой, приемником изображения и поступает в ОЗУ. Оптическая система представляет собой микроскоп, обеспечивающий наблюдение пузырька газа размером 1–2 мм на весь кадр и формирование изображения в плоскости приемника изображения.

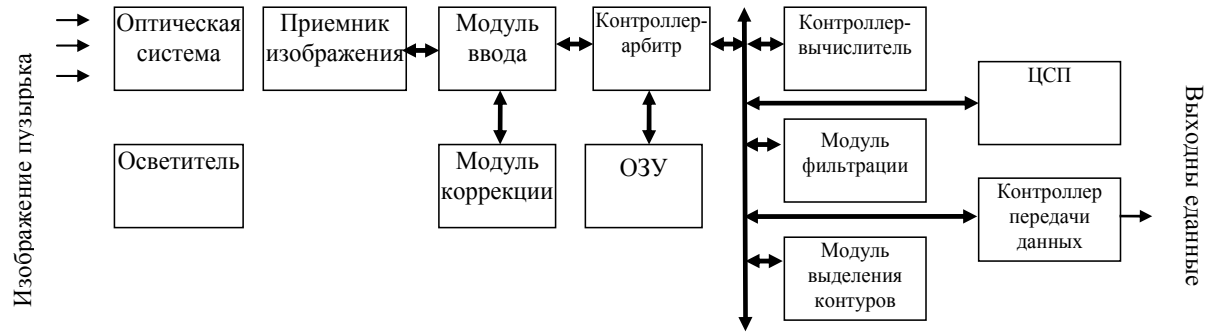


Рис. 1. Структурная схема специализированного устройства вычисления поверхностного натяжения жидкости

Модуль коррекции построен по схеме, представленной в [4], и обеспечивает уменьшение систематических погрешностей, вносимых оптической системой посредством переноса каждого пиксела цифрового изображения, записанного модулем ввода в ОЗУ, в истинные позиции.

Контроллер-арбитр предназначен для управления работой устройства и разграничения доступа к ОЗУ различных модулей устройства.

После получения изображения без систематических погрешностей оно подается на модуль фильтрации, функциями которого являются снижение на основе медианной фильтрации случайных искажений, обусловленных шумами приемника изображения, и удаление из дальнейшей обработки случайных микрообъектов на изображении.

Медианная фильтрация изображения $f(x, y)$ выполняется по формуле

$$g(m, n) = med\{f(x, y)\}, \quad (x, y) \in W(m, n), \qquad (1)$$

где $g(m, n)$ – функция яркости скорректированного изображения; $f(x,y)$ – функция яркости исходного изображения; $W(m,n)$ – область в центре точки (m, n), по отсчетам которой вычисляется медиана в точке (m, n).

Для удаления из обработки случайных микрообъектов на изображении модуль фильтрации производит поиск всех объектов, размеры которых не превышают заданной величины, и исключает их из дальнейшей обработки.

После фильтрации изображение поступает на модуль выделения контуров, выполняющий бинаризацию изображения, построение контура пузырька и подтверждение обнаружения пузырька.

Для этого модуль вычисляет порог T, разделяющий зоны яркости на объект и фон. Точка (x, y) является точкой объекта, если $f(x, y) \geq T$, в противном случае является точкой фона:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, f(x, y) \geq T; \\ 0, f(x, y) < T. \end{cases} \qquad (2)$$

Для вычисления порога используется метод Отсу [5]. Производится нормализация гистограммы:

$$G_н(b) = G(b)/G_{max},$$

где $G_н(b)$– нормализованная гистограмма; $G(b)$ – гистограмма; b – яркость; G_{max} – максимальное значение на гистограмме.

Затем нормализованная гистограмма представляется в виде дискретной функции распределения вероятностей:

$$pr(rq) = nq/n, \quad q = 0,1, 2, \ldots, L–1,$$

где n – общее число пикселей изображения; n_q – число пикселей, яркость которых равна величине r_q; L – число различных уровней яркости изображения.

При выборе порога T модуль выделения контуров вычисляет наибольшую межклассовую дисперсию:

$$\sigma_B^2 = w_0(\mu_0 - \mu T)^2 + w_1(\mu_1 - \mu T)^2, \quad (3)$$

$$w_0 = \sum_{q=0}^{T-1} p_q(r_q), \quad w_1 = \sum_{q=T}^{L-1} p_q(r_q),$$

$$\mu_0 = \sum_{q=0}^{T-1} q p_q(r_q)/w_0, \quad \mu_1 = \sum_{q=0}^{T-1} q p_q(r_q)/w_1,$$

$$\mu_T = \sum_{q=0}^{L-1} q p_q(r_q)/w_0, \quad T = T_{\min},$$

где $\sigma_B^2(T_{\min}) = \min\limits_{T\in[0,L-1]}\{\sigma_B^2(T)\}$.

Результатом работы модуля выделения контуров являются координаты границ множества объектов, которые могут быть пузырьками. Полученные координаты границ пузырьков передаются на обработку в цифровой сигнальный процессор (ЦСП), который принимает окончательное решение о распознавании пузырька и измеряет его форму, по которой вычисляет величину поверхностного натяжения. Рассмотрим операции, выполняемые ЦСП, более подробно.

Координаты границ изображения пузырька по вертикали и горизонтали (см. рис. 2) в анализируемой области D вычисляются по следующим формулам:

$$R(D) = \max_{(x,y)\in D}\{y\}; \; L(D) \min_{(x,y)\in D}\{y\};$$
$$B(D) = \max_{(x,y)\in D}\{y\}; \; T(D) \min_{(x,y)\in D}\{y\}.$$

Центр тяжести (m_1, m_2) пузырька вычисляется по формулам

$$m_x = \frac{\sum\limits_{(x,y)\in D} x}{\sum\limits_{(x,y)\in D} 1}; \quad m_x = \frac{\sum\limits_{(x,y)\in D} y}{\sum\limits_{(x,y)\in D} 1}.$$

Размеры пузырька по вертикали и горизонтали (рис. 2) вычисляются по следующим формулам

$$\Delta x = \max_{(x,y)\in D}\{x\} - \min_{(x,y)\in D}\{x\};$$
$$\Delta y = \max_{(x,y)\in D}\{y\} - \min_{(x,y)\in D}\{y\}.$$

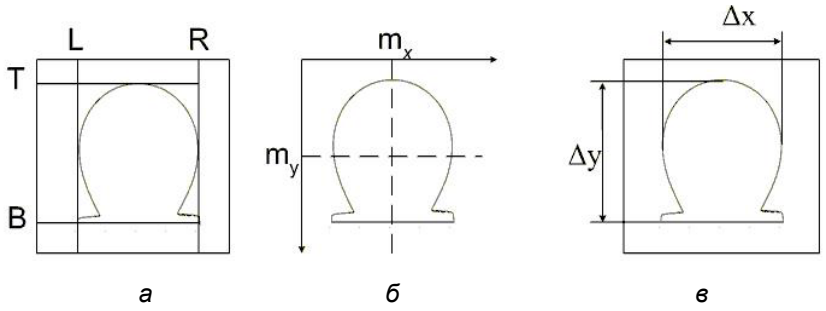


Рис. 2. Геометрические характеристик объектов: *а* – координаты краев изображения; *б* – область изображения и ее центр тяжести; *в* – максимальные линейные размеры на изображении

В результате выполнения операции оценки геометрических характеристик изображения имеется набор объектов $\{w_i\}$ и соответствующий им набор признаков. Для выполнения задачи распознавания сформирован алфавит признаков, осуществлена классификация объектов на множестве признаков (Ω – множество классов) и использована разделяющая функция $d(\mathbf{y})$. Каждому объекту w_i соответствует вектор признаков $\mathbf{y} = (y_1, y_2 \ldots y_k)$.

Пузырек газа в куполе имеет форму окружности. Критерий «подобия окружности» $d_{окр}(\mathbf{y})$ характеризует степень схожести верхней части объекта с полукругом (рис. 3). Количественно он будет выражаться в отношении числа внутренних и внешних точек заданного полукруга центром $O(o_1, o_2)$ и радиуса R. Множество отсчетов (x, y), принадлежащих «области полукруга» $G_{кр}$, определяются как

$$\forall (x,y) \in G : (x,y) \in G_{кр} \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow (x-o_x)^2 + (y-o_y)^2 \le R^2, \;\; y \le o_y,$$

где G – множество точек объекта распознавания; $G_{кр}$ – область полукруга.

Импульсная функция для вычисления характеристики отсчета по критерию «подобия окружности» вычисляется по формуле

$$f_{окр}(n_1,n_2) = \begin{cases} 1, \text{ если } (n_1,n_2) \in G_{кр}; \\ 0, \text{ если } (n_1,n_2) \notin G_{кр}. \end{cases}$$

Далее вычисляется разделяющая функция признака $y_{окр}$ по критерию «подобия окружности»:

$$d_{окр}(w) = 1 / \left(\frac{S}{\sum\limits_{(n_1,n_2)\in G} f_{окр}(n_1,n_2)} - 1 \right),$$

где S – площадь объекта.

Критерием распознавания объектов класса Ω_1 является пространственное расположение на сцене, а именно удаленность от центра изображения. Разделяющая функция по признаку y_c выражается формулой

$$d_c(w) = \frac{1}{\sqrt{(c_1-m_1)^2 + (c_2-m_2)^2}},$$

где c_1, c_2 – центральный отсчет изображения; m_1, m_2 – центр тяжести объекта.

Объект класса Ω_1 обычно является самым большим по площади среди объектов, обладающих свойством «подобия окружности». Таким образом, разделяющая функция по вектору признаков $y = (y_G, y_c, y_s)$ записывается в следующем виде:

$$d_{\Omega_1}(\vec{y}(w)) = y_s \cdot d_{окр}(y_G) \cdot d_c(y_c),$$

где $y_s = S$ – площадь объекта w; $y_G = \{G\}$ – множество отсчетов объекта w; $y_c = (m_1, m_2)$ – центр тяжести объекта w.

Окончательно запишем

$$d_{\Omega_1}(\vec{y}) = \frac{1}{\sqrt{(c_1-m_1)^2 + (c_2-m_2)^2}} \times$$
$$\times \frac{1}{\left(\frac{1}{\sum\limits_{(n_1,n_2)\in G} f_{окр}(n_1,n_2)} - \frac{1}{S} \right)}. \qquad (4)$$

Задача распознавания сводится к нахождению максимума $d_{\Omega 1}(\vec{y}(w))$ на множестве Ω. Другими словами, объект принадлежит классу Ω_1, если значение разделяющей функции $d_{\Omega 1}$ является максимальным на множестве всех объектов Ω:

$$\forall w \in \Omega : w \in \Omega_1 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow d_{\Omega_1}(\vec{y}(w)) = \max_{w\in\Omega} d_{\Omega_1}(\vec{y}(w)).$$

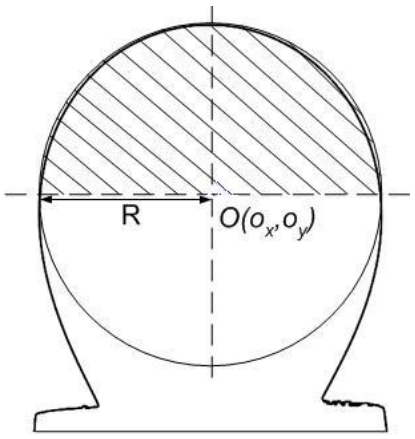


Рис. 3. Объект распознавания (найденная область круга заштрихована)

В результате распознавания ЦСП в соответствии с выражением (4) подтверждает обнаружение пузырька и далее производит расчет поверхностного натяжения по контуру пузырька. Подробно расчет поверхностного натяжения представлен в [2, 3, 6, 7].Полученное значение поверхностного натяжения передается для дальнейшей обработки или служит окончательным результатом измерений.

За исключением ЦСП все модули устройства реализованы на программируемой логической интегральной схеме. Макетирование предложенного устройства позволило оценить время обработки одного изображения: оно составляет от 40 до 80 мс. В результате экспериментальных измерений поверхностного натяжения получено значение максимальной относительной ошибки вычислений: относительная погрешность не превышает 0,36%.

Разработанное устройство может применяться не только в горнообогатительной промышленности, но и в пищевой отрасли, в области производства домашней химии и ряде других отраслей.

Работа поддержана грантом НК-631.

Список литературы

1. Bashfort F.A., Adams J.C. Capillary Action. Cambridge, 1883.

2. Релаксационные кривые, методика их снятия и значение их для понимания процесса пенной флотации и управления им / В.И. Мелик-Гайказян, Н.П. Емельянова, П.С. Козлов [и др.] // Известия вузов. Сер. «Цветная металлургия». 2008. № 2. С. 6–15.

3. Пат. 2292033 Рос. Федерация, МКИ G01N13/00. Способ оценки содержания аполярных флотореагентов в пульпе по цифровому изображениию пузырька газа / Мирошниченко С.Ю., Труфанов М.И., Титов Д.В. [и др.]. № 2005108769/28; заявл. 28.03.2005; опубл. 20.01.2007, Бюл. № 2. 10 с.

4. Пат. 2295153 Рос. Федерация, МКИ G09K32/00. Корректирующее устройство ввода изображения в ЭВМ / Труфанов М.И., Титов Д.В. № 2005120848; заявл. 4.07.2005; опубл. 10.03.2007, Бюл. № 7. 6 с.

5. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Госалес, Р. Вудс, С. Эддинс [и др.]. М: Техносфера, 2006. С. 616.

6. К методике снятия релаксационных кривых для реагентов пенной флотации с целью подбора их оптимальных соотношений / В.И.Мелик-Гайказян, Н.П. Емельянова, П.С.Козлов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во МГГУ, 2007. № 8. С. 219–223.

7. Труфанов М.И., Козлов П.С., Мелик-Гайказян В.И. Оптико-электронная система измерения поверхностного натяжения жидкости и оценки флотационной активности веществ // Известия вузов. Сер. «Приборостроение». 2008. № 2. С. 59–64.

Получено 25.04.12.

P.S. Kozlov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: ps.kozlov@gmail.com)

M.I. Truphanov, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: temp1202@mail.com)

MACHINE VISION SYSTEM FOR CALCULATION OF A SURFACE TENSION

This article presents a structural and functional organization and principles of functioning of the optical electronic device for calculation of a surface tension of a liquid by analyzing the form of the formed bubble in the analyzed liquid.

Key words: *image recognition, surface tension, form, optical distortion, calibration.*

УДК 004.032.22

С.Л. Марухленко, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: proxy33@inbox.ru)

МЕТОД И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Метод, основанный на предложенных моделях, позволяет сформировать многослойную матрицу, учитывающую распределение поля потенциального территориального риска и объектов селитебной зоны, для дальнейшего расчета показателей риска. Особенностью предложенного алгоритма является этап автоматического разбиения множества векторных объектов, возможность пространственной интерполяции при формировании ситуационного плана, являющегося отчетной формой для включения в расчетно-пояснительную записку декларации промышленной безопасности.

Ключевые слова: *многослойная матрица, техногенная авария, риск, критерии поражения, селитебная зона, системный анализ, математическая модель.*

***

Задача оценки последствий аварий на опасном объекте является слабоструктурированной, что обусловливает применение системного анализа параметров аварийной ситуации и характеристик селитебной зоны с использованием типовых деревьев событий для автоматического построения наиболее вероятного сценария аварии для конкретного типа оборудования [1,8].

Предложенная модель основывается на матричной модели данных в иерархических структурах и дальнейшей пространственной интерполяции многослойных матриц. Для создания интерполированного ситуационного плана, как минимум, необходима совокупность точек с данными о пространственном расположении (координаты в пользовательской системе) и количественное значение параметров в этих точках [2]. В большинстве случаев сеть таких исходных точек нерегулярна, имеет различную плотность, разрывы [4]. В связи с необходимостью представления векторной составляющей ситуационного плана в матричном виде необходим этап расчета вектора дискретизации [5].

Условно предметную область можно представить множеством объектов селитебной зоны E и совокупностью объектов, определяющих области поражения I. Каждый объект $ext \in E$ характеризуется некоторым набором k атрибутов, которые являются значениями функций $F_k : f_1(ext),\ f_2(ext),\ ...,\ f_k(ext)$ из множества функций $F_n : f_1(ext),\ f_2(ext),\ ...,\ f_n(ext)$, заданных на множестве объектов $E,\ k \le n$. Каждый объект $izo \in I$ характеризуется некоторым набором l атрибутов, которые являются значениями функций $F_l : f_1(izo),\ f_2(izo),\ ...,\ f_l(izo)$ из множества функций, заданных аналогично, где $l \le N$. Таким образом, структура многослойной матрицы для модели состоит из трех основных множеств [7].

Этап автоматического расчета числа разбиений в зависимости от формы и параметров объектов селитебной зоны предполагает работу с активными профилями аварийного оборудования и множеством объектов, описывающих материальные ценности или локализующих группы людей на ситуационном плане [3]. Особенностью расчета вектора дискретизации является нахождение вспомогательного коэффициента t, определяемого по формуле

$$t = \frac{s'}{Lc} \cdot \frac{Mx_x - Mn_x}{Mx_y - Mn_y}, \qquad (1)$$

где s' – коэффициент соответствия векторных и локальных координат в соответствии с масштабным отрезком;

Lc – длина ячейки матрицы риска (в метрах), задаваемая вручную или вычисляемая с учетом приоритета числа разбиений области;

$Mx_x - Mn_x$ – длина составляющей рабочей области, предполагающей наличие рассчитанного множества поражающих изолиний или объектов материальных ценностей вдоль оси абсцисс (аналогично для выражения в знаменателе вдоль оси ординат), определяется по формуле

$$Mn_x = \\ = \min[\min(x_{ij}^{izo} \cdot scale - x_i^{eq}), \min(x_{vk}^{ext})], \quad (2)$$

где $i = 1..i'$ (i' – количество единиц аварийного оборудования);

$j = 1..j'$ (j' – количество вершин изолиний поражения);

$k = 1..k'$ (k' – количество площадных объектов);

$v = 1..v'$ (v' – количество вершин площадных объектов).

Mx_x определяется аналогично по максимальному значению координаты.

Используя коэффициент t, устанавливаем соответствие матричных координат векторным с учетом масштабного отрезка по формуле

$$k = \frac{t}{\max(Mx_x - Mn_x, Mx_y - Mn_y)}. \quad (3)$$

Таким образом, формирование многослойных матриц предполагает использование минимально достаточного фрагмента рабочей области ситуационного плана, а максимальное число разбиений при дискретизации определяется автоматически или вручную на этапе предварительной обработки. Эта особенность предлагаемой модели позволяет оценить и уменьшить временные задержки этапа формирования матриц, который включает в себя формирование матрицы ценностей и матрицы риска точечных объектов аварии.

Для расчета полей потенциального риска трубопроводов разработана интегральная модель расчета полей потенциального риска для трубопроводов, особенностью которой является использование многослойных матриц. Модель учитывает произвольную функцию зависимости вероятности поражения от расстояния до центра аварии [6] в некоторой точке объекта, определенную на заданном промежутке (рис. 1).

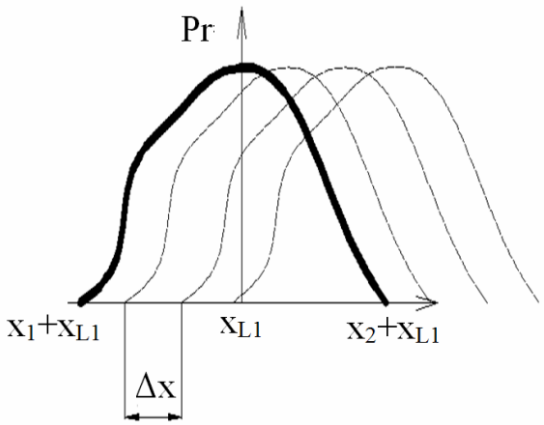


Рис. 1. Функция зависимости вероятности поражения

Изменяя смещение вдоль трубы до шага, равного ячейке матрицы риска, получаем

$$P(x) = \int_{xk1}^{xk2} \Pr(x)dx. \qquad (4)$$

Вычисление интеграла сводится к сложению значений ячеек матрицы построчно с учетом граничных условий интеграла. При вычислении потенциального риска погонную частоту аварии на линейном объекте нужно умножить на шаг ячейки матрицы Δx.

Модель имеет следующие преимущества по сравнению с копированием матриц с заданным шагом, а именно: точность расчетов зависит только от шага исходных матриц, число расчетов на протяженных линейных объектах минимально, так как количество производимых вычислений равно количеству ячеек половины расчетной сетки представления пространственно-протяженного объекта (трубопровода).

Таким образом, математическая модель и аналитические соотношения являются основой для создания метода и алгоритма решения комплексной задачи обработки информации об опасных производственных объектах, алгоритм представлен на рисунке 2.

Алгоритм многопоточной обработки динамически рассчитываемых данных для решения комплексной задачи управления риском промышленных аварий, полученных в результате применения предложенных моделей и методов, позволяет определить показатели индивидуального и коллективного рисков послойно, сформировать обобщенную диаграмму социального риска, обладает открытой архитектурой и имеет способность к распараллеливанию процессов обработки.

Экспериментальное исследование предложенных методов показало возможность корректного формирования многослойных матриц, что подтверждено тестовыми испытаниями на различных системах для осуществления анализа риска. Оценка быстродействия, по сравнению с использованием постоянного шага разбиения при генерации многослойных матриц, показала увеличение скорости производимых расчетов на 42%, а при снижении достоверности – на 0,15%.

Список литературы

1. Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцев опасных объектов за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте: федер. закон от 27.07.2010 г. № 225-ФЗ // Российская газета. 2010. 2 авг.

2. Роль и место декларации промышленной безопасности в решении проблемы технического регулирования / Р.О. Самсонов, А.Б. Скрепнюк, С.В. Овчаров, В.С. Сафонов // Безопасность труда в промышленности 2007. № 9. С. 34–40.

3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ // Российская газета. 2008. 1 авг.

4. Программная модель для автоматизации расчета показателей риска техногенных аварий / С.Л. Марухленко [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. № 11. С. 35–39.

5. Сергеев В.П. Реализация матричной модели данных в иерархических структурах [Электронный ресурс] // Математическая морфология: электрон. журн., 2007. URL: http://www.smolensk.ru/N-14-html/sergeev/sergeev.htm, свободный (дата обращения: 02.07.2011).

6. Декларирование промышленной и пожарной безопасности. Методы и программные средства оценки риска. 20–21 октября 2009 г. [Электронный ресурс]. URL: http://safety.moy.su/publ/ 12-1-0-123.

7. Марухленко С.Л., Марухленко А.Л. Дягтерёв С.В. Программная модель для автоматизации расчета показателей риска техногенных аварий // Информационно-измери-тельные и управляющие системы. М., 2010. Вып. 11, т. 8. С. 35–39.

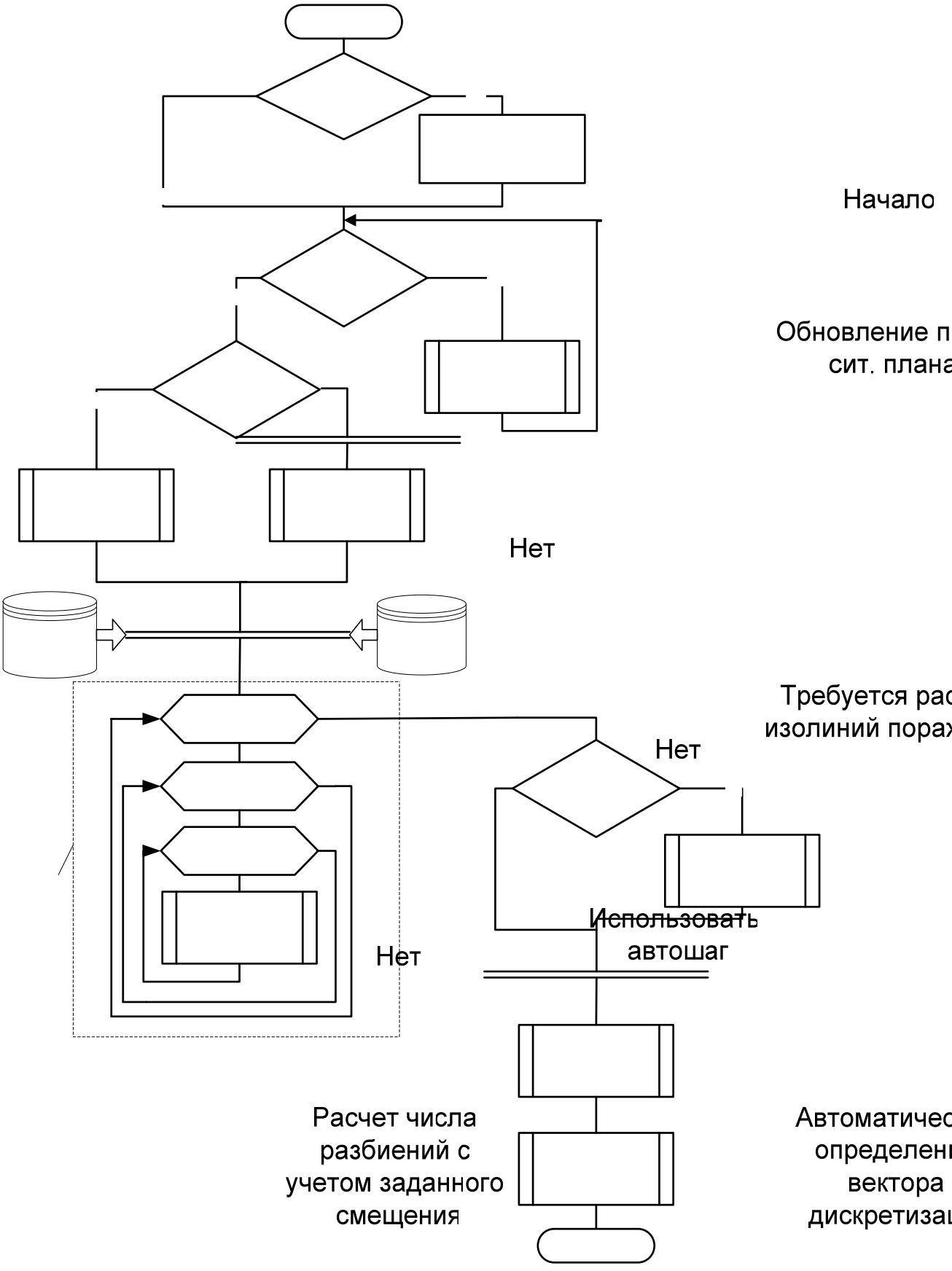


Рис. 2. Алгоритм расчета показателей риска промышленных аварий

БД "Объекты
селитебной

8. С.Л. Марухленко, А.Л. Марухленко, С.В. Дегтярев. Метод формирования многослойной матрицы для расчета показателей риска техногенных аварий // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Вып. 11, т. 8. С. 35–39.

Получено 27.04.12.

S.L. Marukhlenko, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: proxy33@inbox.ru)

METHOD AND ALGORITHM OF CALCULATION OF INDICATORS OF RISK IN MANAGEMENT OF INDUSTRIAL SAFETY OF DANGEROUS INDUSTRIAL OBJECTS

The method based on offered models, allows to generate the multilayered matrix considering distribution of a field of potential territorial risk and objects селитебной of a zone, for the further calculation of indicators of risk. Feature of the offered algorithm is the stage of automatic splitting of set of vector objects, possibility of spatial interpolation at formation of the situational plan which is a form of account for inclusion in is settlement-explanatory note declarations of industrial safety.

Key words: *a multilayered matrix, technogenic failure, risk, criteria of defeat, селитебная a zone, the system analysis, mathematical model.*

УДК 351.821

И.В. Полищук, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: yzgu@ya.ru)

В.Э. Дрейзин, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712)58-71-00)

К ВОПРОСУ О РАЗЛИЧИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ КАЛИБРОВКИ НЕЙТРОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ В ЗАРУБЕЖНОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ

Данная статья посвящена сравнительному анализу использования основных терминов в области метрологии, в частности применимых к калибровке нейтронных спектрометров. Приведены различия сущностей калибровки, поверки, характеризации в отечественной и зарубежной практике.

Ключевые слова: *терминология, калибровка, нейтронная спектрометрия.*

***

В результате влияния субъективных и объективных факторов наука России в постсоветский период финансировалась по остаточному принципу. В первую очередь негативно это сказалось на эффективности технических направлений, сильно зависящих от своевременного обновления сложных и, как правило, дорогостоящих приборов. Безусловно, в продолжение последних двух десятилетий российская наука не стояла на месте. Однако на фоне «утечки мозгов», финансовых трудностей и других сдерживающих факторов развитие шло в основном за счет усилий энтузиастов и научной базы высшей школы. Видимо, именно с этим связана критика нового министра образования и науки в адрес Российской академии наук [1]. На сегодняшний день во многих отраслях науки – и тем более производства – образовалось значительное отставание от общемирового уровня. В этих условиях проведение научных исследований без предварительного анализа зарубежных аналогов может привести к «изобретению велосипеда». Исторически сложилось, что языком мировой науки, значительно оставив позади конкурентов, стал английский. Соответственно дальнейший сравнительный анализ будем проводить в отношении русскоязычных и англоязычных терминов.

Следует отметить, что проблема создания портативного спектрометра для ре-

гистрации нейтронного излучения в реальном масштабе времени не решена до сих пор. Однако существует целый ряд подходов, опыт которых можно и нужно использовать [2]. Опираться лишь на достижения российской науки в этой области сложно, поскольку заявленной проблематикой в России занимается всего несколько научных организаций. При этом большинство публикаций от их сотрудников выходит в иностранных журналах и на английском языке. Для адекватного переноса опыта зарубежных разработчиков в области метрологической проверки характеристик нейтронных спектрометров следует четко понимать значение терминов, принятых в России и за рубежом, и соответственно проводить аналогии.

На значение многих терминов в области российской метрологии значительное влияние оказала начатая в начале 200-х годов реформа технического регулирования [3]. На протяжении десятилетия был принят ряд нормативных актов, существенно изменивших процесс управления соответствием средств измерений предъявляемым к ним требованиям.

Согласно федеральному закону «Об обеспечении единства измерений» [4] **поверка** – «совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям». Там же: «Правительством Российской Федерации устанавливается перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии».

В том же законе калибровка – «совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений» и далее «средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке. Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин, а при отсутствии соответствующих государственных первичных эталонов единиц величин – к национальным эталонам единиц величин иностранных государств». И далее: «результаты калибровки средств измерений, выполненной аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, могут быть использованы при поверке средств измерений в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений».

Калибровка заменила ранее существовавшую в нашей стране ведомственную поверку и метрологическую аттестацию средств измерений. В отличие от поверки, осуществляемой органами государственной метрологической службы, калибровка может проводиться любой метрологической службой (или физическим лицом) при наличии надлежащих условий для квалифицированного выполнения этой работы. Калибровка – добровольная операция, и ее может выполнить также и метрологическая служба самого предприятия. Это еще одно отличие от поверки, которая, как уже сказано выше, обязательна и подвергается контролю со стороны органов государственной метрологической службы [5].

До принятия Федерального закона об обеспечении единства измерений (ФЗ

№ 102) калибровка определялась как совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и/или пригодности к применению средств измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору [6]. Под пригодностью средства измерения подразумевается соответствие его метрологических характеристик ранее установленным техническим требованиям, которые могут содержаться в нормативном документе или определяться заказчиком. Вывод о пригодности делала калибровочная лаборатория. В ФЗ № 102 значение понятия «калибровка» сузили, убрав из него определение пригодности средства измерения. Поверка принципиально отличается от калибровки тем, что по её результатам делается вывод о пригодности средства измерения к применению или признание его непригодным.

Теперь обратим внимание на аналогичные понятия, используемые в зарубежной метрологии. Контроль качества измерительных приборов осуществляется путем их калибровки. Под этим термином буквально понимается процесс сравнения показаний двух средств измерения и приближения одного к другому насколько это возможно. Устройство с известными или считающими правильными показаниями называют эталонным (standart), а второе – тестируемым (unit under test). Именно калибровка используется в качестве основного требования, необходимого для использования прибора по назначению.

Любая книга по метрологии так или иначе раскрывает термин «прослеживаемость» (traceability). Вообще прослеживаемость – это краеугольное понятие западной метрологии. Любая калибровочная лаборатория обязана соблюдать прослеживаемость цепочки (traceability chain) своих эталонов [7]. Лаборатория, проводящая калибровку приборов для сторонних лиц и организаций, может иметь рабочий эталон, прослеживаемый от первичного, находящегося обязательно за пределами этой лаборатории, или первичный эталон, прослеживаемый от государственного. Государственный эталон в свою очередь прослеживается от международного. В советской – а теперь и российской – метрологии прослеживаемости соответствует термин «поверочная схема». Они близки вплоть до совпадения.

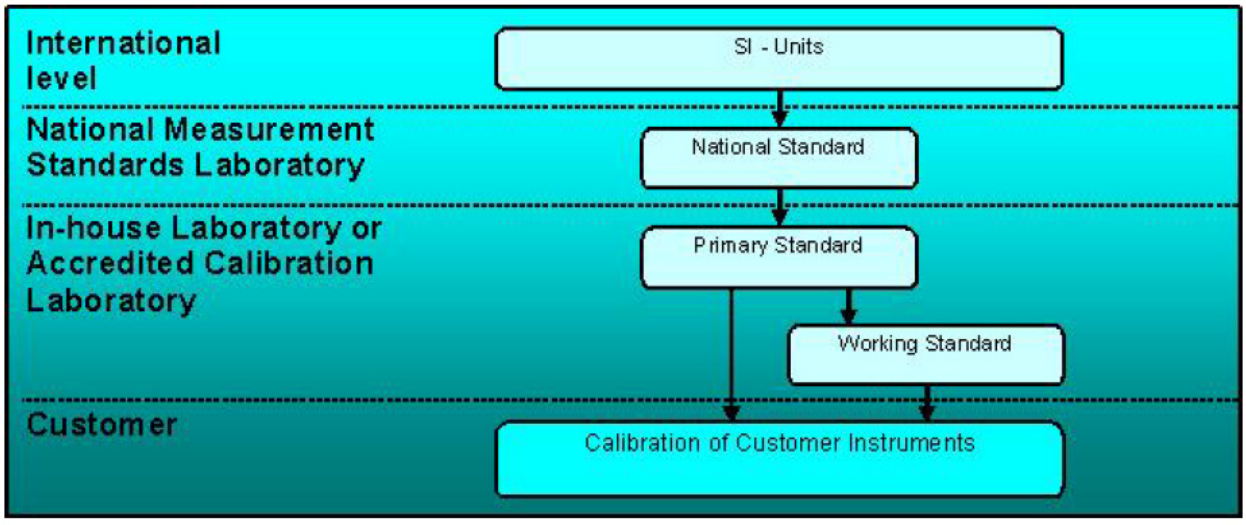


Рис. Пример цепочки прослеживаемости

Рассмотрим термин «характеризация» (characterization). Его содержание раскроем на примере калибровки и характеризации воспроизведения цветов компьютерными мониторами. После выхода из производства монитор должен быть откалиброван. Для этого на экран устанавливаются специальные аппаратные калибраторы, которые фотографируют изображение, анализируют его по специальным алгоритмам и вносят изменения в прошивку монитора для того, чтобы на экране формировалось изображение с цветами, близкими заявляемым производителем. После проведения калибровки обычно создается файл настройки того, как монитор воспроизводит цвета. Такой файл носит название профиля ICC. Процесс сбора характеристик и сохранения называется характеризацией или профилированием. Важно понять, что профиль сам по себе никак не влияет на показания монитора. Однако если нам нужно распечатать на принтере изображение, подготовленное на мониторе, или продолжить обработку изображения, полученного на сканере, то для корректного отображения цветов нужно согласовать ICC-профили этих устройств. Для этого используются модули управления цветом CMM. Таким образом, профилирование само по себе не влияет на показания средств измерения. Это только описание и сохранение его характеристик [8].

В этом смысле характеризация по форме похожа на то, чем, согласно ФЗ № 102, является калибровка в России. Однако по содержанию она не подразумевает какого бы то ни было регулирования и может производиться в любом виде, в отличие от российской калибровки, осуществляемой по определенным методикам определенными организациями, зарегистрированными в системе РСК (Российская система калибровки, порядок регистрации регламентируется правилами ПР РСК 004-2000) или соответствующим образом аккредитованными согласно правилам ПР 50.2.018-95 ГСИ [9]. Поэтому встречающийся в многочисленных статьях о нейтронных спектрометрах термин «характеризация» следует понимать как описание характеристик, примерную оценку работоспособности в отсутствие возможности провести калибровку или любую другую точную проверку.

Термину «поверка» не соответствует ни один из применяемых за рубежом. Отсутствие аналогов связано с тем, что государство там не принимает участия в регулировании безопасности и тем более качества продукции, а соответственно, и метрологических основ производства. Эти обязанности исторически лежат на плечах производителей. Главный регулирующий качество продукции инструмент – это ее конкурентоспособность. И принимаемые в области контроля качества стандарты и системы сертификации преследуют две цели. С одной стороны, это внутренний стимул компании к сохранению качества продукции, а соответственно, получению маркетингового преимущества перед конкурентами. С другой стороны, стандартизация номенклатуры выпускаемой продукции в соответствии с общепринятыми нормами позволяет использовать товары разных производителей в составе единых систем. Типичный пример – это персональный компьютер. Внутри одного системного блока успешно выполняют свои функции сложнейшие электронно-механические комплектующие разных фирм, объединенные в единое устройство благодаря стандартизованным разъемам SATA, PCIe, USB и др.

Подводя итоги, отметим, что при проведении обзора англоязычных литературных источников следует в первую очередь обращать внимание на те из них, которые посвящены калибровке нейтронных спектрометров. Это достаточно сложный процесс, требующий научной подготовки, финансовой материальной

базы и многолетних упорных исследований. Следовательно, и публикуемые результаты, как правило, имеют значительную ценность. Абсолютное большинство других статей, посвященных характеризации, описанию характеристик, моделированию спектрометров и так далее, говорят о невозможности проведения авторами серьезной проверки их приборов на соответствие заявляемому функционалу, а потому редко имеют серьезную научную ценность.

Список литературы

1. Министр образования и науки РФ Дмитрий Ливанов. Для тех, кому удобнее читать [Электронный ресурс] // Национальный образовательный проект «Умная школа». URL: http://xn----7sbb3bfchl3b4c4d.xn--p1ai/blog/315/n1238.

2. Дрейзин В.Э. Нейтронная спектрометрия: концепция построения нейтронного спектрометра реального времени // Журнал «АНРИ». 2010. № 4 (63). С. 13–19.

3. Реформа технического регулирования: пять лет спустя: Интернет-конференция Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Элькина Григория Иосифовича [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал «Гарант». URL: http://www.garant.ru/action/conference/10081.

4. Об обеспечении единства измерений: федер. закон от 26 июня 2008 // Российская газета. 2008. 2 июля.

5. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. 671 с.

6. Ушаков И.Е., Шишкин И.Ф. Прикладная метрология: учеб. для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб., 2002. 116 с.

7. Calibration book / Janne Kivilaakso, Antero Pitkäkoski, Jori Valli, Mike Johnson, Nobuo Inamoto, Arja Aukia, Masaki Saito. Helsinki, Finland: Vaisala Oyj, 2006. 118 p.

8. Комментарии к статье 18 – Калибровка средств измерений // Метрология. Метрологическое обеспечение производства [Электронный ресурс]. URL: http://www.metrob.ru/HTML/edinstvo/kalib.html.

Получено 16.04.12.

I.V. Polischuk, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: yzgu@ya.ru)

V.E. Dreysin, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
((tel.: (4712)58-71-00))

ABOUT THE DIFFERENCES IN RUSSIAN AND FOREIGN TERMINOLOGY IN CALIBRATION OF NEUTRON SPECTROMETERS

This paper is devoted to comparative analysis of metrologic terminology in neutron spectrometers calibration. Summarizes the differences entities of calibration, verification, characterization in russian and foreign practice.

Key words: *terminology, calibration, neutron spectrometry.*

УДК 519.863

Н.А. Чепиков, преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: cansler117@mail.ru)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РЕГИОНА

Определено место ГИС в структуре социально-гигиенического мониторинга, построена математическая модель, позволяющая более точно определить концентрации загрязнителей в атмосфере, предложен метод поддержки принятия управленческих решений в процессе проведения социально-гигиенического мониторинга.

Ключевые слова: *социально-гигиенический мониторинг, геоинформационная система, риск здоровью населения.*

***

В настоящее время чрезвычайно высок уровень техногенного воздействия на окружающую среду. Наибольшую нагрузку от воздействия негативных техногенных факторов принимает на себя атмосферный воздух. В свою очередь атмосферный воздух, накапливая продукты антропогенной деятельности, оказывает негативное воздействие на здоровье человека.

В современных городах сильнейшим источником загрязнения атмосферного воздуха, вносящим зачастую до 90% от общей массы загрязнений, является автомобильный транспорт, выбросы которого, содержащие в себе широкий спектр химических соединений, оказывают отрицательное влияние на здоровье людей. В связи с этим задача управления воздействием автомобильного транспорта на воздушную среду и здоровье населения остается одной из наиболее важных и актуальных.

Исходные данные для решения этой задачи можно получить посредством социально-гигиенического мониторинга, осуществляемого Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и включающего оценку состояния здоровья населения и среды обитания, а также определение причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием на него факторов среды.

Обеспечение функционирования такого сложного организационно-аналитического процесса невозможно без использования современных информационных технологий, причем в большей степени как инструмента всестороннего анализа имеющегося информационного пространства с целью рационального управления процессами, протекающими в системе «автотранспорт – внешняя среда – здоровье человека» [1].

В качестве такого инструмента могут выступить геоинформационные системы (ГИС). ГИС являются эффективным инструментом для выявления причинно-следственных взаимосвязей, образующихся в системе «автотранспорт – внешняя среда – здоровье человека», и поддержки принятия решений с целью снижения воздействия автотранспорта на воздушную среду и медико-демографическую ситуацию [2].

Таким образом, актуальной является задача разработки информационной системы поддержки принятия управленческих решений на основе анализа многомерных геоинформационных данных социально-гигиенического мониторинга.

Для описания такой сложной системы, как социально-гигиенический мониторинг, анализа его структуры, функций, информационных потоков и в конечном итоге внедрения новых элементов структуры с целью оптимизации процессов в системе используется IDEF-моделирование.

Основной целью разработки IDEF-модели Управления Роспотребнадзора по Курской области было исследование структуры органа государственной власти, определение места социально-гигиенического мониторинга в этой структуре, разработка предложений по совершенствованию структуры организации и системы СГМ с целью повышения качества оценки негативного влияния выбросов автотранспорта на здоровье населения и повышения обоснованности предлагаемых мероприятий по снижению этого влияния [1].

В ходе обратного инжиниринга процесс социально-гигиенического мониторинга был представлен в виде комбинации четырех процессов второго уровня декомпозиции (рис. 1): «Гигиеническая оценка факторов среды обитания и состояния здоровья населения», «Выявление причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания человека», «Установление причин возникновения и распространения заболеваний», «Предложение необходимых мер по устранению воздействия вредных фак-

торов среды обитания человека». Анализ структурно-функциональной модели социально-гигиенического мониторинга позволил определить основные ее недостатки:

1. Невозможность информационного обмена между элементами системы из-за отсутствия средств накопления, интеграции, обработки и хранения разнородных данных мониторинга.

2. Отсутствие системы поддержки принятия управленческих решений. Как следствие, невозможность принятия взвешенного решения исходя из имеющейся информации, невозможность эффективного управления процессом мониторинга.

Недостатки структурно-функциональной модели СГМ, выявленные в ходе обратного инжиниринга, обусловили необходимость прямого инжиниринга рассматриваемой модели с целью определения направлений ее реорганизации (модернизации).

Результатом обратного инжиниринга стало внедрение в структуру модели социально-гигиенического мониторинга геоинформационных технологий как элемента поддержки принятия решений при оценке воздействия автотранспортных средств на здоровье человека с целью повышения эффективности управления в системе «АСН». Разработанная новая структурно-функциональная модель позволяет:

1) разрабатывать альтернативные управляющие воздействия, реализуемые лицом, принимающим решение, в процессе проведения СГМ, направленные на снижение негативных эффектов выбросов автотранспорта;

2) обеспечивать эффективный информационный обмен между элементами системы СГМ, а также органами государственной власти и ведомственными структурами в процессе проведения социально-гигиенического мониторинга.

Контекстная диаграмма разработанной структурно-функциональной модели представлена на рисунке 2.

Отличительной особенностью разработанной IDEF-модели является внедрение геоинформационных технологий как элемента поддержки принятия решений при оценке воздействия автотранспорта на здоровье населения, что позволит повысить эффективность управления в системе «автотранспорт – внешняя среда – здоровье человека».

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха было разработано математическое обеспечение указанного ГИС-приложения. Для расчета концентраций загрязнителей в атмосфере предложено использовать комплекс моделей, состоящий из модифицированной модели CALINE-4 (California Line Source Model) [3], отличающейся тем, что для адаптации модели к условиям региона предложено заменить генератор входных пробеговых коэффициентов для CALINE-4 результатами расчета по методике определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов [4] (для долгосрочного прогнозирования) и методике расчета рассеивания ОНД-86 [5], основанной на модели М.Е. Берлянда [6] (для оценки мгновенных концентраций).

Схема алгоритма расчета и построения пространственно-территориального распределения концентраций загрязняющих веществ от выбросов автотранспорта представлена на рисунке 3.

Для оценки риска здоровью населения от выбросов автотранспортных средств и выбора мер по снижению этого воздействия был разработан алгоритм, отличающийся использованием на этапе построения пространственно-территориального распределения концентраций загрязняющих веществ в воздушной среде результатов совместного моделирования по моделям CALINE-4 и Берлянда, а также ранжированием автомагистралей по степени их воздействия на окружающую среду и здоровье населения при построении плана мероприятий социально-гигиенического мониторинга.

Схема алгоритма представлена на рисунке 4.

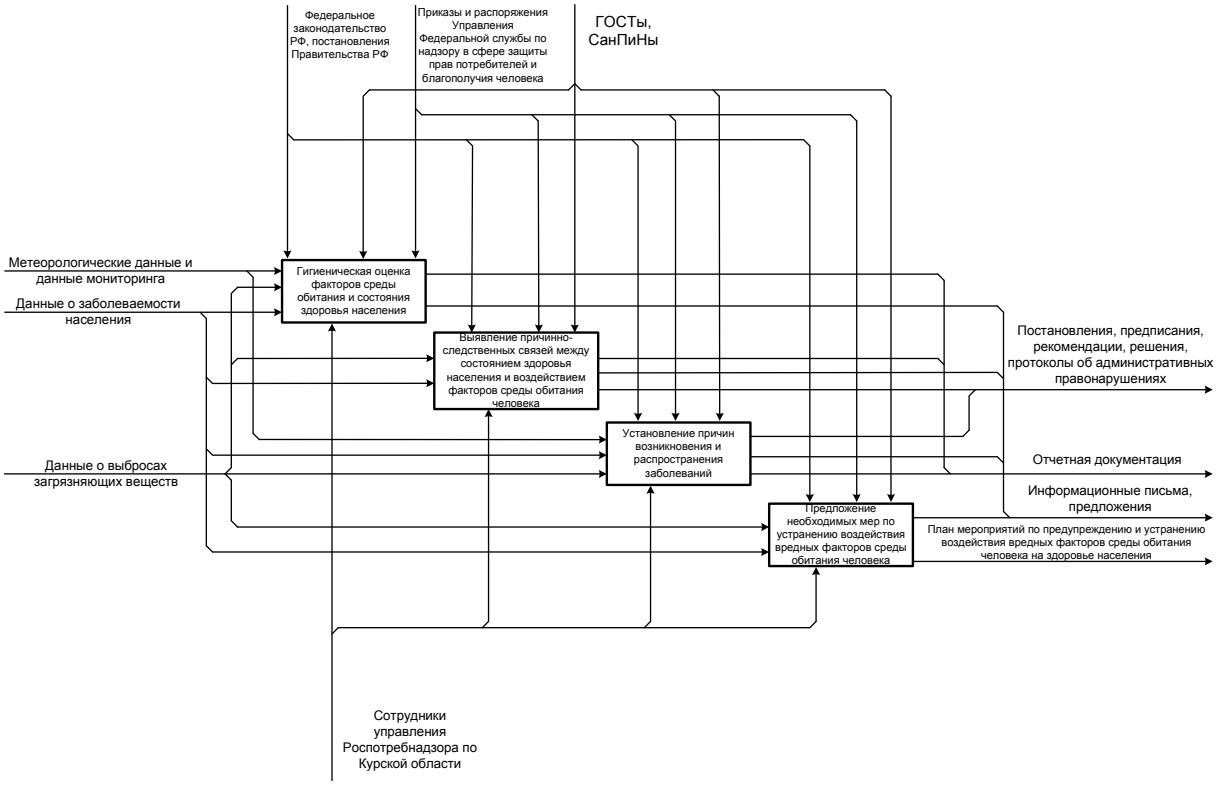


Рис. 1. Декомпозиция процесса социально-гигиенического мониторинга

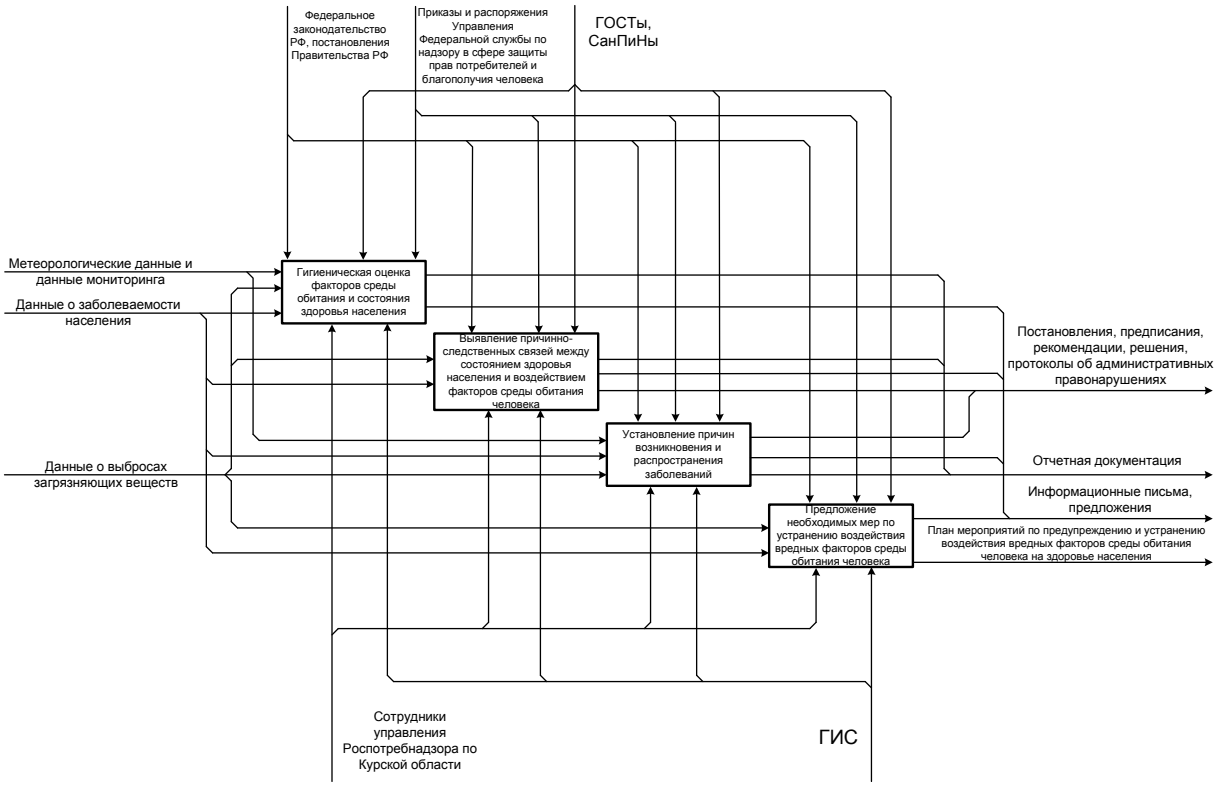


Рис. 2. Контекстная диаграмма структурно-функциональной модели ТО-ВЕ

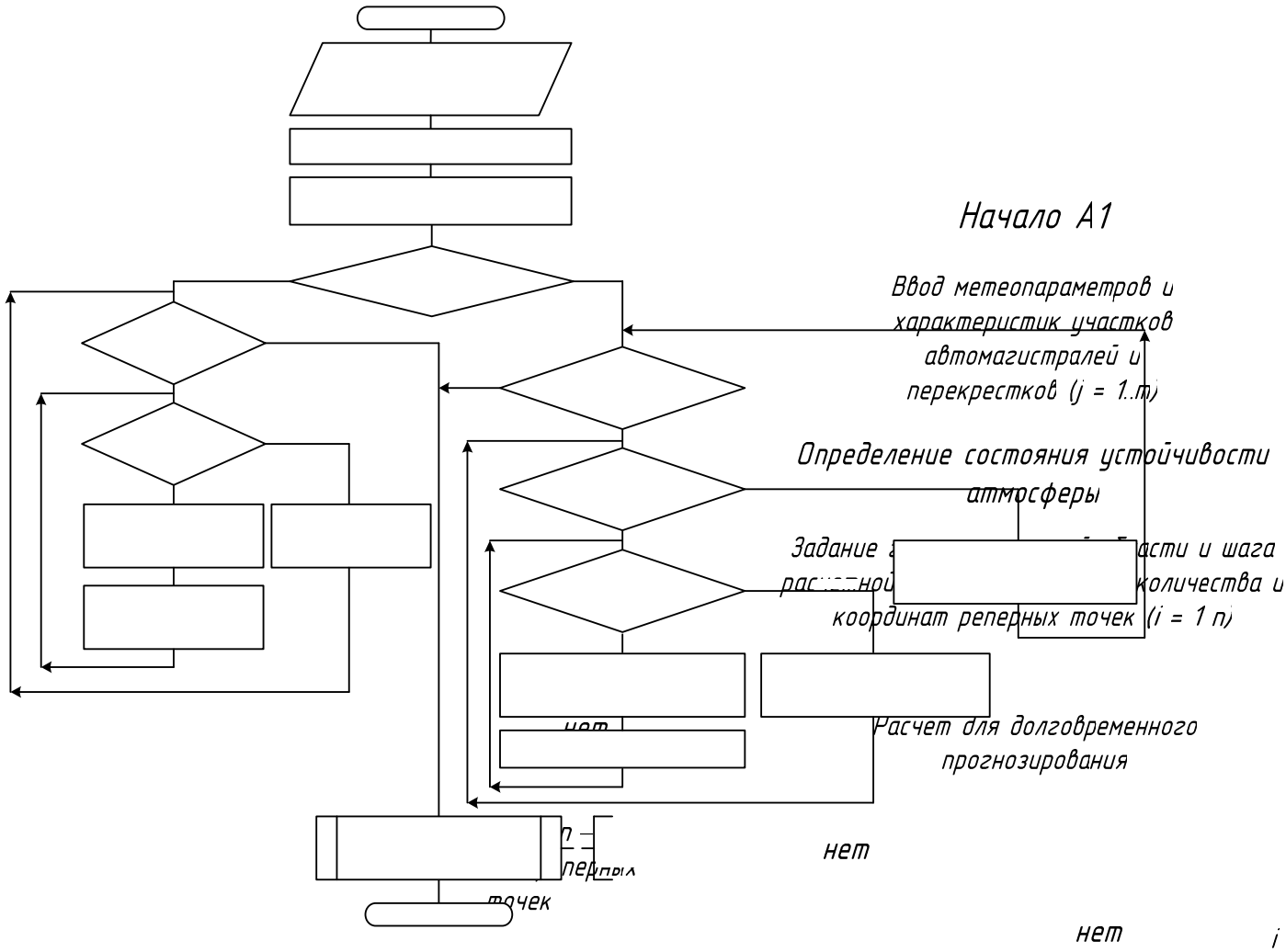


Рис. 3. Схема алгоритма расчета и построения пространственно-территориального распределения концентраций загрязняющих веществ от выбросов автотранспорта

Метод принятия решений, направленных на снижение негативного воздействия выбросов автотранспорта на воздушную среду и здоровье населения, состоит из следующих операций: измерение параметров воздушной среды и оценка пространственно-территориального распределения концентраций загрязнителей, определение индекса загрязнения атмосферы; ранжирование области контроля по степени опасности для здоровья населения; оценка риска здоровью населения; разработка мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия выбросов автотранспорта на здоровье населения. Каждая операция представляет собой отдельный алгоритм, решающий конкретную практическую задачу.

Структура метода представлена на рисунке 5.

Для эффективного решения задачи охраны здоровья человека разработана система поддержки принятия решений (СППР) применительно к социально-гигиеническим мониторингам, структурно-функциональная организация которой представлена на рисунке 6.

Разработанное на основе структурно-функциональной организации программное обеспечение выполняет следующие функции:

– ввод, хранение и обработку данных о характеристиках транспортного потока, состоянии атмосферного воздуха и медико-демографических показателях;

– расчет приземных концентраций, создаваемых выбросами автотранспорта,

и оперативное отображение результатов расчетов;

– на основании проведенных расчетов ранжирование автомагистралей по степени воздействия на окружающую среду и здоровье человека;

– построение различных статистических графических зависимостей на основании проведенных расчетов;

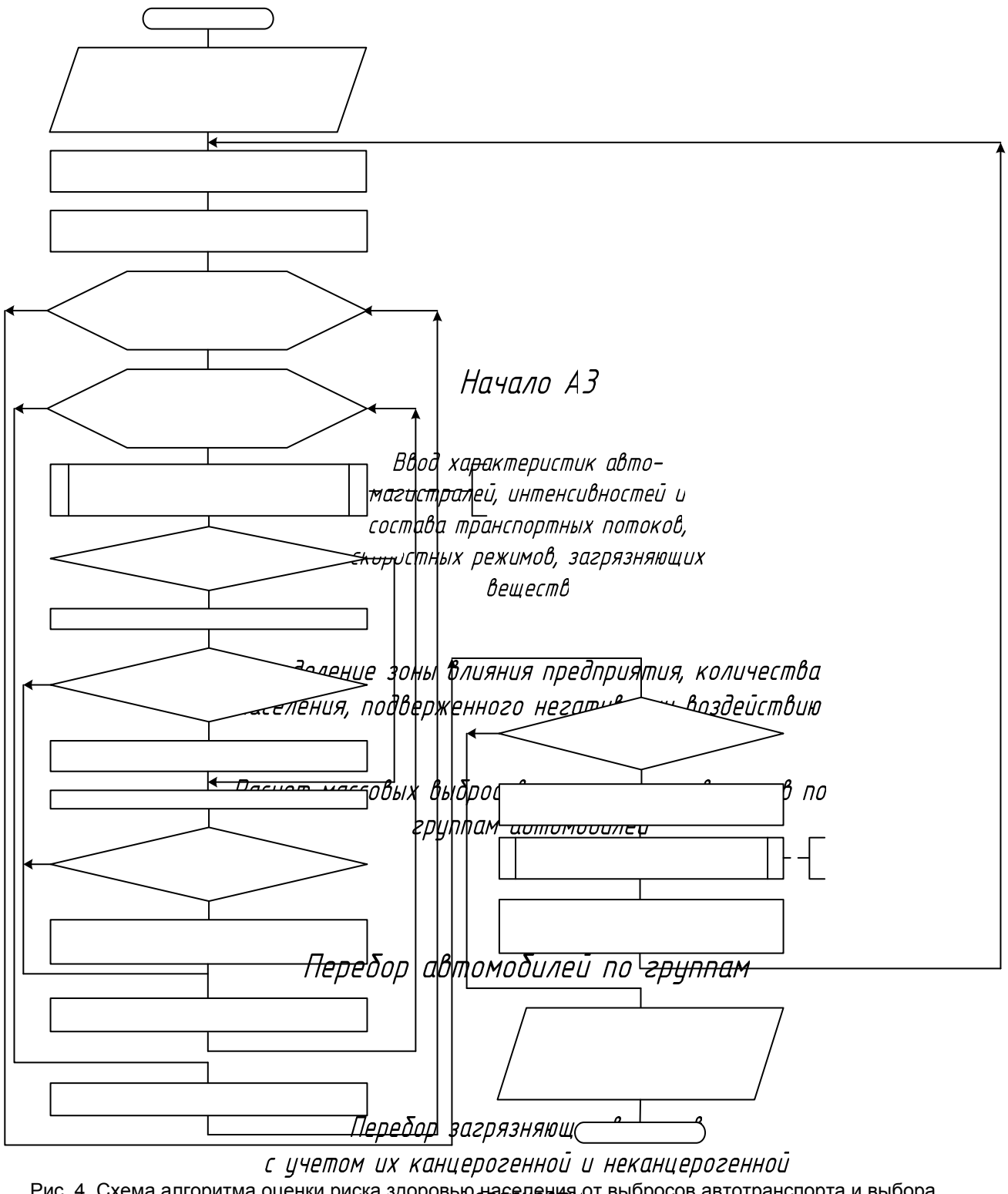


Рис. 4. Схема алгоритма оценки риска здоровью населения от выбросов автотранспорта и выбора мероприятий для снижения воздействия автотранспорта на здоровье человека и окружающую среду

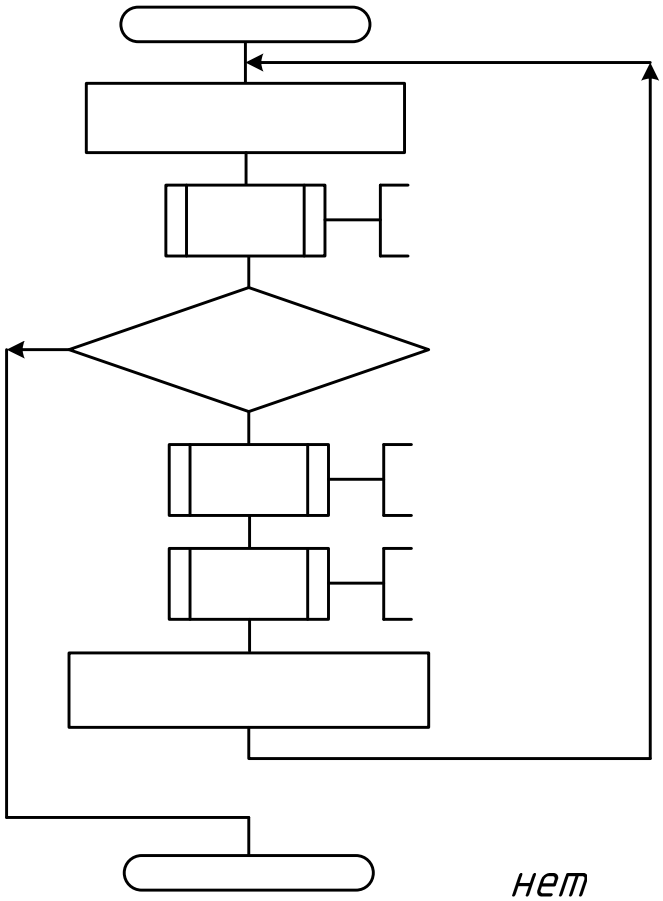


Рис. 5. Структура метода принятия решений при управлении состоянием системы

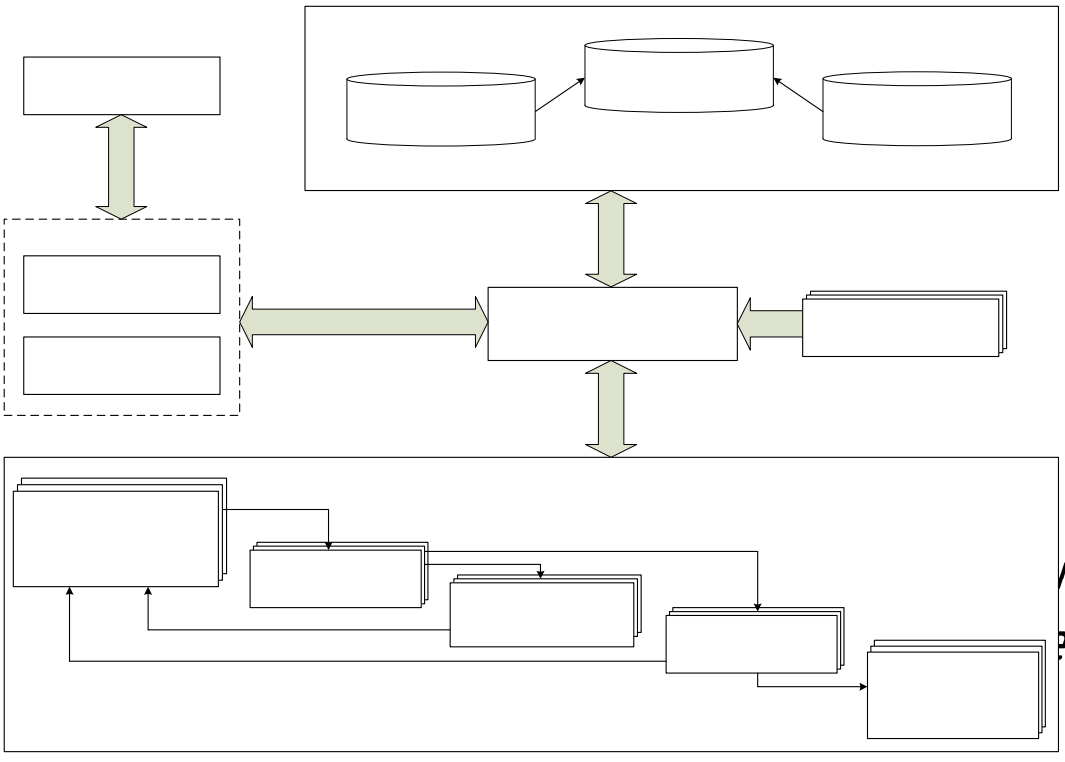


Рис. 6. Структурно-функциональная организация СППР

– осуществление многофакторного поиска информации базы данных по критериям, определяемым пользователем;

– визуализацию на электронной карте объектов загрязнения, пятен выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта для обеспечения поддержки принятия решений при определении приоритетных районов проведения социально-гигиенического мониторинга и степени воздействия выбросов автотранспорта на здоровье людей.

Разработанные алгоритмы и программное обеспечение позволят оперативно разрабатывать мероприятия по снижению негативного воздействия выбросов автотранспорта на состояние здоровья населения, повышая тем самым эффективность проведения социально-гигиенического мониторинга в регионе [7].

Список литературы

1. Чепиков Н.А., Рыкунова И.О., Юшин В.В. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга региона с использованием IDEF-моделирования и ГИС // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1 (40). С. 219–228.

2. Чепиков Н.А., Рыкунова И.О. Управление процессами воздействия загрязнения атмосферы на состояние здоровья населения с помощью геоинформационных технологий // Управление в социальных и экономических системах: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. С. 183–185.

3. Benson P. CALINE4 – a dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways. FHWA/CA/TL-84/15. Sacramento, CA, California Department ot Transportation, 1984. 45 p.

4. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. М., 1999.

5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД–86. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 95 с.

6. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

7. Чепиков Н.А. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга региона с использованием геоинформационных технологий // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2011. № 4 (20). Ч.1. URL: http://scientific-notes.ru/pdf/022-004.pdf. № государственной регистрации 0421100068\0143.

Получено 14.05.12.

N.A. Chepikov, Lecturer, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: cansler117@mail.ru)

THE SOLUTION OF MANAGEMENT TASKS DURING THE SOCIALLY-HYGIENIC MONITORING OF A REGION

The article defines the plase of GIS in socially-hygienic monitoring structure. Moreover, this article offers the mathematical model, which allows to define concentration of pollutants in atmosphere more precisely. Also it offers the method for decision-making support during the socially-hygienic monitoring.

Key words: *socially-hygienic monitoring, geoinformation system, health risk.*

УДК 004.031

Е.А. Титенко, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: johntit@mail.ru)

И.С. Зерин, канд. техн. наук. программист ООО «Фарма-Нэт»
(e-mail: sphinks@newmail.ru)

Е.Б. Тутов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: tutov-e-b@yandex.ru)

А.В. Крипачев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: xray-007@maiil.ru)

Д.М. Зарубин, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: orion-589@yandex.ru)

А.В. Белокопытов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru).

ИНДИКАТОР МНОЖЕСТВЕННЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ СЛОВ КАК ОСНОВА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРОДУКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

В статье исследуются вопросы организации параллельных продукционных вычислений с множественными пересечениями образца и модификатора, обосновывается структура операционной части специализированного продукционного устройства.

Ключевые слова: *параллельная продукционная система, множественный поток данных, структурно-параметрический синтез устройства.*

***

Актуальность работы

Однородные вычислительные устройства (ВУ) с нетрадиционной архитектурой, ориентированные на организацию параллельных вычислений для интеллектуальных компьютерных систем обработки символьной информации (ОСИ), являются перспективным направлением развития микропроцессорной вычислительной техники (ВТ). Наибольший интерес для разработки устройств и систем представляют проблемно-поисковые задачи ОСИ, которым свойственен параллелизм потока данных. Символьная информация характеризуется вариативностью ее представления на физическом и логическом уровнях: динамически изменяемые коллекции структур данных, переменные границы размера минимальной дискретной единицы обработки, множественные структурные зависимости между элементами, иерархическое представление, комбинация локальных и глобальных процессов преобразования с учетом искажений, неполноты или избыточности символьных структур [1]. По мнению ведущих специалистов в области многопроцессорных вычислительных систем (МВС) и специалистов инженерии знаний, эффективная организация параллельных вычислений связана с моделями и методами разрешения конфликтов между динамично возникающими и взаимодействующими потоками команд и данных [2,3].

Известные перспективные процессорные архитектуры (VLIW-, EPIC-, мультиконвейеры и др.) ориентированы исключительно на обработку числовых данных. В них на программно-аппаратном уровне поддерживается разрешение конфликтов между множественными потоками команд, статически формируемыми до начала вычислений распараллеливающим компилятором. Эффективное разрешение конфликтов на множественных потоках данных в задачах ОСИ может быть осуществлено с использованием таких форм распараллеливания, которые свойственны естественному интеллекту в части применения базовой схемы приня-

тия решений «условие→действие» и применением принципа параллельного исполнения набора команд по степени готовности всех операндов. Особая система правил (система продукций) как формализация данной схемы, а также аппаратно-программные средства, поддерживающие базовые продукционные операции, составляют основу продукционной парадигмы вычислений, применяемой для параллельной обработки символьной информации. Целесообразность выбора аппарата продукционных систем (ПС) определяется следующими ее свойствами:

– наличие дескриптивно полных ПС (алгоритмы А.А. Маркова, системы Э. Поста, грамматики Н. Хомского, исчисления Туэ и др.), способных задать любой вычислительный процесс;

– унификация структуры правила (продукции), позволяющая использовать и аппаратно поддержать типовой набор символьных операций (операции поиска, модификации данных с означиванием переменных);

– однородность структуры ПС, позволяющая выявлять, исследовать общие законы организации ветвящихся продукционных процессов и обосновывать законы их временной оптимизации;

– разрешительный (недетерминированный) характер схемы управления продукциями, позволяющий гибко изменять стратегию продукционного вывода в ПС;

– модульность и структурная наращиваемость ПС, определяющая легкость модификации ее состава и автономность работы отдельных правил;

– естественный параллелизм потока данных в работе ПС.

Тем не менее ПС получили ограниченную аппаратную поддержку в современной ВТ. Они, как правило, реализуются программно, что приводит к неудовлетворительным временным характеристикам вычислительных устройств при решении задач ОСИ. Известные технические средства для проблемно-поисковых задач ОСИ не позволяют в полной мере достигнуть необходимой производительности вычислений (тера-, петафлопсная производительность [2]). С точки зрения проектировщика, главная проблемная ситуация заключается в отсутствие обоснования структуры операционной части однородных продукционных устройств ОСИ, имеющих архитектуру PIM (Processor in Memory).

В связи с этим возникает актуальная задача структурно-параметрического синтеза структуры операционной части однородных продукционных PIM-устройств ОСИ.

Постановка задачи

Достаточно перспективным классом устройством с массовым параллелизмом является класс реконфигурируемых мультипроцессоров (МП), под которыми понимается система, состоящая из набора однородных вычислительных устройств, объединенных коммутационной подсистемой между собой и разделяемой рабочей памятью (РП), а также имеющая встроенные средства для динамического изменения соединений в процессе вычислений [4]. Тем не менее, известные продукционные ВУ [5, 6] ориентированы на безотступную обработку одиночных потоков данных при выполнении отдельной продукции, что не всегда позволяет организовать параллельную работу ПС в целом.

Теоретическая оценка T аппаратной сложности операционной части продукционного ВУ должна исходить из аппаратной поддержки базовых продукционных операций поиска по образцу и модификации данных с найденной позиции. Оценка T включает аппаратную сложность следующих функциональных узлов: рабочий регистр хранения образца *RGO*, рабочий регистр хранения модификатора *RGM*, блок длин и соотношений частей продукции *BL0*, k_1 блоков *BL1* по-

иска по образцу, k_2 блоков *BL2* модификации, сдвиговый регистр входного слова RG_IN, сдвиговый регистр выходного слова RG_OUT. Общий вид оценки T имеет следующий вид:

$$T = hw(RGO) + hw(RGM) + hw(RN_IN) + \\ + hw(RG_OUT) + hw(dk_1BL1) + \\ + hw(dk_2BL2) + hw(BL0),$$

где *hw*() – аппаратная сложность узла; *d* – признак организации работы k_1 блоков поиска или k_2 блоков модификации.

Сущность предлагаемого подхода к структурно-параметрическому синтезу заключается в использовании структурно-лингвистического индикатора (конструктивной конъюнкции) множественных пересечений образца и модификатора продукции, а также определения максимально возможного количества одновременно истинных членов конструктивной дизъюнкции. Структурно-параметрический синтез однородного продукционного ВУ основан на аппаратной поддержке базовых продукционных операций и определении необходимого количества операционных блоков по числу одновременно истинных членов конструктивной конъюнкции для безотступного выполнения продукции. Шаги по настройке операционных блоков (блоков поиска и модификации) выполняются на основе разработанного структурного индикатора, что определяет выбор режима работы устройства, включающий программирование его отдельных узлов. Данные операции также массово используются в различных прикладных интеллектуальных системах, основанных на продукционной модели обработки знаний, что определяет востребованность продукционных однородных ВУ для задач поддержки принятия решений.

Прикладной стороной предлагаемого подхода является сокращение избыточных затрат времени на реализацию операций поиска и модификации в рамках одного устройства.

Индикатор множественных пересечений образца и модификатора продукции и метод разрешения конфликта данных

Пусть в алфавите *A* задана продукционная система, состоящая из одной продукции вида

$$O \to M\ , \qquad (1)$$

где *O*, *M* – строка-образец и строка-модификатор соответственно; $O \subset A^*$, $M \subset A^*$.

Как известно [8], множественные варианты пересечения строки-образца *O* и строки-модификатора *M* описываются конструктивной дизъюнкцией вида

$$(O^K = M^H) \vee (O^H = M^K) \vee \\ \vee (O^K = M) \vee (O^H = M) \vee (O\ = CMD). \qquad (2)$$

Конструктивный характер выражения (2) определяется тем, что ее каждый член понимается как аналитическая запись алгоритма, реализующего поиск пересечения двух строк.

Если истинность (2) определяется двумя и более ее членами, то возникает ситуация множественного пересечения образца и модификатора. Проблемная ситуация срабатывания продукции с множественными пересечениями заключается в том, что необходимы соответствующие аппаратные средства поддержки нескольких вычислительных процессов поиска и модификации обрабатываемых символьных данных.

Для обработки множественных пересечений слова-образца *O* и слова-модификатора *M* в составе продукции вводится операция соединения продукций, обозначаемая как ∇. Данная операция соединения продукций *Pi* (i=1÷m) является разновидностью операции конкатенации слов с общей частью [5]. Она также удовлетворяет свойствам ассоциа-

тивности, коммутативности и транзитивности:

1) $\mathrm{P}_1\nabla P_2\nabla P_3...\nabla \mathrm{P}_{m\text{-}1}\nabla P_m =$
$= (P_1\nabla P_2)\nabla(P_3\nabla P_4)...\nabla(P_{m-1}\nabla P_m);$

2) $P_1\nabla P_2\nabla P_3...\nabla P_m =$
$P_m\nabla P_{m-1}\nabla P_{m-2}...\nabla P_1 =$
$= ... = P_3\nabla P_m\nabla...P_2\nabla P_1;$

3) $\mathrm{P}_1\nabla P_2\nabla P_3...\nabla P_m =$
$= (...((P_1\nabla P_2)\nabla P_3)...\nabla P_m).$

Операция соединения продукций производится над левыми и правыми частями соединяемых продукций в совпадающих позициях над структурно идентичными фрагментами конструктивных объектов: собственных начал, окончаний и центральных частей слов. Как известно, любой конструктивный объект O, имеющий дискретную структуру и составляемый по типовым правилам правой, левой, двойной конкатенаций, разбивается на три структурные части: собственное начало O_H, цент (тело) O_T, собственное окончание O_K, т.е. в общем случае справедливо равенство

$$O = O^H O^T O^K. \qquad (3)$$

Сущность m-арной операции соединения заключается в замещении одним активным объектом m-1 структурно одинаковых объектов, которые понимаются как неактивные. В качестве активного объекта принимаются слово-модификатор М или его структурные части – собственное начало МН, собственное окончание M^{K} сответственно, что необходимо для воссоздания входного слова, на котором образуются множественные пересечения образца и модификатора продукции. При наличии двух и более активных объектов в совпадающих позициях слов, входящих в состав продукции, операция соединения продукций не выполняется, так как нет приоритета замещения активных объектов из различных продукций. В этом случае формируется пустое слово *NILL*.

Для дальнейших рассуждений формализуется операция соединения продукций следующей детализацией слов-образцов и слов-модификаторов:

$$(O_1 \to M)\nabla(O_2 \to M)\nabla(O_3 \to M)\nabla....$$
$$...(O_m \to M) = (O_{m+1} \to M).$$

Из вышеприведенной записи рассматриваемой операции следует, что

$$O_{m+1} = \nabla(O_1, O_2, O_3...O_m).$$

Детализация конструктивного объекта по (3) позволяет перейти к следующему выражению:

$$(O^H O^T O^K)_{m+1} = \nabla\{(O^H O^T O^K)_1, (O^H O^T O^K)_2,$$
$$(O^H O^T O^K)_3...(O^H O^T O^K)_m\},$$

из которого следует

$$O^{H}{}_{m+1} = \nabla\{O^{H}{}_1, O^{H}{}_2, O^{H}{}_3...O^{H}{}_m\}; \qquad (4)$$

$$O^{T}{}_{m+1} = \nabla\{O^{T}{}_1, O^{H}{}_2, O^{H}{}_3...O^{H}{}_m\}; \qquad (5)$$

$$O^{K}{}_{m+1} = \nabla\{O^{K}{}_1, O^{K}{}_2, O^{K}{}_3...O^{K}{}_m\}. \qquad (6)$$

Процесс замещения слов в операции ∇ описывается следующим образом.

Пусть задан алфавит ACTIVE активных объектов, выделенных из слова-модификатора продукции ACTIVE = (M, M^H, M^K). Тогда соотношения (4), (5), (6) выполняются путем определения номера продукции j, содержащего активный объект, на основе итерационной процедуры определения количества k активных объектов в правых частях (4), (5), (6):

– $k = 0$;

– если $O_j \subset ACTIVE$, то k=k+1.

В дальнейшем, в зависимости от значения k, замещение слов приводит к следующим результатам:

1) $(k = 0) \,|\, (\nabla(O_1, O_2, O_3...O_m) = O_1;$

2) $(k = 1) \,|\, (\nabla(O_1, O_2, O_3...O_m) = O_j;$

3) $(k > 1) \,|\, (\nabla(O_1, O_2, O_3...O_m) = \mathrm{NILL}.$

Для определения операционной структуры устройства далее анализируются всевозможные сочетания членов конструктивной дизъюнкции (2), описывающие в том числе множественные пересечения образца и модификатора продукции (табл. 1).

Таблица 1

Всевозможные варианты сочетания членов конструктивной дизъюнкции

№	$O^K = M^H$	$O^H = M^K$	$O^K = M$	$O^H = M$	$O^T = M$	Примечание
1	0	0	0	0	0	Нет пересечения
2	0	0	0	0	1	Одиночное пересечение
3	0	0	0	1	0	Одиночное пересечение
4	0	0	0	1	1	
5	0	0	1	0	0	Одиночное пересечение
6	0	0	1	0	1	
7	0	0	1	1	0	
8	0	0	1	1	1	
9	0	1	0	0	0	Одиночное пересечение
10	0	1	0	0	1	
11	0	1	0	1	0	
12	0	1	0	1	1	
13	0	1	1	0	0	
14	0	1	1	0	1	
15	0	1	1	1	0	
16	0	1	1	1	1	
17	1	0	0	0	0	Одиночное пересечение
18	1	0	0	0	1	
19	1	0	0	1	0	
20	1	0	0	1	1	
21	1	0	1	0	0	
22	1	0	1	0	1	
23	1	0	1	1	0	
24	1	0	1	1	1	
25	1	1	0	0	0	
26	1	1	0	0	1	
27	1	1	0	1	0	
28	1	1	0	1	1	
29	1	1	1	0	0	
30	1	1	1	0	1	
31	1	1	1	1	0	
32	1	1	1	1	1	

Варианты множественных пересечений, выделенных серым цветом в таблице 1, составляют особую группу пересечений. Признак вхождения варианта в особую группу пересечений определяется наличием одной из двух конструктивных конъюнкций (варианты №11 или №21):

$$(O^{\mathrm{K}} = M^{H}) \& (O^{K} = M);$$

$$(O^{\mathrm{H}} = M^{K}) \& (O^{H} = M).$$

Каждая из вышеуказанных конструктивных конъюнкций содержит 2 члена, определяющих одновременное пересечение одинакового фрагмента образца (O^K или O^H) с различными фрагментами модификатора. Такое одновременное пересечение одинакового фрагмента образца не может быть выполнено. Действительно, с одной стороны, первые члены обеих конъюнкций предполагают разбиение модификатора на составные части, вместе образующие исходный конструктивный объект *M,* т.е. $M = M^H M^T M^K$. С другой стороны, вторые члены обеих конъюнкций предполагают, что модификатор *M* не является составным. Возникает противоречие представления *M* в рамках каждой конструктивной конъюнкции, что определяет невозможность возникновения такого множественного пересечения, т.е. справедливо

$$(O^{\mathrm{K}} = M^{H}) \& (O^{K} = M) = 0; \qquad (7)$$

$$(O^{\mathrm{H}} = M^{K}) \& (O^{H} = M) = 0. \qquad (8)$$

Все варианты множественных пересечений, содержащие конструктивные конъюнкции (7) или (8), также являются невыполнимыми (выделены серым цветом в табл. 1), а соответствующие им конструктивные конъюнкции – ложными.

На основе выполненных рассуждений далее приводятся потенциально возможные варианты множественных пересечений (табл. 2), среди которых необходимо выделить наиболее общие варианты.

Анализ 12 оставшихся вариантов множественных пересечений показывает:

1) существует 4 варианта, в которых конструктивные конъюнкции содержат 3 члена;

2) существует 8 вариантов, в которых конструктивные конъюнкции содержат 2 члена.

Каждая конструктивная конъюнкция с двумя членами является частным случаем соответствующей конструктивной конъюнкции с тремя членами. Такое вхождение двухчленной конъюнкции в трехчленную конъюнкцию позволяет выделить четыре предельных случая множественного пересечения образца и модификатора (табл. 3).

Таблица 2

Комбинации потенциально возможных вариантов пересечений

№	$O^K = M^H$	$O^H = M^K$	$O^K = M$	$O^H = M$	$O^T = M$	Примечание
1	0	0	0	1	1	Частный случай
2	0	0	1	0	1	Частный случай
3	0	0	1	1	0	Частный случай
4	0	0	1	1	1	
5	0	1	0	0	1	Частный случай
6	0	1	1	0	0	Частный случай
7	0	1	1	0	1	
8	1	0	0	0	1	Частный случай
9	1	0	0	1	0	Частный случай
10	1	0	0	1	1	
11	1	1	0	0	0	Частный вариант
12	1	1	0	0	1	

Таблица 3

Комбинации предельных вариантов пересечений

№	$O^K = M^H$	$O^H = M^K$	$O^K = M$	$O^H = M$	$O^T = M$	Примечание
1	0	0	1	1	1	
2	0	1	1	0	1	
3	1	0	0	1	1	
4	1	1	0	0	1	Наиболее общий предельный случай

Вариант 1.

Проверяется на истинность конструктивная конъюнкция вида

$$(O^{\mathrm{K}} = M\ ) \& (O^H = M\ )(O^T = M).$$

Проверка на истинность выше обозначенной конъюнкции сводится к построению такой вспомогательной продукции, в которой возможен вариант пересечения образца и модификатора в соответствии с каждым членом конъюнкции:

$$(O^{\mathrm{K}} = M\ ),\ O^{\mathrm{H}} O^T O^{\mathrm{K}} \to M \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^{\mathrm{H}} O^T M \to M;$$

$$(O^{\mathrm{H}} = M\ ),\ O^{\mathrm{H}} O^T O^{\mathrm{K}} \to M \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M O^T O^{\mathrm{K}} \to M;$$

$$(O^{\mathrm{T}} = M\ ),\ O^{\mathrm{H}} O^T O^{\mathrm{K}} \to M \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^{\mathrm{H}} M O^{\mathrm{K}} \to M.$$

Операция соединения ∇ продукций позволяет построить тестовое слово *ST*, на котором возникают множественные пересечения образца и модификатора в исходной рабочей продукции:

$$\begin{array}{l} O^{\mathrm{H}} O^T M \to M \\ \nabla\ M\ O^T O^K \to M \\ O^{\mathrm{H}} M\ O^K \to M \\ \hline M\ M\ M\ \to M \end{array}$$

Значение тестового слова ST_1 определяется значением образца продукции, синтезированной из трех вспомогательных продукций:

$$ST_1 = M\ M\ M.$$

Таким образом, определена истинность конструктивной конъюнкции вида

$$(O^{\mathrm{K}} = M\ ) \& (O^H = M\ )(O^T = M) = 1.$$

Вариант 2.

Проверяется на истинность конструктивная конъюнкция вида

$$(O^{\mathrm{K}} = M) \& (O^H = M^K) \& (O^T = M).$$

Проверка на истинность выше обозначенной конъюнкции сводится к построению такой вспомогательной продукции, в которой возможен вариант пересечения образца и модификатора в соответствии с каждым членом конъюнкции:

$$(O^{\mathrm{K}} = M),\ O^{\mathrm{H}} O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^{\mathrm{H}} O^T M\ \to M^H M^K,$$

$$(O^H = M^K),\ O^H O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \Rightarrow$$

$$\Rightarrow\ M^K O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K,$$

$$(O^T = M),\ O^H O^T O^K \to M^H M^K \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^H M\ O^K \to M^H M^K.$$

Операция соединения ∇ продукций позволяет построить тестовое слово *ST*, на котором возникают множественные пересечения образца и модификатора в исходной рабочей продукции:

$$\begin{array}{l} O^H O^T M \ \ \to M^H M^K \\ \nabla\ M^K O^T O^K \to M^H M^K \\ \underline{O^H M \ \ O^K \to M^H M^K} \\ M^K M \ \ M \ \ \to M^H M^K \end{array}$$

Значение тестового слова ST_2 определяется значением образца продукции, синтезированной из трех вспомогательных продукций:

$$ST_2 = M^K M \ \ M \ .$$

Таким образом, определена истинность конструктивной конъюнкции вида

$$(\mathrm{O}^{\mathrm{K}} = M \ \ ) \,\&\, (O^H = M^K) \,\&\, (O^T = M) = 1 \,.$$

Вариант 3.

Проверяется на истинность конструктивная конъюнкция вида

$$(O^K = M^H) \,\&\, (O^H = M \ \ ) \,\&\, (O^T = M) \,.$$

Проверка на истинность выше обозначенной конъюнкции сводится к построению такой вспомогательной продукции, в которой возможен вариант пересечения образца и модификатора в соответствии с каждым членом конъюнкции:

$$(O^K = M^H) \,,\ O^H O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^H O^T M^H \to M^H M^K \,,$$

$$(O^H = M \ \ ) \,,\ O^H O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M \ \ O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \,,$$

$$(O^T = M) \,,\ O^H O^T O^K \to M^H M^K \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^H M \ \ O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \,.$$

Операция соединения ∇ продукций позволяет построить тестовое слово *ST*, на котором возникают множественные пересечения образца и модификатора в исходной рабочей продукции:

$$\begin{array}{l} O^H O^T M^H \to M^H M^K \\ \nabla\ M \ \ O^T O^K \to M^H M^K \\ \underline{O^H M \ \ O^K \to M^H M^K} \\ M \ \ M \ \ M^H \to M^H M^K \end{array}$$

Значение тестового слова ST_3 определяется значением образца продукции, синтезированной из трех вспомогательных продукций:

$$ST_3 = M \ \ M \ \ M^H \,.$$

Таким образом, определена истинность конструктивной конъюнкции вида

$$(O^K = M^H) \,\&\, (O^H = M \ \ ) \,\&\, (O^T = M) = 1 \,.$$

Вариант 4.

Проверяется на истинность конструктивная конъюнкция вида

$$(O^K = M^H) \,\&\, (O^H = M^K) \,\&\, (O^T = M) \,.$$

Проверка на истинность выше обозначенной конъюнкции сводится к построению такой вспомогательной продукции, в которой возможен вариант пересечения образца и модификатора в соответствии с каждым членом конъюнкции:

$$(O^K = M^H) \,,\ O^H O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^H O^T M^H \to M^H M^K \,,$$

$$(O^H = M^K) \,,\ O^H O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M^K O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \,,$$

$$(O^T = M) \,,\ O^H O^T O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O^H M \ \ O^{\mathrm{K}} \to M^H M^K \,.$$

Операция соединения ∇ продукций позволяет построить тестовое слово *ST*, на котором возникают множественные пересечения образца и модификатора в исходной рабочей продукции:

$$\nabla \begin{array}{l} O^H O^T M^H \to M^H M^K \\ M^K O^T O^K \to M^H M^K \\ O^H M\ O^K \to M^H M^K \end{array} \Big/ M^K M\ M^H \to M^H M^K$$

Значение тестового слова ST_4 определяется значением образца продукции, синтезированной из трех вспомогательных продукций:

$$ST_4 = M^K M\ M^H.$$

Таким образом, определена истинность конструктивной конъюнкции вида

$$(O^K = M^H)\,\&\,(O^H = M^K)\,\& \\ \&\,(O^T = M) = 1. \qquad (9)$$

Для определения наиболее общего предельного случая множественных пересечений выполняется сравнение четырех синтезированных тестовых слов ST_1, ST_2, ST_3, ST_4.

Наиболее общим случаем является такой вариант тестового слова, при котором множественные пересечения образуются *при наличии условий* восстановления в структуре обрабатываемого слова S трех вхождений образца. Тестовое слово ST_4 характеризуются максимальным количеством условий образования в обрабатываемом слове S трех вхождений. Действительно, $S = S^H S^T S^K$. Условия образования трех вхождений определяют состав структурных частей S:

– $S^H = M^H$;
– $S^T = M^K M\ M^H$;
– $S^K = M^K$.

Таким образом, определен наиболее общий предельный случай множественных пересечений образца и модификатора – конструктивная конъюнкция (9). Данная конъюнкция показывает, что для выполнения отдельной продукции по безотступной технологии необходима организация и аппаратная поддержка трех процессов поиска – вхождения и пересечения слов, а также организация трех процессов модификации данных.

Оценка аппаратной сложности операционной части устройства

На основании вышеприведенных теоретических построений можно детализировать структуру однородного продукционного ВУ следующими операционными блоками: блок поиска левого пересечения слов, блок поиска правого пересечения слов, блок поиска вхождения, три блока модификации данных.

В работах [5,7] описана разработка матричных поиска вхождений и пересечений слов. Показано, что за счет организации поиска по всем ячейкам матрицы, расположенным на ее диагоналях, можно добиться совмещения в одном операционном блоке параллельного выполнения трех поисковых микроопераций: поиска центрального вхождения, поиска левого и правого пересечений слов.

В работе [6] осуществлена разработка ассоциативного устройства по безотступной модификации данных, основанная на циклической реконфигурации структуры из одномерного представления в двумерное и маскированного выделения рабочей части матрицы. Тем не менее разработанное устройство не позволяет совместить во времени выполнения трех микроопераций модификации данных по различным позициям.

Данные особенности обосновывают оценку аппаратной сложности операционной части продукционного ВУ (ПВУ) как

$$T = hw(RGO) + hw(RGM) + \\ + hw(RN_IN) + hw(RG_OUT) + \\ + hw(k_1 BL1) + k_2 hw(BL2) + \\ + hw(BL0) + hw(ADDR),$$

где $ADDR$ – функциональный узел преобразования адресов, (d = 0) – признак совмещения микроопераций поиска; (d =1) – признак параллельного выполне-

ния микроопераций модификации; $k_1 = 3$ – число объединенных блоков поиска; $k_2 = 3$ – число параллельно работающих блоков модификации.

Как определено в [4] и исходя из (9), ПВУ как функциональное завершенное устройство (рис.), аппаратно реализующее операции поиска вхождений и модификации, содержит совмещенный матричный блок поиска вхождений и пересечений, 3 блока модификации, входной мультиплексор на $p1$ входов, выходной демультиплексор на $p2$ выходов, управляемые настроечными значениями $G1$ и $G2$, а также управляемый по входу $G3$ буфер для транзитной передачи данных.

Заключение

Современный этап развития компьютерных систем ОСИ характеризуется количественным и качественным накоплением теоретических и аппаратно-программных средств в организации символьных вычислений. Интеллектуализация вычислений, т.е. переход от систем обработки данных к системам обработки знаний, в ближайшем будущем приведут к созданию компьютерных систем нового поколения. Предметной областью таких систем будут не только вычислительно трудоемкие задачи, но проблемно-поисковые задачи комбинаторного характера в их символьной постановке. Вместе с тем известные технические решения в ВТ, телекоммуникациях, в области измерительных средств ограниченно используют модели обработки знаний, прежде всего продукционные системы.

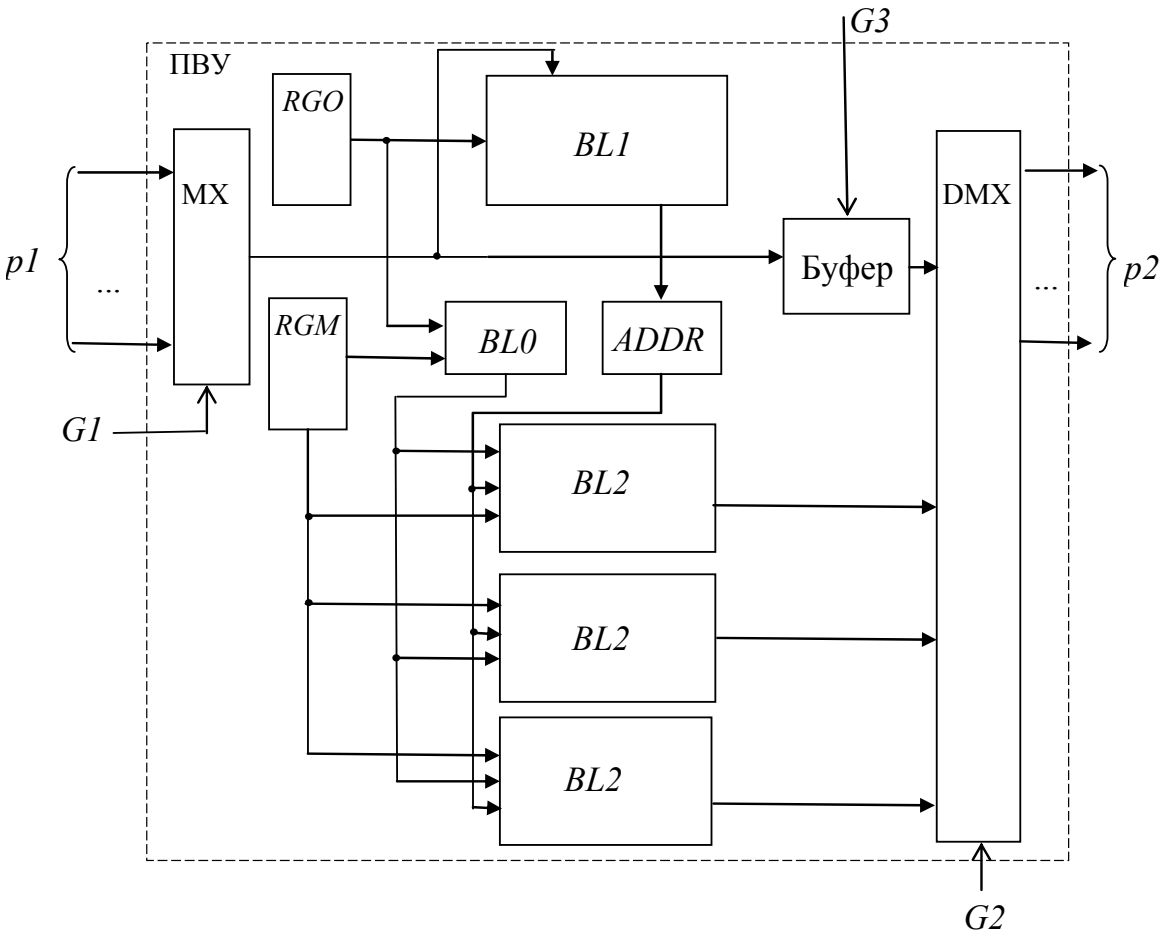


Рис. Организация операционной части продукционного ВУ

Для аппаратной поддержки базовых продукционных операций и их безотступного выполнения использован структурно-лингвистический индикатор образования множественных потоков данных при выполнении отдельной продукции. Подтверждена целесообразность создания реконфигурируемого мультипроцессора под проблемно-поисковые задачи ОСИ. Показано, что основу безотступной технологии вычислений на схемотехническом уровне составляет структурное соответствие операционной части продукционного устройства в составе мультипроцессора предельному числу образуемых потоков данных.

На основе имеющего научного и реализационного задела определен предельный вариант пересечения частей продукции и уточнены состав и структура продукционного устройства, которое должно содержать матричный блок поиска вхождений и пересечений и три параллельно работающих блока модификации, использующих ассоциативную память. Данная организация устройства, дополненная настраиваемыми параметрами коммутации потоков данных, выбором режима модификации данных, является развитием нетрадиционных архитектур, основанных на совмещении операционных узлов с элементами памяти (PIM-устройства). Таким образом, в работе впервые использован аппарат продукционных систем как основа структурно-параметрического синтеза специализированного продукционного устройства, имеющего необходимый состав операционной части для безотступных вычислений.

Список литературы

1. Продукционная модель для параллельной обработки знаний / Е.А. Титенко [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. Т. 9, № 11. С. 815–86.

2. Эйсымонт Л. DARPA UHPC – дорога с экзафлопсам // Открытые системы. 2010. № 9. С. 12–15.

3. Бурцев В.С. Параллелизм вычислительных процессов и развитие архитектуры суперЭВМ: сб. ст. / сост.: В.П. Торчигин, Ю.Н. Никольская, Ю.В. Никитин. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2006. 416 с.

4. Титенко Е.А. Организация реконфигурируемого мультипроцессора потока данных // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 2. С. 24–29.

5. Евсюков, В.С., Семенихин Е.А. Устройство и алгоритм ассоциативного поиска вхождений // Известия Курского государственного технического университета. 2009. № 2 (27). С. 52–62.

6. Метод, алгоритм и техническое решение параллельного поиска и подстановки на ассоциативной памяти / И.С. Зерин [и др.] // В мире научных открытий. Математика. Механика. Информатика. 2012. № 1. С. 166–180.

7. Титенко Е.А. Метод параллельного поиска по образцу и матричное устройство для его реализации // Информационные системы и технологии. 2011. № 4 (66). С. 24–30.

8. Довгаль В.М. Методы модификации формальных систем обработки символьной информации / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1996. 114 с.

Получено 14.05.12.

E.A. Titenko, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk),
(e-mail: johntit@mail.ru)

I.S. Zerin, Candidate of Sciences, Programmer «Pharma-Net»
(e-mail: sphinks@newmail.ru)

E.B. Tutov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk),
(e-mail: tutov-e-b@yandex.ru)

A.V. Kripachev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk),
(e-mail: xray-007@mail.ru)

D.M. Zarubin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk),
(e-mail: orion-589@yandex.ru)

A.V. Belokopytov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk),
(e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

THE INDICATOR OF THE MULTI WORDS INTERSECTION AS A BASIS OF STRUCTURAL-PARAMETRIC PRODUCTION DEVICE SYNTHESIS

The article considers the problems of organization of parallel production computations with multi intersections of pattern and modifier. The paper substantiates the structure of operational part of specialized production device.

Key word: *parallel production system, the multi dataflow, structural-parametric device synthesis.*

УДК 004.413.4 004.057.4

И.В. Калуцкий, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kalutsky_igor@mail.ru)

А.А. Липунов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: lipunov@lenta.ru)

Е.С. Савенкова, студентка, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: savenkova230891@yandex.ru)

БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Данная статья посвящена беспроводным компьютерным сетям, немаловажным аспектом в проектировании и внедрении которых являются вопросы безопасности. Уделяется внимание особенностям реализации, связанным с использованием общей среды передачи. Рассматриваются основные угрозы и методы защиты, характерные для беспроводных сетей.

Ключевые слова: *вычислительные сети, беспроводная сеть (Wi-Fi), безопасные технологии беспроводной связи.*

***

Современный мир, вне всякого сомнения, является миром информационных технологий. Так как в нашей повседневной жизни производится запись огромного количества информации, то первостепенную важность имеет надежный, быстрый и эффективный доступ к такой информации.

На сегодняшний день в мире существует более 130 миллионов компьютеров и более 80% из них объединены в различные информационно-вычислительные сети. Огромное количество таких сетей формирует глобальную сеть, которую называют «Всемирной паутиной», или сетью Интернет. Начало этой сети было положено в 1980-е годы. Интернет, пожалуй, является одним из наиболее важных из всех достижений человечества.

Классификация компьютерных вычислительных сетей

Все вычислительные сети можно классифицировать по ряду признаков. В зависимости от расстояний между ПК различают: локальные вычислительные

сети – ЛВС (LAN – Local Area Networks) – компьютерные сети, расположенные в пределах небольшой ограниченной территории не более 10–15 км, а также территориальные вычислительные сети, которые охватывают значительное географическое пространство. К территориальным сетям можно отнести городские (MAN – Metropolitan Area Network), региональные (Regional computer network), национальные (National computer network) и глобальные (WAN – Wide Area Network) сети. Городские и региональные сети связывают абонентов района, города или области. Глобальные сети объединяют абонентов, удаленных между собой на значительное расстояние, находящихся в различных странах или континентах.

Также сети передачи данных делятся на проводные и беспроводные. Проводные локальные сети являются фундаментальной основой любой компьютерной сети и способны превратить компьютер в чрезвычайно гибкий и универсальный инструмент. Проводная локальная сеть позволяет осуществлять сверхбыстрый обмен данными между вычислительными машинами. Немаловажным является и то, что достаточно хорошо освоены технологии организации политики безопасности в пространстве локальной компьютерной сети, формирующие эффективную антивирусную защиту и исключение несанкционированного доступа извне (глобальной сети Интернет).

Особенности беспроводных технологий

Высокие технологии и технический прогресс современности позволил дополнить локальные компьютерные сети «беспроводными» технологиями. Другими словами, беспроводные сети, функционирующие на обмене радиоволнами определенной фиксированной частоты способны стать актуальным решением. Их основная особенность заключается в том, что в тех местах, где архитектурные особенности того или иного помещения или здания, где находится фирма или организация, не предоставляют возможности прокладки кабеля локальной сети, с задачей помогут справиться радиоволны [1]. У беспроводных сетей также очень много общего с проводными, но есть и различия. Хотя сегодня в защите Wi-Fi-сетей и применяются сложные алгоритмические математические модели аутентификации, шифрования данных, контроля целостности их передачи, тем не менее на начальных этапах распространения Wi-Fi нередко появлялись сообщения о том, что, даже не используя сложного оборудования и специальных программ, можно было подключиться к некоторым корпоративным сетям [2].

Беспроводная связь с точки зрения безопасности

Как и множество других инновационных технологий, беспроводные сети сулят не только новые выгоды, но и риски. Традиционные проводные сети используют для передачи данных кабель, который считается «контролируемой» средой, защищенной зданиями и помещениями, где он проложен. В случае же беспроводных сетей используется открытая среда с практически полным отсутствием контроля. Обеспечить эквивалент физической безопасности проводных сетей здесь просто невозможно. Поэтому в отличие от проводных сетей, где точка подключения пользователя известна, к беспроводным подсоединиться можно беспрепятственно из любого пространственного расположения, если сигнал имеет достаточную мощность. При этом приемник, работающий только на прослушивание, вообще невозможно определить.

Еще большую проблему создает то, что беспроводные пользователи по определению мобильны. Они могут появляться и исчезать, менять свое местоположение, быть не привязаны к фиксированным точкам входа, им достаточно нахо-

диться в зоне покрытия. Поскольку радиосигналы имеют широковещательную природу, не ограничены стенами зданий и доступны всем приемникам, местоположение которых сложно или вообще невозможно зафиксировать, злоумышленникам особенно легко и удобно атаковать беспроводные сети. Беспроводные технологии, работающие без физических и логических ограничений своих проводных аналогов, подвергают сетевую инфраструктуру и пользователей значительным рискам [3].

Технологии защиты

Безопасность беспроводных сетей изначально волновала IT-специалистов, заставляя разрабатывать и внедрять все новые технологии защиты. Начиная с 1997 года международной некоммерческой ассоциацией специалистов в области техники разрабатывались различные стандарты, главной защитой которых долгое время являлось использование цифровых ключей шифрования потоков данных.

Помимо этого параллельно развивается множество самостоятельных стандартов безопасности от различных разработчиков, в частности в данном направлении преуспевают Intel и Cisco. Рассмотрим некоторые, наиболее значимые из данных технологий.

WEP

Эта технология была разработана специально для шифрования потока передаваемых данных в рамках локальной сети. Данные шифруются ключом с разрядностью от 40 до 104 бит. Но это не целый ключ, а только его статическая составляющая. Для усиления защиты применяется так называемый вектор инициализации Initialization Vector (IV), который предназначен для рандомизации дополнительной части ключа, что обеспечивает различные вариации шифра для разных пакетов данных. Данный вектор является 24-битным. Таким образом, в результате мы получаем общее шифрование с разрядностью от 64 (40+24) до 128 (104+24) бит. Идея интересная, поскольку при шифровании мы оперируем и постоянными, и случайно подобранными символами.

Но, как оказалось, взломать такую защиту можно – соответствующие утилиты присутствуют в Интернете (например, AirSnort, WEPcrack). Основное её слабое место – это как раз-таки вектор инициализации. Поскольку мы говорим о 24 битах, это подразумевает около 16 миллионов комбинаций (2 в 24 степени) – после использования этого количества ключ начинает повторяться. Хакеру необходимо найти эти повторы (от 15 минут до часа для ключа 40 бит) и за секунды взломать остальную часть ключа. После этого он может входить в сеть как обычный зарегистрированный пользователь.

802.1X

IEEE 802.1X — это новый стандарт, который оказался ключевым для развития индустрии беспроводных сетей в целом. На данный момент он поддерживается только со стороны ОС Windows XP и анонсирован для Windows Server 2003. За основу взято исправление недостатков технологий безопасности, применяемых в 802.11, в частности, возможность взлома WEP, зависимость от технологий производителя и т. п. 802.1X может подключать в сеть даже PDA-устройства, что позволяет более выгодно использовать саму идею беспроводной связи. С другой стороны, 802.1X и 802.11 являются совместимыми стандартами. В 802.1X применяется тот же алгоритм, что и в WEP, а именно RC4, но с некоторыми отличиями.

802.1X базируется на протоколе расширенной аутентификации Extensible Authentication Protocol (EAP), протоколе

защиты транспортного уровня Transport Layer Security (TLS) и сервере доступа RADIUS (Remote Access Dial in User Server). Плюс к этому стоит добавить новую организацию работы клиентов сети. После того, как пользователь прошёл этап аутентификации, ему высылается секретный ключ в зашифрованном виде на определённое незначительное время – время действующего на данный момент сеанса. По завершении этого сеанса генерируется новый ключ и опять высылается пользователю. Протокол защиты транспортного уровня TLS обеспечивает взаимную аутентификацию и целостность передачи данных. Все ключи являются 128-разрядными по умолчанию.

WPA

WPA – это временный стандарт, о котором договорились производители оборудования, пока не вступил в силу IEEE 802.11i. По сути,

$$WPA = 802.1X + EAP + TKIP + MIC,$$

где WPA – технология защищённого доступа к беспроводным сетям (Wi-Fi Protected Access);

EAP – протокол расширенной аутентификации (Extensible Authentication Protocol);

TKIP – протокол интеграции временного ключа (Temporal Key Integrity Protocol);

MIC – технология проверки целостности сообщений (Message Integrity Check).

Итак, ключевыми здесь являются новые модули TKIP и MIC. Стандарт TKIP использует автоматически подобранные 128-битные ключи, которые создаются непредсказуемым способом и общее число вариаций которых достигает 500 миллиардов. Сложная иерархическая система алгоритма подбора ключей и динамическая их замена через каждые 10 Кбайт (10 тыс. передаваемых пакетов) делают систему максимально защищённой. От внешнего проникновения и изменения информации также обороняет технология проверки целостности сообщений (Message Integrity Check). Достаточно сложный математический алгоритм позволяет сверять отправленные в одной точке и полученные в другой данные. Если замечены изменения и результат сравнения не сходится, такие данные считаются ложными и выбрасываются. Правда, TKIP сейчас не является лучшим в реализации шифрования, поскольку в силу вступают новые алгоритмы, основанные на технологии Advanced Encryption Standard (AES), которая, кстати говоря, уже давно используется в VPN. Что касается WPA, поддержка AES уже реализована в Windows XP, но пока только опционально.

VPN

Технология виртуальных частных сетей Virtual Private Network (VPN) была предложена компанией Intel для обеспечения безопасного соединения клиентских систем с серверами по общедоступным интернет-каналам. VPN очень хорошо себя зарекомендовали с точки зрения шифрования и надёжности аутентификации. Плюс технологии состоит и в том, что на протяжении более трёх лет практического использования в индустрии данный протокол не получил никаких нареканий со стороны пользователей. Информации о его взломах не было.

Технологий шифрования в VPN применяется несколько, наиболее популярные из них описаны протоколами PPTP, L2TP и IPSec с алгоритмами шифрования DES, Triple DES, AES и MD5. IP Security (IPSec) используется примерно в 65–70% случаев. С его помощью обеспечивается практически максимальная безопасность линии связи. И хотя технология VPN не предназначалась изначально именно для Wi-Fi, она может

использоваться для любого типа сетей, и идея защитить с её помощью беспроводные их варианты – одна из лучших на сегодня [4].

Выводы

Распространенность беспроводных технологий в наше время ставит под угрозу и те сети, где они уже применяются, и те, где никогда не должны использоваться. Традиционные средства защиты бессильны против принципиально новых классов беспроводных угроз. При этом ситуация осложняется тем, что необходимо защищать также и своих пользователей, не нарушая при этом функционирование сетей соседей, каким бы подозрительным оно не выглядело. Тем не менее существуют методы защиты от подобных угроз как беспроводных, так и проводных сетей и пользователей, позволяющие уверенно и безопасно развертывать и использовать беспроводные сети. Большинство перечисленных проблем могут быть минимизированы или вообще сведены к нулю. Для организации безопасной работы беспроводной сети (включая инфраструктуру и пользователей) служит подход, в целом совпадающий с подходом «многоуровневой безопасности», применяющимся для традиционных проводных сетей.

В заключение отметим, что в любой технологии есть свои преимущества и недостатки, однозначно определяющие выбор того или иного подхода в конкретных условиях, и вычислительные сети, в частности беспроводная технология, здесь не исключение.

Список литературы

1. Беспроводные компьютерные сети. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/ (дата обращения: 19.09. 2012)

2. Wi-Fi. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/ Wi-Fi (дата обращения: 19.09. 2012)

3. Угрозы беспроводных сетей. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/ (дата обращения: 19.09. 2012)

4. Мэйволд Э. Безопасность сетей // INTUIT.ru: Интернет-Университет Информационных Технологий. 2006. URL: http://www.intuit.ru/department/security/netsec/Современные беспроводные технологии (дата обращения: 19.09. 2012).

Получено 16.05.12.

I.V. Kalutsky, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kalutsky_igor@mail.ru)

A.A. Lipunov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: lipunov@lenta.ru)

Y.S. Savenkova, Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: savenkova230891@yandex.ru)

SAFE TECHNOLOGY OF WIRELESS COMPUTER NETWORKS

This article is devoted to wireless computer networks, an important aspect in the design and implementation of which are security issues. Attention is paid to the features of, relating to the use of a common transmission medium. Considered are the main threats and methods of protection, specific to wireless networks.

Key words: *computational network, the wireless network (Wi-Fi), secure wireless communication technologies.*

УДК 532.595

В.В. Апальков, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: POVT55@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

В статье приведена конструкция гасителя с упругими камерами эллиптического поперечного сечения, предложена методика расчета, позволяющая исследовать динамику демпфирования вынужденных колебаний давления жидкости в трубопроводе.

***Ключевые слова**: гаситель, демпфирующие элементы, сжимаемая жидкость, вынужденные колебания.*

***

На рисунке 1 изображена схема гасителя колебаний давления с разветвленной системой эллиптических трубок, применяемых в качестве упругих элементов [4]. Гаситель состоит из участка центрального трубопровода 1 с перфорацией 5, равномерно распределенной по длине гасителя и соединяющей магистраль через предкамеру 4 цилиндрической формы и коллекторы 2 с упругими демпфирующими элементами 3 эллиптического поперечного сечения. Демпфирующие элементы, симметрично и равномерно расположенные вокруг корпуса предкамеры, выполнены из пружинной стали, и для обеспечения возможности разборки и переналадки на другой режим гасителя закреплены между коллекторами посредством уплотнительных втулок с резиновыми уплотнительными кольцами 6. Количество демпфирующих элементов и их геометрические параметры определяют на основе конкретных требований к динамике трубопровода и режимам работы нагнетательных установок.

Для обеспечения равномерной и симметричной податливости упругих стенок демпфирующих трубок их устанавливают так, что большие оси эллипсов параллельны между собой. Чтобы исключить влияние на податливость упругих стенок трубок собственной массы жидкости, находящейся в них, эти оси должны быть перпендикулярны горизонтальной оси трубопровода.

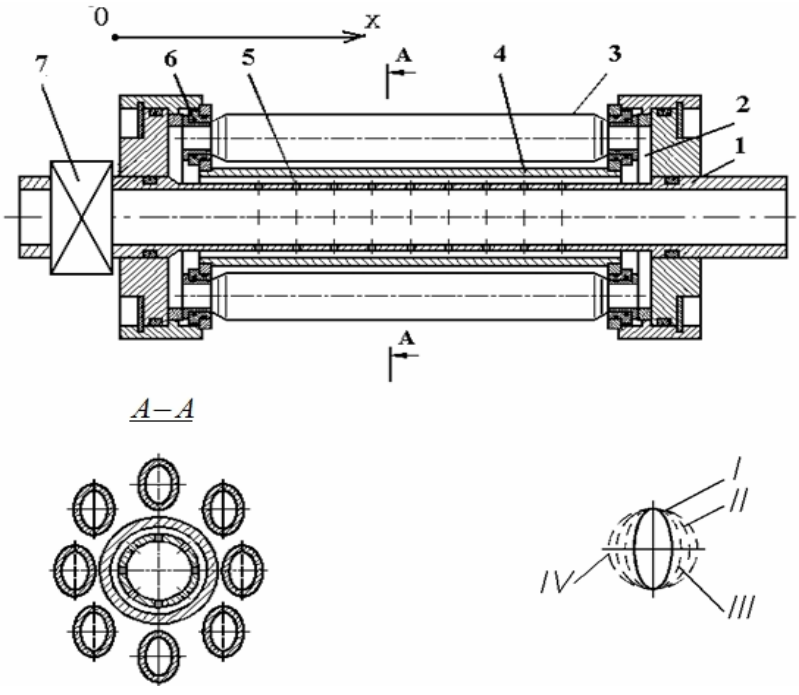


Рис.1. Схема гасителя с разветвленной системой эллиптических трубок

Корпус предкамеры расположен соосно с участком перфорированного трубопровода и образует с ним камеру для сообщения полости трубопровода через распределенную перфорацию и коллекторы с полостями упругих трубок.

Устройство работает следующим образом. В отсутствие избыточного давления над стационарным демпфирующие трубки имеют форму I. В случае возникновения колебаний давления в трубопроводе происходит перемещение упругих стенок, которые в зависимости от увеличения или уменьшения динамической составляющей давления могут принимать формы II, IV или III соответственно.

Предположим, что к одному концу трубопровода с гасителем присоединен какой-либо агрегат 7 (см. рис. 1), изменяющий давление жидкости по известному закону в зависимости от времени. Начало координат поместим у агрегата и ось X направим по течению. Рассмотрим процессы, связанные с распространением волны давления через гаситель.

Напишем систему уравнений движения сжимаемой жидкости в системе трубопровод-гаситель без учета гидравлических сопротивлений, при этом не будем учитывать деформации стенок предкамеры и перфорированной трубы. Пренебрежение деформациями предкамеры и перфорированной трубы связано с тем, что гаситель как специальное включение в трубопроводную систему рассчитывается на значительно большие давления, к тому же перфорированная труба находится под действием как внутреннего, так и внешнего давлений.

Уравнение неразрывности в перфорированной трубе имеет следующий вид:

$$\frac{\partial\left(r^2 v\rho\right)}{\partial x} + 2rv_n\rho = -\frac{\partial\left(r^2\rho\right)}{\partial t}, \qquad (1)$$

где r – внутренний радиус трубопровода;

$\rho\left(x,t\right)$ – плотность жидкости;

$v\left(x,t\right)$ – средняя в сечении скорость жидкости;

$v_n\left(x,t\right)$ – средняя скорость перетекания через боковую поверхность трубы;

x – координата произвольного сечения;

t – время.

Зависимость перепада давлений на перфорациях от средней скорости перетекания с учетом потерь напора может быть представлена как сумма линейной и нелинейной частей [3]:

$$P - P_k = Av_n + Bv_n\left|v_n\right|, \qquad (2)$$

где $P\left(x,t\right)$ – среднее давление в сечении перфорированной трубы;

$P_k\left(x,t\right)$ – среднее давление в сечении предкамеры;

A и B – соответственно линейный и квадратичный коэффициенты сопротивления перфорации.

Уравнение движения сжимаемой жидкости в перфорированном трубопроводе без учета гидравлических сопротивлений представим в виде

$$\rho\frac{dv}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x}. \qquad (3)$$

Примем, что жидкость подчиняется закону Гука:

$$P - P_0 = E\left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right), \qquad (4)$$

где ρ_0 – плотность при давлении P_0;

E – модуль объемного сжатия жидкости.

Справедливы аналогичные соотношения, описывающие движение жидкости в предкамере, демпфирующих трубках и неперфорированной части трубопровода:

$$\frac{\partial\left[\left(rh_k+\frac{h_k^2}{2}\right)v_k\rho_k\right]}{\partial x}-rv_n\rho= -\frac{\partial\left[\left(rh_k+\frac{h_k^2}{2}\right)\rho_k\right]}{\partial t}; \quad (5)$$

$$\rho_k\frac{dv_k}{dt}=-\frac{\partial P_k}{\partial x}; \quad (6)$$

$$P_k-P_0=E\left(\frac{\rho_k}{\rho_0}-1\right); \quad (7)$$

$$\frac{\partial(fv_э\rho_э)}{\partial x}=-\frac{\partial(f\rho_э)}{\partial t}; \quad (8)$$

$$f\rho_э\frac{dv_э}{dt}=-\frac{\partial(P_эf)}{\partial x}; \quad (9)$$

$$P_э-P_0=E\left(\frac{\rho_э}{\rho_0}-1\right); \quad (10)$$

$$\frac{\partial(R_т^2v_т\rho_т)}{\partial x}=-\frac{\partial(R_т^2\rho_т)}{\partial t}; \quad (11)$$

$$R_Т^2\rho_Т\frac{dv_т}{dt}=-\frac{\partial(P_TR_T^2)}{\partial x}; \quad (12)$$

$$P_Т-P_0=E\left(\frac{\rho_Т}{\rho_0}-1\right), \quad (13)$$

где h_k – высота предкамеры;

$\rho_k(x,t)$, $v_k(x,t)$ – плотность и средняя в сечении скорость жидкости в предкамере;

f – площадь поперечного сечения эллиптической трубки;

$R_Т$ – внутренний радиус трубопровода;

$\rho_э(x,t)$, $v_э(x,t)$, $P_э(x,t)$ и $\rho_Т(x,t)$, $v_Т(x,t)$, $P_Т(x,t)$ – соответственно плотности, средние в сечениях скорости и давления жидкости в демпфирующей трубке и трубопроводе.

Н.Е. Жуковским была найдена связь между давлением жидкости и внутренним радиусом тонкостенной трубы [2]:

$$P_Т-P_0=\frac{\delta_0E_Т}{r^2}\left(R_Т-r\right), \quad (14)$$

где δ_0 – толщина трубопровода;

r – его внутренний радиус при давлении P_0;

$E_т=\frac{E_М}{1-\mu^2}$ – модуль упругости 1-го рода материала трубы;

$E_М$ – модуль Юнга;

μ – коэффициент Пуассона материала трубы.

Площадь произвольного поперечного сечения демпфирующей трубки в пренебрежении торцевыми эффектами в зависимости от давления в данном сечении представим в виде [4]

$$f=f_0[1+g_э(P)], \quad (15)$$

где $g_э(P)$ – безразмерная функция демпфирующего элемента, причем $g_э(P_0)=0$; P_0 – давление, при котором $f=f_0$.

В работе [4] приведена методика построения зависимости площади поперечного сечения демпфирующей трубки от давления P при любых значениях геометрических размеров a_0, b_0, h_0 и любых значениях упругих постоянных G и μ, где a_0, b_0 – полуоси эллипса в сечении демпфирующей камеры при давлении P_0; h_0 – ее толщина при давлении P_0; G и μ – соответственно модуль сдвига и коэффициент Пуассона материала оболочки.

Н.Е. Жуковским, рассматривавшим движение идеальной жидкости с равномерным распределением скоростей в сечении, было установлено, что для малых дозвуковых скоростей в уравнениях дви-

жения можно пренебречь конвективными членами $v\frac{\partial v}{\partial x}$ и $v\frac{\partial \rho}{\partial x}$.

Учитывая лишь линейные потери давления на перфорациях, линеаризуем полученную систему уравнений.

Предположим, что до момента времени $t = 0$ движение жидкости было стационарным. Отсюда, в силу линейности нашей системы мы можем под $v, P, \ldots, v_T, P_T$ для $t \geq 0$ подразумевать их избыточные значения над стационарными, существовавшими в момент $t \leq 0$. Таким образом, начальные условия будут:

$$t = 0,\ v = 0,\ P = 0, \ldots,\ v_T = 0,\ P_T = 0. \quad (16)$$

Задачу о распространении граничного режима в трубопроводе с гасителем длины l будем решать, используя граничные условия в сечениях $x = 0, x = l$, а также условия постоянства параметров потока в магистральном трубопроводе на бесконечности.

Граничные условия в сечениях $x = 0$ и $x = l$ имеют вид

$$P(0,t) = F(t), \quad (17)$$

где $F(t)$ – известная функция времени, равная нулю при $t \leq 0$;

$$P_k(0,t) = P_э(0,t),$$

$$P_k(l,t) = P_э(l,t), \quad (18)$$

$$P(l,t) = P_T(l,t)$$

– условия непрерывности давления;

$$n \cdot f(0,t)v_э(0,t) = -\pi(2rh_k + h_k^2)v_k(0,t),$$

$$n \cdot f(l,t)v_э(l,t) = -\pi(2rh_k + h_k^2)v_k(l,t),$$

$$v(l,t) = v_T(l,t) \quad (19)$$

– условия баланса расходов, где n – число демпфирующих трубок, $t > 0$.

При этом последние условия баланса расходов линеаризуем.

Из предельных условий на бесконечности будем иметь

$$v_T(\infty,t) = 0,\ P_T(\infty,t) = 0, \quad (20)$$

где $t > 0$.

Определяя частные решения системы уравнений в форме вынужденных колебаний, было получено формальное решение задачи в виде интеграла от функции комплексного переменного.

Численный расчет задачи проведен для случая, когда у гасителя задаются колебания давления в форме периодической функции времени:

$$F(t) = \begin{cases} Ce^{i\omega t}, & \text{если } t > 0, \\ 0, & \text{если } t \leq 0, \end{cases} \quad (21)$$

где C, ω – амплитуда и частота колебаний.

Как показали расчеты на ЭВМ, гаситель данной конструкции оказывает существенное влияние на форму вынужденных колебаний давления жидкости в трубопроводе при малых коэффициентах сопротивления перфорации. При этом увеличение модуля упругости демпфирующих трубок приводит к смещению зоны гашения пульсаций давления в область более высоких частот. Изменение же длины гасителя в сторону увеличения смещает зону гашения пульсаций давления в область более низких частот.

На рисунке 2 изображена амплитуда давления жидкости в трубопроводе в сечении $x = l$ (на выходе из гасителя) в зависимости от частоты вынужденных колебаний, где r = 0,05 м, h_k = 0,03 м, a_0 = 0,035 м, b_0 = 0,025 м, h_0 = 0,001 м, δ_0 = 0,003 м, A=10^6 Н·с/м^3, E_T = 2·10^5 МПа, C = 8·10^5 Па, n = 12.

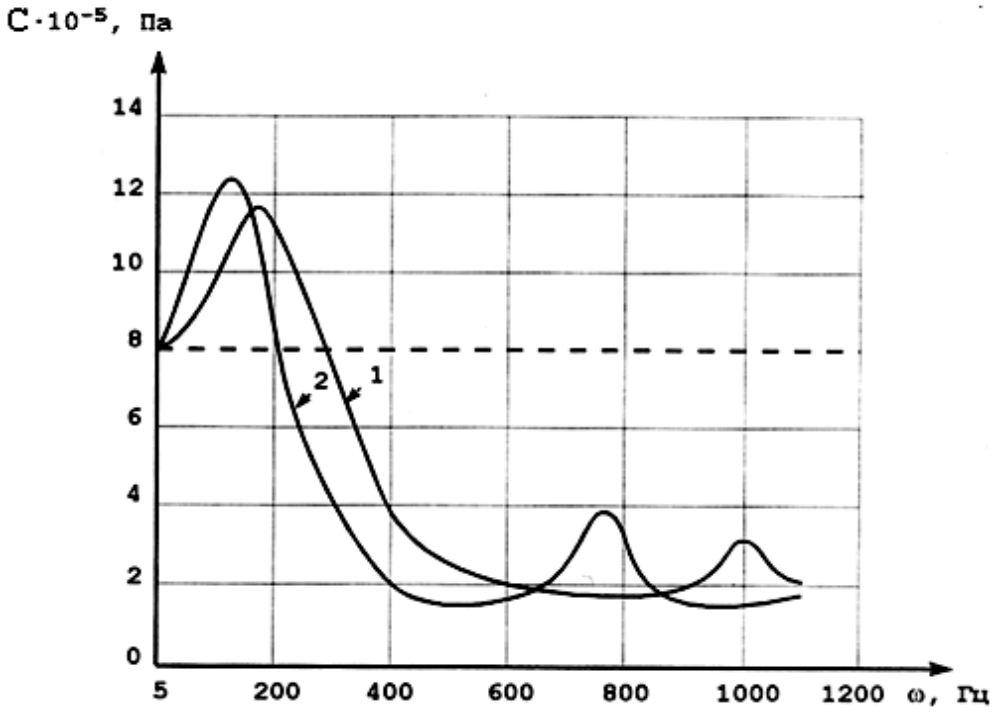


Рис. 2. Зависимость амплитуды давления на выходе из гасителя от частоты вынужденных колебаний: 1 – *l* =0,6 м; 2 – *l* = 0,8 м

Список литературы

1. Апальков В. В. Исследование работы гасителя гидравлического удара и вынужденных колебаний давления жидкости в трубопроводе // Динамические задачи механики деформируемых сред / под ред. Х.А. Рахматулина, И.Н. Зверева. М.: Изд-во МГУ, 1990. 192 с.

2. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах // Избранные сочинения. М.: Гостехтеориздат, 1948. Т. 2. 422 с.

3. Рахматулин Х.А. Обтекание проницаемого тела // Вестник МГУ. 1950. Вып. 2. № 3. С. 41–55.

4. Стабилизация колебаний давления в трубопроводных системах энергетических установок / Р.Ф. Ганиев, Х.Н. Низамов, А.И. Чучеров, П.П. Усов. М.: Изд-во МГТУ, 1993. 184 с.

Получено 21.05.12.

V.V. Apalkov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: povt55@mail.ru)

THE RESEARCH OF DYNAMICS OF OSCILLATIONS STABILIZER OF PRESSURE OF LIQUID

In this article the construction of stabilizer with elastic chambers of elliptic cross section is provided. Also, the method of calculation, which permits to research the dynamics of damping of the compelled oscillations of pressure of liquid in pipeline is suggested.

Key words: *the stabilizer, damping elements, compressed liquid , the compelled oscillations.*

УДК 004.031

Е.Б. Тутов, преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: tutov-e-b@yandex.ru)

Е.А. Титенко, канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: johntit@mail.ru)

А.О. Атакищев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: aoi007@yandex.ru)

К.С. Цуканов, студент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: constantin.tsukanov@yandex.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТЕКСТНО-СВОБОДНЫХ ГРАММАТИК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

В статье предложена модификация исчислительной продукционной системы, ориентированная на параллельную генерацию ветвящихся процессов без ограничений на конфликтные ситуации по данным. Описано применение контекстно-свободных грамматик для обработки текстов на естественном языке.

Ключевые слова: *продукционная система, исчислительная система, терминальный символ, контекстно-свободная грамматика.*

***

Одним из приоритетных направлений развития современной информатики, в том числе инженерии знаний, являются теоретические, программные и технические средства высокопроизводительной обработки знаний. Научно-технический прогресс в области компьютерной индустрии уже давно привел к трактовке вычислительных машин и систем как интеллектуальных средств предоставления и реализации информационных услуг, связанных с решением слабо формализованных и проблемно-поисковых задач. Общая объединяющая особенность данного класса задач связывается с возможностью символьного представления предметной области и обработки символьной информации (ОСИ) на единых математических началах [1]. Другая объединяющая особенность связана с тем, что задачи ОСИ традиционно трактуются как задачи поиска и/или порождения новых конструктивных объектов на основе имеющегося набора исходных объектов (исходных слов) и набора правил преобразования (вставка, замещение, удаление групп символов), имеющих разрешительный смысл исполнения.

Базовой теорией обработки символьной информации является теория алгоритмов [2], исследующая линейные и ветвящиеся конструктивные процессы на основе дискретных дескрипторов-преобразователей – алгоритмических и исчислительных систем соответственно. Алгоритмическая система является генератором линейных конструктивных процессов, детерминированно приводящих к конечному решению на основе правил с предписательной модальностью исполнения. Исчислительная система является генератором ветвящихся конструктивных процессов, недетерминированно порождающих множество кандидатов-решений на основе правил с разрешительной модальностью исполнения. Это означает, что задачи ОСИ описываются ветвящимися конструктивными процессами, выполняемыми не в едином, а в разветвленном пространстве времени, т.е. каждое текущее слово является одним из возможных решений, а каждый недетерминированный шаг работы исчислительной системы понимается как пробный шаг.

Вместе с тем современный этап теории алгоритмов характеризуется двояким отношением к исчислительным системам. В большинстве случаев термин «разрешительные правила» уточняется как альтернативные в срабатывании правила. Следствием такого способа уточнения является последовательный с возвратами

механизм поиска и/или порождения новых слов из имеющихся. При этом возвратный механизм, являющийся основным источником избыточных затрат времени, основан на существовании единственного экземпляра исходных объектов, подлежащих обработке. Избыточные затраты времени идут на восстановление единственного экземпляра данных для последовательного генерирования следующих вариантов. Исходя из этого генерация множества вариантов и ветвящиеся конструктивные процессы исчислительной системы подменяются работой алгоритмической системы с последовательным порождением ветвящихся процессов в линейном пространстве времени. Следствием данной ситуации является несоответствие алгоритмических и исчислительных законов генерации ветвящихся процессов, что обосновывает актуальность создания абстрактной исчислительной системы с неединичным множеством элементарных дискретных преобразователей (ЭДИ) символьной информации.

Исходя из особенностей задач ОСИ наиболее подходящими для задания параллельно выполняющихся ветвящихся процессов являются исчислительные продукционные системы. Исчислительная продукционная система (ПС) состоит из однородного по составу набора разрешительных продукций (правил) и естественным образом ориентирована на параллелизм потока данных за счет возможности активации множества продукций, сопоставимых с текущими обрабатываемыми словами. Вместе с тем известные исчислительные ПС (ассоциативные исчисления Туэ, нормальные исчисления Э. Поста, неограниченные грамматики Н. Хомского и др.) имеют недостаточные возможности для эффективной по времени генерации ветвящихся конструктивных процессов. Основная проблема связана с отсутствием объективной информации о динамически изменяемых коэффициентах ветвления решаемой задачи ОСИ и с неприспособленностью известных ПС описывать скоординированную работу неединичного множества исполнителей.

Данные проблемы определяют необходимость модификации исчислительной ПС. Как известно [3], исчислительная ПС задается двойкой

$$\Omega = \langle \mathrm{A}, \mathfrak{I} \rangle, \qquad (1)$$

где A – конечный алфавит и $\mathfrak{I}$ – множество продукций, задающие недетерминированный процесс вывода множества слов-решений из исходных слов.

Отношение линейного вывода является основой недетерминированной генерации ветвящихся продукционных процессов. В модифицированной исчислительной ПС для ускорения реализации ветвящихся продукционных процессов предлагается уточнить недетерминированность шагов вывода как множественную равноправность срабатывания продукций из активационного набора [4]. Для этого вводится p-значное отношение равноправной выводимости, обеспечивающее реализацию p ветвящихся продукционных процессов по p копиям экземпляра исходного слова. Равноправная обработка нескольких копий приводит к генерации за один шаг вывода множества слов-решений в ветвящемся пространстве времени. Кроме того, вводится p-значное отношение независимой выводимости слова-решения на p независимых вхождениях, что определяет одновременное срабатывание активационного набора продукций над единственным экземпляром исходного слова.

Таким образом, работа модифицированной исчислительной ПС связана с рекурсивным порождением множества слов. Каждый шаг вывода (каждый рекурсивный вызов ПС) осуществляется путем реализации одного из трех отношений вывода:

1) отношение линейного вывода;

2) *p*-значное отношение равноправного вывода (ИЛИ-параллельный вывод);

3) *p*-значное отношение независимого вывода (И-параллельный вывод).

Равноправное и независимое срабатывание продукций из активационного набора приводит к формированию параллельных стратегий выводов без ограничений на структурные отношения между фрагментами исходных слов. Основу данных стратегий составляет дополнительная информация о конфликтных ситуациях, выявляемых до начала генерации путем анализа структурных отношений между образцами в $\mathfrak{I}$. Эффективная генерация ветвящихся продукционных процессов в модифицированной ПС основывается на получении количественных оценок ветвлений в графе задачи и определении значения *p* как максимального из них. Данная максимальная оценка ветвления определяет рациональное число ЭДИ в модифицированной ПС и обеспечивает нижнюю границу мощности множества ветвящихся процессов, реализуемых безвозвратным способом.

Исчислительные системы вообще и, как следствие, предложенная модифицированная исчислительная ПС могут применяться при обработке текстов на естественном языке (*Natural language processing*) в рамках дисциплины компьютерной лингвистики. Ключевой особенностью естественно-языковых текстов является неоднозначность, допускающая неединичные интерпретации отдельных фраз и выражений языка. Представляется целесообразным применять формализованный аппарат исчислительных ПС при рассмотрении всевозможных грамматик, в частности контекстно-свободных грамматик (КС-грамматик).

В силу возможной неоднозначной трактовки произвольного предложения языка некоторыми авторами предлагается для каждого варианта интерпретации формировать соответствующее дерево разбора, что обусловливает в конечном счете наличие набора деревьев, отражающих результаты семантического анализа исходного предложения. Тем не менее подобный способ организации хранения результатов разбора в общем может обусловливать экспоненциальную зависимость от длины предложения. Существуют методики, основанные на анализе закономерностей в сформированных структурах данных, позволяющие сократить емкостную сложность применяемых схем представления знаний. В [7] предлагается использовать механизмы обобщения (*sharing*) и упаковки (*packing*), которые преобразуют исходную структуру, при этом уменьшая объем занимаемой памяти. Однако в [7] предложена альтернативная методика представления набора деревьев разбора в виде КС-грамматик со взаимопересечением (*Intersection context-free grammar*). КС-грамматики со взаимопересечением формируются из исходной КС-грамматики и заданной строки текста. Примечательно, что методика формирования грамматики взаимопересечения может быть представлена в виде совокупности правил вывода, иными словами, в виде дедуктивной (исчислительной) системы. Стоит отметить, что каждое правило такой исчислительной системы должно быть снабжено набором условий (возможно, пустым), которые определяют возможность применения правила.

Также в виде дедуктивной системы может быть представлен алгоритм для билексического распознавания с использованием билексических КС-грамматик – (2-ЛКС-граммматики). Подобный вид грамматик получается из КС-грамматик включением терминального символа (лексического элемента) в каждый нетерминал. Подобный подход позволяет частично устранить проблему неоднозначности, свойственную для дисциплины автоматизированного понимания текстов (АПТ). Однако вследствие введения дополни-

тельных сущностей процедура разбора выражений текста с использованием 2-ЛКС-грамматик имеет худшие по сравнению с нелексиколизированными методами разбора (в частности, разбора с использованием КС-грамматик взаимопересечения) временные оценки.

Безусловно, заслуживают внимания параллельные контекстно-свободные грамматики (ПКС-грамматики) [7], использующиеся преимущественно в системах и моделях автоматизированного машинного перевода (*Machine translation*). ПКС-грамматики представляют собой набор параллельных правил, которые получаются совмещением двух правил КС-грамматики, имеющих одинаковую левую часть. Правые части этой пары правил КС-грамматики должны состоять из одинаковых наборов символов, однако порядок следования наборов может различаться, и допустимо, чтобы правые части правил содержали различные терминальные символы:

$$S_1: \quad \left\langle S \to D^1 E^2, \quad S \to D^1 E^2 \right\rangle$$
$$S_2: \quad \left\langle E \to F^1 S^2, \quad E \to F^1 S^2 \right\rangle$$
$$S_3: \quad \left\langle E \to F^1 S^2, \quad E \to S^2 F^1 \right\rangle$$
$$S_4: \quad \left\langle E \to F^1, \quad E \to F^1 \right\rangle$$
$$S_5: \quad \left\langle D \to d_1, \quad D \to d_2 \right\rangle$$
$$S_6: \quad \left\langle D \to d_1, \quad D \to \varepsilon \right\rangle$$
$$S_7: \quad \left\langle F \to f_1, \quad F \to f_2 \right\rangle$$

где S, D, E, F – нетерминалы; d_1, d_2, f_1, f_2 – терминальные символы; ε – пустой символ.

Модифицированная исчислительная ПС с встроенным параллельным механизмом вывода может быть естественным образом применена для рассмотренных ПКС-грамматик в силу априорной параллельной структуры, заложенной в эти грамматики. Входное предложение в процессе порождения ветвящихся продукционных процессов может быть преобразовано в множество выходных предложений. Дальнейший процесс устранения неоднозначности (*Disambiguation*) может проводиться с помощью ряда методик [7] («выход в текст», межфразный анализ, синтактико-семантический анализ, ситуационный анализ и т.д.). Однако на сегодняшний момент указанные методики либо формализованы в несущественной степени, либо вообще не имеют какой бы то ни было алгоритмической интерпретации, что обусловливает высокий научно-практический интерес к решению задач этого класса.

В статье представлена модифицированная исчислительная ПС, которая содержит встроенные средства для естественной параллельной реализации ветвящихся продукционных процессов в виде набора взаимно дополняющих стратегий параллельных выводов. Также показаны возможные применения указанной модифицированной исчислительной ПС для естественно-языковой обработки. В частности, актуальным является ее применение для систем машинного перевода. Кроме того, указываются некоторые возможные применения КС-грамматик и их модификаций для обработки текстов на естественном языке в контексте реализации параллельного вывода с использованием исчислительных ПС.

Список литературы

1. Довгаль В.М. Методы модификации формальных систем обработки символьной информации / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1996. 114 с.

2. Успенский В.А., Семенов А.Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. М.: Наука, 1987. 288 с.

3. Марков А.А. Избранные труды. Т. 2. Теория алгоритмов и конструктивная математика, математическая логика, информатика и смежные вопросы. М.: МЦНМО, 2007. 650 с.

4. Довгаль В.М., Титов В.С., Титенко Е.А. Стратегии быстрых символьных вычислений для исчислительной системы продукций // Известия ВУЗОВ. Сер. «Приборостроение». 2008. № 2. С. 44–48.

5. Балакирев Н.Е., Добрышина Е.В. Концептуальная модель и структура системы обработки текстовой информации // Информационные системы. 2010. № 2. С. 2–7.

6. Леонтьева Н.Н. Автоматическое понимание текстов. Системы, модели, ресурсы. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 304с.

7. Nederhof Mark-Jan, Satta Giorgio. Algorithmic Aspects of Natural Language Processing // Algorithms and Theory of Computation Handbook. Special Topics and Techniques – CRC Press. 2010.

Получено 21.05.12.

E.B Tutov, Lecturer, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tutov-e-b@yandex.ru)

E.A. Titenko, Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: johntit@mail.ru)

A.O. Atakishchev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: aoi007@yandex.ru)

K.S. Tsukanov, Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: constantin.tsukanov@yandex.ru)

APPLICATION OF CONTEXT-FREE GRAMMARS FOR PROCESSING TEXTS IN NATURAL LANGUAGE

The paper presents calculus production system modification, designed for parallel generation of branching processes without restrictions on conflict situations by data. The paper describes application of context-free grammars for processing texts in natural language.

Key words: *production system, calculus system, terminal symbol, context-free grammar.*

УДК 510(083)

В.П. Добрица, д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

А.А. Липунов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: lipunov@lenta.ru)

Е.С. Савенкова, студентка, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: savenkova230891@yandex.ru)

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВКИ ИНФОРМАЦИИ

В работе рассматривается задача построения эмпирической зависимости скорости и времени сортировки информации от количества передаваемых символов методом двухпутевого слияния, проводится анализ полученной зависимости.

Ключевые слова: *скорость сортировки, эмпирическая формула.*

***

В XXI веке, как никогда, встала проблема хранения, перемещения, защиты информации, а для этого информацию нужно правильно расположить, т. е. отсортировать в порядке убывания или возрастания. Ни одна большая программа не обходится без сортировщика слов, чисел, списков. В таких программах сортировщик должен работать быстро, эффективно и без сбоев.

Современные вычислительные системы работают наиболее эффективно при упорядоченных данных. Сортировка информации – это процесс расстановки

элементов в некотором порядке. Элементы размещаются следующим образом:

1) вычисления, которые требуют определенного порядка расположения данных, упорядоченных по возрастанию или убыванию, могли выполняться эффективно;

2) результаты имели осмысленный вид;

3) последующие операции имели бы упорядоченные исходные данные.

Целью работы является получение эмпирических зависимостей и анализ результатов сортировки времени и скорости в зависимости от количества вводимых символов.

Из всех возможных методов проведения сортировки и слияния нами был выбран метод двухпутевого слияния. Этот метод зарекомендовал себя как наилучший из возможных способов слияния на компьютере с обычной архитектурой. Общий объем операций, выполняемых алгоритмом метода двухпутевого слияния, по существу пропорционален сумме объемов сливаемых массивов, откуда понятно, почему слияние – более простая задача, чем сортировка. Однако задачу сортировки можно свести к слияниям, сливая все более длинные массивы до тех пор, пока не будет рассортирован весь массив. Такой подход можно рассматривать как развитие идеи сортировки методом вставок.

Реализуя алгоритм метода в виде программы, написанной на языке Delphi, были получены зависимости времени и скорости обработки от количества символов (табл. 1, рис.).

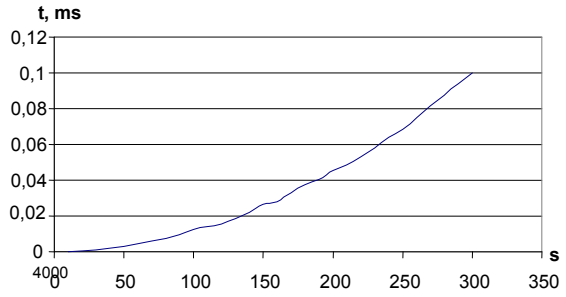
Таблица 1

Зависимость скорости и времени обработки от количества символов

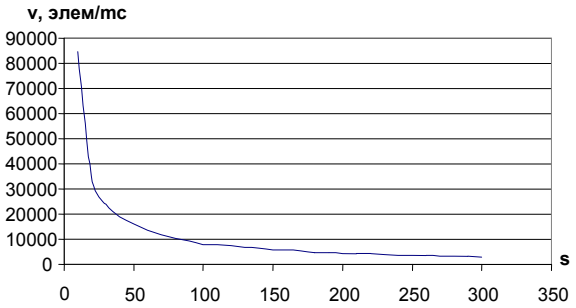
Число символов	Время, мс	Скорость, сим./мс	Число символов	Время, мс	Скорость, сим./мс	Число символов	Время, мс	Скорость, сим./мс
40	0.0021	19048	300	0.1	3000	5250	29.69	176.83
50	0.0031	16129	500	0.32	1563	5500	32.5	169.2
60	0.0044	13474	700	0.532	1315.8	5750	36.63	156.98
70	0.0059	11820	900	0.875	1028.5	6000	38.75	154.84
80	0.0077	10386	1100	1.313	837.78	6250	42.03	148.75
90	0.0096	9289.8	1300	1.844	704.99	6500	45.62	142.48
100	0.0125	7961.8	1500	2.437	615.51	6750	49.06	137.57
110	0.0141	7801.4	1700	3.125	544	7000	52.81	132.55
120	0.015	7643	1900	3.906	486.43	7250	56.57	128.16
130	0.0187	6951.9	2100	4.765	440.71	7500	60.47	124.03
140	0.0219	6392.6	2300	5.719	402.17	7750	64.54	120.08
150	0.0266	5639.1	2500	6.75	370.4	8000	68.91	116.1
160	0.0282	5679.8	2700	7.875	342.86	8250	43.29	112.57
170	0.0328	5182.9	2900	9.062	320.02	8500	77.82	109.23
180	0.0375	4800	3100	10.47	296.08	8750	82.34	106.27
190	0.0406	4679.8	3300	11.72	281.57	9000	87.19	103.22
200	0.0453	4415	3500	13.28	263.55	9250	92.34	100.17
210	0.0484	4338.8	3700	14.84	249.33	9500	97.03	97.91
220	0.053	4143	3900	16.56	235.51	9750	102.18	95.42
230	0.0578	3979.2	4100	18.12	226.27	10000	107.62	92.92
240	0.0641	3744.1	4300	19.84	216.73			

Окончание табл. 1

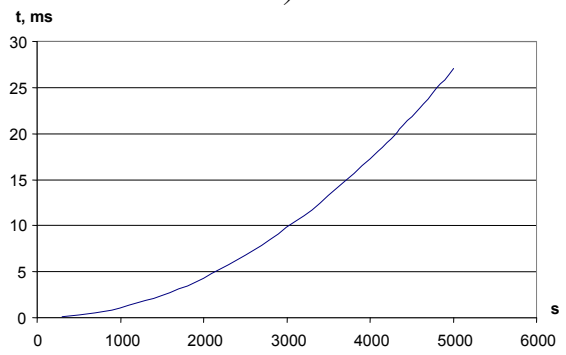
Число символов	Время, мс	Скорость, сим./мс	Число символов	Время, мс	Скорость, сим./мс	Число символов	Время, мс	Скорость, сим./мс
250	0.0687	3639	4400	20.94	210.2			
260	0.075	3466.7	4500	21.88	205.67			
270	0.0813	3321	4600	22.81	201.67			
280	0.0875	3200	4700	23.75	197.89			
290	0.0938	3091.7	4900	25.78	190.07			
300	0.1	3000	5000	27.03	184.98			



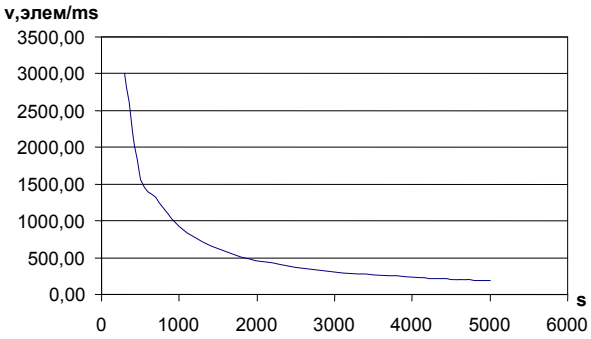
а)



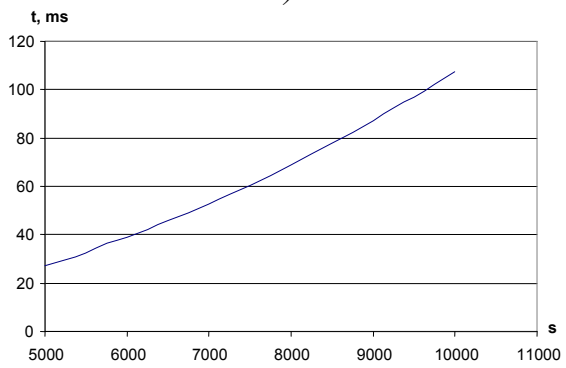
б)



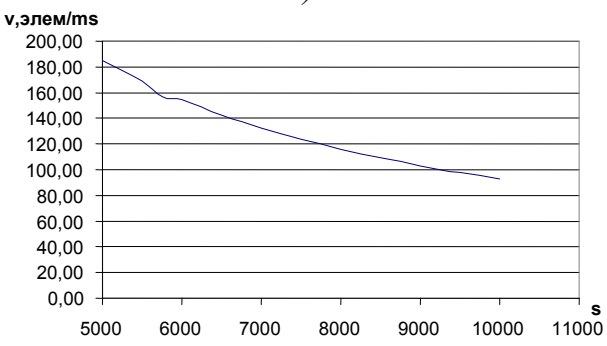
в)



г)



д)



е)

Рис. Зависимости времени и скорости сортировки от количества символов:
а, б – до 300 символов; *в, г* – от 300 до 5000 символов; *д, е* – от 5000 до 10000 символов

Можно заметить, что с увеличением числа символов увеличивается время сортировки, а скорость сортировки, соответственно, уменьшается. По результатам эксперимента были построены эмпирические зависимости скорости и времени сортировки, т.е. был осуществлен подбор эмпирической формулы, наилучшим образом приближающей полученные результаты.

Выбор вида формулы осуществляется в два этапа: 1) определение самого вида; 2) получение параметров зависимости.

Выбор вида формулы осуществлялся из следующих:

$$y = ax^b;\ y = ab^x;\ y = \frac{1}{ax+b};\ y = \frac{x}{ax+b};$$

$$y = a\ln x + b;\ y = a + \frac{b}{x};$$

$$y = aeb^x;\ y = ax^2 + bx + c.$$

Наиболее точно эмпирические данные скорости сортировки информации аппроксимирует зависимость $y = ax^b$ для времени обработки лучше всего подошла функция вида $y = ax^2 + bx + c$.

Оценка параметров проводилась с помощью метода наименьших квадратов, так что оценки коэффициентов можно считать состоятельными, несмещенными и достаточными.

Эмпирические зависимости для описания скорости и времени сортировки информации в зависимости от количества передаваемых символов представлены в таблице 2.

Результаты исследования можно сформулировать так:

1. Важным свойством алгоритма является его сфера применения. Здесь основных позиций две: внутренние сортировки работают с данным в оперативной памяти произвольным доступом; внешние сортировки упорядочивают информацию, расположенную на внешних носителях. Это накладывает некоторые дополнительные ограничения на алгоритм:

- доступ к носителю осуществляется последовательным образом: в каждый момент времени можно считать или записать только элемент, следующий за текущим;
- объем данных не позволяет им разместиться в ОЗУ;
- доступ к данным на носителе производится намного медленнее, чем операции с оперативной памятью.

Данный класс алгоритмов делится на два основных подкласса:

1) внутренняя сортировка оперирует с массивами, целиком умещающимися в оперативной памяти, с произвольным доступом к любой ячейке. Данные обычно сортируются на том же месте, без дополнительных затрат;

Таблица 2

Функциональные зависимости скорости и времени сортировки от количества передаваемых символов

Количество символов	Функция скорости сортировки	Функция времени сортировки
От 0 до 300	$y = 610538 \cdot x^{-0,9293}$	$y = 10^{-6} \cdot x^2 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot x - 0,0002$
От 300 до 5000	$y = 768407 \cdot x^{-0,977}$	$y = 10^{-6} \cdot x^2 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot x - 0,014$
От 5000 до 10000	$y = 843838 \cdot x^{-0,9894}$	$y = 10^{-6} \cdot x^2 - 3 \cdot 10^{-4} \cdot x - 1,29$
От 0 до 10000	$y = 755724 \cdot x^{-0,9754}$	$y = 10^{-6} \cdot x^2 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot x - 0,009$

2) внешняя сортировка оперирует с запоминающими устройствами большого объема, но с доступом не произвольным, а последовательным (сортировка файлов), т.е. в данный момент только один элемент, а затраты на перемотку по сравнению с памятью неоправданно велики. Это приводит к специальным методам сортировки, обычно использующим дополнительное дисковое пространство.

При решении задачи сортировки обычно выдвигается требование минимального использования дополнительной памяти, из которого вытекает недопустимость применения дополнительных массивов.

2. С увеличением сортируемой информации время сортировки увеличивается и описывается полиномом второй степени.

3. С увеличением сортируемой информации скорость сортировки уменьшается по степенному закону. Так как показатель степени близок к единице, можно предположить изменение по гиперболическому закону вида $y = b / x$.

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. М.: Наука, 1978. Т. 1. 576 с.

2. Лорин, Г. Сортировка и системы сортировки. М.: Наука, 1983. 378 с.

Получено 24.05.12.

V.P. Dobrica, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: dobritsa@mail.ru)

A.A. Lipunov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: lipunov@lenta.ru)

Y.S. Savenkova, Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: savenkova230891@yandex.ru)

THE ANALYSIS OF PARAMETERS OF SORTING INFORMATION

The problem of constructing an empirical dependence of the velocity and time sort of information on the number of transmitted symbols by the twin track of merger is considered. The analysis of the obtained dependence is provided.

Key words: *velocity sort of information, empirical dependence.*

УДК 004.031+004.328

Е.А. Титенко, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: johntit@mail.ru)

А.В. Белокопытов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

М.А. Шевченко, студент, Московский государственный университет

А.О. Пенькова, студентка, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: Felis_panthera@mail.ru)

АРХИТЕКТУРА РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО СИМВОЛЬНОГО МУЛЬТИПРОЦЕССОРА ПОТОКА ДАННЫХ

В статье определены необходимые и достаточные условия для аппаратной поддержки задач обработки символьной информации с ветвящимися процессами. Выполнен синтез структуры реконфигурируемого мультипроцессора, управляемого потоком данных и содержащего модули ассоциативной памяти и матрицу однородных устройств.

Ключевые слова: *мультипроцессор, поток данных, реконфигурация.*

***

Введение

Одним из приоритетных государственных направлений развития компьютерной индустрии является создание отечественных многопроцессорных вычислительных систем (МВС), ориентированных на решение не только вычислительно трудоемких задач, но и проблемно-поисковых задач, описываемых динамическим графом большой размерности. По мнению таких ученых, как И.А. Каляев, И.И. Левин, В.С. Бурцев, А.Л. Стемпковский, Ва, Лоурай, Гоцзе [1, 2, 3, 4], приоритетной областью применения МВС являются сильно связанные задачи с параллельными взаимодействующими процессами обработки информации. В таких задачах, собственно, процессы вычислений интегрированы с коммуникационными процессами обмена данными и сообщениями. Решение таких задач, как правило, ориентировано на обработку символьной информации (ОСИ) на единых математических началах структурно-лингвистических преобразований коллективом скоординированно работающих дискретных исполнителей [5].

Задачи ОСИ трактуются как задачи поиска и/или порождения новых конструктивных объектов на основе имеющегося набора исходных объектов (исходных данных) и набора правил преобразования (вставка, замещение, удаление групп символов), имеющих разрешительный смысл исполнения, т.е. на основе аппарата исчислительных систем. Решение таких задач основывается на моделях, методах, аппаратно-программных средствах эффективной генерации и анализа множества вариантов решений, что определяет актуальность работы.

Подавляющее большинство МВС имеют жесткую структуру (векторно-конвейерную, матричную, гиперкубовую, иерархическую, кластерную и т.д.) [2,6]. Такие МВС основаны на фоннеймановской модели организации вычислений, использующей управление потоком команд. Вместе с тем использование параллелизма потока команд не является необходимым условием для эффективных процессов ОСИ. Необходимым условием является использование параллелизма потока данных, естественного для проблемно-поисковых задач ОСИ. Кроме того, достаточным условием является создание модели скоординированной работы коллектива дискретных исполнителей, обеспечивающих направленную генерацию пробных состояний динамического графа задачи ОСИ.

Для реализации реконфигурируемой архитектуры МВС выбраны концепция, теория структурно-процедурных вычислений и реализационные основы синтеза МВС с ПС, разработанные в НИИ МВС ТРТУ [1,2].

Свойства аппарата продукционных систем

С точки зрения разработчика МВС символьная информация характеризуется динамически изменяемыми коллекциями структур элементов со сложными логическими связями, недетерминированным характером обработки больших размеров данных, размытыми границами размера минимальной единицы обработки, множественными структурными зависимостями между элементами, комбинацией локальных и глобальных процессов преобразования с учетом искажений, ошибок, неполноты или избыточности символьных структур.

Главная отличительная особенность задач ОСИ основывается на доминировании параллелизма потока данных. Естественный параллелизм символьных данных характеризуется вариативностью позиций образования множественных процессов, переменным размером фрагментов данных, на которых он возникает. Кроме того, ветвящиеся вычислительные процессы имеют «мелкозернистую точку образования», привязанную к текущим элементарным операциям. Вследствие этого граф решения задач ОСИ, состоящий из ветвящихся путей, характеризуется переменными коэффициентами ветв-

ления и сужения, которые соотносятся с большинством шагов вычислений (итераций, рекурсивных вызовов).

Исходя из особенностей задач ОСИ, достаточно привлекательным формальным аппаратом для задания параллельно выполняющихся ветвящихся процессов являются исчислительные продукционные системы. Исчислительная продукционная система (ПС) состоит из однородного по составу набора разрешительных продукций (правил), имеющих схему «условие → действие», и естественным образом ориентирована на параллелизм потока данных за счет возможности недетерминированной активации множества продукций и их недетерминированного срабатывания. Работа исчислительной ПС связана с рекурсивным порождением множества слов. Каждый шаг вывода в исчислительной ПС (каждый рекурсивный вызов) осуществляется путем выбора одного из трех отношений вывода:

1) бинарное отношение непосредственного вывода;

2) *p*-значное отношение равноправного вывода (ИЛИ-вывод);

3) *p*-значное отношение независимого вывода (И-вывод).

Таким образом, исчислительная ПС с неединичным множеством скоординированно работающих исполнителей имеет необходимые и достаточные условия для создания базового модуля МВС с ПС в виде реконфигурируемого символьного мультипроцессора на основе продукционной парадигмы вычислений.

Базовые принципы организации реконфигурируемого мультипроцессора потока данных

Под реконфигурируемым мультипроцессором (МП) понимается вычислительная система, состоящая из набора однородных вычислительных устройств, объединенных коммутационной подсистемой между собой и общей разделяемой рабочей памятью (РП) и обладающих равными возможностями доступа к памяти [7], а также имеющая встроенными средствами динамического изменения соединений под структуру графа решаемой задачи. Кроме операционной части, содержащей матрицу однородных вычислительных устройств и коммутационных узлов, в структуре МП выделяется управляющая часть в виде модулей ассоциативной памяти (АП) с блоком множественного анализа конфликтных ситуаций. Выполняя функцию устройства управления, АП делает структуру мультипроцессора регулярной, тем самым значительно улучшая технологичность процессора. АП обеспечивает выполнение продукций не по счетчику команд, а по готовности продукций к обработке текущих входных слов, т.е. по результатам множественного ассоциативного поиска вхождений. Если ассоциативный поиск вхождений по множеству входных слов и образцов ПС положительный, то на входе операционной части МП формируется поток обрабатываемых слов. Каждое слово дополняется настроечной информацией для коммутационных узлов о соединении устройств в пределах текущего уровня динамического графа вывода. Введение АП и блока реконфигурации (БРК) позволяет определять количественные характеристики потока данных и управлять ветвящимися процессами на аппаратном уровне.

Общая организация мультипроцессора ОСИ

Основу МП составляют модули АП и решающая матрица однородных продукционных вычислительных устройств (ПВУ) количеством $N \times N$, где N – число рабочих устройств-исполнителей продукций (рис. 1). Каждое из ПВУ реализует только одну продукцию ПС, взаимодействуя с удаленными ПВУ через распределенную коммутационную структуру. N столбцов решающей матрицы предназначены для параллельной генерации до N уровней графа задачи (графа вывода).

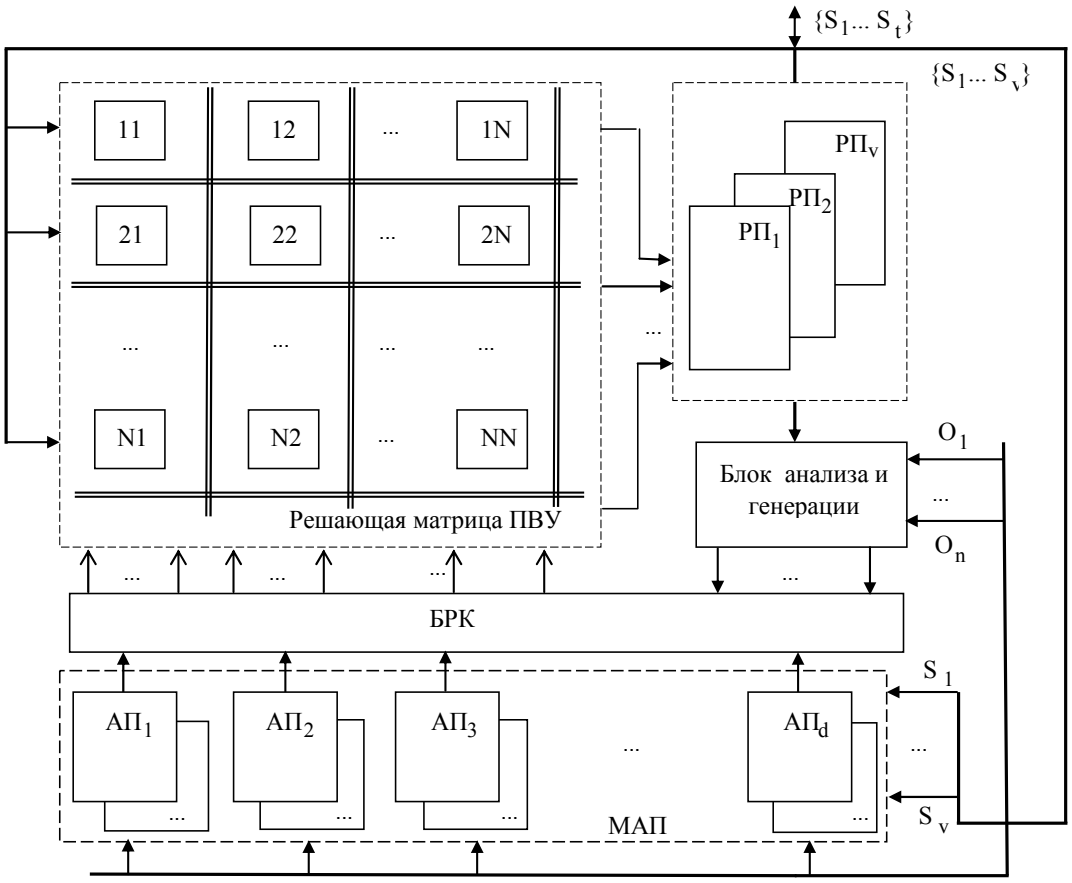


Рис. 1. Структурная схема реконфигурируемого мультипроцессора: t – количество входных слов; *v* – количество обрабатываемых слов; *d* – количество модулей АП

Заложенная структурная избыточность в МП позволяет синхронизировать работу решающей матрицы ПВУ и модулей АП.

Дело в том, что работа МП основана на формировании двух взаимодействующих потоков данных. С одной стороны, цепочка «многоканальная РП – модули АП» порождает поток сопоставленных с положительным опросом слов, которые создают входной нагрузочный поток на решающую матрицу ПВУ. С другой стороны, цепочка «матрица ПВУ – многоканальная РП» порождает выходной поток обработанных слов, которые фактически являются входным нагрузочным потоком на модули АП. Сбалансированность нагрузки двух взаимодействующих однородных вычислителей операционной части достигается за счет программируемого подключения новых столбцов матрицы под вновь порождаемых уровни графа задачи.

В пределах отдельного столбца матрицы образована не завешенная структура. Незавершенность проявляется в том, что связи между ПВУ не имеют постоянного закрепления. Они динамически настраиваются под текущее обрабатываемое слово из $\{S_1 \dots S_v\}$ с учетом выявленного параллелизма данных. Определение параллелизма данных для N слов из $\{S_1 \dots S_v\}$ осуществляется в цепочке «блок анализа и генерации – блок реконфигурации» и приводит к появлению третьего – управляющего – потока коммутации. Поток коммутации формируется в БРК отдельно по каждому столбцу матрицы и представляет собой вектор двоичных унитарных (невесовых) кодов [8], каждый бит (группа бит) которого управляет связью подключения ПВУ с внешними источниками или приемниками.

Основу ПВУ (рис. 2, *а*) составляет символьный вычислитель, интегрированный с коммутационными узлами – мультиплексором и демультиплексором, в которых с помощью настроечных (адресных) входов динамически (в пределах уровня) выбираются источник и приемник данных. Внедрение двух коммутирующих узлов в структуру ПВУ обеспечивает гибкую настройку соединений под различные типы параллелизма с объединением необходимого количества ПВУ на одном уровне графа вывода.

ПВУ как функциональное завершенное устройство, аппаратно реализующее операции поиска вхождений и подставки, содержит собственно блок поиска, блок подстановки, входной мультиплексор на *p1* входов, выходной демультиплексор на *p2* выходов, управляемые настроечными значениями $G1_{ij}$ и $G2_{ij}$. На рис. 2, *б* представлена конкретизация коммутационной части четырьмя источниками и четырьмя приемниками, среди которых вторые вход и выход предназначены для соединения смежных ПВУ. Наконец, важнейшей структурной единицей МП является блок анализа конфликтных ситуаций и генерации конфликтных слов. Распознавание конфликтных ситуаций в составе входных данных позволяет выполнять динамическую реконфигурацию ПВУ с многообразием вариантом соединений. БРК вырабатывает для каждого шага работы мультипроцессора настроечные управляющие вектора, биты которых осуществляют коммутацию ПВУ и реконфигурацию решающей матрицы устройств под различные типы параллелизма (ИЛИ-, И- вывод) на нескольких уровнях вывода.

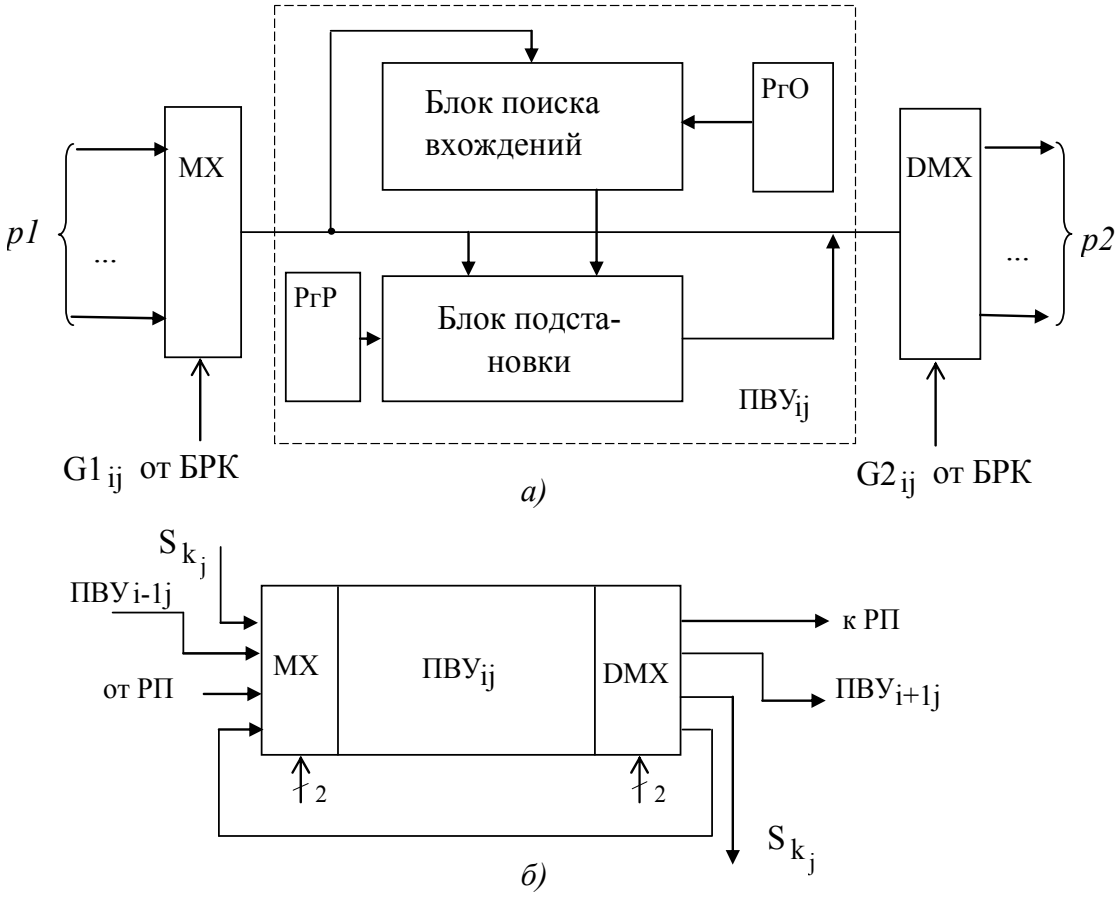


Рис. 2. Организация ПВУ: S_{k_j} – информационный сигнал; *а* – структурная схема; *б* – обозначение ПВУ с четырьмя входами/выходами

Заключение

Современный прогресс компьютерной индустрии многопроцессорных систем ориентирован на создание «интеллектуальных» вычислительных машин и систем с автоматически настраиваемой под поисковый граф задачи структурой. Обработка знаний как самой общей информационной категории сводится к решению проблемно-поисковых задач ОСИ, описываемых ветвящимися вычислительными процессами.

Для технической поддержки параллелизма ветвящихся вычислений выбран математический аппарат исчислительных продукционных систем, для которых разработан реконфигурируемый мультипроцессор потока данных. Операционная часть мультипроцессора содержит модули ассоциативной памяти и матрицу однородную продукционных вычислительно-коммутационных устройств. Главная особенность матрицы устройств заключается в том, что коммутационная подсистема распределена по ее структуре в виде настраиваемых мультиплексоров и демультиплексоров, программирование которых реализует динамическую реконфигурацию структуры мультипроцессора под граф решения задачи с точностью до отдельного уровня.

Список литературы

1. Каляев А.В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. М.: Радио и связь, 1984. 240 с.

2. Каляев А.В., Левин И.И. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. М.: Янус-К, 2003. 380 с.

3. Бурцев В.С. Параллелизм вычислительных процессов и развитие архитектуры суперЭВМ: сб. статей / сост.: В.П. Торчигин, Ю.Н. Никольская, Ю.В. Никитин. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2006. 416 с.

4. Ва Б.У., Лоурай М.Б., Гоцзе Ли. ЭВМ для обработки символьной информации // ТИИЭР. 1989. Т. 77, № 4. С. 5–40.

5. Успенский В.А., Семенов А.Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит. (Б-чка программиста), 1987. 288 с.

6. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с.

7. Корнеев В.В. Вычислительные системы. М.: Гелиос АРВ, 2004. 512 с.

8. Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: справочник. М.: Радио и связь, 1990. 512 с.

Получено 25.05.12.

E.A. Titenko, Doctor of Sciences, Associate professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: johntit@mail.ru)

A.V. Belokopytov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

M.A. Shevchenko, Student, Moscow State University

A.O. Penkova, Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: Felis_panthera@mail.ru)

THE ARCHITECTURE OF RECONFIGURABLE SYMBOLICS MULTIPROCESSOR OF DATAFLOW

The article show is the necessary and sufficient conditions for hardware support of the tasks of computing of symbolic information with branching processes. Made the synthesis of reconfigurable multiprocessor structure that control the flow of data and contains the modules of associative memory and a matrix of multi-devices.

Key words: *multi-unit, the data flow, reconfiguration.*

УДК 004.031

Е.А. Титенко, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: johntit@mail.ru)

О.И. Атакищев, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: aoi007@mail.ru)

А.О. Атакищев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)

А.В. Белокопытов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

В.Е. Старков, магистр, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: 8-909-237-60-07)

ПРОДУКЦИОННАЯ МАШИНА-ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИМВОЛЬНЫХ ДАННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье предлагается схема организации параллельных вычислений на базе продукционного подхода. Выполнена расширенная модификация цикла вывода продукционной машины и предложены технические решения по снижению временной сложности базовых этапов вывода до линейной.

Ключевые слова: *машина вывода, продукционный вывод, конфликт данных.*

***

Введение

Современный этап развития вычислительной техники (ВТ) и прикладной информатики характеризуется тем, что математические, программные и технические средства обработки информации в значительной степени ориентируются на проблемно-поисковые и комбинаторные задачи, связанные с принятием решений в условиях неопределенности исходных данных и схемы решения, т.е. на задачи с элементами «интеллектуальных» вычислений [1]. Типичными примерами таких задач являются:

– задачи медицинской диагностики;

– задачи распознавания структуры многомерных дискретных объектов;

– задачи дискретной оптимизации с частично известной структурой графа поиска;

– задачи генерации маршрутов в однородных структурах (комбинаторная химия, биология роста живых систем);

– логико-игровые задачи с комбинаторной зависимостью числа состояний;

– задачи параллельной обработки транзакций в распределенных базах данных;

– задача распознавания и естественно-языковой обработки текстов;

– задачи обработки зрительных образов на основе символьного представления информации для систем технического зрения медицинской направленности;

– задачи управления для автономных транспортных робототехнических объектов;

– задачи оценки и пополнения баз знаний в экспертных системах;

– задачи интеллектуального анализа данных.

Общая отличительная особенность данного класса задач связывается с возможностью символьного представления дискретных объектов в предметной области и обработки символьной информации (ОСИ) на единых математических началах [2]. Другая объединяющая особенность связана с тем, что процесс решения объективно описывается ветвящимися конструктивными процессами, а результат решения представляется динамическим графом, в котором каждый путь описывает целевой или тупиковый конструктивный процесс. Третья особенность проблемно-поисковых задач ОСИ заключается в доминировании в них параллелизма потока данных. Решение таких задач определяется работой коллектива дискретных символьных преобразователей, объединенных единой матема-

тической схемой вычислений, и совместно генерирующих ветвящихся процессов. В этом контексте продукционная машина-генератор как формализация такой схемы выступает прообразом соответствующего вычислительного устройства, имеющего нетрадиционную однородную архитектуру.

Продукционные системы для обработки символьной информации

Символьная информация, имеет более высокий уровень абстракции, представления, чем числовая информация, поэтому она является основой моделей знаний. Она характеризуется динамически изменяемыми коллекциями структур элементов со сложной внутренней логической структурой, недетерминированным характером обработки больших размеров данных, размытыми границами размера минимальной единицы обработки, множественными структурными зависимостями между отдельными элементами, глобализацией процессов преобразования [3]. Продукционные системы (ПС) в силу однородности и естественного параллелизма потока данных имеют особый статус для создания абстрактной машины-генератора и формализации цикла работы машины с учетом введения в нее средств акселерации вычислений, основанных на модели управления потоком данных. Сущность управления потоком данных заключается в получении дополнительной управляющей информации для текущего цикла вывода. В случае положительного сопоставления выполняется текущий цикл вывода с модификацией рабочей памяти и, возможно, ПС.

Модифицированная продукционная машина вывода

Машина вывода (I) – это абстрактная управляющая система, конкретизирующая состав и взаимодействие дискретных символьных преобразователей, определяющих работу ПС [4].

Теоретически I описывается множеством вида

$$I = \{V,\ S,\ K,\ W\},$$

где V – модуль выборки из R и B множества активных данных и множества активных продукций; S – модуль сопоставления, определяющий множество вхождений образцов продукций во входные символьные строки; K – модуль разрешения конфликтов при сопоставлении; W – модуль выполнения выбранных продукций.

В связи с тем, что универсальных процедурных знаний и командных схем передачи управления, в общем случае, для ПС под проблемно-поисковые задачи ОСИ не представляется возможным задать, цикл работы продукционной машины вывода опирается на управление коллективом дискретных символьных преобразователей через поток данных. Цикл работы продукционной машины состоит в последовательном выполнении четырех модулей (рис.1): модуля выборки, модуля сопоставления, модуля разрешения конфликтов, модуля выполнения продукций. Разнообразие конкретных реализаций модулей выборки, сопоставления, разрешения конфликтов и выполнения определяет общую стратегию вывода решений. При этом модуль разрешения конфликтов является определяющим во временных затратах генерации ветвящихся процессов. Проблемная ситуация в том, что традиционная организация цикла вывода и соответствующих схемотехнических средств поддержки основана на последовательной генерации новых словсостояний в динамически формируемом графе альтернативных путей, что определяет избыточные переборные шаги вычислений.

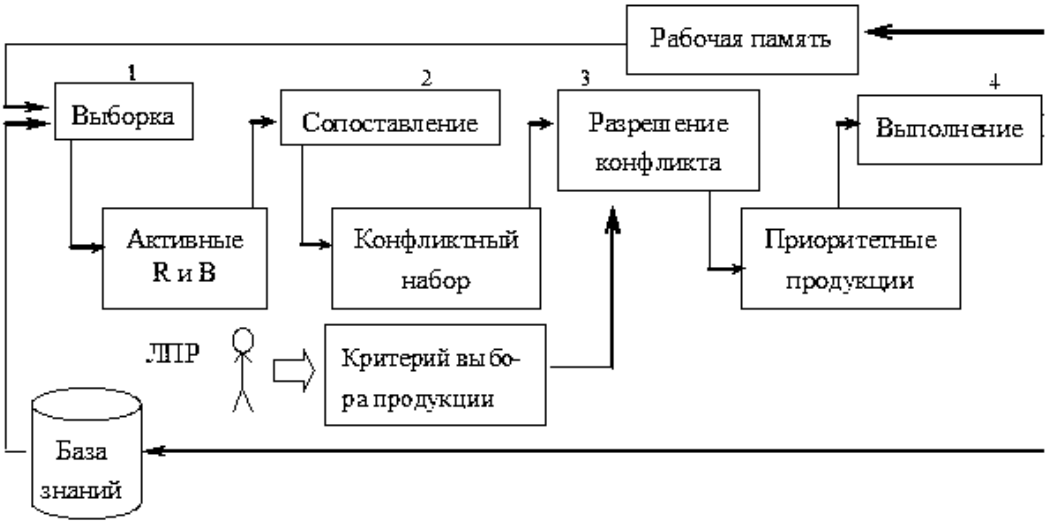


Рис. 1. Цикл работы машины вывода

Для исключения избыточных переборных шагов выполняется расширительная модификация машины вывода путем добавления в ее состав блоков синтеза конфликтных слов и блока обеспечения параллельных выводов. Данные модули осуществляют свою работу над ПС однократно до начала процесса вывода и предоставляют дополнительную информацию для этапов выбора, сопоставления, разрешения конфликтов и выполнения (рис. 2). Такая дополнительная информация являет актуальной для фиксированного состава ПС.

Формирование полного списка конфликтных слов осуществляется в специальном блоке с соответствующим названием на основе анализа парных пересечений образцов ПС. Как определено в [5], основу формирования списка конфликтных слов составляет конструктивная дизъюнкция вида

$$(O_i^{\mathrm{H}} = O_j^K) \vee (O_i^K = O_j^H) \vee \\ \vee (O_i \subset O_j) \vee (O_j \subset O_i), \qquad (1)$$

где $i, j \in (1 \ldots n)$ – номера продукций в ПС ($i \neq j$); O – слово-образец.

Проверка множественных пересечений слов-образцов, основанная на их парных сравнениях, имеет комбинаторный характер и определяется числом сочетаний как

$$C_n^2 = \frac{n!}{2! \cdot (n-2)!} = \frac{n \cdot (n-1)}{2}.$$

Данная квадратичная зависимость $O(n^2)$ временной сложности данной процедуры делает неперспективной работу модифицированной машины вывода при больших значениях n (n = 10000–50000). По аналогии с аппаратно-ориентированным алгоритмом сортировки модифицированного пузырька предлагается схемотехническое решение в виде $k=n/2$ блоков параллельных парных пересечений (БПП), которые уменьшают временную сложность процедуры синтеза конфликтных слов до n–1 парных сравнений (рис. 3).

Следующей ступенью уменьшения избыточных (полного перебора) шагов в продукционном выводе [6, 7] является структуризация правил и отношений между ними.

Для конкретизации процессов анализа перекрестных ссылок и получения дополнительной информации предлагается следующая структура этапа ВЫБОРКА в составе модифицированной машины вывода.

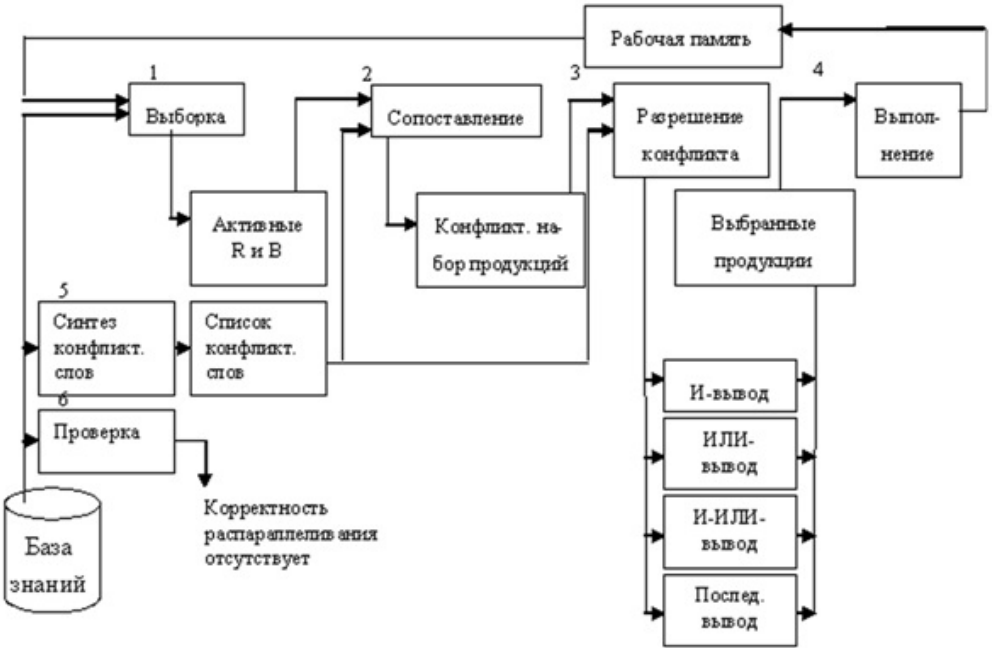


Рис. 2. Модифицированная продукционная машина вывода

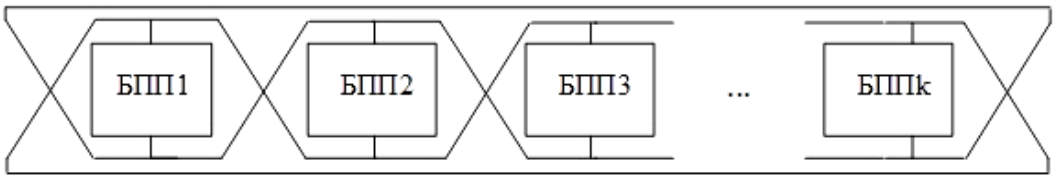


Рис. 3. Параллельная схема парных сравнений

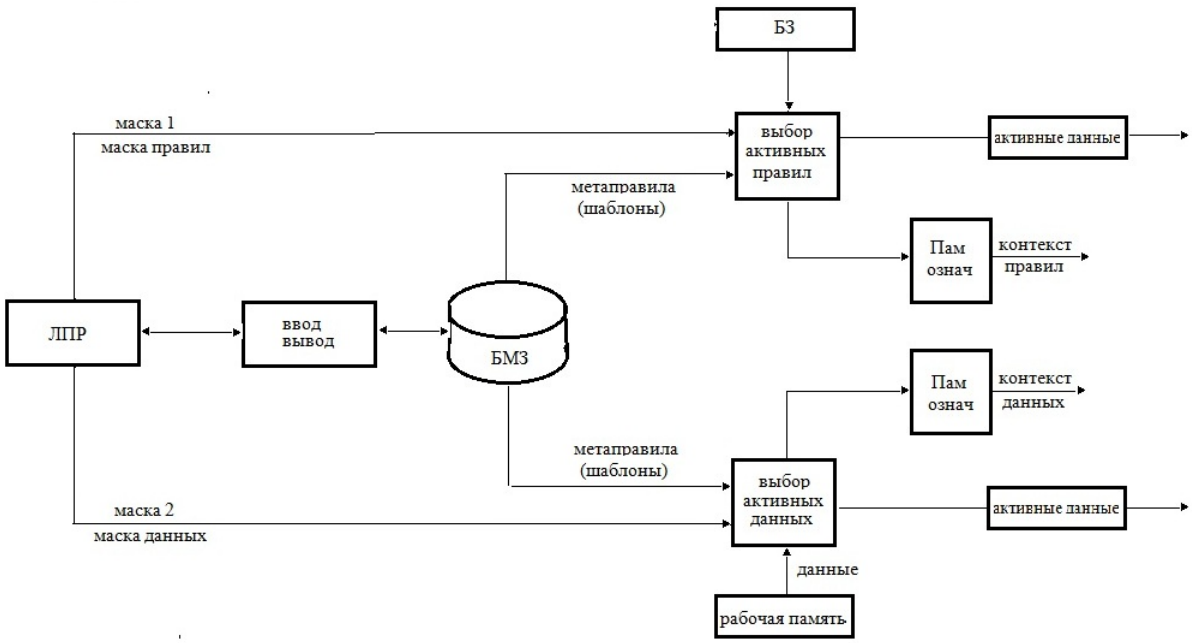


Рис. 4. Структура модуля ВЫБОРКА с ассоциативным поиском

Основу выделения активных данных и продукций составляет база метазнаний, содержащая управляющие продукции с переменными (метапродукции) и осуществляющая отбор по шаблону активных правил и активных данных (рис. 4).

Модули выбора активных правил и данных предлагается строить на основе ассоциативного параллельного поиска с использованием двух масок, задаваемых ЛПР. Основная информация, формируемая на этапе ВЫБОРКА, представляется списком выбранных из рабочей памяти и БЗ активных данных и правил. Оригинальность структуры определяется не только использованием ассоциативных операций (точный, ближайший, нечеткий поиск), но и получением дополнительной информации в виде контекста правил и данных. Контекст представляет собой означенные символьные и строковые переменные, что также структурирует и сокращает временные затраты на этапе СОПОСТАВЛЕНИЕ в цикле работы модифицированной машины вывода.

Заключение

Таким образом, в работе осуществлена модификация продукционной машины-генератора, связанная с процедурами (модулями) синтеза конфликтных слов, проверки на корректность параллельного вывода и выбора адекватной стратегии. Данные модули осуществляют свою работу над ПС однократно до начала процесса вывода и предоставляют дополнительную информацию для всех этапов цикла вывода. Предложена детализация модуля выбора активных правил и данных на основе ассоциативного параллельного поиска с использованием масок, задаваемых лицом, принимающим решения, а также параллельная схема парных сравнений слов, имеющая линейную временную сложность.

Список литературы

1. Люггер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: [пер. с англ.] М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. 864 с.

2. Ва Б.У., Лоурай М.Б., Гоцзе Ли. ЭВМ для обработки символьной информации // ТИИЭР. 1989. Т. 77, № 4.

3. Успенский В.А., Семенов А.Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1987. 288 с.

4. Продукционная машина – генератор для параллельных стратегий выводов / А.В. Николаев, С.Г. Емельянов, С.С. Аджемов, Е.А. Титенко [и др.] // Искусственный интеллект в XXI веке: сб. статей Всерос. науч.-техн. конф. Пенза, 2003. С. 107–110.

5. Довгаль В.М. Методы модификации формальных систем обработки символьной информации / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1996. 114 с.

6. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высш. шк., 2005. 231 с.

7. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. М.: BHV, 2004. 608 с.

Получено 15.05.12.

E.A. Titenko, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: johntit@mail.ru)

O.I. Atakischev, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: aoi007@mail.ru)

O.O. Atakischev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

A.V. Belokopytov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: alexey-slavyanin@mail.ru)

V.E. Starkov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (tel.: 8-909-237-60-07)

PRODUCTIONAL GENERATOR MACHINE FOR PROCESSING CHARACTER DATA OF DISCRETE OBJECTS

The paper proposes the scheme of parallel computations based on production systems. Perform an advanced modification of the withdrawal of a product cycle machines and offer technical solutions to reduce the time complexity of the basic steps to a linear output.

Key words: *Inference engine, production Inference, data collision.*

УДК 629.783

Д.Н. Тютюнов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712)52-38-24)

Е.А. Бойцова, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:elena-boitcova@mail.ru)

Л.И. Студеникина, канд. пед. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: SLI-kursk@mail.ru)

А.В. Бойцов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail:soul2023@mail.ru)

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЕ

Предлагается исследование околоземной орбиты космического тела в процессе изменения его массы при движении по эллиптической траектории.

Ключевые слова: *ИЗС − искусственные спутники Земли, полная энергия и момент импульса спутника, вторая космическая скорость.*

***

При изучении околоземного космического пространства применяются различные аппараты: ИЗС − искусственный спутник Земли, космические станции и т.п.

Существуют управляемые и неуправляемые орбитальные корабли, выполняющие целый ряд научно-исследовательских и коммерческих проектов [1-3].

К одному из таких проектов относится задача определения степени засоренности ближнего космоса различными видами мусора (обломками космических аппаратов и отходами их жизнедеятельности, различными видами пыли и т.д.)

Во время исследования, периодически находясь в потоках мусора, спутник увеличивает свою массу m на величину Δm. Возникает вопрос: будет ли изменятся его орбита в процессе выполнения данной работы?

В [3] доказано, что если сопротивление разряженной атмосферы Земли движению спутника пренебрежимо мало и известны приближенные значения ее радиуса R и ускорения свободного падения g на ее поверхности, то легко определить элементы орбиты спутника в плоскости его движения. Учитывалась лишь сила притяжения Земли, другие воздействия на тело отброшены.

Была решена задача о движении точки в центральном поле.

Предлагалось, что в момент выхода на орбиту корабль-спутник имел массу m, мгновенную скорость $\vec{\upsilon}_0$ на расстоянии r_0 от центра Земли, направленную под углом γ_0 к радиусу-вектору корабля $\vec{r}_0$, система координат Oxy совпадает с плоскостью орбиты и имеет начало в центре Земли (рис.).

Следует отметить, что было выполнено требование:

$$\upsilon_0^2 < \upsilon_2^2 \cdot \frac{R}{r_0}, \qquad (1)$$

причем

$$\upsilon_2 = \sqrt{2gR}\,, \qquad (2)$$

где υ_2 − вторая космическая скорость, м/с; $g \approx 9{,}8156$ м/с^2 − напряженность поля тяготения у поверхности Земли.

Потенциальная энергия спутника U определяется по формуле

$$U = -\frac{\alpha}{r} = -\frac{mgR^2}{r}, \qquad (3)$$

где r − текущее расстояние спутника от центра Земли, м.

Полная энергия E_0 и момент импульса спутника M_0 в начальный момент времени выхода на орбиту (момент прекращения работы двигателя) соответственно равны

$$E_0 = \frac{m}{2}\left(\upsilon_0^2 - \frac{2gR^2}{r_0}\right),$$

$$M_0 = mr_0\upsilon_0 \sin\gamma_0\ . \qquad (4)$$

Уравнение орбиты в этом случае в полярных координатах имеет вид

$$r = \frac{p}{1+\varepsilon\cos(\varphi - C)}, \qquad (5)$$

где φ − полярный угол; C − const, причем $C = 0$, если полярную ось направить на ближайшую к центру силы точку траектории.

Кроме того,

$$p = \frac{M_0^2}{m|\alpha|}, \quad \varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2E_0M_0^2}{m\alpha^2}}, \qquad (6)$$

где p − параметр орбиты спутника; ε − эксцентриситет орбиты спутника $(0 < \varepsilon < 1)$.

Переходя к декартовым координатам, найдем величины большой a и малой b полуосей эллиптической орбиты:

$$a = \frac{\alpha}{2|E_0|},$$

$$b = \frac{M_0}{\sqrt{2m|E_0|}}. \qquad (7)$$

Учитывая (3) и (4), получим:

$$a = \frac{mgR^2}{2\cdot\frac{m}{2}\left|\upsilon_0^2 - \frac{2gR^2}{r_0}\right|} = \frac{gR^2}{\frac{2gR^2}{r_0} - \upsilon_0^2}; \qquad (8)$$

$$b = \frac{mr_0\upsilon_0\sin\gamma_0}{\sqrt{2m\cdot\left|\frac{m}{2}\left(\upsilon_0^2 - \frac{2gR^2}{r_0}\right)\right|}} = \frac{r_0\upsilon_0\sin\gamma_0}{\sqrt{\frac{2gR^2}{r_0} - \upsilon_0^2}}. \qquad (9)$$

Из формул (8) и (9) следует, что изменение массы спутника m на величину Δm не влияет на величины a и b полуосей эллиптической орбиты, т.е. траектория движения спутника не меняется при изменении массы спутника.

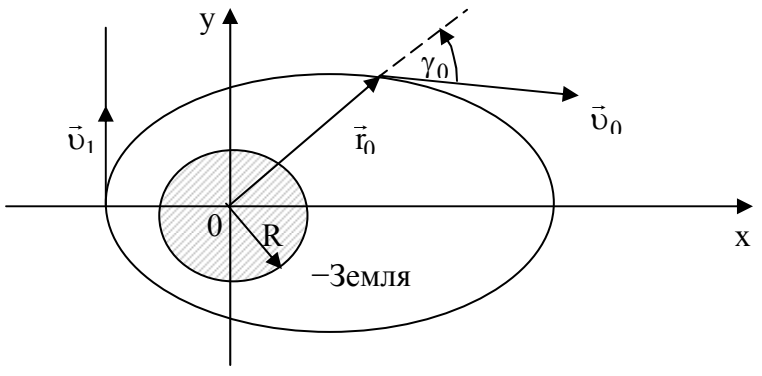


Рис. Траектория движения спутника

Период T полного оборота спутника по эллипсу равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{ma^3}{\alpha}} = \frac{2\pi gR^2}{\sqrt{\left(\frac{2gR^2}{r_0} - \upsilon_0^2\right)^3}}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что период оборота спутника T не зависит от массы спутника m и ее изменения Δm.

Выводы

1. Большая и малая полуоси, траектория эллиптической орбиты спутника в отсутствие сопротивления разряженной атмосферы не зависят от массы m самого спутника и ее изменения Δm.

2. Период полного оборота спутника T на эллиптической орбите в отсутствие сопротивления разряженной атмосферы не зависит от массы m самого спутника и ее изменения Δm.

Список литературы

1. Ландау Л.Д. Собрание трудов / под ред. Е.М. Лифшица. М.: Физматлит, 2008. Т. 1. 496 с.

2. Ландау Л.Д. Собрание трудов / под ред. Е.М. Лифшица, И.М. Халатникова. М.: Физматлит, 2008. Т. 2. 496 с

3. Ольховский И.Н. Курс теоретической механики для физиков. М.: Наука, 1970. 448с.

Получено 15.05.12.

D.N. Tyutyunov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: tjutjunov@mail.ru)

E.A. Boytsova, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru) (tel: (4712) 52-38-24)

L.I. Studenikina, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: SLI-kursk@mail.ru)

A.V. Boytsov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: soul2023@mail.ru)

MOTION PATTERN OF THE COSMIC BODY WITH VARIABLE MASS IN THE ELLIPTIC ORBIT

The article presents the study of the cosmic body earth orbit in the process of its mass changing when moving in the elliptic trajectory.

Key words: *AES – an artificial Earth satellite, the total energy and the moment of satellite impulse, escape velocity.*

УДК 621.3

Н.С. Иванов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712) 58-71-05)

В.С. Панищев, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712) 58-71-05)

В.П. Решетникова, старший преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712) 58-71-05)

КМОП-ДАТЧИК С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Предложена структура видеодатчика с предварительной обработкой изображения, заключающейся в фильтрации изображения известными масочными фильтрами.

Ключевые слова: *видеодатчик, КМОП-приемник излучения, обработка изображений.*

***

В настоящее время широко распространены устройства на КМОП-датчиках. Повышением интереса к данному классу схем является спрос на дешевые, мало потребляющие, многомодульные и компактные системы формирования изобра-

жений. Но наличие в КМОП-датчике высокого уровня шумов ограничивает их использование, в связи с чем ведутся разработки по улучшению качества изображения и повышения быстродействия.

Рассмотрим некоторые особенности, применяемые в КМОП-датчиках, например, микролинзы позволяют фиксировать на матрице большее число фотонов, что в целом повышает квантовую чувствительность датчика [1].

Однако выполнение микролинз с разными добавками материалов в стекле позволяет улучшить или ухудшить другие параметры, например сузить спектр проходящего светового потока – устранение инфракрасных и ультрафиолетовых излучений [2].

Такой параметр в КМОП-датчиках, как цветоделение, очень важен и вносит в устройство как положительные, так и отрицательные особенности. Например, для получения стационарного или малоподвижного, но более качественного изображения используют специальное дорогостоящее оборудование, монохромные сенсоры и барабаны со светофильтрами или метод «механизм попиксельного сдвига». Но все они тратят много времени на обработку изображения и имеют большие габариты. Для упрощения и минимизации конечного устройства используются разнообразные модификации светофильтров, расположенных нёпосредственно над каждым пикселем, что позволяют уменьшить количество пикселей в светочувствительной матрице без относительного уменьшения качества изображения [1, 2]. В таких методах требуется время для пересчета недостающей цветовой составляющей для каждого пикселя (интерполяция), после чего изображение получается размытым. Следовательно, требуется еще дополнительное время и вычислительная мощность на устранение искажения по пространственному и цветовому искажению. Также разнообразно количество RGBW-сенсоров, которые в определенной последовательности распределяют цвета по светочувствительной матрице [1]. Такие методы позволяют улучшить качество изображения по соотношению сигнал-шум, повышают динамический диапазон и позволяют уменьшать число пикселей, но они теряют мелкие детали при интерполяции.

Следующим немаловажным параметром является чувствительность. Для повышения чувствительности используют систему мультидискретизации, которая в режиме реального времени рассчитывает уровневую коррекцию реакции на освещенность каждого пикселя матрицы отдельно. Отрицательной стороной такого подхода является сложность вычислений.

Динамический диапазон – отношение максимального выходного сигнала датчика к его собственному уровню шума. Чем выше динамический диапазон, тем реалистичней получается изображение [3].

Одним из основных параметров в КМОП-датчиках является шум (см. таблицу). Данный параметр подразделяется на временной шум (тепловой, дробовый, токовый шумы, шумы на стадии сброса, на стадии накопления и считывания) [3, 4], а также пространственный шум (геометрический) [5].

Проведенный анализ показывает перспективность использования КМОП-датчиков, используя для получения качественного изображения блоки подавления или устранения шума. Шум имеет различную природу возникновения, в связи с чем его устраняют как на аналоговом уровне, так и на цифровом, используя цифровые процессоры и разнообразные методы интерполирования.

Учитывая все особенности данного класса устройств, предлагается вариант построения структуры видеодатчика на базе КМОП ПИ с предварительной фильтрацией изображения, обеспечивающего взаимодействие с ЭВМ (рис.).

Шумы, присутствующие в КМОП-датчиках изображения

№	Тип шума	Причина возникновения	Способы устранения
1	Внешний		
1.1	Шум светового потока (фотоновый)	Число фотоэлектронов, накопленное в ячейке, определено с точностью до квадратного корня из их числа (статистика Пуассона)	Метод, устраняющий фотоновый шум, – двойная коррелированная выборка, предложена М. Уайтом и др. из фирмы Westinghouse в 1974 г.
2	Внутренний		
2.1	Системный (нефундаментальный) шум (помехи)	Обусловлены неуправляемыми взаимодействиями блоков микросхемы	
2.2.1	Шум фотодиода	Хаотический сигнал со случайной амплитудой и спектром	
2.2	Физический (фундаментальный) шум:		
	Равновесные шумы:		
2.2.2	Шум Джонсона (температурный, термический) Шум Найквиста Белый шум Тепловой шум	Случайный шум, вызывается движением свободных электронов в проводнике и зависит от температуры проводника	Устраняются тепловые шумы за счет: – уменьшения сопротивления критических цепей, – уменьшения полосы частот обрабатываемых сигналов, – снижения рабочей температуры за счет улучшения теплоотвода
2.2.3	Дробовый шум Генсрационно-рекомбинационный шум Диффузионный шум	Возникает, когда носители заряда случайно пересекают некоторый потенциальный барьер. При этом каждый носитель генерирует в цепи импульс тока, и суперпозиция этих импульсов образует флуктуирующий ток	Ограничения накопления заряда по времени и использование ДКВ
2.2.4	Фликкер-шум (низкочастотный или шум вида $\frac{1}{f}$)	Широкополосные флуктуационные шумы возникают вследствие дробового эффекта и из-за наличия активных сопротивлений в цепях эмиттера, базы и коллектора, причем наибольшее значение имеют шумы сопротивления базы	Подавляется ДКВ

Окончание табл.

№	Тип шума	Причина возникновения	Способы устранения
2.2.5	Темновой ток (теневой)	Вызывается спонтанным возникновением носителей тока (фотоэлектронов) при отсутствии засветки фотоприемника	Разница между сигналами на выходе матрицы и сигналами с «затененных» пикселей
3	Шумы усилителей		
3.1	Ток утечки полевых транзисторов	Возникает во входном каскаде усилителя	Повышение чувствительности осуществляется при применении гетеродинного метода
4	Шумы, возникающие связи с использованием фильтров, интерполяции		
4.1	Шум фиксированного распределения (Fixed pattern noise)	Ошибки при считывании с матрицы – как рассогласование по времени, так и разброс в значении потенциалов, подаваемых на электроды сенсора	Ограничения накопления заряда по времени и интерполяции
4.2	Цветовой шум (color noise) (хроматический)	Выражается в появлении пикселей постороннего цвета в однотонных областях снимка, причём чаще всего разноцветные крапинки возникают в теневых участках кадра	Интерполяция
4.3	Яркостной шум (Luminance noise)	Яркостной шум не так заметен и представляет собой не изменение цвета, а резкие скачки яркости рядом расположенных пикселей	Интерполяция
4.4	Жёлтый шум	Возникает при восстановлении полноцветного изображения и при специфических условиях освещения – использование светильников, излучение которых имеет смещенный спектральный состав	Улучшение спектральной чувствительности матрицы

В него входят следующие элементы: блок преобразования входных данных, блок двойной коррелированной выборки [5], блок памяти, блок предварительной обработки сигнала, блок выборки коэффициентов усиления, блок выборки сигнала, блок перемножения, блок усиления сигнала, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), блок распознавания, блок управления, тактовый генератор.

Блок преобразования входных данных представлен в виде светочувствительной КМОП-матрицы с активными пикселями.

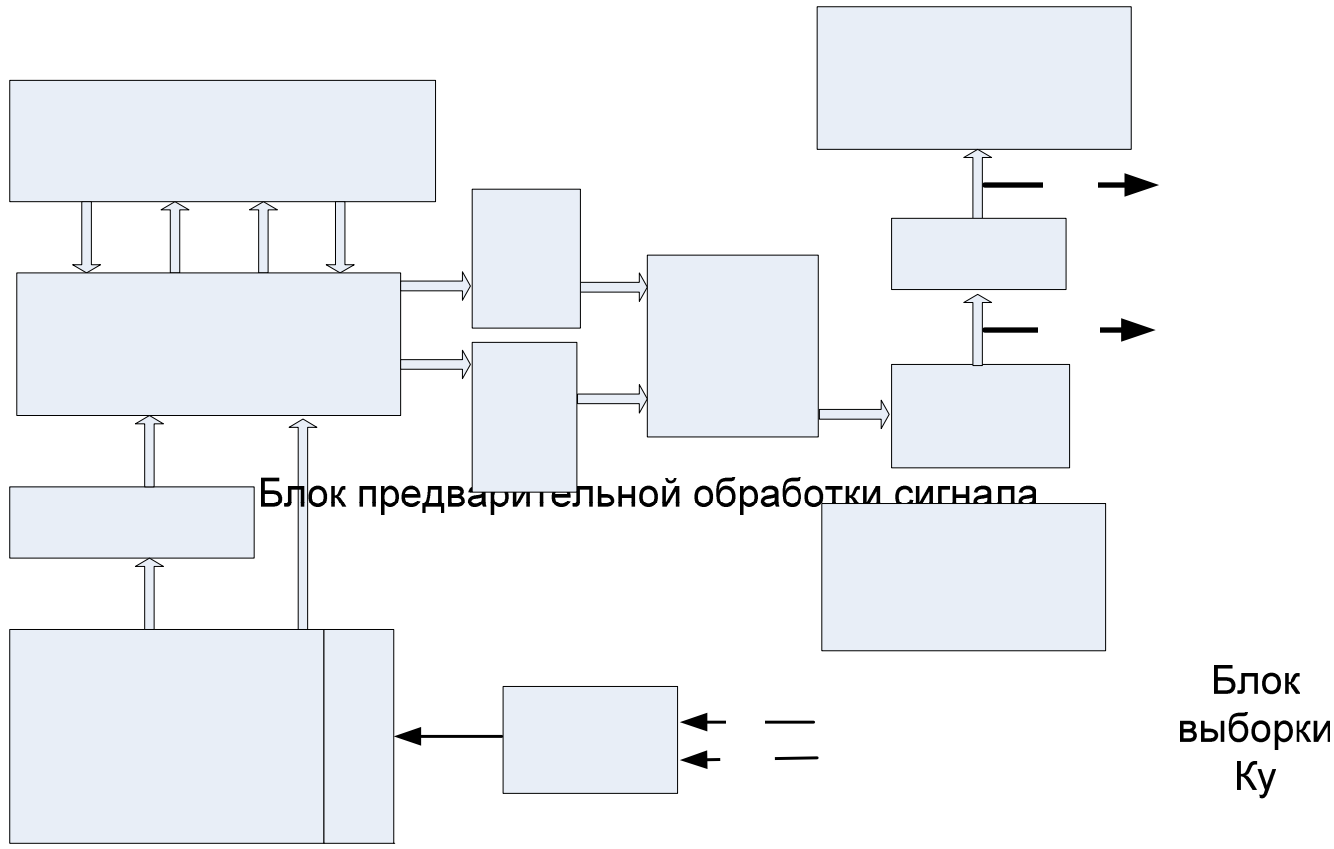


Рис. Структура видеодатчика на базе КМОП ПИС с предварительной фильтрацией изображения

Блок предварительной обработки сигнала содержит схему подавления шума и схему коррекции коэффициента усиления сигнала. Также представленный блок выполняет операции по улучшению качества изображения, например выравнивание контраста и яркости, выделение контуров, определение движения и другие обработки изображения.

Блок распознавания реализован на базе процесса, обладающего высокопроизводительной и однородной системой команд, которая позволяет одновременно обрабатывать сигналы и выполнять функции микроконтроллера.

Блок управления осуществляет контроль за процессом обмена информацией между блоком преобразования входных данных, блоком предварительной обработки сигнала и блоком распознавания.

Устройство работает следующим образом. После регистрации фотонов на КМОП-матрице с ее выходов получаем рассчитанные коэффициенты усиления сигнала истоковых повторителей в каждом активном пикселе, которые подаются в блок памяти, а также яркостные данные. Яркостные данные передаются в блок двойной коррелированной выборки, где осуществляется выделение «полезного» сигнала, то есть вычисляется разница между уровнем самого сигнала и уровнем шумов на пикселе, вносимых как внешним источниками (например, фотоновый шум), так и внутренними (тепловой шум, дробовый шум и т.д.). С выхода блока ДКВ данные передаются в блок памяти.

Полученные данные (матрица «полезного» сигнала и матрица коэффициентов усиления) передаются в блок памяти, причем считывание данных с фоточувствительной матрицы и передача осуществляются построчно с помощью блока выборки строк и тактового генератора. В блоке предварительной обработки сигнала осуществляется повышение контраста, распределение яркостей по всей матрице, а также при необходимости

можно выполнить оконтуривание, скелетизацию и т.д. Полученные эталонные результаты хранятся в блоке памяти (статической). Также в блоке предварительной обработки сигнала [6] осуществляется цветовая коррекция, гамма-коррекция, производится подстройка коэффициентов усиления сигнала, а также подавление шумов. В блоке предварительной обработки сигнала возможна реализация функции определения движения на изображение путем разности между кадрами, а также реализация таких функций, как бинаризация, устранение одиночных выбросов и так далее. При реализации данного блока как внешнего устройства он может быть реализован на базе стандартных программных компонент (soft-ядер) фирмы Xilinx.

Матрица коэффициентов усиления и матрица яркостных данных подаются на входы блоков выборки коэффициентов усиления и блок выборки сигнала соответственно, которые производят поиск по адресу пикселя соответствующее значение яркостной данной и коэффициента усиления. Полученные параметры передаются в блок перемножения сигналов, а затем в блок усиления сигнала, на выходе которого получаем аналоговый сигнал. Дальше данные передаются на АЦП, с его выхода получаем цифровой сигнал. Затем данные передаются в блок распознавания.

Предлагаемая структура устройства с предварительной фильтрацией изображения обладает простотой, многофункциональностью, то есть возможностью реализации большого количества операций как по улучшению качества изображения в реальном времени, так и по реализации различных алгоритмов по классификации и распознаванию. Также устройство обладает необходимыми вычислительными мощностями и компактностью для реализации поставленных перед ним задач. Предложенное устройство может использоваться не только в медицине, но и в системах слежения, автомобильных системах видеонаблюдения, в системах машинного зрения и в системах безопасности.

Список литературы

1. Бесхлебный И. Твердотельные сенсоры изображения: как получается свет [Электронный ресурс]. URL: http://www.ixbt.com. 2004.

2. Методика тестирования телекамер [Электронный ресурс]. URL: http://www.procctv.ru. 2007.

3. Analysis of temporal noise in CMOS APS / H. Tian, B. Fowler, A.El. Gamal // Proceedings of the SPIE. 1998. Vol. 3301. January. (San Jose, CA).

4. Modeling and estimation of FPN components in CMOS image sensors / A. El Gamal, B. Fowler, H. Mi, X. Liu // Proceedings of the SPIE. 1998. Vol. 3301. January. (Sun Jose, CA).

5. Березин В.В., Гатулин В.М. Новый этап развития твердотельного телевидения. Видеосистемы на кристалле // Цифровая обработка сигнала. 2005. № 2. С. 50–56.

6. Иванов Н.С., Решетникова В.П. Видеодатчик с предварительной обработкой изображения // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 57–61.

Получено 17.05.12.

N.S. Ivanov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 58-71-05)

V.S. Panishchev, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 58-71-05)

V.P. Reshetnikova, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 58-71-05)

CMOS SENSOR WITH IMAGE PRE-PROCESSING

The structure of the video sensor with image pre-processing, is to filter the image of mask filters known.
Key words: *video sensor, CMOS radiation detector, image processing.*

УДК 004.031

М.В. Болтенков, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(tel.: (4712) 58-71-05)

В.С. Панищев, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(tel.: (4712) 58-71-05)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ХАОТИЧЕСКОГО АППАРАТА В РАСПОЗНАВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В работе представлен метод распознавания отпечатков пальцев с использованием алгоритма Чжуа-Паркера на основе теории хаотических автоматов и вычисления размерности дайджестов. Также представлены результаты тестирования программы, разработанной на основе данного метода.

Ключевые слова: *распознавание изображений, дайджест, хаотические автоматы.*

***

В последнее время в результате анализа и исследования сложных динамических объектов различной природы обнаружен феномен их случайно-подобного поведения. Научное направление, объектом исследования которого являются случайно-подобные процессы (детерминированный хаос), выделилось в самостоятельную область науки и является фундаментальным в современном естествознании. Над проблемами детерминированного хаоса работали отечественные и зарубежные исследователи: Д. Рюэль (D. Ruell), Ф. Такенс (F. Takens), Я.Г. Синай, А.С. Дмитриев, Ю.И. Неймарк и многие другие.

Математическим образом детерминированного хаотического процесса является странный аттрактор (strange attractor). Странные аттракторы характеризуются рядом специфических свойств, к числу которых в первую очередь относится возможность его восстановления (реконструирования) по одной измеряемой динамической переменной, что открывает возможность исследовать топологию соответствующих им аттракторов и осуществлять анализ самих траекторий тогда, когда не имеется возможности измерять другие компоненты вектора состояния или когда измерительная система является сложной и дорогостоящей.

В силу того, что не для всех сложных динамических объектов со случайно-подобным поведением существуют и определены адекватные математические модели, знание размерности фазового пространства открывает возможность дальнейшего исследования траекторий с целью обнаружения их специфических особенностей и закономерностей для организации процессов управления, диагностики изменений динамики этих объектов, а также определения необходимых для этого ресурсов.

Под *хаосом* обычно понимается возникновение в детерминированных нелинейных системах неупорядоченных движений. Другими словами, хаотическим можно назвать поведение системы в установившемся состоянии, которое локализовано в ограниченной области фазового пространства и не является ни состоянием равновесия, ни периодическим или квазипериодическим.

Аттрактор, движение на котором носит хаотический характер, называют странным (*strange attractor*). Этот термин был введен Рюэлем (Ruelle) и Тэйкенсом (Takens). Странный аттрактор по своей структуре подобен фракталам и канторовым множествам. Поскольку любая окрестность произвольной точки странного аттрактора имеет весьма сложную структуру, он не может рассматриваться в качестве образа какого-либо евклидова пространства. Таким образом, странные аттракторы не могут рассматриваться в качестве многообразий, а их размерность не может быть охарактеризована целым числом.

Под восстановлением странных аттракторов понимается построение в псевдофазовом пространстве образа исходного аттрактора. Метод восстановления странных аттракторов на основе последо-

вательности отсчетов одной компоненты вектора состояния динамической системы был введен Тэйкенсом и позднее дополнен Зауэром (Sauer) и др.

Пусть траектория *n*-мерной динамической системы лежит на аттракторе, имеющем фрактальную размерность *Dj*. Пусть также измеряется одна компонента вектора состояния этой динамической системы. В результате этого образуется последовательность отсчетов *yi*. Тогда для $N > 2Df$ совокупность всех векторов

$$\left[y_i, y_{i+1}, ..., y_{i+(N-1)\tau}\right]^{\tau}$$

при произвольном времени τ формирует вложение исходного аттрактора в пространство восстановления размерностью *N*. Минимальную размерность *N*, позволяющую осуществить вложение исходного аттрактора в пространство восстановления, называют еще размерностью вложения (embedding dimention). В дальнейшем под размерностью пространства восстановления будем понимать именно эту величину.

Таким образом, если задана произвольная последовательность отсчетов $\{yi\}$, $i = 1.....\ \tau$, где τ – отсчет какой-либо компоненты траектории, лежащей на данном аттракторе, то последовательность точек

$$\left[y_1, y_2, ..., y_N\right]^{\tau},$$
$$\left[y_2, y_3, ..., y_{N+1}\right]^{\tau},$$
$$...$$
$$\left[y_{m-N+1}, y_{m-N+2}, ..., y_m\right]^{\tau}$$

лежит на восстановленном образе исходного аттрактора.

Размерность пространства, равная $N > 2Df$, обеспечивает возможность того, что это пространство всегда оказывается достаточным для восстановления аттрактора. Между тем такое восстановление может осуществляться и в пространстве, размерность которого меньше *N*. Например, в тех случаях, когда выполняется неравенство $n < N$ (*n* – порядок системы), для восстановления аттрактора достаточно использовать пространство размерностью *n*.

Хотя восстановленные траектории отличаются от своих оригиналов, им присущи одни и те же качественные особенности, а размерность восстановленного множества равна размерности исходного множества.

При восстановлении аттрактора необходимо решить две основные проблемы – выбор τ и определение размерности пространства восстановления (если она неизвестна).

При выборе значения τ имеют место три ограничения. При малом значении τ $y_i \approx y_{i+\tau}$ и восстановленный аттрактор оказывается сосредоточенным вблизи диагонали пространства восстановления. При слишком большом τ значения y_i и $y_{i+\tau}$ оказываются некоррелированными, что приводит к исчезновению структуры восстановленного аттрактора. При значении *τ*, близком к значению какого-либо периода системы, составляющая, характеризующаяся указанным периодом, при восстановлении будет представлена недостаточно полно (т.е. проявляется стробоскопический эффект).

Покажем применение данного математического аппарата на примере вычисления и сравнения параметров для особых точек отпечатков пальцев.

Алгоритма вычисления дайджеста списка особых точек, выделенных на изображении отпечатка пальца.

Этап 1. Ввод изображения, предобработка, выделение особых точек:

1) получаем карту распределения особых точек (минюции) на изображении *M* с координатами в декартовой системе.

Этап 2. Разбиение изображения на сегменты:

1) получаем список сегментов изображения по уровням вложенности *S*, т.е. 1-й уровень – все изображение, затем 2-й уровень делим на 4-е и нумеруем по часовой стрелке: S1, S2, S3, S4, S11, S12, ... S14 и так далее до необходимого уровня (рис. 1);

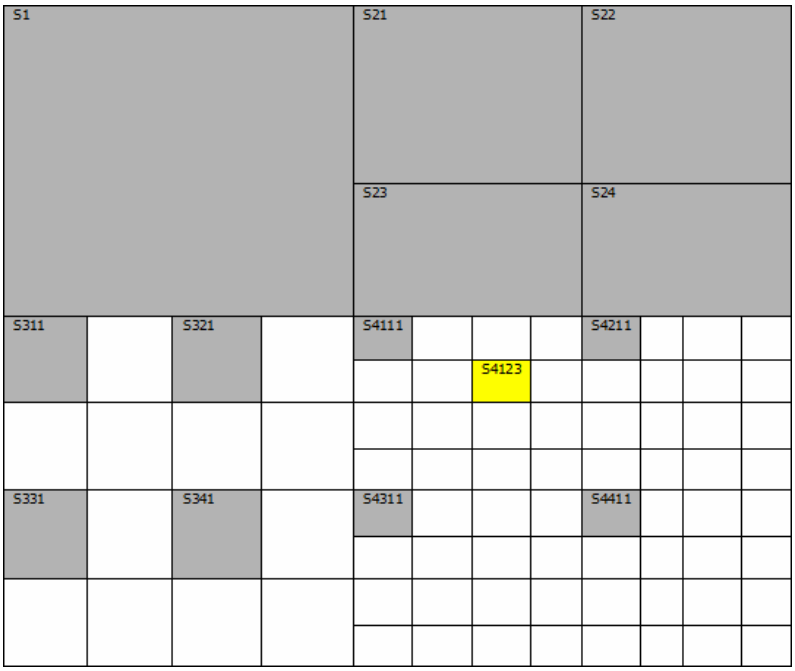


Рис. 1. Построение сегментов

2) выбираем *i*-й сегмент;

3) линеаризируем текущий сегмент, т.е. объединяем строки сегмента в одну, получаем последовательность отсчетов {*yi*} размером $m = x \times y$ элементов.

Этап 3. Вычисление размерности аттрактора (этапы 3,4 и 5 выполняются для всех последовательностей). Необходимо найти длину минимального сегмента, не имеющего самопересечений на всей исходной последовательности:

1) разбиваем заданную последовательность на блоки по 4 байта (32 бита);

2) устанавливаем начальную размерность аттрактора, равную $N = 2$;

3) сравниваем блок размером из (N-1) элементов с остальными в последовательности, начиная с начала:

$N = 2$ -> $N = 3$

$N = 3$ -> $N = 4$

4) если есть совпадение, то увеличиваем мерность $N = N + 1$ и переходим к шагу 3, иначе – к этапу 4.

Этап 4. Вычисление средних значений $Y_{средн}$ размерностью N.

Последовательно вычисляем каждое $Y_{средн}[i]$, $i = [0..N)$:

1) на промежутке от [0..sz) выбираются точки отсчета, начиная с $j = i$ и далее последовательно каждый N-эй элемент, т.е. $j = i+n*N$, где $n = [0..sz / N]$, где sz – размер последовательности в байтах;

2) формируется блок размером 4 байта, начиная от данной точки отсчета j, если блок выходит за границы последовательности, то он дополняется нулями слева. Присваиваем значение данного блока целочисленному значению *num* (целое число типа int);

3) суммируем полученные числа в промежуточную сумму $s = s + num$; увеличиваем $n = n + 1$, переходим к шагу 1;

4) делим полученную сумму на количество итераций n, т.е.

$$Y_{средн}[i] = s / n;$$

5) переходим к вычислению следующего $Y_{средн}[i]$, i = i+1, к шагу 1.

Этап 5. Вычисление значений дайджеста P размерностью N.

На входе получаем массив средних значений вычисленной последовательности $Y_{средн}$ размерностью N:

1, 2) аналогично пунктам 1, 2 предыдущего этапа выбираются точки отсчета, формируются целочисленные значения *num* и подсчитывается количество итераций;

3) формирование промежуточной суммы происходит по формуле

$$s = s + |Y_{средн}\,[\mathrm{i}] - \mathrm{num}|,$$

т.е. накапливаем отклонения от средних значений, в итоге

$$\mathrm{P}[i] = \mathrm{s} / \mathrm{n}.$$

Получаем дайджест *P* размерностью *N* для данной последовательности;

4) сохраняем вычисленный дайджест;

5) есть ли необработанные последовательности? Да – переходим к этапу 3, иначе – завершаем обработку.

Алгоритм сравнения двух дайджестов

Как упоминалось ранее, размерность восстановленного множества равна размерности исходного множества, поэтому проверяем размерность соответствующих дайджестов.

Пробегаем i = [0..N1) и сравниваем значения в пределах заданной ε_1 значения дайджестов.

Если выполняется условие $|P_1[\mathrm{i}]–P_2[\mathrm{i}]|< \varepsilon_1$, то увеличиваем количество совпадений *match* = *match* + 1.

Если количество совпадений *match* на *i*-м уровне больше заданного порога ε_2, то переходим к сравнению следующего уровня.

Соответственно, варьируя ε_1 и ε_2, можно добиваться различной степени распознавания.

Результаты тестирования

Результаты тестирования представлены на рисунках 2-6.

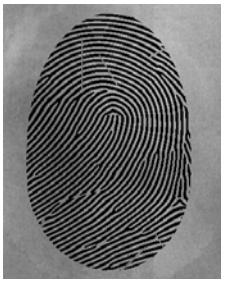


Рис. 2. Исходный образец

σ = 10

σ = 20

σ = 30

σ = 40

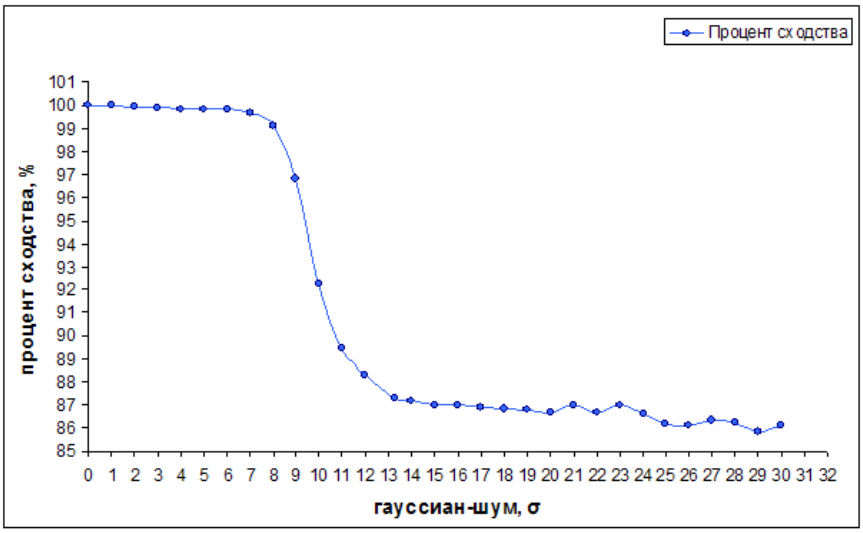


Рис. 3. Зависимость качества распознавания от уровня шума

Рис. 4. Распознавание при наличии поворотов, угол наклона 35 градусов
(коэффициент соответствия *k*=0,973)

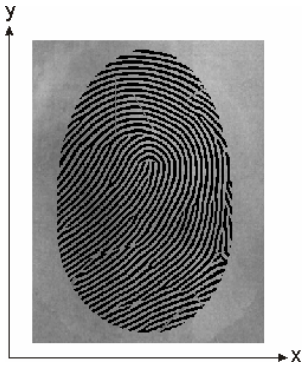


Рис. 5. Масштабирование образца, размер уменьшен на 30%
(коэффициент соответствия *k*=0,987)

Рис. 6. Предъявление образца с недостаточным количеством информации, отказ от распознавания

Тестирование выполнялось при следующей конфигурации компьютера: системная плата: Asus P5WDG2 WS Pro, i975X, 800 MHz; тип ЦП: Intel Pentium D 960, 3600 Mhz; тип ОЗУ: DIMM3, Corsair CM2X1024-6400 1024 Мб; тип ПЗУ: НЖМД Seagate Barracuda 80 Gb, 7200.1 RPM; тип ОС: Windows XP Professional; СУБД: MySQL 4.0.9.

Скорость поиска и сравнения в базе данных (до 100 записей): максимальная 2100 миллисекунд, минимальная 900 миллисекунд, средняя 1200 миллисекунд.

Анализ результатов тестирования показывает, что данный метод обладает устойчивостью к гауссиан-шуму и показывает оптимальные результаты при $\sigma < 30$.

Список литературы

1. Паркер Т.С., Чжуа Л.О. Введение в теорию хаотических систем для инженеров // ТИИЭР. 1987. Т. 75, № 8.

2. Шустер Г. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988.

3. Бородин С.Г. Специализированные устройства вычисления размерности пространства восстановления траекторий систем со случайно-подобным поведением: дис. … канд. техн. наук: 05.13.05. Курск, 1999. 248 с.

Получено 18.05.12.

M.V. Boltenkov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)

V.S. Panishchev, Assiciate Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 58-71-05)

APPLICATION OF CHAOTIC MACHINE IMAGE RECOGNITION

This paper presents a method for fingerprint recognition algorithm using Chuang Parker, based on the theory of random machines and the dimension of the digests. Also the results of testing a program developed based on this method.

Key words: *image recognition, digest, chaotic machines.*

УДК 621

В.В. Серебровский, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sv1111@mail.ru)

В.И. Серебровский, д-р техн. наук, профессор, Курская государственнная сельско-хозяйственная академия

Е.В. Павлова, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (tel.: (4712)52-38-29; e-mail: arheya@mail.ru)

Т.В. Алябьева, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (tel.: 52-38-29, e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

С.А. Богомолов, системный администратор, центр интерактивного дистанционного образования, Юго-Западный государственный университет (Курск) (tel.: (4712)75-28-25)

УПРОЧНЕНИЕ СУЛЬФОЦИАНИРОВАНИЕМ ДЕТАЛЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОМОЛИБДЕНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

Приведены экспериментальные данные влияния концентрации молибдата аммония на содержание молибдена в покрытии. Предложен способ химико-термического упрочнения железомолибденовых покрытий сульфоцианированием.

Ключевые слова: *асимметричный ток, сульфоцианирование, дисульфид молибдена.*

***

Значительный практический интерес для ремонтного производства представляет использование высокопроизводительных хлоридных электролитов железнения с добавлением солей металлов, которые, обеспечивая значительный выход по току и большую скорость осаждения, позволяют получить электролитические сплавы, значительно превышающие по износостойкости электролитическое железо. Одним из наиболее перспективных металлов для легирования электролитического железа является молибден. Осаждение покрытий проводилось на асимметричном токе.

Применение асимметричного переменного тока при электроосаждении вызвано тем, что изменение параметров периодического тока позволяет плавно менять соотношение компонентов в электролитических сплавах и придавать им различные свойства. Вредное влияние органических примесей раствора электролита на свойства железных покрытий в этом случае не проявляется, в то время как электролиз этих растворов на постоянном токе обычно приводит к осаждению некачественных покрытий.

При подборе оптимального режима показателя асимметрии β мы остановились на величине β=6. При этом значении несколько уменьшается дендритообразование, что позволяет применять при осаждении сплава большие плотности тока, а прочность сцепления покрытия с основным металлом и износостойкость находятся в пределах, наиболее благоприятных для применения этих покрытий в ремонтном производстве.

В процессе электролиза нами в стандартный электролит железнения вводилось попеременное количество молибдена в виде молибдата аммония до 4 г/л при постоянной концентрации лимонной кислоты, равной 8–9 г/л, температуре электролита +20°С (293°К) и кислотности электролита pH = 1,0. С увеличением содержания молибдата аммония в электролите (рис. 1) растет содержание молибдена в покрытии. С точки зрения получения наилучших физико-механических свойств сплава количество молибдена в покрытии не должно превышать 3%.

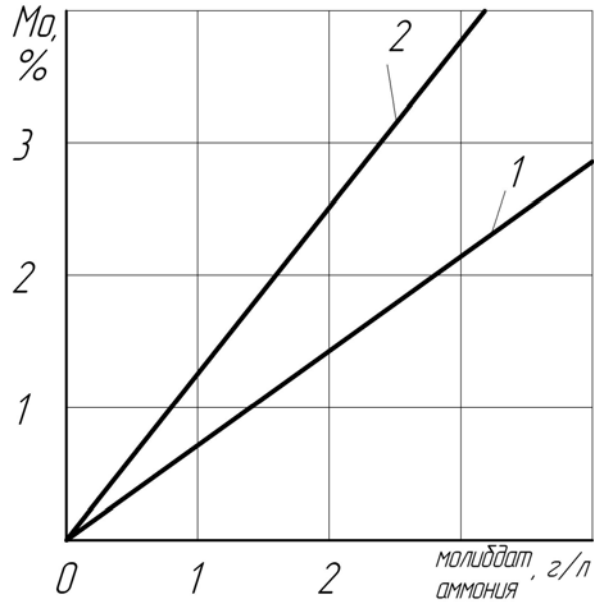


Рис. 1. Влияние концентрации молибдата аммония в электролите на содержание молибдена в сплаве: 1 – плотность тока 15 А/дм^2; 2 – плотность тока 35 А/дм^2

Попытка дальнейшего увеличения содержания молибдена в покрытии значительно усложняет состав электролита, нарушает его стабильность и делает этот процесс трудноприменимым на ремонтных предприятиях.

Приведенные режимы электролиза позволили нам получить высококачественные покрытия для восстановления автомобильных деталей.

Однако следует отметить, что недостаточно высокая микротвердость поверхности, не превышающая 8000–8200 МПа, в ряде случаев является причиной ограниченной износостойкости покрытий. Повышение износостойкости покрытий может быть достигнуто их химико-термической обработкой.

Для получения повышенной износостойкости восстановленных поверхностей стальных деталей предлагается обработка электролитического железомолибденового покрытия – сульфоцианированием при температуре 550–600°С. Нижний предел температуры 550°С ограничен образованием дисульфидов молибдена, а верхний – 600°С обусловлен образованием окислов молибдена. Длительность процесса составляла 1–4 часа. Для сульфоцианирования использовалась специальная паста, содержащая желтую кровяную соль, серный колчедан, сажу и шамот. Данный состав пасты обеспечивает необходимую толщину как зоны сульфидов, так и всего диффузного слоя, включающего зону дисульфидов молибдена и зону твердого раствора. Сульфоцианированное железомолибденовое покрытие имеет износостойкость в 3–4 раза выше износостойкости электролитического железа. Такое увеличение износостойкости объясняется тем, что наряду с карбонитридами железа в покрытии образуется дисульфид молибдена, который, являясь твердой смазкой, обеспечивает высокую износостойкость.

Данный способ включает в себя следующие операции: для получения обмазки хорошо перемешенные компоненты, находящиеся в порошкообразном состоянии, разводятся крахмальным клейстером до консистенции густой сметаны. Детали, восстановленные электролитическим железомолибденовым покрытием, погружаются в сосуд с обмазкой, в результате чего на поверхности детали остается слой пасты толщиной 1,5–2 мм. После сушки при 60–80°С детали с сухим слоем обмазки упаковываются в контейнер. После чего детали засыпают нейтральной засыпкой для плотной изоляции деталей друг от друга, а также от стенок, дна и крышки контейнера. Наполнителем служит смесь следующего состава (мас. %): кварцевый песок 70; сажа 20; древесноугольная зола 10. Наполнитель выполняет роль песочного затвора, удерживающего продукты распада у поверхности детали, а также препятствует их выходу из контейнера. Закрытый крышкой контейнер вместе с деталями помещают в электропечь, разогретую до необходимой температуры, выдерживают до окончания процесса, снимают с него крышку и высыпают содержимое на решетку. Наполнитель просыпается через решетку, а детали остаются на ней. Их вместе с решеткой быстро помещают в емкость с холодной водой с целью закалки полученных слоев.

Исследование сплава Fe-Mo после сульфоцианирования показало, что в поверхностном слое покрытия образуется карбонитридная зона толщиной до 1,5 мм, содержанием серы до 0,2% и микротвердостью до 12000 МПа (рис.2).

Исследование фазового состава сульфоцианированного Fe-Mo-покрытия показало, что поверхностная зона изучаемого слоя сложная по своей природе и отличается многофазностью. На дифрактограммах четко фиксируется карбонитридная фаза, а в поверхностной зоне слоя присутствуют также сульфиды железа и дисульфид молибдена.

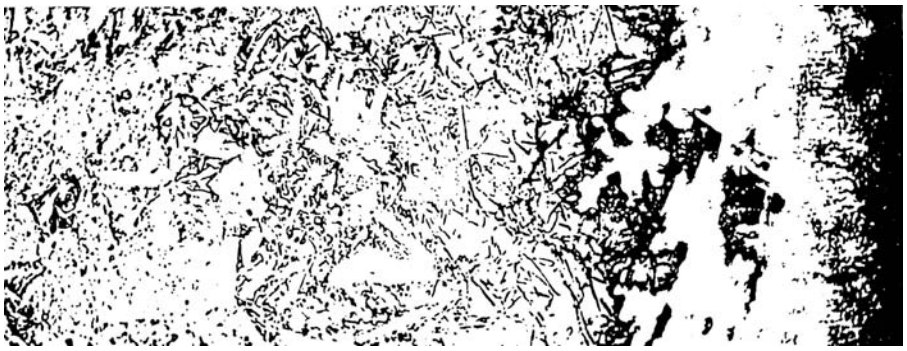


Рис. 2. Микроструктура сульфоцианированного Fe-Mo-покрытия (×300)

В процессе проведения исследования фазового состава слоя отмечена прямая связь между глубиной карбонитридной зоны и преимущественной концентрацией сульфида железа и дисульфида молибдена в слое. Полученные результаты хорошо дополняют и уточняют данные послойного химического и металлографического анализа зон сульфоцианированного слоя, т.к. сера достаточно активно диффундирует лишь в поверхностную зону слоя, имеющую карбонитридную структуру, образуя химические соединения типа FeS и MoS2.

Предлагаемый способ экономически эффективен. Покрытия обладают высокой износостойкостью, превышающие показатели электролитического сплава железо-молибден в 3–4 раза, что позволяет их использовать в народном хозяйстве для восстановления и упрочнения поверхностей деталей машин.

Оптимальным показателем асимметрии, при котором обеспечиваются качественные покрытия, является $\beta = 6$.

Определен оптимальный состав электролита, который может быть применен в ремонтном производстве.

С увеличением содержания молибдата аммония в электролите увеличивается процентное содержание молибдена в сплаве.

1. Эпштейн А.А., Фрейдлин А.С. Восстановление деталей машин холодным гальваническим железнением. Киев: Техника, 1981. С. 63–64.

2. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Прогрессивные методы термической и химико-термической обработки. М.: Машиностроение, 1972. 83 с.

Получено 23.05.12.

V.V. Serebrovskii, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 52-38-29)

V.I. Serebrovskii, Doctor of Sciences, Professor, Kursk Agricultural Academy

E.V. Pavlova, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 52-38-29; e-mail: arheya@mail.ru)

T.V. Alyabieva, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 52-38-29, e-mail: kafedra-ipm@mail.ru)

S.A. Bogomolov, System Administrator, Center of interactive remote education, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712) 75-28-25)

HARDENING SULPHITATION PARTS REDUCED IRON-MOLYBDENUM-COATED

The experimental data is the effect of concentration of ammonium molybdate to molybdenum content in the coating. Provides a method of chemical-thermal hardening of iron-molybdenum coatings sulphitation.

Key words: *asymmetric current sulphitation, molybdenum disulfide.*

УДК 004.9

С.В. Прилуцкий, канд. техн. наук, начальник отдела, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ (Курск) (тел.: (4712)58-87-66)

Д.В. Титов, канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712)58-71-05)

А.М. Шлык, инженер, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ (Курск) (тел.: (4712)58-87-66)

И.И. Шуклин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ (Курск) (тел.: (4712)58-87-66)

«КЛИЕНТ-СЕРВЕРНАЯ» ОРГАНИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПОРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ГЕОКОДИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ МЕСТНОСТИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Предложено использование модели виртуального растра и «клиент-серверной» организации формирования опорных изображений для повышения оперативности геокодирования материалов космической съемки местности в геоинформационных системах органов власти субъектов РФ.

Ключевые слова: *архитектура «клиент-сервер», геоинформационная система, геокодирование изображений, виртуальный растр.*

***

При геоинформационном обеспечении деятельности органов государственной и муниципальной власти в субъектах РФ значительная роль отводится использованию геокодированных (ортотрансформированных) изображений местности, получаемых средствами дистанционного зондирования Земли из космоса. Основным путем геокодирования космических изображений местности (КИМ) в геоинформационных системах (ГИС) органов власти субъектов РФ сегодня является использование опорных изображений для получения аналитических зависимостей координат соответствующих точек на местности и на ее изображении [1]. В этих ГИС основная часть КИМ обычно хранится в центральном хранилище – на сервере геоданных [2]. При этом геокодирование вновь полученных КИМ предусматривает выполнение следующих операций:

– анализ параметров полученного КИМ (покрытие земной поверхности, разрешение и т.п.) и формирование запроса на уже имеющиеся изображения требуемого участка местности для их использования в качестве опорных при геокодировании;

– поиск на сервере геоданных ГИС изображений местности, которые могут использоваться в качестве опорных;

– копирование найденных КИМ и их передача на рабочее место пользователя ГИС в соответствующем комитете или службе органа власти субъекта РФ;

– предварительная обработка КИМ («сшивка» из отдельных КИМ изображения с требуемым покрытием местности, «обрезка» его неинформативных частей и т.п.);

– выбор опорных точек и, собственно, геокодирование вновь полученного КИМ.

Реализация указанных операций осуществляется с учетом следующих факторов. Во-первых, на сервере геоданных ГИС обычно содержится целый ряд геокодированных изображений территории (объекта) местности, отличающихся датой, сезоном съемки, используемой системой координат (проекцией), разрешением, покрытием земной поверхности и т.д. По запросу осуществляется выбор изображения, в наибольшей степени соответствующего требованиям. При отсутствии изображения на всю территорию, покрываемую вновь полученным КИМ,

выбираются изображения необходимых участков местности.

Во-вторых, локальные вычислительные сети (ЛВС) органов власти субъектов РФ обычно имеют ограниченную пропускную способность [3]. Поэтому время, затрачиваемое на копирование КИМ и его передачу потребителю, может составлять от нескольких минут до нескольких часов (в зависимости от уровня загрузки ЛВС, размера изображений и т.д.). В случаях, когда площадь покрытия выбранных изображений значительно превышает площадь покрытия вновь полученного КИМ происходит копирование избыточной информации, т.е. дополнительная загрузка ЛВС.

В-третьих, опорные изображения могут состоять из нескольких фрагментов либо их площадь покрытия может значительно превышать требуемую. В этом случае должна быть осуществлена «обрезка» выбранных изображений до границ района покрытия вновь полученного КИМ либо «сшивка» отдельных фрагментов в единое опорное изображение.

Вместе с тем потребности практики решения задач регионального управления с использованием ГИС требуют повышения оперативности реализации этих процессов.

Достижение указанной цели предлагается осуществлять по направлениям:

– разработка математической модели виртуального растра [4], т.е. файла, содержащего метаданные (характеристики) имеющихся КИМ и обеспечивающего их отображение в единой системе координат (проекции) как мозаики, составленной из этих КИМ;

– разработка способа «клиент-серверной» организации в ГИС органов власти субъектов РФ операций поиска и предварительной обработки опорных изображений. При этом клиентская часть должна обеспечивать подготовку запросов на опорные КИМ с использованием модели виртуального растра, а серверная – выборку требуемых КИМ, их предварительную обработку («обрезку», «сшивку» и т.п.) и передачу пользователю. Представляется, что подобная организация формирования в ГИС опорных изображений для геокодирования вновь полученных КИМ позволит существенно повысить оперативность геоинформационной поддержки деятельности органов власти субъектов РФ.

Задачу формирования в ГИС опорных изображений для геокодирования вновь полученных КИМ представим в следующем виде:

$$I_T = \bigcup_{j=1}^{n} I_j \left| I_j \bigcap B \neq 0, \right. \qquad (1)$$

где I_T – множество требуемых опорных изображений; I_j – множество имеющихся КИМ; n – количество имеющихся КИМ; B – множество, характеризующее площадь покрытия земной поверхности вновь полученным КИМ.

Учитывая, что выбор опорного изображения осуществляется путем анализа значений параметров имеющихся КИМ (разрешение, покрытие земной поверхности, система координат и т.д.), геокодированное КИМ в контексте рассматриваемой задачи будем представлять в виде:

$$I = \langle Id \quad R \quad G \quad S \quad D \rangle, \qquad (2)$$

где Id – идентификатор геокодированного КИМ, имеющегося на сервере ГИС; R – множество параметров, характеризующих пространственное разрешение КИМ; G – множество параметров, характеризующих покрытие земной поверхности КИМ (например, координаты углов КИМ); S – система координат КИМ; D – множество элементов, образующих растр КИМ.

Теперь с учетом (1) и (2) формализуем критерии выбора опорного изображения (изображений):

$$\begin{cases} \left(1-k_{-p}\right)\cdot R \le R_T \le= \left(1+k_{+p}\right)\cdot R; \\ f\left(G_T\right)\bigcap f\left(G\right)\neq 0; \\ S_T \equiv S. \end{cases} \quad (3)$$

В (3) параметры с индексом *T* обозначают требуемые значения параметров опорного КИМ; параметры без индексов соответствуют фактическим значениям параметров изображения, рассматриваемого на предмет его использования как опорного КИМ; k_{-p}, k_{+p} – коэффициенты допустимого отклонения уровня разрешения рассматриваемого КИМ от требуемого; $f\left(G\right)$ – значение функции, описывающей покрытие земной поверхности КИМ, полученное по значениям вектора G.

Таким образом, для формирования опорного изображения необходимо осуществить анализ значений параметров КИМ (имеющихся на сервере ГИС) на соответствие условиям (3). Сокращение временных затрат на анализ предлагается обеспечить за счет использования модели виртуального растра. Виртуальный растр [4] в рассматриваемом случае должен содержать сведения о своём размере, системе координат (проекции), координатной привязке и разрешении, а также сведения о каждом КИМ, включенном в его состав. Растровые данные КИМ в файле виртуального растра не содержатся.

С учетом изложенного представим виртуальный растр в виде

$$V = \left\{ Id_V \quad R_V \quad G_V \quad S_V \quad \Re \right\}. \quad (4)$$

Заметим что модель (4) схожа с моделью (2). Отличие заключается в наличии элемента $\Re$, представляющем собой множество КИМ виртуального растра *V*.

Модель (2) может быть приведена к следующему виду:

$$\Re_j = \left\{ Id_j \quad L_j \quad Dt_j \quad Rp_j \quad Gv_j \quad Rv_j \right\}, \quad (5)$$

где $\Re_j$ – *j*-й элемент множества $\Re$; *Id* – идентификатор КИМ; *L* – множество значений размера КИМ в пикселах (длина, ширина); *Dt* – тип данных (byte, int, и т.п.); *Rp* – множество значений пространственного разрешения КИМ; *Gv* – множество параметров, характеризующих положение КИМ в виртуальном растре; *Rv* – множество значений пространственного разрешения КИМ в пределах виртуального растра.

Таким образом, по данным виртуального растра может быть получена необходимая информация о любом КИМ из его состава, осуществлено оценивание степени соответствия условиям (3). Наиболее широкое распространение к настоящему времени получили виртуальные растры *.vrt [4], *.vmc [5].

На основании запроса оператора, с учетом выполнения условий (3), осуществляется выбор виртуального растра, содержащего сведения об опорных КИМ, наиболее подходящих для выполнения геокодирования вновь полученного КИМ. Это позволяет найти КИМ, в наибольшей степени удовлетворяющее условию $f\left(G_T\right)\bigcap f\left(G\right)\neq 0$, и рассчитать границы его «обрезки» (рис. 1).

Первая часть задачи решается посредством нахождения области совместного покрытия земной поверхности текущим и опорным КИМ, точки контура которого могут быть найдены известными методами [6].

Далее осуществляется вырезка области интереса из опорного КИМ. При этом поиск КИ для использования в качестве опорных, расчет для каждого из них области покрытия земной поверхности выполняются путем анализа содержимого виртуального растра (т.е. без обращения к файлам, содержащим изображения), что обеспечивает методическую основу снижения временных затрат.

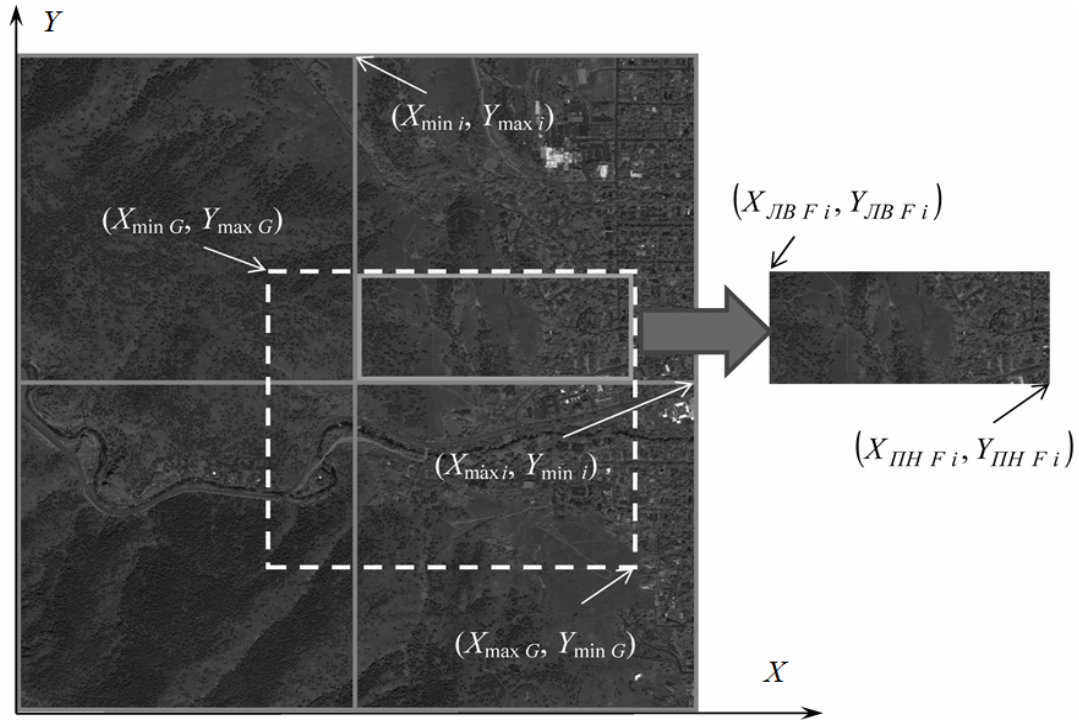


Рис. 1. Виртуальный растр, состоящий из четырёх КИМ, полученных аппаратом QuickBird (пунктиром обозначена область интереса)

Обрезка выбранных изображений, приведение их к пространственному разрешению виртуального растра и формирование на их основе единого опорного изображения осуществляются известными методами [6]. Далее сформированное опорное изображение передается для дальнейшего использования.

Следует учесть, что КИМ хранятся в файловом сервере и рассматриваемая ГИС может обслуживать нескольких пользователей, в связи с чем не исключён случай их одновременного обращения к серверу. Для предотвращения отказа в обслуживании запроса пользователей на получение опорных КИМ предлагается схема взаимодействия пользователей с файловым сервером (рис. 2). Взаимодействие построено на основе архитектуры «клиент-сервер» и включает клиентские модули (по количеству клиентских ПЭВМ), осуществляющие формирование запроса на получение опорных КИМ, и серверный модуль, осуществляющий обработку запроса, поиск опорных КИМ на соответствие критериям запроса с использованием виртуального растра, и формирование выходного опорного КИМ (включая операции вырезки и сшивки изображений).

На сервере поступление запросов отслеживает планировщик задач, и если свободен хотя бы один обработчик запросов, ему передается обработка полученного запроса. В противном случае запрос ставится в очередь. Обработчик запросов, исходя из критериев запроса, извлекает требуемые КИМ из хранилища сервера на основе данных виртуального растра, формирует опорное КИМ и отправляет его соответствующим пользователям.

Время ожидания опорного КИМ

$$t = t_{\Pi} + t_{\Phi} + t_{\text{ЛВС}}, \qquad (6)$$

где t_{Π} – время поиска КИМ; t_{Φ} – время формирования опорного КИМ («обрезка», «сшивка» и т.п.); $t_{\text{ЛВС}}$ – время передачи «сервер – пользователь» опорного КИМ посредством локальной вычислительной сети.

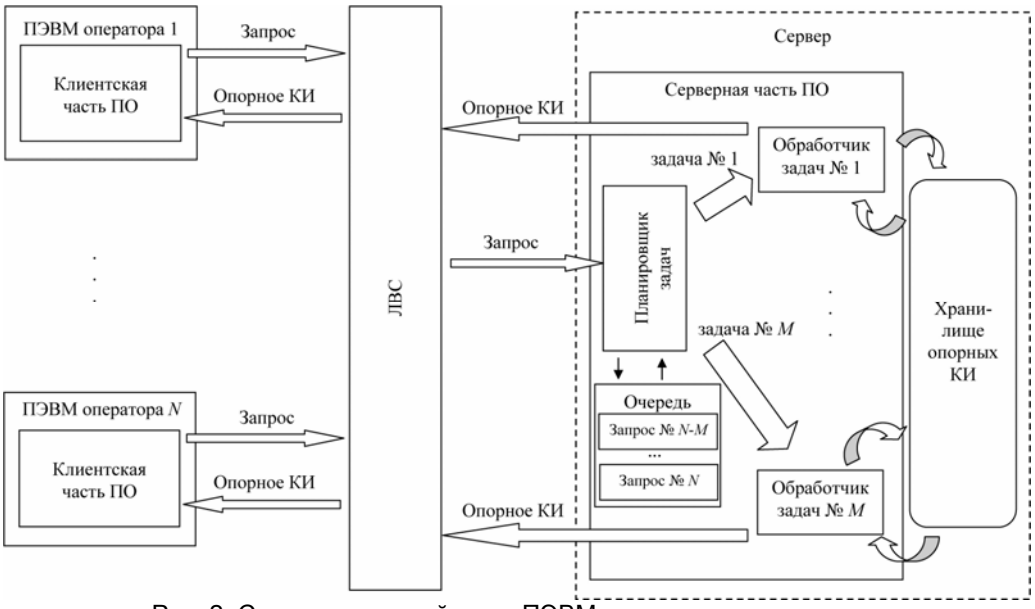


Рис. 2. Схема взаимодействия ПЭВМ операторов с сервером

При апробации временные затраты на выборку опорных КИ с использованием предлагаемой архитектуры были меньше в среднем в 4 раза по сравнению с существующей технологией.

Список литературы

1. Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: Колосс, 2006.

2. Андрианов Д.Е. Геоинформационные системы: исследование, анализ и разработка. М.: Государственный научный центр Российской Федерации – ВНИИгеосистем, 2004.

3. Чекмарёв Ю.В. Локальные вычислительные сети. М.: ДМК-Пресс, 2009.

4. Ross Moore. GRASS Extensions Manager (GEM), Version 1.0.3. Manual. Mathematics Department, Macquarie University, Sydney. 1999.

5. Erdas Imagine. Практическое руководство Tour Guides. Geospatial Imaging, LLC, Norcross, Georgia, 2005.

6. Поляков А.Ю., Брусенцев В.А. Методы и алгоритмы компьютерной графики в примерах на Visual C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

Получено 21.05.12.

S.V. Priluzkiy, Candidate of Sciences, Head of Department, Federal State Unitary Enterprise «18th Central SRI» MOD RF (Kursk) (tel.: (4712)58-87-66)

D.V. Titov, Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk) (tel.: (4712)58-71-05)

A.M. Shlik, Engineer, Federal State Unitary Enterprise «18th Central SRI» MOD RF (Kursk) (tel.: (4712)58-87-66)

I.I. Shuklin, Candidate of Sciences, Senior Researcher, Federal State Unitary Enterprise «18th Central SRI» MOD RF (Kursk) (tel.: (4712)58-87-66)

CLIENT-SERVER ARCHITECTURE FOR GENERATION OF REFERENCE IMAGES FOR GEOCODING OF SATELLITE SURVEY DATA IN GEOINFORMATION SYSTEMS

In this paper, we describe the approach to application of virtual bit map model and client-server architecture for geocoding of reference images. The introduced approach aims to enhance the performance of satellite survey data geocoding in geoinformation systems subject to the authorities of constituent entities in Russian Federation.

Key words: *client-server architecture, geoinformation system, image geocoding, virtual bit map.*

УДК 681.5

Ю.П. Муха, д-р техн. наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (тел.: (8442) 24-84-88, e-mail: muxaup@mail.ru)

В.С. Поляков, канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (тел.: (8442) 23-55-54, e-mail: vladstrix@mail.ru)

С.В. Поляков, канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (тел.: (8442) 23-55-54, e-mail: vladstrix@mail.ru)

Д.В. Титов, канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712) 58-71-05, e-mail: amazing@inbox.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАГРУЖЕНЫХ МАТРИЦ ИНЦИДЕНТОРА (ОПЕРАТОРОВ) ДЛЯ ОПИСАНИЯ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА

В данной статье показано, что для описания конечных автоматов могут быть применены нагруженные матрицы инцидентора или оператор конечного автомата. Приведенная методика позволяет значительно упростить построение моделей информационных потоков и повысить эффективность дальнейшей работы с ними.

***Ключевые слова**: граф, структура графа, моделирование, параллелизм.*

***

При построении формального описания сложных систем часто используется метод конечных или функциональных автоматов. В процессе организации информационных потоков для управления сложными измерительными системами подобный подход становится особенно необходимым, учитывая параллелизм и большое число компонентов подобных структур. Однако классические приемы делают процесс построения моделей чрезмерно сложным, а работу с ними недостаточно эффективной.

Любой объект, связанный с работой информационных потоков в сложных системах, можно представлять как пару: объект управления (ОУ) – система управления (СУ). Подобное утверждение справедливо и для моделей, и для работы с информационными потоками любой степени сложности. Управление здесь осуществляется по алгоритмам, обеспечивающим сбор, обработку и анализ информации о состоянии компонентов ОУ и выработку сигналов управления происходящими процессами. Чаще всего при описании компонентов сложных систем употребляются конечные автоматы [1–4].

Учёт параллелизма функционирования компонентов, сложность структуры их взаимодействия значительно усложняет получение формального описания сложных систем и построение модели.

Для упрощения построения моделей на базе конечных автоматов предлагается использовать разработанный авторами метод использования матриц инцидентора, что позволит упростить описание взаимодействия компонентов между собой [5–8].

Матрица инцидентора

Следует отметить, что чаще всего в качестве компонентов сложных систем, связанных с информационными потоками, используются конечные автоматы, сети Петри, нейронные сети, машины Тьюринга, для описания которых используется свой математический аппарат. Анализ показывает, что при описании компонентов можно применить один матаппарат – аппарат теории графов [2, 3].

При решении практических задач построения формального описания объекта, осуществляющего процесс, когда его представляют в виде конечного числа взаимодействующих компонентов, которые удобно задавать в виде небольших, хорошо обозримых графов (до десяти вершин), а операцию композиции над

ними, позволяющую строить формальное описание, осуществлять с помощью матриц инцидентора и использовать аппарат теории матриц вместо аппарата теории графов при проведении теоретико-множественных операций над графами [6–10].

Рассмотрим пример.

Задан граф G = (A, X, H), где множество вершин $A = \{ a_1,\ a_2,\ a_3,\ a_4 \}$, множество рёбер $X = \{x_1,\ x_2,\ x_3,\ x_4,\ x_5,\ x_6,\ x_7,\ x_8,\ x_9,\ x_{10}\}$, предикат H истинен на следующих тройках:

$(a_1;\ x_1;\ a_1)$; $(a_2;\ x_2;\ a_2)$; $(a_3;\ x_3;\ a_3)$;
$(a_4;\ x_4;\ a_4)$; $(a_1;\ x_5;\ a_2)$; $(a_2;\ x_6;\ a_3)$;
$(a_3;\ x_7;\ a_4)$; $(a_4;\ x_8;\ a_1)$; $(a_2;\ x_9;\ a_4)$;
$(a_4;\ x_{10};\ a_2)$,

а на остальных ложен.

Граф и матрица инцидентора представлены на рисунке 1.

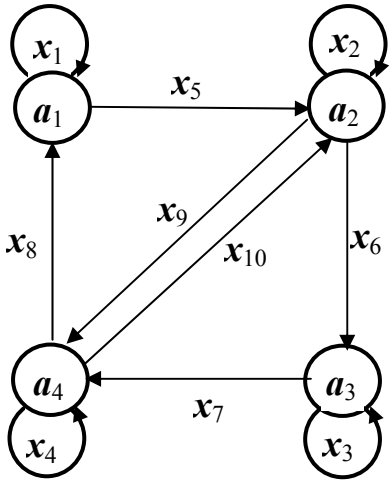


Рис. 1. Граф $G(Y, X, H)$ и матрица инцидентора

$$P_A = \begin{Vmatrix} a_1x_1a_1 & a_1x_5a_2 & 0 & 0 \\ 0 & a_2x_2a_2 & a_2x_6a_3 & a_2x_9a_4 \\ 0 & 0 & a_3x_3a_3 & a_3x_7a_4 \\ a_4x_8a_1 & a_4x_{10}a_2 & 0 & a_4x_4a_4 \end{Vmatrix} \quad (1)$$

В [7] показано, что задание графа может быть осуществлено одной матрицей инцидентора. Возможно использование таких матриц для описания функционирования компонентов, представимых конечными автоматами.

Конечные автоматы

Описание сложных систем, связанных с информационными потоками, методом конечных автоматов является математической абстракцией системы обработки информации, имеет конечное число входов и выходов. Конечные автоматы позволяют воспринимать информацию от ОУ, перерабатывать ее и выдавать сигналы для управления ОУ.

Работа конечных автоматов осуществляется в дискретном времени. Понятие конечного автомата связано с понятием алгоритма и последовательной алгоритмической системы. Представим конечный автомат в виде математической системы [2, 3], характеризуемой шестью элементами:

$$F = \{ X,\ Y,\ Q,\ q_0 \in Q,\ \phi,\ \psi \}.$$

Так как количество значений входов, выходов и состояний конечно, то функции переходов и выходов можно задать в табличной форме.

Конечный автомат функционирует по последовательному алгоритму и может быть представлен графом с определенной интерпретацией вершин и дуг [3], следовательно, конечный автомат можно представить матрицей инцидентора [5].

Рассмотрим пример, представленный в [3]. Задан конечный автомат

$$A = (X, Q, Y, q_0 \in Q, F(x \in X / y \in Y)),$$

где $X = \{ x_1, x_2, x_3 \}$ – входные сигналы; $Q = \{ q_1, q_2, q_3, q_4 \}$ – внутренние состояния; $Y = \{ y_1, y_2 \}$ – выходные сигналы; ***F*** – отображение множества ***Q*** в ***Q:***

$$F_{q1} = \{ q_2(x_1/y_1),\ q_4(x_2/y_1),\ q_1(x_3/y_2) \}$$

$$F_{q2} = \{ q_1(x_1/y_2),\ q_3(x_2/y_1),\ q_4(x_3/y_1) \}$$

$$F_{q3} = \{ q_1(x_1/y_1),\ q_4(x_2/y_2),\ q_2(x_3/y_2) \}$$

$$F_{q4} = \{ q_4(x_1/y_2),\ q_1(x_2/y_1),\ q_3(x_3/y_1) \}$$

Функция переходов $\varphi(q,x)$ определяется таблицей 1, а функция выходов $\psi(q,x)$ определяется таблицей 2. Графоид автомата А представлен на рис. 2, а матрица соединений автомата А – (2).

Таблица 1

Функции переходов

Q / X	q1	q2	q3	q4
x_1	q2	q1	q1	q4
x_2	q4	q3	q4	q1
x_3	q1	q4	q2	q3

Таблица 2

Функции выходов

Q / X	q1	q2	q3	q4
x_1	y_1	y_2	y_1	y_2
x_2	y_1	y_1	y_2	y_1
x_3	y_2	y_1	y_2	y_1

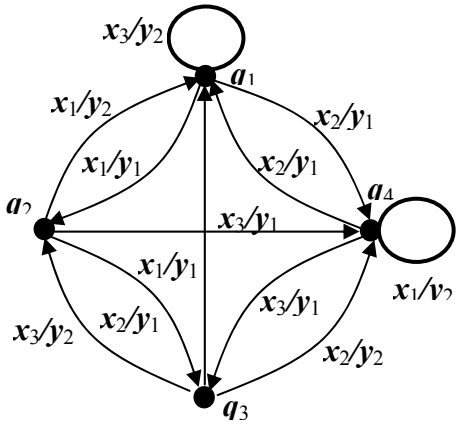


Рис. 2. Граф автомата ***A***

$$R = \begin{Vmatrix} x_3(y_2) & x_1(y_1) & 0 & x_2(y_1) \\ x_1(y_2) & 0 & x_2(y_1) & x_3(y_1) \\ x_1(y_1) & x_3(y_2) & 0 & x_2(y_2) \\ x_2(y_1) & 0 & x_3(y_1) & x_1(y_2) \end{Vmatrix} \quad (2)$$

Построение матрицы инцидентора графа конечного автомата ведётся следующим образом. По таблице переходов (см. табл. 1) строим граф состояний конечного автомата и его матрицу инцидентора.

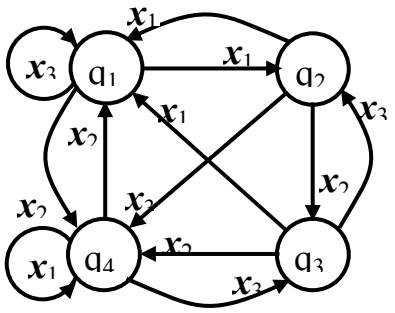


Рис. 3. Граф переходов

$$M_{G_1} = \begin{Vmatrix} q_1x_3q_1 & q_1x_1q_2 & 0 & q_1x_2q_4 \\ q_2x_1q_1 & q_2 0\ q_2 & q_2x_2q_3 & q_2x_3q_4 \\ q_3x_1q_1 & q_3x_3q_2 & q_3 0 q_3 & q_3x_2q_4 \\ q_4x_2q_1 & 0 & q_4x_3q_3 & q_4x_1q_4 \end{Vmatrix} \quad (3)$$

Рассмотрим задание графа G=(Y, X, P) с помощью изменённой квадратной матрицы инцидентора:

$$P = \|p_{\varphi\zeta}\| = \begin{Vmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots p_{1\zeta} \cdots p_{1\phi} \\ p_{21} & p_{22} \cdots p_{2\zeta} \cdots p_{2\phi} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ p_{\varphi 1} & p_{\varphi 2} \cdots p_{\varphi\zeta} \cdots p_{\varphi\phi} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ p_{\phi 1} & p_{\phi 2} \cdots p_{\phi\zeta} \cdots p_{\phi\phi} \end{Vmatrix}, \quad (4)$$

но значения элементов матрицы определяются несколько иначе:

$$p_{\varphi\zeta} = \begin{cases} 0, & \text{если вершины} \\ & y_\varphi \text{ и } y_\zeta \text{ неинцидентны;} \\ (y_\varphi;\ x_\nu;\ y_\zeta; t_\mu), & \text{если вершины } y_\varphi \text{ и } y_\zeta \\ & \text{соединены дугой } x_\nu, \\ & \text{направленной} \\ & \text{от } y_\varphi \text{ к } y_\zeta; \\ (y_\varphi;\ x_\nu;\ y_\varphi; t_\mu), & \text{если имеется петля } x_\nu \\ & \text{при вершине } y_\varphi. \end{cases}$$

Любой элемент матрицы (4) рφζ представляет собой упорядоченную четвёрку: первые три места позволяют построить искомый граф, а четвёртое место позволяет определить функциональную нагрузку вершин и рёбер графа.

Такую матрицу будем называть оператором графа G=(Y, X, P). С помощью оператора можно описать функционирование конечного автомата, сети Петри и т.п. В случае необходимости расширения функциональных возможностей оператора можно использовать вместо четырёхместного предиката r-местный.

Перепишем матрицу инцидентора графа переходов (3) в виде ненагруженного оператора:

$$M = \begin{Vmatrix} q_1x_3q_1_ & q_1x_1q_2_ & 0 & q_1x_2q_4_ \\ q_2x_1q_1_ & q_20q_2_ & q_2x_2q_3_ & q_2x_3q_4_ \\ q_3x_1q_1_ & q_3x_3q_2_ & q_30_3_ & q_3x_2q_4_ \\ q_4x_2q_1_ & 0 & q_4x_3q_3_ & q_4x_1q_4_ \end{Vmatrix} \quad (5)$$

Нагрузим оператор, определяющий функцию выходов или отображения ***F*** множества ***Q*** в ***Q***. Первый элемент матрицы – $q_1x_3q_1$ имеет согласно функции выходов (табл.2) выход y_2, который подставим на четвёртое место первого элемента матрицы $q_1x_3q_1y_2$. Второй элемент матрицы – $q_2x_1q_1$ имеет исход q_2x_1, по таблице 2 ему соответствует выход $q_1x_3q_1y_2$, который подставим на четвёртое место второго элемента матрицы, и т.д.

В итоге получим оператор конечного автомата:

$$OM_A = \begin{Vmatrix} q_1x_3q_1y_2 & q_1x_1q_2y_1 & 0 & q_1x_2q_4y_1 \\ q_2x_1q_1y_2 & q_20q_2_ & q_2x_2q_3y_1 & q_2x_3q_4y_1 \\ q_3x_1q_1y_1 & q_3x_3q_2y_2 & q_30q_3_ & q_3x_2q_4y_2 \\ q_4x_2q_1y_1 & 0 & q_4x_3q_3y_1 & q_4x_1q_4y_2 \end{Vmatrix}$$

Таким образом, конечный автомат $A = \left(X, Q, Y, q_1 \in Q, F\left(x \in X / y \in Y\right)\right)$ может быть задан оператором конечного автомата.

Преимуществом задания конечного автомата оператором КА является значительное упрощение теоретико-множественных операций над ними (объединение, пересечение, произведение, суперпозиция, композиция и т. п.). Следовательно, организуя работу информационных потоков для управления сложными измерительными системами, мы работаем с операторами КА, а не с ними самими. Данный подход позволяет вывести операции над КА на новый уровень, наиболее четко отвечающий требованиям к проектированию моделей сложных систем.

Список литературы

1. Хопкроф Д., Мотвани Р., Ульман Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. М.: Издат. дом «Вильямс», 2002. 528 с.

2. Зыков А.А. Теория конечных графов. Новосибирск: Наука, 1968.

3. Поляков С.В., Поляков В.С. Представление сети Петри матрицей инцидентора // Известия ВолгГТУ. Сер. «Прогрессивные технологии в машиностроении». 2011. № 13. С. 97–99.

4. Поляков С. В. Представление описания объекта, осуществляющего технологический процесс графом Бержа // Вопросы механизации и технологии строительного производства. Волгоград, 1978.

5. Поляков С.В., Сластинин С.Б., Поляков В.С. Исключение изоморфизма при операциях над графами, описывающими технологическтй процесс // Контроль. Диагностика. 2006. № 1.

6. Поляков С.В., Поляков В.С. Моделирование параллельно протекающих процессов блоками взаимодействующих компонентов. // Контроль. Диагностика. 2008. № 8. С. 70–72.

7. Поляков С. В., Поляков В.С. Определение обратных причинно-следствен-

ных связей при задании описания объекта композицией графа // Контроль. Диагностика. 2007. № 4.

8. Поляков С.В., Поляков В.С. Использование экстраполирующей модели для управления, контроля и диагностики технологических процессов // Известия ВолгГТУ. Сер. «Автоматизация технологических процессов в машиностроении». 2004. № 1.С. 53–55.

9. Поляков В.С., Поляков С.В. Анализ и построение формального описания объекта, осуществляющего технологический процесс, в виде композиции параллельно функционирующих компонентов // Контроль. Диагностика. 2012. № 4. С. 53–58.

Получено 29.05.12.

Y.P. Muha, Doctor of Sciences, Professor, Volgograd State Technical University
(e-mail: muxaup@mail.ru, tel.: (8442) 24-84-88)

V.S. Poljakov, Candidate of Sciences, Volgograd State Technical University
(e-mail: vladstrix@mail.ru, tel.: (8442) 23-55-54)

S.V. Poljakov, Candidate of Sciences, Volgograd State Technical University
(e-mail: vladstrix@mail.ru, tel.: (8442) 23-55-54)

D.V.Titov, Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: amazing@inbox.ru , tel.: (84712) 58-71-05)

USING LOADED MATRIXES OF INCIDENTOR (OPERATOR) FOR DESCRIPTION OF A FINITE AUTOMATON

This paper shows, that for describe of state machines laden incidentor matrixes or operator of a finite automation can be applied. The method described in this paper here can greatly simplify the construction of information traffic models and enchances efficiency of its operation.

***Key words**: graph, graph structure, modeling, parallelism.*

УДК 621.317.73

В.И. Иванов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: viva37@mail.ru)

А.Л. Клюев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: mertan2@yandex.ru)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ С РАЗРЫВОМ ЦЕПИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

В статье рассматриваются особенности применения метода обобщенных параметров пассивных линейных двухполюсников, в схемах замещения которых в цепи между полюсами включен емкостной элемент. Приводятся рекомендации по модификации алгоритма измерения параметров.

***Ключевые слова**: обобщенные параметры, двухполюсники.*

***

В [1] для идентификации двухполюсной *RLC* цепи предложен унифицированный набор обобщенных параметров системной функции измерительной схемы. Линейная цепь, состоящая из пассивных элементов, может быть описана дифференциальным уравнением

$$a_0 v + a_1 \frac{dv}{dt} + a_2 \frac{d^2 v}{dt^2} + \ldots = \\ = b_0 x + b_1 \frac{dx}{dt} + b_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + \ldots, \quad (1)$$

где коэффициенты $a_0,a_1,a_2,\ldots$; $b_0,b_1,b_2, \ldots$ определяются схемой замещения измери-

тельной цепи и значениями параметров элементов объекта измерения.

В зависимости от схемы измерителя сигналы $x(t)$ и $v(t)$ могут быть напряжениями или токами в различных сочетаниях.

Из выражения (1) видно, что если для возбуждения цепи использовать импульсный сигнал, имеющий форму степенной функции времени

$$x(t) = \frac{X_{\text{m}} t^{\text{n}}}{t_{\text{и}}^{\text{n}}},$$

где $t_{\text{и}}$ – длительность, X_{m} – амплитуда импульса, n – целочисленный показатель степени, то принуждённая составляющая реакции $v(t)$ состоит из импульсов вида степенной функции с показателями степени от n до 0:

$$v_{\text{пр}}(t) = \frac{A_{\text{n}} t^{\text{n}}}{t_{\text{и}}^{\text{n}}} + \frac{A_{\text{n-1}} t^{\text{n-1}}}{t_{\text{и}}^{\text{n-1}}} + \ldots + \frac{A_1 t}{t_{\text{и}}} + A_0, \quad (2)$$

где $A_{\text{n}}, A_{\text{n–1}}, \ldots, A_1, A_0$ – амплитуды импульсов с соответствующими показателями степени.

Системная функция измерительной цепи, соответствующая дифференциальному уравнению (1), имеет операторную форму

$$F(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \ldots}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \ldots}, \quad (3)$$

а изображение воздействия

$$X(p) = \frac{n! X_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^n p^{n+1}}. \quad (4)$$

Тогда изображение реакции цепи на воздействие импульсным сигналом (4)

$$V(p) = X(p) F(p) = \frac{n! X_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^n p^{n+1}} \cdot \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \ldots}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \ldots}$$

можно привести к виду

$$V(p) = \frac{n! X_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^n} \times \left(\frac{F_0}{p^{n+1}} + \frac{F_1}{p^n} + \ldots + \frac{F_n}{p} + \frac{d_0 + d_1 p + \ldots}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \ldots} \right). \quad (5)$$

Последнее слагаемое в правой части выражения (5) определяет свободную составляющую $v_{\text{св}}(t)$ реакции измерительной цепи, а остальные – принужденную $v_{\text{пр}}(t)$. Величины $F_0, F_1, \ldots, F_{\text{n}}$ являются обобщенными параметрами системной функции и могут быть найдены с помощью рекуррентной формулы [1]:

$$F_0 = \frac{b_0}{a_0}; \; F_1 = \frac{b_1 - F_0 a_1}{a_0}; \; F_2 = \frac{b_2 - F_0 a_2 - F_1 a_1}{a_0}; \; F_3 = \frac{b_3 - F_0 a_3 - F_1 a_2 - F_2 a_1}{a_0}. \quad (6)$$

После окончания переходного процесса в измерительной цепи на ее выходе устанавливается принужденная составляющая реакции, которая согласно (5) содержит сумму импульсов

$$v_{\text{пр}}(t) = \frac{F_0 X_{\text{m}} t^{\text{n}}}{t_{\text{и}}^{\text{n}}} + \frac{n! F_1 X_{\text{m}} t^{\text{n-1}}}{(n-1)! t_{\text{и}}^{\text{n}}} + \ldots + \frac{n! F_{\text{n-1}} X_{\text{m}} t}{1! t_{\text{и}}^{\text{n}}} + \frac{n! F_{\text{n}} X_{\text{m}}}{0! t_{\text{и}}^{\text{n}}}. \quad (7)$$

Амплитуды $A_0, A_1, \ldots, A_{\text{n-1}}, A_{\text{n}}$ импульсов каждой формы в выражении (2) можно выразить из (7) через обобщенные параметры $F_0, F_1, \ldots, F_{\text{n}}$:

$$A_{\text{n}} = F_0 X_{\text{m}}; \; A_{\text{n-1}} = \frac{n! F_1 X_{\text{m}}}{(n-1)! t_{\text{и}}}; \ldots, \; A_1 = \frac{n! F_{n-1} X_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^{n-1}}; \; A_0 = \frac{n! F_n X_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^n}. \quad (8)$$

Таким образом, если определить амплитуды импульсов, входящих в состав сигнала реакции измерительной цепи, одним из известных методов измерения (компенсации, мостовым, по совокупности отсчётов), то, используя полученные значения A_{k}, можно вычислить параметры элементов двухполюсника. Физический смысл и размерность системной

функции $F(p)$ зависят от размерности сигналов на входе и выходе измерительной схемы:

1) если и воздействие, и реакция являются напряжениями $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$ соответственно, то $F(p)$ – это передаточная функция $H(p)$;

2) при воздействии импульсами тока $i_{вх}(t)$ и реакции в виде импульсов напряжения $u_{вых}(t)$ роль $F(p)$ выполняет операторное сопротивление двухполюсника $Z(p)$;

3) если же на измерительную цепь воздействуют импульсами напряжения $u_{вх}(t)$, а в качестве реакции используют импульсы тока $i_{вых}(t)$, системной функцией цепи является операторная проводимость двухполюсника $Y(p)$.

Для питания измерительной схемы с двухполюсниками, в системной функции $F(p)$ которых свободные члены числителя и знаменателя не равны нулю, достаточно использовать импульсы с показателем степени n на единицу меньшим числа элементов. Такие двухполюсники имеют конечное (не нулевое и не бесконечное) сопротивление между полюсами на постоянном токе. Если же в измерительной схеме имеется емкостной элемент, разрывающий цепь между полюсами двухполюсника для постоянного тока, одна из величин a_0 или b_0 будет равна нулю. Необходимо исследовать особенности применения метода обобщенных параметров в этой ситуации [2].

На рисунке приведены две схемы четырехэлементных двухполюсников с разрывом цепи на постоянном токе: *а* – типа *RC* и *б* – типа *RLC*.

Комплексное сопротивление *RC*-двухполюсника (рис. *а*) в операторной форме имеет вид

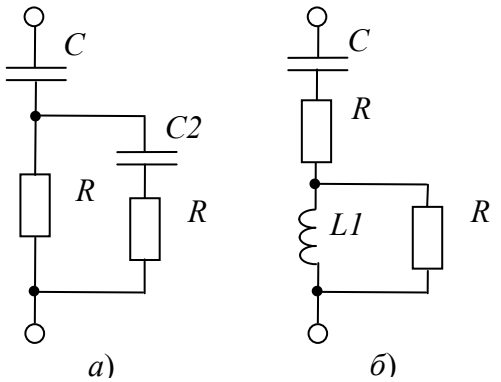
$$Z(p) = \frac{1 + p\left[R_1C_1 + (R_1 + R_2)C_2\right] + p^2R_1C_1R_2C_2}{pC_1 + p^2(R_1 + R_2)C_1C_2}, \quad (9)$$

а комплексная проводимость

$$Y(p) = \frac{pC_1 + p^2(R_1 + R_2)C_1C_2}{1 + p\left[R_1C_1 + (R_1 + R_2)C_2\right] + p^2R_1C_1R_2C_2}. \quad (10)$$

В знаменателе выражения (9) отсутствует свободный член a_0, поэтому нельзя воспользоваться формулами (6). Однако если оператор $1/p$ рассматривать как символ интегрирования, то остальную часть формулы (9) можно принять за операторное выражение сопротивления двухполюсника:

$$Z(p) = \frac{1 + p\left[R_1C_1 + (R_1 + R_2)C_2\right] + p^2R_1C_1R_2C_2}{C_1 + p(R_1 + R_2)C_1C_2}. \quad (11)$$



а) *б*)

Рис. Схемы двухполюсников с разрывом цепи на постоянном токе

В этом случае обобщенные параметры сопротивления двухполюсника (*Z*-параметры) равны

$$Z_0 = \frac{1}{C_1};\ Z_1 = R_1;\ Z_2 = -R_1^2 C_2;\quad Z_3 = R_1^2 C_2^2 \left(R_1 + R_2\right). \tag{12}$$

Так как интегрирование повышает на единицу степень тестового импульса, в рассматриваемом примере для питания двухполюсника можно использовать квадратичный импульс тока

$$i(t) = \frac{I_{\text{m}} t^2}{t_{\text{и}}^2}.$$

По окончании переходного процесса в измерительной цепи на двухполюснике установится сигнал $u_{\text{дп}}(t)$, который содержит четыре импульса напряжения в виде степенных функций с показателями степени от 3 до 0:

$$u_{\text{дп}}(t) = \frac{I_{\text{m}} t^3}{3C_1 t_{\text{и}}^2} + \frac{R_1 I_{\text{m}} t^2}{t_{\text{и}}^2} + \frac{2R_1^2 C_2 I_{\text{m}} t}{t_{\text{и}}^2} + \frac{2R_1^2 C_2^2 \left(R_1 + R_2\right) I_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^2}. \tag{13}$$

Измерив амплитуды каждого импульса, можно вычислить параметры элементов двухполюсника C_1, R_1, C_2, R_2.

Другой путь определения этих параметров связан с возбуждением двухполюсника импульсом напряжения и измерением амплитуд составляющих тока в двухполюснике. В выражении для проводимости двухполюсника (10) отсутствует свободный член в числителе. Значит, параметр Y_0 равен нулю и не содержит информации о параметрах элементов двухполюсника. Следовательно, необходимо повысить степень тестового импульса на единицу. Из (10) находим выражения для обобщенных *Y*-параметров:

$$Y_1 = C_1; Y_2 = -R_1 C_1^2; Y_3 = R_1^2 C_1^2 \left(C_1 + C_2\right);\quad Y_4 = -R_1^2 C_1^2 \left[R_1 \left(C_1 + C_2\right)^2 + R_2 C_2^2\right]. \tag{14}$$

Чтобы реализовать все условия для определения четырех параметров двухполюсника, необходимо использовать тестовый сигнал с показателем степени 4:

$$u(t) = \frac{U_{\text{m}} t^4}{t_{\text{и}}^4}.$$

В установившемся режиме ток двухполюсника будет содержать импульсы, имеющие форму степенных функций времени с показателями от 3 до 0:

$$i_{\text{дп}}(t) = \frac{4C_1 U_{\text{m}} t^3}{t_{\text{и}}^4} - \frac{12R_1 C_1^2 U_{\text{m}} t^2}{t_{\text{и}}^4} + \frac{24R_1^2 C_1^2 \left(C_1 + C_2\right) U_{\text{m}} t}{t_{\text{и}}^4} - \frac{24R_1^2 C_2^2 \left[R_1 \left(C_1 + C_2\right)^2 + R_2 C_2^2\right] U_{\text{m}}}{t_{\text{и}}^2}. \tag{15}$$

При включении двухполюсника (рис. *а*) в мостовую цепь в качестве плеча одной из ветвей, а другое плечо этой ветви содержит образцовый резистор R_0, измерительная схема представляет собой делитель напряжения с передаточной функцией

$$H(p) = \frac{1 + p\left[R_1 C_1 + \left(R_1 + R_2\right) C_2\right] + p^2 R_1 C_1 R_2 C_2}{1 + p\left[\left(R_1 + R_0\right) C_1 + \left(R_1 + R_2\right) C_2\right] + p^2 \left[R_1 R_0 + \left(R_1 + R_0\right) R_2\right] C_1 C_2}. \tag{16}$$

Параметр H_0 равен единице и, следовательно, не содержит информации о параметрах двухполюсника. Поэтому необходимо увеличить показатель степени тестового сигнала. Обобщенные параметры системной функции (16) имеют следующий вид:

$$H_1 = -R_0 C_1; H_2 = R_0 \left(R_1 + R_0\right) C_1^2;\quad H_3 = -R_0 C_1^2 \left[\left(R_1 + R_0\right)^2 C_1 + R_1^2 C_2\right];$$

$$H_4 = R_0 C_1^2 \times \times \begin{bmatrix} R_1^2 (R_1 + R_2)(C_1 + C_2) C_2 + \\ + (R_1 + R_0)^3 C_1^3 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Аналогичные результаты получены и при анализе другой схемы двухполюсника, изображенной на рисунке *б*. Комплексное сопротивление *RLC*-двухполюсника в операторной форме имеет вид

$$Z(p) = \frac{R_2 + p(R_1 R_2 C_1 + L_1) + p^2 (R_1 + R_2) L_1 C_1}{p R_2 C_1 + p^2 L_1 C_1}, \quad (18)$$

а *Z*-параметры равны

$$Z_0 = \frac{1}{C_1};\ Z_1 = R_1;\ Z_2 = L_1;\ Z_3 = -\frac{L_1^2}{R_2}. \quad (19)$$

Комплексная проводимость *RLC*-двухполюсника (рис. *б*) в операторной форме имеет вид

$$Y(p) = \frac{p R_2 C_1 + p^2 L_1 C_1}{R_2 + p(R_1 R_2 C_1 + L_1) + p^2 (R_1 + R_2) L_1 C_1}, \quad (20)$$

и из нее можно найти выражения для обобщенных *Y*-параметров:

$$Y_1 = C_1;\ Y_2 = -R_1 C_1^2;\ Y_3 = C_1^2 (R_1^2 C_1 - L_1);$$
$$Y_4 = R_1^3 C_1^4 + \frac{R_1^4 C_1^4 + C_1^2 (R_1^2 C_1 - L_1)^2}{R_2}. \quad (21)$$

Передаточная функция делителя напряжения, состоящего из образцового резистора и *RLC*-двухполюсника, представляется выражением

$$H(p) = \frac{R_2 + p(R_1 R_2 C_1 + L_1) + p^2 (R_1 + R_2) L_1 C_1}{R_2 + p[(R_1 + R_0) R_2 C_1 + L_1] + p^2 (R_1 + R_0 + R_2) L_1 C_1}. \quad (22)$$

H-параметры делителя равны

$$H_1 = -R_0 C_1;\ H_2 = R_0 (R_1 + R_0) C_1^2;$$
$$H_3 = -R_0 C_1^2 [(R_1 + R_0)^2 C_1 - L_1]; \quad (23)$$
$$H_4 = R_0 C_1^2 \left[(R_1 + R_2)^3 C_1^2 - \frac{L_1^2}{R_2} \right].$$

Заключение

При идентификации двухполюсных цепей с разрывом по постоянному току необходимо модифицировать метод обобщенных параметров. С этой целью, если в знаменателе системной функции двухполюсника отсутствует свободный член, оператор p из знаменателя следует включить в операторное изображение тестового импульса, а в оставшейся части изображения системной функции сдвинуть на единицу индексы при обобщенных параметрах. При этом требуется уменьшить показатель степени питающего импульса. В случае, когда свободный член отсутствует в числителе системной функции, а обобщенный параметр с нулевым индексом равен нулю, необходимо увеличить на единицу показатель степени тестового сигнала, приравняв его числу элементов двухполюсника.

1. Иванов В.И., Титов В.С., Голубов Д.А. Применение обобщенных параметров измерительной цепи для идентификации многоэлементных двухполюсников // Датчики и системы. 2010. № 8. С. 43–45.

2. Иванов В.И., Титов В.С. Эквивалентные преобразования обобщенных параметров двухполюсников при идентификации сложных измерительных цепей // Датчики и системы. 2012. № 5. С. 11–16.

Получено 28.05.12.

V.I. Ivanov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: viva37@mail.ru)

A.L. Klyuev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: mertan2@yandex.ru)

DETERMINATION OF PARAMETERS OF PASSIVE TWO-POLES WITH THE RUPTURE OF THE CHAIN ON THE DIRECT CURRENT

Considered features of application of a method of the generalized parameters of passive linear two-poles chain in which capacitor is included between poles are. Motivatad recommendations about updating of algorithm of measurement of parameters are.

Key words: *the generalized parameters, two-poles.*

УДК 658.512

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

М.В. Бобырь, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

П.В. Глобин, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: Globin-Pavel@mail.ru)

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ С ЧПУ

В статье рассматривается структурно-параметрическая адаптация в задачах управления оборудованием с ЧПУ, позволяющая уменьшить количество итераций при обучении механизма нечетко-логического вывода. Рассмотрено численное моделирование процесса обучения.

Ключевые слова: *адаптация, нечётко-логический вывод, нечеткая система, функция принадлежности, адаптивная нейро-нечеткая система вывода.*

***

Введение

В настоящее время в автоматизированных системах управления технологическими процессами механической обработки изделий (МОИ), основанных на традиционных механизмах нечетко-логического вывода (НЛВ), процесс расчёта имеет невысокую оперативность результирующей величины, при этом не учитываются все информационные признаки.

Структурная схема АСУ исполнительными механизмами

Для устранения вышеуказанных недостатков в ходе выполнения научно-исследовательской работы (НИР) по гранту Президента РФ МК 277.2012.8 была разработана структурная схема автоматизированной системы управления исполнительными механизмами (рис. 1).

В традиционных АСУ в качестве механизма вывода используются адаптивные нечеткие регуляторы с возможностью измерения выходных параметров нечеткой системы (НС). Однако для управления сложными техническими системами необходим «*блок адаптации*» (см. рис. 1), в котором осуществляется коррекция не только параметров, но и структуры этапов управления, то есть всей системы управления в целом.

Блок адаптации состоит из блока «Механизм вывода» [1, 2]; блока «Оценка состояния ОУ (КРА)» [3]; блока «База знаний» [4]; блока «Механизм адаптации» [5].

В настоящее время для управления технологическими процессами используется ANFIS (адаптивная нейронечеткая система вывода), основанная на модели Такаги-Сугено (рис. 2).

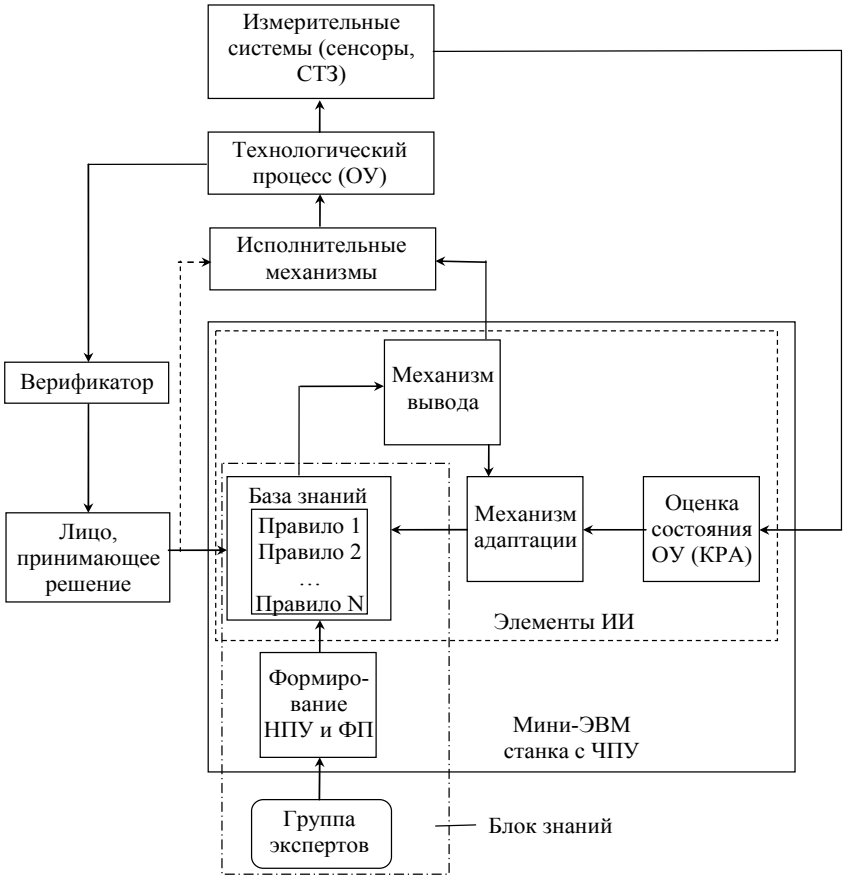


Рис 1. Структурная схема АСУ исполнительными механизмами

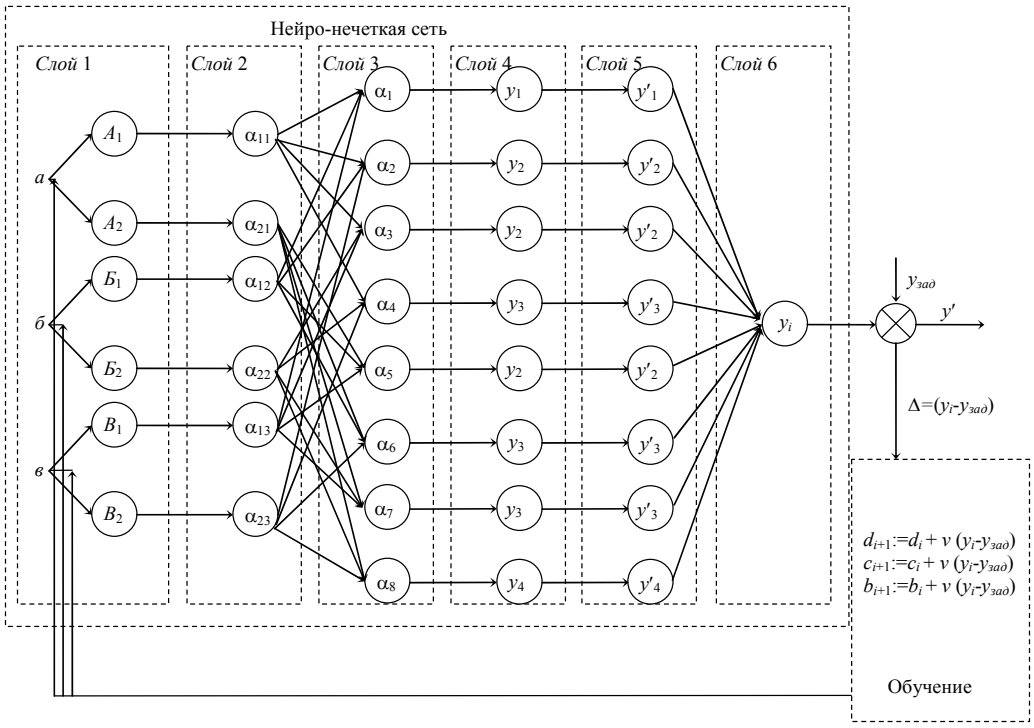


Рис. 2. Адаптивная нейронечеткая система вывода

Недостаток схемы заключается в большой погрешности результатов обучения нейронечеткой сети, которая составляет 8% [6]. Это означает, если на выходе системы управления должен быть результат 100, то 8%-ная погрешность сформирует результат, равный 92 (модель Такаги-Сугено).

С целью редукции результатов обучения была разработана следующая нейронечеткая сеть на основе быстродействующего алгоритма нечетко логического вывода (рис. 3).

Её преимущество заключается в том, что 4 слой имеет меньшее количество выводов, что увеличивает оперативность принятия управляющих решений. Из рисунков 2 и 3 видно, что в четвертом слое происходит сокращение операций в адаптивной нейронечеткой системе вывода, работающей на основе механизма быстродействующего алгоритма нечетко-логического вывода ($M_{БАНЛВ}$), в 2 раза по сравнению с традиционной ANFIS .

Данная сеть работает следующим образом.

В процессе управления информация с датчиков поступает в блок вывода и в блок оценки состояния (КРА). После чего с блока вывода и блока оценки состояния (КРА) полученные значения управляющего параметра поступают в блок «адаптация», в котором в свою очередь задано эталонное значение управляющего параметра. Блок адаптации производит вычисление управляющего параметра в реальном времени и сравнивает расчетное и эталонное значения. И если они не совпадают, то производит адаптацию полученных результатов к эталонным величинам, после чего вырабатывает управляющие сигналы.

Нейронечеткая сеть на основе быстродействующего алгоритма нечетко логического вывода (см. рис. 3) состоит из следующих слоев:

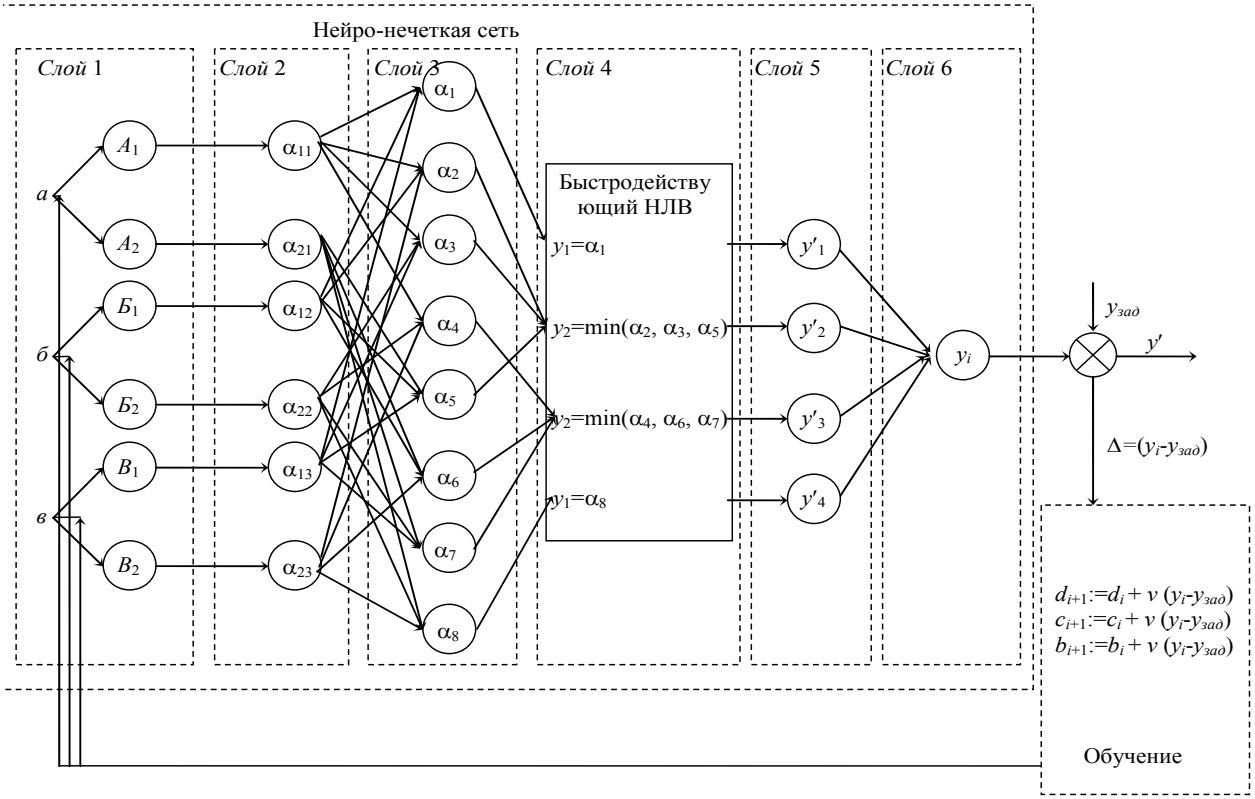


Рис. 3. Нейронечеткая сеть на основе быстродействующего алгоритма нечетко логического вывода

Слой 1. Представляет собой процесс фаззификации входных переменных, каждая из которых имеет по два терма с функцией принадлежности (уравнение 1).

$$a_i = б_i = в_i = z_i = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{d}\right|^{2b}}. \qquad (1)$$

Входы сети соединены только со своими термами. Количество узлов первого слоя равно количеству термов у трех входных переменных, то есть шести (см. рис. 6, *а*).

Слой 2. Выходами нейронов данного слоя являются значения степени принадлежности для каждой предпосылки входных переменных, определяемых на основе информации, поступающей от сенсоров системы активного контроля оборудования с ЧПУ (см. рис. 6, *а*).

Слой 3. Каждый узел данного слоя соответствует конкретному нечеткому правилу управления вида: *Если* «предпосылка» *То* «заключение». При этом значения степеней истинности определяются как

$$\begin{aligned}
&\alpha_1 = \min(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13});\\
&\alpha_2 = \min(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{23});\\
&\alpha_3 = \min(\alpha_{11}, \alpha_{22}, \alpha_{13});\\
&\alpha_4 = \min(\alpha_{11}, \alpha_{22}, \alpha_{23});\\
&\alpha_5 = \min(\alpha_{21}, \alpha_{12}, \alpha_{13});\\
&\alpha_6 = \min(\alpha_{21}, \alpha_{12}, \alpha_{23});\\
&\alpha_7 = \min(\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{13});\\
&\alpha_8 = \min(\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{23}).
\end{aligned} \qquad (2)$$

Слой 4. В данном слое определяются уровни отсечения:

$$\begin{aligned}
&y_1 = \alpha_1;\ y_2 = \min(\alpha_2, \alpha_3, \alpha_5);\\
&y_3 = \min(\alpha_4, \alpha_6, \alpha_7);\ y_4 = \alpha_8
\end{aligned} \qquad (3)$$

Слой 5. Определяются усеченные ФП:

$$\begin{aligned}
&\mu'_y(y)_1 = \min\{y'_1;\ \mu_y(y)_1\};\\
&\mu'_y(y)_2 = \min\{y'_2;\ \mu_y(y)_2\};\\
&\mu'_y(y)_3 = \min\{y'_3;\ \mu_y(y)_3\};\\
&\mu'_y(y)_4 = \min\{y'_4;\ \mu_y(y)_4\}.
\end{aligned} \qquad (4)$$

Расчет параметров, составляющих слои 1÷3, более подробно рассмотрен в работах [1, 2].

Слой 6. Представляет собой процесс дефаззификации выходного параметра. В данном слое по формуле (4) рассчитывается величина, полученная с помощью $M_{БАНЛВ}$ [7]:

$$v' = \frac{\sum_{l=1}^{k} v_{1..9} \cdot \mu'_v(v)_{1..9}}{\sum_{l=1}^{k} \mu'_v(v)_{1..9}}. \qquad (5)$$

В блоке «Обучение» происходит процесс формирования новых термов функций принадлежностей выходного параметра до тех пор, пока значение, получаемое в нейронечеткой сети, не будет равно заданному числу $y = y_{зад}$:

$$z_{i+1} := z_i - v(y - y_{зад}) \quad .$$

Алгоритм обучения нейронечеткой сети

Для работы нейронечеткой сети (см. рис. 3) был разработан алгоритм обучения нейронечеткой сети (1)÷(6).

Численное моделирование алгоритма обучения нейронечеткой сети

Пусть от системы активного контроля оборудования с ЧПУ поступили следующие данные: $а = 15$, $б = 26$ (см. рис. 6). Тогда степени принадлежности для каждой предпосылки составят:

$\alpha_{11} = 1$; $\alpha_{12} = 0{,}04$, $\alpha_{13} = 0{,}76$;

$\alpha_{21} = 1$; $\alpha_{22} = 0{,}15$, $\alpha_{23} = 0{,}94$.

Используя формулу (2), находятся уровни отсечения для каждой предпосылки НПУ:

$$\begin{aligned}
&\alpha_1 = \min(1, 0{,}04, 0{,}76) = 0{,}04;\\
&\alpha_2 = \min(1, 0{,}04, 0{,}94) = 0{,}04;\\
&\alpha_3 = \min(1, 0{,}15, 0{,}76) = 0{,}15;\\
&\alpha_4 = \min(1, 0{,}15, 0{,}94) = 0{,}15;\\
&\alpha_5 = \min(1, 0{,}04, 0{,}76) = 0{,}04;\\
&\alpha_6 = \min(1, 0{,}04, 0{,}94) = 0{,}04;\\
&\alpha_7 = \min(1, 0{,}15, 0{,}76) = 0{,}15;\\
&\alpha_8 = \min(1, 0{,}15, 0{,}94) = 0{,}15.
\end{aligned}$$

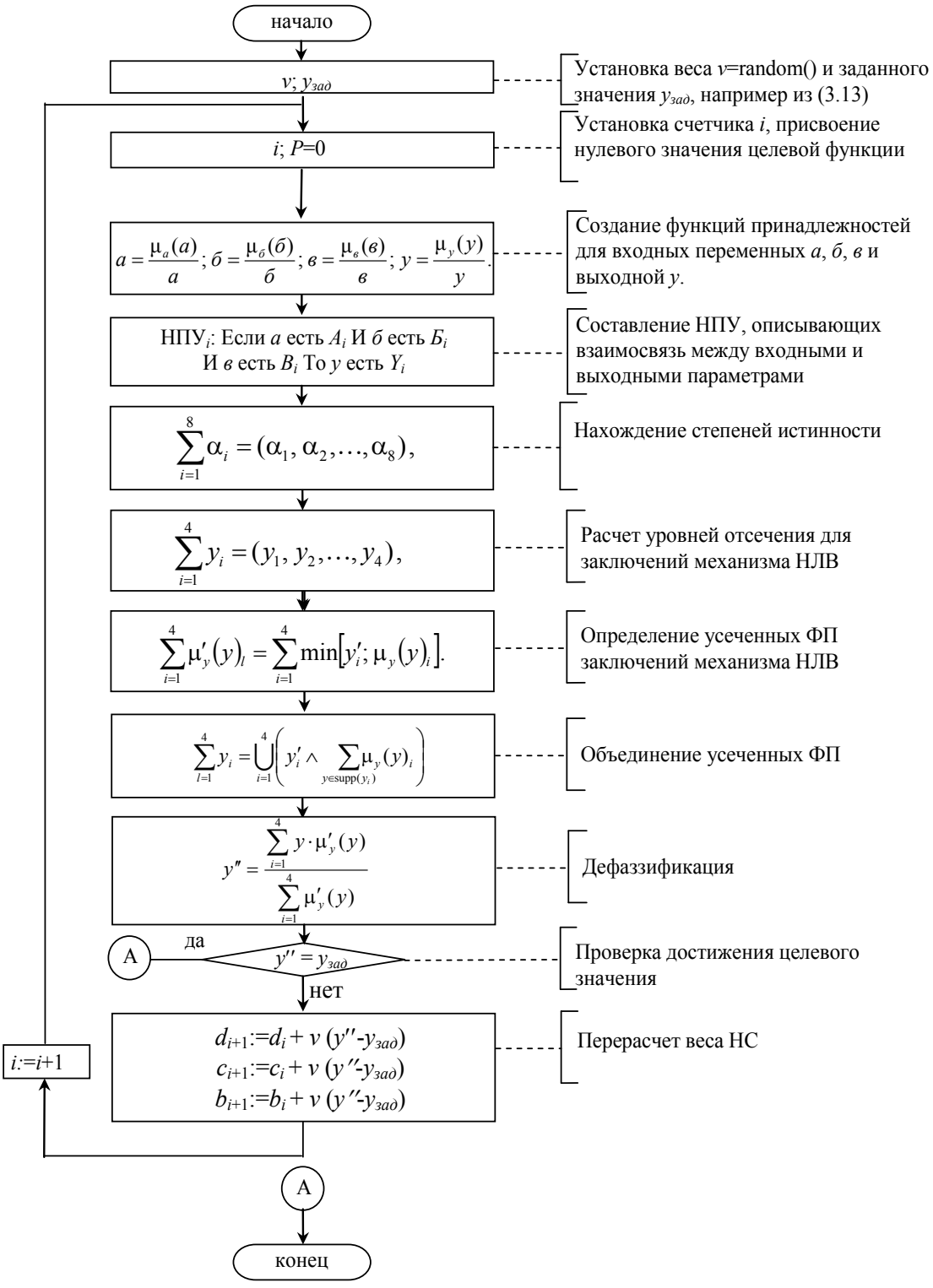


Рис. 4. Алгоритм обучения $M_{БАНЛВ}$

Затем по (3) рассчитываются уровни отсечения:

$y'_1 = 0{,}04;$

$y'_2 = \min(0{,}04,\ 0{,}15,\ 0{,}04) = 0{,}04;$

$y'_3 = \min(0{,}15,\ 0{,}04,\ 0{,}15) = 0{,}04;$

$y'_4 = 0{,}15.$

Далее находятся (4) усеченные функции принадлежности (ФП) и на основе метода центра тяжести (6) определяются управляющие решения:

$$y'' = 32,25,$$
$$p' = 86,98 + 0,13v - 15,6s.$$

Заданное значение рассчитывается с помощью корреляционно-регрессивного анализа (КРА). Пусть заданное значение, полученное с помощью КРА, составляет $y_{зад}$ = 38. Видно, что разность между двумя значениями составляет (y–$y_{зад}$) = (32,25–38)=5,75. То есть с помощью формулы (6) необходимо подобрать такие коэффициенты c, d и b, чтобы $M_{БАНЛВ}$ выдавала значения 38, а не 32,25 [8]:

$$d_{11} := 5 + 0,1(32,25 - 38) = 4,425;$$
$$b_{11} := 2 - 0,1(32,25 - 38) = 1,425;$$
$$c_{11} := 15 - 0,7(32,25 - 38) = 10,4.$$

Теперь, воспользовавшись выражениями (1)÷(6), рассчитывается значение, которое будет на выходе нейронечеткой сети: $y_1'' = 39,83$. Видно, что после первой итерации обучения ошибка между двумя значениями уже составляет 39,83 – 38 = 1,83. Аналогично рассчитываются коэффициенты для последующих итераций. После десятой итерации получены результаты: d_{20A} = 4,913, b_{20A} = =1,913, c_{20A} = 14,304, а результирующая величина y''_{10}=36,98.

Способ структурно-параметрической адаптации нейронечеткой сети

Полученные результаты показали, что после 10 итераций точность обучения составляет порядка 5%, следовательно, необходимо осуществлять коррекцию только по одному параметру c. После 5 итераций обучения параметра c на выходе нейронечеткой сети было получено результирующее значение y''_{14}=38.

При обучении ФП с помощью алгоритма обучения (см. рис. 4) получены следующие значения коэффициентов c, d и b:

A_1={d_{10},b_{10},c_{10}}={4,913;1,913; 14,304};
A_2={4,913; 1,913; 12,304};
$Б_1$={2,913; 2,913; 9,304};
$Б_2$={2,913; 2,913; **28,68**};
B_1={3,913; 1,913; 17,304};
B_2={3,913; 1,913; 27,304}.

При этих значениях на выходе $Б_{АНЛВ}$ y''=38. Обученные функции принадлежности представлены на рисунке 5.

Если при параметрической адаптации не достигаются цели, то необходимо использовать методы структурно-параметрической адаптации. При этом целесообразно, во-первых, изменить, в третьем или четвертом слое нейронечеткой сети (см. рис. 6) нечетко-логические операции – вместо **min** использовать операцию **max**, тогда для получения заданного результата $y_{зад}$=38 потребуется 15 итераций, что на одну больше, чем в рассмотренном примере. Во-вторых, случайным образом во втором слое нейронечеткой сети изменить взаимосвязи между альфа-параметрами (α_1, α_2, …, α_8) [9].

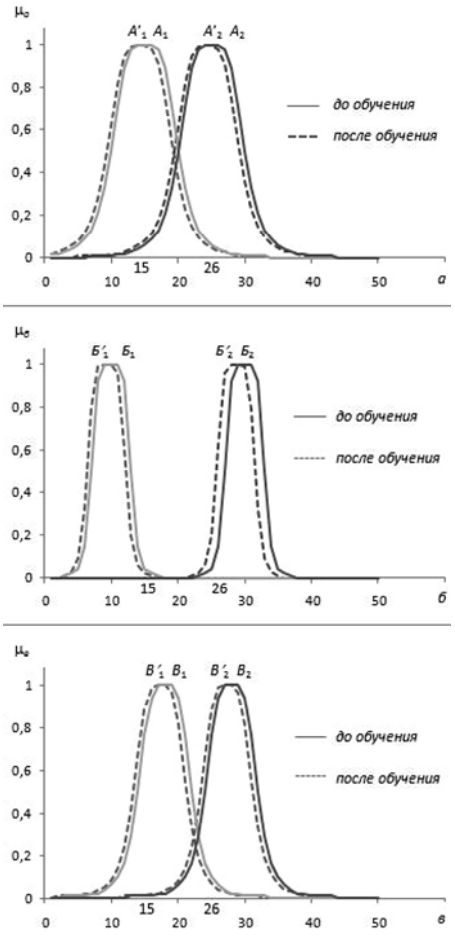
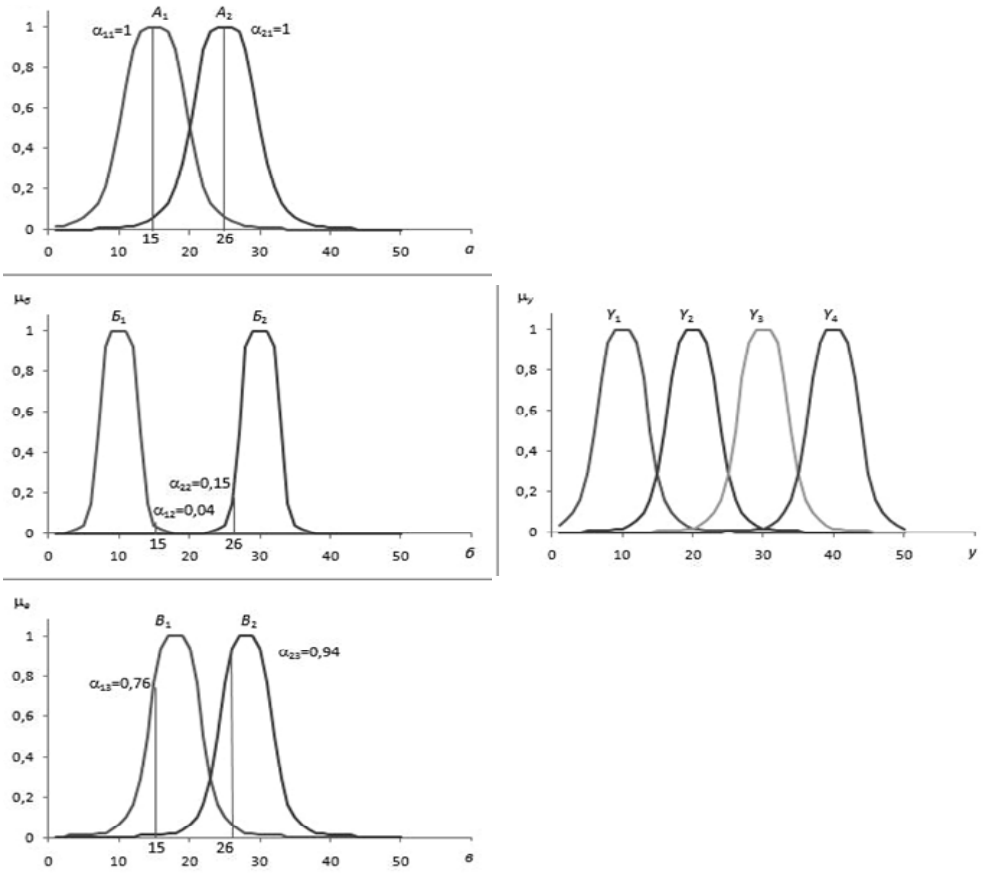


Рис. 5. Функции принадлежности после обучения быстродействующего механизма НЛВ



а) *б*)

Рис. 6. Входные и выходные переменные системы управления:
а – входные параметры a_i, $б_i$, $в_i$; *б* – выходной параметр y_i

Рассмотрим пример структурно-параметрической адаптации систем управления, использующих в своей структуре механизм быстродействующего алгоритма нечетко-логического вывода ($М_{БАНЛВ}$).

1. Пусть система управления задана следующими нечеткими правилами управления (НПУ):

НПУ$_1$: ЕСЛИ «*а* есть A_1» И «*б* есть $Б_1$» И «*в* есть B_1»ТО «*у* есть Y_1»;

НПУ$_2$: ЕСЛИ «*а* есть A_1» И «*б* есть $Б_1$» И «*в* есть B_2»ТО «*у* есть Y_2»;

НПУ$_3$: ЕСЛИ «*а* есть A_1» И «*б* есть $Б_2$» И «*в* есть B_1»ТО «*у* есть Y_2»;

НПУ$_4$: ЕСЛИ «*а* есть A_1» И «*б* есть $Б_2$» И «*в* есть B_2»ТО «*у* есть Y_3»;

НПУ$_5$: ЕСЛИ «*а* есть A_2» И «*б* есть $Б_1$» И «*в* есть B_1»ТО «*у* есть Y_2»;

НПУ$_6$: ЕСЛИ «*а* есть A_2» И «*б* есть $Б_1$» И «*в* есть B_2»ТО «*у* есть Y_3»;

НПУ$_7$: ЕСЛИ «*а* есть A_2» И «*б* есть $Б_2$» И «*в* есть B_1»ТО «*у* есть Y_3»;

НПУ$_8$: ЕСЛИ «*а* есть A_2» И «*б* есть $Б_2$» И «*в* есть B_2»ТО «*у* есть Y_4».

2. При этом входные и выходные переменные представлены ФП (см. рис. 6), заданными уравнением (1).

Заключение

Таким образом, предлагаемая структурно-параметрическая адаптация в задачах управления оборудованием с ЧПУ позволяет уменьшить количество итераций в процессе обучения алгоритма нечетко-логического вывода, ускорить процесс обучения системы за счёт быстродействующего алгоритма нечетко-логического вывода (БАНЛВ), уменьшить погрешность результатов обучения нейро-нечеткой сети с 8% до 1%.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ МК-277.2012.8.

Список литературы

1. Бобырь М.В. Модифицированный алгоритм нечетко-логического вывода в задачах управления оборудованием с ЧПУ // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2011. №4. С. 26–32.

2. Бобырь М.В., Титов В.С., Анциферов А.В. Алгоритм высокоскоростной обработки деталей на основе нечеткой логики // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2012. № 6. С. 21–26.

3. Оценка достоверности при моделировании нечетко-логических систем / М.В. Бобырь, В.С. Титов, П.В. Глобин, Н.А. Милостная // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012. № 7. С. 32–38.

4. Бобырь М.В. Методы построения функций принадлежностей для нечетких баз знаний // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 2. С. 27–33.

5. Бобырь М.В., Титов В.С., Червяков Л.М. Адаптация сложных систем управления с учетом прогнозирования возможных состояний // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 5. С. 3–10.

6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.

7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: ИУИТ; БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. 798 с.

8. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун [и др.]; под общ. ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.

9. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник: 5 т. Т. 4. Теория оптимизации систем автоматического управления / Н.Б. Филимонов, К.А. Пупков, Н.Д. Егупов [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 744 с.

Получено 15.12.12.

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

M.V. Bobyr, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

P.V. Globin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: Globin-Pavel@mail.ru)

STRUCTURAL-PARAMETRIC ADAPTATION OF THE SYSTEM TO CONTROL PROBLEMS OF CNC EQUIPMENT

The article deals with the structural and parametric adaptation of the system in control of CNC equipment, reduces the number of iterations in the learning mechanism fuzzy inference. A numerical simulation of the process of learning. The work was performed as part of the grant of the President of Russian Federation MK-277.2012.8.

Key words: *adaptation, fuzzy inference, fuzzy system, the membership function, adaptive neuro-fuzzy inference system.*

УДК 622.673.8

И.Е. Чернецкая, д-р техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: white731@yandex.ru)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГРАНУЛООБРАЗОВАНИЯ СЫПУЧИХ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложена структурно-функциональная организация автоматизированной системы управления процессом гранулообразования сыпучих тонкоизмельченных материалов, обеспечивающая получение качественной продукции путем контроля параметров процесса и управления технологическим оборудованием.

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, гранулообразование, сыпучий тонкоизмельченный материал.*

***

Процесс гранулообразования является основным этапом при производстве гранул из тонкоизмельченного железорудного материала. После этапа подготовки материала (измельчения, грохочения, магнитной сепарации, обезвоживания концентрата на вакуумных фильтрах), который выполняется в цехе подготовки, концентрат поступает в цех окомкования. При этом в лабораториях фабрики окомкования определяются химический состав материала и добавок, а также его гранулометрический состав (тонина помола или степень измельчения материала). В частности, исходными данными, поступающими из лаборатории предприятия, являются следующие: химический состав материалов, степень измельчения, насыпной вес концентрата; насыпной вес, набухаемость и влажность бентонита, бентонитовое число, а также степень его измельчения после подготовки к процессу гранулообразования; насыпной вес, набухаемость и влажность известняка, степень его измельчения; основность *С*. Указанная информация поступает лицу, принимающему решение (оператор процесса гранулообразования), и подается в разработанную систему управления. На рис. 1 представлен обмен данными и управляющих воздействий в автоматизированной системе управления процессом гранулообразования.

Информация о состоянии всех этапов производства готового продукта (обожженных окатышей) поступает как в автоматизированную систему управления процессом гранулообразования, так и лицу, принимающему решение. Это необходимо для оперативного реагирования на изменение хода процесса производства, т.к. изменение качества материалов или нарушение работы технологического оборудования отрицательно влияет на качество готового продукта [1].

На рис. 2 приведена структурно-функциональная организация автоматизированной системы управления процессом гранулообразования из тонкоизмельченных железорудных материалов, где введены следующие обозначения: U_y – управляющий сигнал для изменения положения переключателей на резисторах в цепи ротора двигателя на основе многозонного управления; $\Delta\boldsymbol{\omega}$ – решение ЛПР об изменении скорости вращения барабанного окомкователя в зависимости от выхода промежуточного продукта; $\boldsymbol{\omega}_{\textbf{зад.}}$ – значение скорости вращения барабанного окомкователя с учетом реакции системы на изменение выхода промежуточного продукта; $\boldsymbol{\omega}_{\textbf{тек}}$ – текущее значение скорости вращения барабанного окомкователя.

Данные в систему сбора, обработки данных и управления процессом гранулообразования (*ССОД* и *УПГ*) поступают от следующих датчиков: влажности концентрата и шихты; массы концентрата, циркуляционной нагрузки, возврата, гранул промежуточного продукта; скорости вращения барабанного окомкователя; массы воды, добавляемой в окомкователь.

Система сбора, обработки данных и управления процессом гранулообразования (*ССОД* и *УГП*) выполняет следующие действия: управление шихтоподготовкой на основе способа определения компонентов шихты в зависимости от влажности материала, поступающего в процесс; управление потоком шихты в период гранулообразования на основе анализа выборки из циркуляционной нагрузки гранул 7–9 мм; автоматическое управление работой барабанного окомкователя на основе многозонного импульсного управления [2].

Таким образом, *ССОД* и *УПГ* состоит из следующих элементов управления:

– шихтоподготовкой, обеспечивающей рациональный выбор параметров материала, поступающего на гранулообразование, и тем самым сбережение ресурсов;

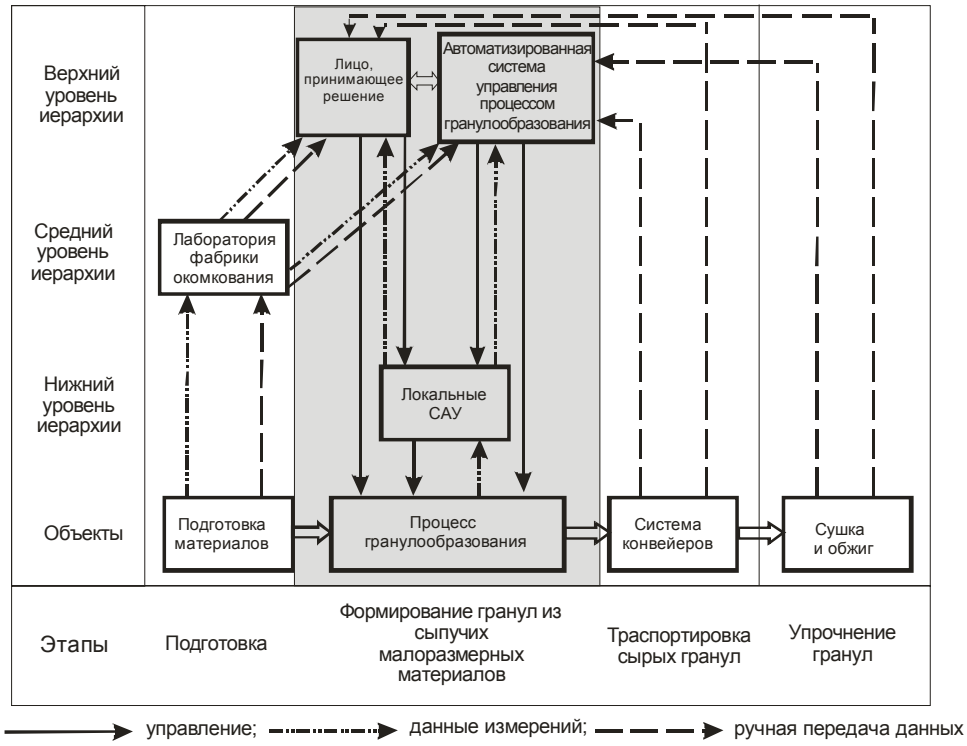


Рис. 1. Схема обмена данными и управляющих воздействий

– технологическим процессом сырого окомкования, включающим полный цикл производства сырых гранул на основе теории укрупнения гранул под действием механических нагрузок, математической модели перемещения сыпучего материала в окомкователе, кинетики роста гранул, позволяющим управлять процессом гранулообразования тонкоизмельченных железорудных материалов в совокупности с работой механического оборудования и оценивать его качество;

– барабанным окомкователем, характеризующимся скоростью его вращения, которая, с одной стороны, обеспечивает перемещение комкуемой массы в режиме переката, а с другой – образование окатышей кондиционного класса.

На вход *ССОД* и *УПГ* поступают данные лабораторных анализов и информация о состоянии процесса гранулообразования, значение количества промежуточного продукта технологического процесса и его отклонение от эталонного значения. На основе полученных данных производится расчет параметров шихты, требуемая скорость вращения барабанного окомкователя, а также производится оценка качества управления процессом гранулообразования. При этом возможна коррекция скорости вращения барабанного окомкователя лицом, принимающим решение. Вся информация отображается на индикации, информируя оператора процесса гранулообразования о ходе формирования гранул.

В результате формируются следующие управляющие сигналы: *a* – на форсунки для подачи воды (B); *b* – на тарельчатый питатель бентонита ($P_Б$); *e* – скорость вращения барабанного окомкователя; *c* – на тарельчатый питатель известняка ($P_И$); *d* – на тарельчатый питатель концентрата (P_k).

При этом обеспечивается качественная подготовка материалов к гранулообразованию в барабанных окомкователях и поддерживается нормальный ход технологического процесса сырого окомкования, в результате которого формируются железорудные гранулы, соответствующие качественным показателям продукции на данном этапе их производства.

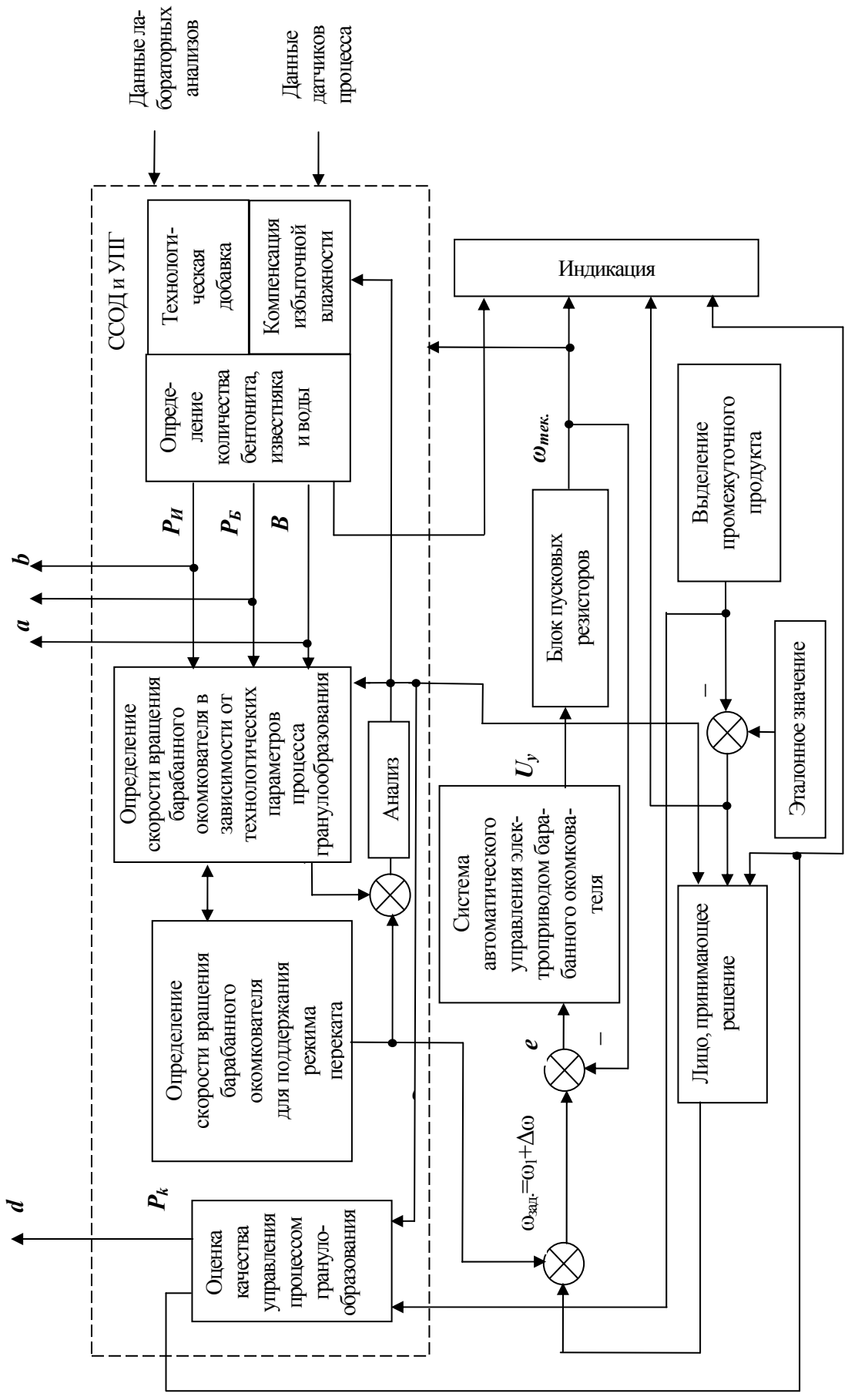


Рис. 2. Структурно-функциональная организация системы управления процессом гранулообразования

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления процессом гранулообразования сыпучих тонкоизмельченных материалов, контролирующая и управляющая технологическим оборудованием сырого гранулообразования в барабанных окомкователях на основе поступающей информации со всех этапов окомкования тонкоизмельченных материалов, обеспечивает получение качественной готовой продукции при производстве железорудных гранул.

1. Теория управления окомкованием сыпучих материалов: монография / Е.А. Исаев, И.Е. Чернецкая, Л.Н. Крахт, В.С. Титов. Старый Оскол: ТНТ, 2004. 383 с.

2. Электропривод с многозонным импульсным управлением для окомкователя сыпучих материалов / Ж.Т. Жусубалиев, В.С. Титов, И.Е. Чернецкая, О.О. Яночкина // Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. № 2 (18). С. 45–50.

Получено 31.05.12.

I.E. Chernetskaya, Doctor of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: white731@yandex.ru)

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF PROCESS PELLETIZING FREE-FLOWING FINELY MATERIALS

This paper deals a automated of controlling the technological process of forming pellets of free-flowing finely granular material. The presented control system provides the production of quality products by means of control of process parameters and control of technological equipment.

Key words: *automated control system, pelletizing, free-flowing finely materials.*

УДК 004.932.2

А.А. Ященко, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: annajashenko@rambler.ru)

С.Ю. Мирошниченко, канд. техн. наук, старший преподаватель, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: oldguy7@rambler.ru)

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

В статье рассматриваются особенности разработки методов и средств автоматизации выделения протяженных геопространственных объектов. Предлагается метод распознавания объектов дорожной сети на аэрокосмических изображениях, основанный на определении объектов, имеющих основные признаки и свойства объектов дорожной сети.

Ключевые слова: *объекты дорожной сети, протяженные геопространственные объекты, аэрокосмические изображения.*

***

Среди задач обработки изображений особое место занимает анализ космических снимков и построение на их основе электронных карт местности. В условиях быстрого увеличения объемов транспортных потоков, активного развития сети автомобильных дорог и железнодорожного транспорта особое значение приобретают обновление и актуализация тематического слоя дорожной сети.

Объекты дорожной сети представляют собой класс протяженных геопространственных объектов, геометрические и яркостные характеристики которых могут различаться в пределах одного изображения. Также выделение объектов дорожной сети осложнено их перекрытием различными объектами, такими как растительность, здания и тени различных объектов, наличием атмосферных явлений (туман и облачность), присутствием

на дорогах транспортных средств. При автоматической локализации объектов основным этапом обработки космических снимков является сегментация спутникового изображения на тематически однородные области с последующим построением их векторных представлений. На основе информации, полученной после векторизации, объекты на электронной карте группируются в тематические слои [1].

Для решения задачи сегментации спутниковых изображений, как правило, применяются методы построения контуров объектов и методы кластеризации, осуществляющие соответственно выделение границ объектов или однородных областей на исходном изображении [2].

На практике для выделения границ объектов используются операторы, представляющие дискретные аппроксимации производных в конечных разностях (операторы Робертса, Собела, Превитта, Лапласа) [2]. Однако из-за перекрытия объектов дорожной сети другими объектами, а также наличия на них транспортных средств результат использования указанных операторов для выделения объектов дорожной сети характеризуется недостаточной точностью.

Наиболее часто применяемыми методами кластеризации являются методы контролируемой и неконтролируемой классификации пикселей. Оба метода обладают сравнительной простотой реализации, но характеризуются недостаточной производительностью и недостаточной точностью выделения дорожной сети.

Таким образом, для выделения объектов дорожной сети необходим комплексный подход, основанный на поиске областей изображения, соответствующих основным пространственным и яркостным признакам объектов целевого тематического слоя [3].

К основным признакам объектов дорожной сети относятся:

1) значительная протяженность прямолинейных участков;

2) одинаковая ширина на участке протяжения;

3) равномерное распределение яркости в пределах объекта;

4) четкие контуры дорожного полотна.

Необходимым условием принадлежности рассматриваемого объекта слою дорожной сети является наличие у него всех перечисленных признаков.

Для решения поставленной задачи распознавания был разработан фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр) [4], обеспечивающий поиск пикселей, относящихся к объектам дорожной сети с учетом указанных признаков. Результатом его применения к некоторому изображению I являются карта средних квадратических отклонений (СКО) для точек с ненулевым откликом функции КИХ-фильтра и соответствующая ей карта направлений углов поворота окна фильтра. Выбор КИХ-фильтра обусловлен его устойчивостью и простотой реализации [4].

Характерные признаки объектов дорожной сети, указанные выше, математически описываются следующим образом. Пусть некая прямоугольная область $d(a,b,\varphi)$ на изображении I представляет собой объект, принадлежащий дорожной сети D, b – ширина, a – длина области d, φ – угол поворота дорожного полотна относительно начала отсчета координат изображения. Тогда в рамках изображения I область d должна обладать следующими свойствами.

1. Значительная протяженность на прямолинейном участке, т.е. ширина области d намного меньше ее длины:

$$b << a. \qquad (1)$$

2. Одинаковая ширина на всем протяжении дороги:

$$b = \text{const}. \qquad (2)$$

3. Равномерное распределение функции яркости на участке протяжения, означающее, что значение СКО яркости точек изображения *I,* принадлежащих области *d,* стремится к нулю:

$$\sigma[f(x,y)] \to 0, (x,y) \in d(a,b,\varphi), \quad (3)$$

где $\sigma[f(x,y)]$ – значение СКО яркости точек области $d(a,b,\varphi)$.

4. Четкие контуры полотна объекта дорожной сети, т.е. модуль градиента функции яркости на границах $\nabla f_{d(a,b,\varphi)}(x,y)$ области $d(a,b,\varphi)$, выше среднего значения контуров объектов изображения I:

$$\nabla f_{d(a,b,\varphi)}(x,y) > \nabla \tilde{f}(x,y), \quad (4)$$

где $\nabla \tilde{f}(x,y)$ – среднее значение градиентов функции яркости для изображения *I.*

Согласно выражениям (1)–(4) область *d(a,b,φ)* можно считать объектом дорожной сети, когда

$$\begin{cases} b << a, \\ b = \text{const}, \\ \sigma\left[f(x,y)\right] \to 0, \\ \nabla f_{d(a,b,\varphi)}(x,y) > \nabla \tilde{f}(x,y). \end{cases} \quad (5)$$

КИХ-фильтр для локализации объектов дорожной сети использует формулу (5). Так как угол поворота дорожного полотна относительно оси абсцисс принимает любые значения в диапазоне $[0..2\pi]$, предусмотрена возможность определения угла поворота φ окна фильтра, позволяющая осуществлять поиск точек произвольно ориентированных объектов дорожной сети.

Значение функции отклика КИХ-фильтра определяется для каждой точки изображения при различных значениях угла поворота окна фильтра относительно оси абсцисс, изменяющегося с шагом φ.

Ширина окна фильтра равна одной точке растра, длина окна фильтра L устанавливается согласно масштабу космического снимка. Таким образом, окно фильтра представляет собой прямолинейный отрезок, центром которого является исследуемая точка изображения. Угол α поворота окна фильтра ограничивается диапазоном $[0^0; 180^0)$. Количество возможных положений окна фильтра равно количеству секторов N_φ, на которые разбивается диапазон $[0^0; 180^0)$. Тогда шаг угла поворота вычисляется как

$$\varphi = 180^0 / N_\varphi. \quad (6)$$

Исследуется отрезок, равный половине длины окна фильтра, поэтому для одного положения окна фильтра определяют два значения СКО для каждой половины окна фильтра. К первой половине окна фильтра относятся точки с положительным смещением координат относительно оси Y (для них вычисляется первое значение СКО), ко второй половине окна фильтра – точки с отрицательным смещением относительно оси Y (для них вычисляется второе значение СКО). Расчеты проводятся для каждого положения окна фильтра, определяемого углом поворота относительно исследуемой точки. Все первые значения СКО для всех исследуемых положений окна фильтра формируют первую группу значений СКО, все вторые значения СКО формируют вторую группу значений СКО. Схема исследования окна фильтра представлена на рис. 1.

Среди найденных значений СКО всех положений окна фильтра определяется минимальное σ_1 для первой группы значений СКО и минимальное σ_2 для второй группы значений СКО.

Найденные значения σ_1 и σ_2 должны удовлетворять условию:

$$\begin{cases} \sigma_1(j_1) < T_1, \\ \sigma_2(j_2) < T_1, \\ \sigma_1(j_1) \to 0, \\ \sigma_2(j_2) \to 0, \\ |\sigma_1(j_1) - \sigma_2(j_2)| \to 0, \\ j_1 \approx j_2, \end{cases} \quad (7)$$

где j_1, j_2 – углы поворота окна фильтра, соответствующие положению окна фильтра для минимального значения СКО σ_1 и минимального значения СКО σ_2 соответственно; T_1 – пороговое значение, которое устанавливается пользователем с учетом уровня зашумленности изображения.

Согласно условию (7) значения σ_1 и σ_2 должны иметь низкие незначительно различающиеся значения, не превышать заданного порога T_1, соответствующие им углы поворота также должны различаться незначительно.

Для исключения точек площадных объектов, не относящихся к искомым протяженным линейным объектам, но удовлетворяющих указанным условиям проверки СКО (реки, озера, дома и др.), вводится дополнительная пороговая проверка разности значения σ_1 и среднего значения СКО для первой группы значений СКО и разности значения σ_2 и среднего значения СКО для второй группы значений СКО:

$$\begin{cases} |\tilde{\sigma}_1 - \sigma_1(j_1)| > T_2, \\ |\tilde{\sigma}_2 - \sigma_2(j_2)| > T_2, \end{cases} \quad (8)$$

где $\tilde{\sigma}_1$ – среднее значение СКО для положительного направления смещения координат точек при всех положениях окна фильтра; T_2 – заданное пороговое значение; $\tilde{\sigma}_2$ – среднее значение СКО для отрицательного направления смещения координат точек при всех положениях окна фильтра.

Если значения полученных разностей больше установленного порога T_2, точка считается принадлежащей искомому объекту. Значение порога T_2 определяется из общего уровня яркости изображения.

Таким образом, функция отклика КИХ-фильтра в исследуемой точке дает положительный отклик, если для этой точки выполняются одновременно условие (7) и условие (8). Для точек с положительным значением функции отклика КИХ-фильтра строится карта найденных минимальных значений СКО и карта соответствующих этим значениям углов поворота. Результаты работы метода распознавания объектов дорожной сети на космических снимках представлены на рис. 2.

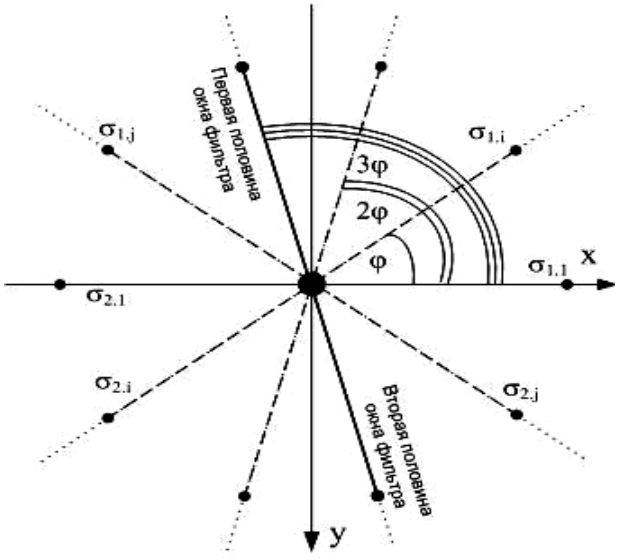


Рис. 1. Исследование окна фильтра

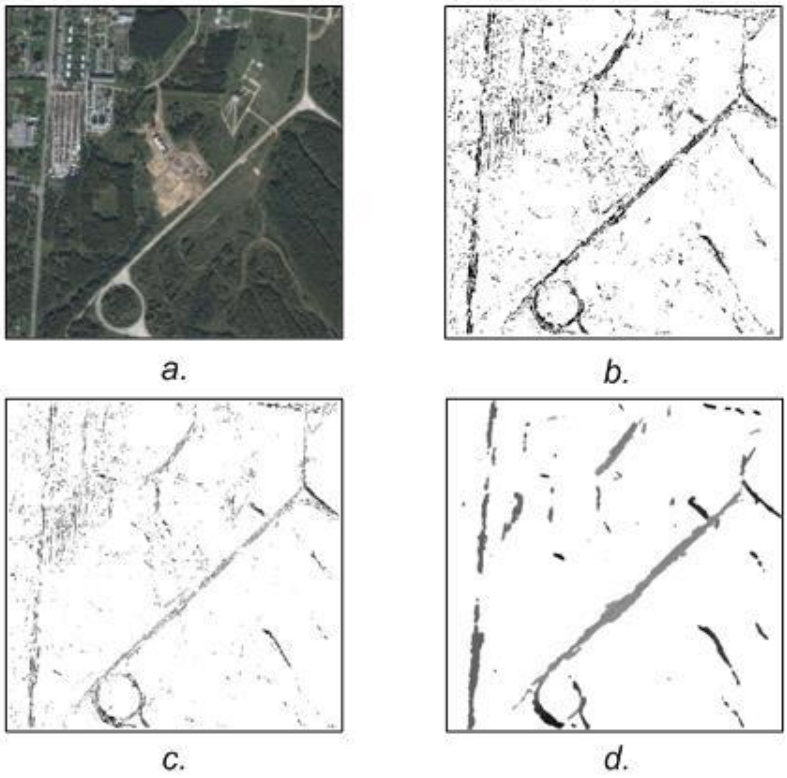


Рис. 2. Результаты работы метода распознавания объектов дорожной сети на космических снимках:
a – исходное изображение; *b* – полученная карта значений СКО;
c – полученная карта значений углов поворота окна фильтра;
d – результат применения алгоритма дополнения объектов по направлению угла поворота

При недостаточной яркости и четкости исследуемого изображения часть точек объектов дорожной сети может быть не определена. Поэтому для построения объектов дорожной сети и компенсации потерянных точек проводится дополнительная обработка полученных данных. Для этого применяется карта углов поворота окна фильтра, так как она содержит информацию о направлении дорожного полотна относительно оси абсцисс изображения.

На основе дополненной карты углов поворота (рис. 2, *d*) осуществляется оценка положений объектов дорожной сети на аэрокосмических изображениях.

Метод распознавания объектов дорожной сети на космических снимках позволяет распознавать объекты дорожной сети, в том числе на зашумленных изображениях и на изображениях с недостаточной яркостью. Предложенный метод основан на поиске объектов, обладающих необходимыми свойствами и характеристиками. Данное решение позволяет использовать метод для автоматизации построения карт дорожной сети.

Список литературы

1. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учеб. пособие. М.: Логос, 2001. 264 с.

2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // Мир цифровой обработки. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

3. Орлов В.А. Автоматизированное распознавание лесных дорог по космическим снимкам сетей [Электронный ресурс]. URL: http://science-bsea.narod.ru/2006/les_2006/orlov_avtomatizir.htm.

4. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры [пер. с англ.]. М.: Мир, 1982. 589 с.

Получено 31.05.12.

A.A. Yashenko, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: annajashenko@rambler.ru)

S.Yu. Miroshnichenko, Candidate of Sciences, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: oldguy7@rambler.ru)

METHOD OF ROADS DISTINCTION IN AEROSPACE IMAGES

The article covers advantages of further development of methods and means of lengthy geospatial objects distinction automation. It proposes a method of roads distinction in aerospace images based on recognition and searching of objects having basic features of road objects.

Key words: *road objects, lengthy geospatial objects, aerospace images.*

УДК 681.3

А.Ф. Рыбочкин, д-р техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: Anat_ryboch@mail.ru),

А.В. Мельников, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: Aleksanches357@gmail.com)

КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ НА ПЛОСКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОПАРНОЙ СЕТКИ

Показано, что с использованием многомерного регрессионного анализа, имея результаты экспериментальных замеров термоЭДС в узлах выбранного столбца сетки из термопар в интервале измеряемых температур, можно получить регрессионные модели, с использованием которых можно по замеренным значениям термоЭДС в узлах термопарной сетки вычислить температуры, до которых были нагреты эти узлы, тепловым полем, распределённым на плоскости.

Ключевые слова: *тепловые поля, термопарная сетка, множественная регрессия, плоскость.*

***

Рассмотрена возможность применения термопарной сетки для контроля распределения теплового поля в плоскости пчелиной рамки, в которой смонтировали матрицу термопар 8×4. Ранее данные исследования проводились с выводом систем линейных алгебраических уравнений [1].

В данной работе рассматривается иной метод расчёта температур в узлах термопарной сетки выбранного столбца с использованием регрессионного анализа.

Исследуем термопарную сетку (рис. 1). Для первого столбца матричной сетки (датчики 1, 2, 3, 4) были измерены значения термоЭДС при различных температурах охлаждения/нагрева (от –20°С до 45°С). Температура в лаборатории составляла 25°С.

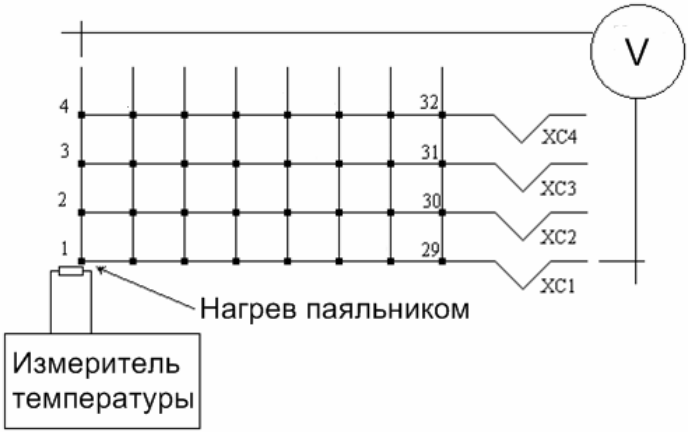


Рис. 1. Схема эксперимента для измерения термоЭДС термопарной сетки

Были использованы различные варианты охлаждения/нагрева (комбинации нагрева из 1-го узла, 2-х, 3-х и 4-х) и была выведена система из 4-х линейных алгебраических уравнений для описания каждого узла. Часть результатов измерений представлена в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные (цветом выделены нагреваемые узлы)

T1узла, °C	T2узла, °C	T3узла, °C	T4узла, °C	Тэдс1, мВ	Тэдс2, мВ	Тэдс3, мВ	Тэдс4, мВ
-20	25	25	25	-308	-290	-261	-296
-15	25	25	25	-274	-258	-233	-264
-10	25	25	25	-240	-226	-205	-232
-5	25	25	25	-206	-194	-177	-200
0	25	25	25	-172	-162	-149	-168
5	25	25	25	-138	-130	-121	-136
10	25	25	25	-104	-98	-93	-104
15	25	25	25	-70	-66	-65	-72
20	25	25	25	-34	-32	-28	-32
25	25	25	25	1	2	1	2
30	25	25	25	35	31	28	33
35	25	25	25	72	65	61	68
40	25	25	25	107	96	89	101
45	25	25	25	142	127	117	134
-20	-20	25	25	-634	-682	-670	-632
-15	-15	25	25	-563	-605	-595	-563
-10	-10	25	25	-492	-528	-520	-494
-5	-5	25	25	-421	-451	-445	-425
0	0	25	25	-350	-374	-370	-356
5	5	25	25	-279	-297	-295	-287
10	10	25	25	-208	-220	-220	-218
15	15	25	25	-137	-143	-145	-149
20	20	25	25	-71	-77	-75	-69
25	25	25	25	2	1	2	1
30	30	25	25	70	75	68	72
35	35	25	25	138	147	140	152
40	40	25	25	208	222	208	224
45	45	25	25	278	297	276	296
-20	-20	-20	25	-777	-694	-810	-696
-15	-15	-15	25	-691	-617	-720	-619
-10	-10	-10	25	-605	-540	-630	-542
-5	-5	-5	25	-519	-463	-540	-465
0	0	0	25	-433	-386	-450	-388
5	5	5	25	-347	-309	-360	-311
10	10	10	25	-261	-232	-270	-234
15	15	15	25	-175	-155	-180	-157
20	20	20	25	-86	-77	-90	-77

Окончание табл. 1

T1узла, °C	T2узла, °C	T3узла, °C	T4узла, °C	Тэдс1, мВ	Тэдс2, мВ	Тэдс3, мВ	Тэдс4, мВ
25	25	25	25	1	1	1	2
30	30	30	25	88	76	90	79
35	35	35	25	175	155	180	157
40	40	40	25	263	231	270	236
45	45	45	25	351	307	360	315
-20	-20	-20	-20	-950	-940	-1041	-1026
-15	-15	-15	-15	-845	-837	-924	-911
-10	-10	-10	-10	-740	-734	-807	-796
-5	-5	-5	-5	-635	-631	-690	-681
0	0	0	0	-530	-528	-573	-566
5	5	5	5	-425	-425	-456	-451
10	10	10	10	-320	-322	-339	-336
15	15	15	15	-215	-219	-222	-221
20	20	20	20	-105	-103	-117	-115
25	25	25	25	1	2	1	1
30	30	30	30	106	108	110	110
35	35	35	35	212	216	220	219
40	40	40	40	318	324	330	329
45	45	45	45	424	432	440	439

Алгоритм определения температур методом множественной регрессии представлен на рис. 2.

Результаты расчета для первого узла, где Y_n – температура соответствующего узла, а X_n– термоЭДС (табл. 2, 3).

Рис. 2. Алгоритм множественной регрессии

Таблица 2

Парные коэффициенты корреляции

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4
Y	1	0.96459	0.96608	0.95225	0.9597
X_1	0.96459	1	0.99708	0.99803	0.99728
X_2	0.96608	0.99708	1	0.99586	0.99706
X_3	0.95225	0.99803	0.99589	1	0.99696
X_4	0.9597	0.99728	0.99706	0.99696	1

Таблица 3

Результаты расчета многомерной регрессии

Независимые переменные					
Перем.	Среднее значение	СКО	Корреляция	Коэф. регрессии	T
X_1	-193,69	313,52	0,96459	0,1787	36,204
X_2	-190,27	306,55	0,96608	0,07745	37,034
X_3	-198,63	320,13	0,95225	-0,1787	30,875
X_4	-194,96	312,94	0,9597	-0,009408	33,807
Зависимая переменная		**Показатель**			**Значение**
Среднее значение	СКО	Свободный член			24
12	20,363	Коэф. множественной корреляции			0,98241
		$S_{ОСТ}$			3,8814
		Число степеней свободы $k_1 = p$			4
		Число степеней свободы $k_2 = n - p - 1$			95
		$F_{НАБЛ}$			657,45

Проверка гипотез:

1. Проверим значимость выборочного множественного коэффициента корреляции при уровне значимости 0.01:

$R_в = 0,98241$

$H_0 : R_{ген} = 0; H_1 : R_{ген} \neq 0$. Находим $T_{табл} = 51.282,$

$t_{крит.дв.}(0.01;95) = 2.66.$

Так как $T_{набл} > t_{крит.дв.}$, нулевую гипотезу отвергаем, справедлива конкурирующая гипотеза, т. е. связь между результативным признаком и совокупностью факторных признаков тесная.

2. Коэффициент детерминации $D = (R_в^2) \times 100\% = (0.98241)^2 \times 100\% = 96.5129\%$.

Следовательно, вариация результативного признака в среднем на 96.5% объясняется за счет вариации факторных признаков.

3. Остаточная дисперсия. Часть экспериментальных данных и их расчеты приведены в таблице 4.

Находим

$$F_{набл} = (45500 - 1772.8) \cdot 95 / 1772.8 \cdot 4;$$

$$F_{набл} = 657.45; F_{крит}(0.01;4;95) = 3.65.$$

Таблица 4

№	Y_i	$Y(x_i)$	$Y_i - Y(x_i)$	$(Y_i - Y(x_i))^2$	$(Y_i - Y_{ср})^2$
107	20	19.40234	0.597655	0.357192	49.97027
108	25	23.91171	1.088286	1.184366	145.6599
109	30	30.22134	-0.22134	0.048991	291.3496
110	35	36.68504	-1.68504	2.839343	487.0392
111	40	43.13616	-3.13616	9.83547	732.7289
112	45	49.58728	-4.58728	21.0431	1028.419
				Σ=1772.8	Σ=45500

Так как $F_{набл} > F_{крит}$, нулевую гипотезу отвергаем, справедлива конкурирующая гипотеза, т. е. многофакторная регрессионная модель значима.

В итоге были получены следующие уравнения для каждого узла:

$$\begin{cases} Y_1 = 23{,}77 + 0{,}212 \cdot x_1 + 0{,}073 \cdot x_2 - \\ \quad -0{,}205 \cdot x_3 - 0{,}012 \cdot x_4; \\ Y_2 = 23{,}85 + 0{,}184 \cdot x_1 - 0{,}045 \cdot x_2 - \\ \quad -0{,}14 \cdot x_3 + 0{,}07 \cdot x_4; \\ Y_3 = 24{,}09 + 0{,}369 \cdot x_1 - 0{,}232 \cdot x_2 - \\ \quad -0{,}178 \cdot x_3 + 0{,}09 \cdot x_4; \\ Y_4 = 23{,}49 + 0{,}18 \cdot x_1 + 0{,}011 \cdot x_2 - \\ \quad -0{,}199 \cdot x_3 + 0{,}071 \cdot x_4. \end{cases}$$

Таким образом, с использованием многомерного регрессионного анализа, имея результаты экспериментальных замеров термоЭДС в узлах выбранного столбца сетки из термопар в интервале измеряемых температур, можно получить регрессионные модели, с использованием которых можно по замеренным значениям термоЭДС в узлах термопарной сетки вычислить температуры, до которых были нагреты эти узлы. Для уменьшения погрешностей расчёта температур с применением регрессионных моделей необходимо сделать большую выборку значений измеряемых термоЭДС при различных задаваемых температурах. Данный метод измерения температур на плоскости может найти применение для контроля распределения теплового поля по плоскости пчелиной рамки.

Список литературы

1. Микрокримат пчелиного жилища, его контроль и регулирование / Е.К. Еськов, А.Ф. Рыбочкин, И.С. Захаров, В.А. Тобоев; Курск. гос. ун-т. Курск, 2009. 373 с.

2. Рыбочкин А.Ф. Повышение эффективности пасеки с применением электроподогрева пчелиных семей: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012. 292 с.

3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 543 с.

Получено 11.06.12.

A.F. Rybochkin, Doctor of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: Anat_ryboch@mail.ru),

A.V. Melnikov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: Aleksanches357@gmail.com)

CONTROL OF THERMAL FIELD DISTRIBUTION IN THE PLANE WITH NETS THERMOCOPLE

It is shown that using a multivariate regression analysis, with the results of experimental measurements of thermoelectric power in the nodes selected grid column of the thermocouples in the range of measured temperatures

can be obtained regression models, using which it is possible for the measured values of thermoelectric power in the grid compute nodes thermocouple temperature to which they were heated nodes distributed thermal field in the plane.

Key words: *thermal field thermocouple grid, multiple regression, the plane.*

УДК 519.725

С.И. Егоров, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sie58@mail.ru)

В.С. Титов, д-р техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

В.С. Панищев, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: gskunk@yandex.ru)

М.И. Труфанов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: temp1202@mail.ru)

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПИСОЧНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ КОДОВ РИДА-СОЛОМОНА ПУТЕМ ВЫБОРА ВЕКТОРА ОШИБОК ИЗ СПИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯГКИХ РЕШЕНИЙ

Рассматривается реализация мягкого декодирования кодов Рида-Соломона, основанная на алгоритме списочного декодирования, дополненного выбором вектора ошибок из списка с использованием мягких решений. Приводятся результаты исследования эффективности реализации мягкого декодирования путем имитационного моделирования.

Ключевые слова: *коды Рида-Соломона, мягкое декодирование кодов Рида-Соломона.*

***

Введение

В современных технологиях передачи и хранения информации все большую роль играют средства помехоустойчивого кодирования. В качестве примера можно привести цифровое телевидение (различные системы DVB) и оптические диски (DVD). Во всех стандартах DVB и DVD в качестве средств помехоустойчивого кодирования используются коды Рида-Соломона.

Развитие средств помехоустойчивого кодирования для систем передачи и хранения информации в настоящее время идет двумя путями:

1) внедрение новых кодов с принятием новых стандартов и изменением форматов передачи информации, влекущее за собой появление проблемы совместимости с уже существующим оборудованием;

2) использование новых алгоритмов декодирования с целью повышения эффективности применения стандартных форматов передачи информации.

Повышение эффективности применения кодов Рида-Соломона возможно по трем направлениям:

1) исправление дополнительных ошибок за границей половины минимального кодового расстояния;

2) применение «мягкого» декодирования;

3) применение итеративного декодирования.

В представленной работе рассматривается вариант реализации мягкого декодирования кодов Рида-Соломона, основанный на алгоритме списочного декодирования, введенном в [1]. Мягкие решения при этом используются для выбора наиболее вероятного вектора ошибок из списка. В работе приводятся результаты исследования эффективности мягкого декодирования, полученные путем имитационного моделирования.

Коды Рида-Соломона

Коды Рида-Соломона (РС-коды) характеризуются параметрами (n, k, d), где n – длина кодового слова, k – количество информационных символов в кодовом слове и d – минимальное кодовое расстояние. При этом количество проверочных символов в слове $r = (n–k)$ и $d = r+1$. Символы кодового слова представляют собой элементы поля Галуа $GF(q)$.

Известно, что коды Рида-Соломона могут гарантированно исправлять любой набор из t ошибочных символов тогда и только тогда, когда выполняется условие $2t+1 \le d$ или $t \le t_C = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$ [2]. Для исправления вплоть до t_C ошибок разработано несколько эффективных алгоритмов, из которых наиболее известны алгоритм Берлекэмпа-Месси и алгоритм Евклида.

В [3] Гурасвами и Судан предложили алгоритм списочного декодирования РС-кодов, исправляющий ошибочные символы и в том случае, когда вышеприведенное неравенство нарушается (т.е. за границей половины минимального кодового расстояния). На основе этого алгоритма Кеттер и Варди разработали алгоритм мягкого декодирования [4]. Их алгоритм позволяет значительно лучше использовать корректирующие возможности кодов Рида-Соломона, чем классические алгоритмы декодирования, исправляющие ошибки в пределах половины минимального кодового расстояния. Основной недостаток алгоритма Кеттера-Варди – большая вычислительная сложность, ограничивающая его использование только экспериментальными образцами декодеров.

Альтернативный алгоритм списочного декодирования кодов Рида-Соломона [1], позволяющий исправлять максимальное число ошибок за границей половины минимального кодового расстояния независимо от скорости кода (k/n), приведен ниже. Упрощенная версия алгоритма декодирования, позволяющая исправить t_C+1 ошибочных символов, описана в [5].

Алгоритм списочного декодирования кодов Рида-Соломона

Алгоритм списочного декодирования [1] относится к методам синдромного декодирования и базируется на применении алгоритма Берлекэмпа-Месси [2]. Он предусматривает поиск локаторов $t_C+\tau$ ошибочных символов ($t_C = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$ – число гарантированно исправляемых кодом ошибок, τ – число дополнительно исправляемых ошибок) в кодовом слове, которые являлись бы обратными к корням возможного полинома локаторов ошибок $\Lambda^{(2t_C+2\tau)}(x)$ степени $t_C+\tau$. Этот полином мог бы быть получен на выходе алгоритма Берлекэмпа-Месси после $2(t_C+\tau)$ итераций при правильном определении неизвестных невязок на последних 2τ итерациях.

Предлагаемый алгоритм декодирования предусматривает выполнение следующих этапов:

1. Вычисляется полином синдромов $S(x)$ [2]. Если компоненты синдрома нулевые (ошибок нет), осуществляется переход к п.12.

2. Вычисляются полином локаторов ошибок $\Lambda^{(2t_C)}(x)$, вспомогательный полином $B^{(2t_C)}(x)$ и формальная степень полинома локаторов L_{2t_C} путем выполнения $2t_C$ итераций алгоритма Берлекэмпа-Месси.

3. Если $L_{2t_C} \le t_C$, находятся корни полинома $\Lambda^{(2t_C)}(x)$. Если их число равняется L_{2t_C}, то обратные к ним значения принимаются как локаторы ошибок. По формуле Форни [2] вычисляются значения ошибок. Ложная конфигурация ошибок отфильтровывается, верная добавляется в список.

4. Вычисляется управляющая переменная s (shift): $s = t_C - L_{2t_C}$. Если $s \geq \tau$ или $s < -\tau$, осуществляется переход к п.11.

5. Вычисляются преобразования Фурье полиномов $\Lambda^{(2t_C)}(x)$ и $B^{(2t_C)}(x)$.

6. Когда $s \geq 0$, вычисляются множества значений дробей $R_i = \alpha^{(2s+1)i} B^{(2t_C)}(\alpha^{-i}) / \Lambda^{(2t_C)}(\alpha^{-i})$, или $R_i = \alpha^{(-2s-1)i} \Lambda^{(2t_C)}(\alpha^{-i}) / B^{(2t_C)}(\alpha^{-i})$ в противном случае (α – примитивный элемент поля GF(q); i=0,…n-1).

7. Для v = 1,…, τ выполняются п. 8 – п. 10 (в каждом таком цикле находятся комбинации ошибок веса $t_C + v$).

8. Вычисляются вспомогательные переменные (см. п. 9): $l = 2v$, $o1 = v - |s+1|$, $o2 = v - |s|$, $w = t_C + 1 - v$. После чего п.9 – п.10 выполняются $v - |s|$ раз (в случае $v = -s$ эти пункты выполняются один раз).

9. Вычисляются последовательности $S_{i_1,i_2,\ldots,i_{l-1}}$ возможных значений невязки $\Delta^{i_1,i_2,\ldots,i_l}$ для всех возможных наборов индексов i_1, i_2,…,i_{l-1} ($i_l = i_{l-1}+1$,…, n-1) и осуществляется поиск значений Δ, которые встречаются точно w раз в какой-то из этих последовательностей, где

$$S_{i_1,i_2,\ldots,i_{l-1}} = \{\Delta^{i_1,i_2,\ldots,i_l} = \frac{F^{o1}(i_1,i_2,\ldots,i_l,R_{i_1},R_{i_2},\ldots,R_{i_l})}{F^{o2}(i_1,i_2,\ldots,i_l,R_{i_1},R_{i_2},\ldots,R_{i_l})};$$

$$i_l = \overline{i_{l-1}+1,n-1}\};$$

$$i_{l-1} = \overline{i_{l-2}+1,n-1-w},\ldots,$$

$$i_j = \overline{i_{j-1}+1,n-w-l+j},\ldots,$$

$$i_1 = \overline{0,n-w-l+1};$$

$$F^o(i_1,i_2,\ldots,i_l,R_{i_1},R_{i_2},\ldots,R_{i_l}) = \sum_{\substack{\forall\{j_1,j_2,\ldots,j_o\}=J \\ j_1<j_2<\ldots<j_o \\ j_1,j_2,\ldots,j_o\in\{1,2,\ldots,l\}}} \left[\prod_{\substack{\forall\{k1,k2\} \\ k1<k2 \\ k1,k2\in J}} (\alpha^{i_{k1}}+\alpha^{i_{k2}}) \prod_{\substack{\forall\{k1,k2\} \\ k1<k2 \\ k1,k2\in\{1,2,\ldots,l\}\setminus J}} (\alpha^{i_{k1}}+\alpha^{i_{k2}}) \prod_{k=1}^{o} R_{i_{j_k}} \right].$$

В тех случаях, когда при вычислении каких-то из дробей R_{i_j} возникает деление на ноль, вычисление $F^o(i_1,i_2,\ldots,i_l,R_{i_1},R_{i_2},\ldots,R_{i_l})$ упрощается.

Если найдены значений Δ, которые встречаются точно w раз в какой-то из этих последовательностей, то значениями позиций ошибок являются значения индексов i_1, i_2,…,i_{l-1} этой последовательности и множество значений индекса i_l, соответствующего таким Δ. По формуле Форни вычисляются значения ошибок. Ложные конфигурации ошибок отфильтровываются, верные добавляются в список.

10. $l = l - 1$, $o1 = o1 - 1$, $o2 = o2 - 1$, $w = w + 1$.

11. Если список локаторов и значений ошибок пуст, то принимается решение о наличии неисправимых ошибок в кодовом слове. В противном случае возвращается список векторов ошибок, определенных для данного кодового слова.

12. Конец.

Приведенный алгоритм реализует списочное декодирование, он находит все кодовые слова, попавшие в сферу радиуса $t_C+\tau$ вокруг принятого из канала слова.

Асимптотическая сложность алгоритма растет полиномиально относительно n для фиксированного τ. Для малых значений τ она значительно меньше, чем сложность алгоритма Гурусвами–Судана.

Реализация мягкого декодирования кодов Рида-Соломона на основе выбора вектора ошибок из списка

В результате списочного декодирования слова кода Рида-Соломона формируется список возможных векторов ошибок $\{e^{(a)}\}$, a=0,…p-1 (p – размер списка). Для коррекции ошибок в слове необходимо из списка выбрать единственный наиболее вероятный вектор ошибок.

При использовании РС-кодов с относительно большим d ($d \geq 8$) в случае, если в принятом из канала слове произошли t+1 ошибок, в списке чаще всего находится только один вектор ошибок (p = 1), который и используется для их исправления. Процедура выбора наиболее вероятного вектора ошибок из списка для этих кодов не обязательна, хотя она и даст некоторое дополнительное уменьшение FER на выходе декодера.

Для РС-кодов с небольшим d списки с одним вектором ошибок (p = 1) наблюдаются редко. То же самое происходит при увеличении значения τ и для РС-кодов с относительно большим значением d ($d \geq 8$). В этих случаях выбор вектора ошибок из списка обязателен.

Для выбора вектора ошибок из списка можно использовать информацию о надежности принятых из канала символов или отдельных бит. Ниже приводится обоснование процедуры выбора вектора ошибок из списка для канала с аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN) и модуляцией BPSK.

Вектор ошибок целесообразно выбрать из списка таким образом, чтобы соответствующее ему исправленное слово было ближе всего к слову, принятому из канала. Меру близости можно определить следующим образом:

$$d^{(a)} = \sum_{j=0}^{n-1}\sum_{k=0}^{m-1}(r^*_{j,k} - c^{*(a)}_{j,k})^2 = \\ = \sum_{j=0}^{n-1}\sum_{k=0}^{m-1}(r^*_{j,k} - Map(r_{j,k} - e^{(a)}_{j,k}))^2, \quad (1)$$

где m – количество бит в символе; $r^*_{j,k}$ и $r_{j,k}$ – «мягкое» и «жесткое» решения относительно принятого из канала бита кодового слова соответственно; $e^{(a)}_{j,k}$ – битовое представление вектора ошибок; a – номер вектора ошибок в списке, a = 0, …, p-1; $c^{*(a)}_{j,k}$ – канальное представление исправленного кодового слова; *Map(x)* – функция, отображающая логическое значение бита в канальное представление: *Map(x)* = –1, если x = 1, *Map(x)*= +1, если x = 0.

Из (1) можно получить

$$d^{(a)} = \sum_{j=0}^{n-1}\sum_{k=0}^{m-1}(\left|r^*_{j,k}\right| - 1)^2 + \sum_{j=0}^{n-1}\sum_{k=0}^{m-1}(4\left|r^*_{j,k}\right|e^{(a)}_{j,k}).$$

Первая сумма не зависит от вектора ошибок и является постоянной для принятого из канала слова. Вторую сумму можно представить в следующем виде:

$$\Delta d^{(a)} = 4\sum_{i=0}^{\nu^{(a)}-1}\sum_{k=0}^{m-1}(\left|r^*_{\log(X^{(a)}_i),k}\right|y^{(a)}_{i,k}),$$

где $\nu^{(a)}$ – число ненулевых ошибочных символов вектора ошибок $e^{(a)}$; $X^{(a)}_i$ – локаторы этих ошибочных символов; $y^{(a)}_{i,k}$ – значения бит ошибочных символов; $\Delta d^{(a)}$ находится как учетверенная сумма абсолютных значений канальных бит принятого слова, в которых исправляются ошибки.

Для нахождения минимального расстояния между принятым и исправленным кодовым словом достаточно найти минимальное значение $\Delta d^{(a)}$ для всех a = 0…p–1, и номер z вектора ошибок в списке определяется как

$$z = \underbrace{\arg\min}_{a=o,\ldots,l-1}(\sum_{i=0}^{\nu^{(a)}-1}\sum_{k=0}^{m-1}(\left|r^*_{\log(X^{(a)}_i),k}\right|y^{(a)}_{i,k})). \quad (2)$$

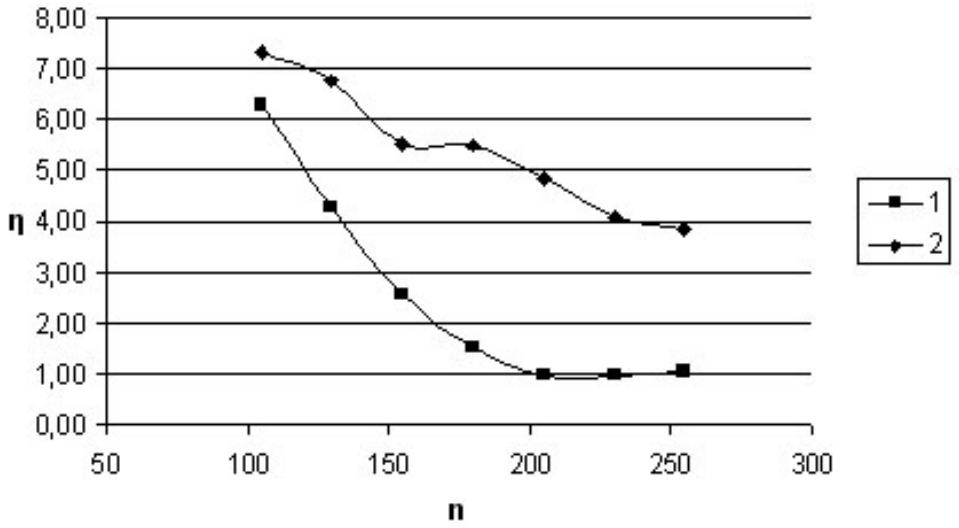


Рис. Зависимость коэффициента повышения достоверности от длины РС-кода

Результаты исследования алгоритма мягкого декодирования кодов Рида-Соломона, использующего алгоритм списочного декодирования [1] с последующим выбором вектора ошибок из списка по формуле (2), приведены на рисунке.

Алгоритм исследовался применительно к РС-кодам с d = 13, определенным над конечным полем GF(2^8). Модель канала – BPSK, AWGN, E_b/No =7 db. На графике η обозначает коэффициент повышения достоверности, равный отношению FER на выходе стандартного декодера к FER на выходе декодера, исправляющего t_C+1 ошибку. Кривая 1 соответствует случаю исправления t_C+1 ошибок без использования мягких решений, 2 – с использованием мягких решений.

Выводы

Использование мягких решений для выбора векторов ошибок из списка позволяет расширить область эффективного применения алгоритма списочного декодирования [1] для рассмотренных кодов Рида-Соломона относительно n примерно в два раза.

Работа поддержана грантом Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (№ 14.B37.21.0621).

Список литературы

1. Егоров С.И. Алгоритм декодирования кодов Рида-Соломона, исправляющий вплоть до $n–k$ ошибок в кодовом слове // Труды РНТОРЭС им. А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Вып. XI-1. М., 2009. С. 27–30.

2. Кларк Д., Кейн Д. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: [пер. с англ.]. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.

3. Guruswami V., Sudan M. Improved Decoding of Reed-Solomon and Algebraic-Geometry Codes // IEEE Trans. Inform. Theory. 1999. Vol. 45, № 6. P. 1757–1767.

4. Koetter R., Vardy A. Algebraic soft-decision decoding of Reed-Solomon codes // IEEE Trans. Inform. Theory. 2003. Vol. 49, № 6. P. 2809–2825.

5. Egorov S., Markarian G., Pickavance K. A Modified Blahut Algorithm for Decoding Reed-Solomon Codes Beyond Half the Minimum Distance // IEEE Trans. on Commun. 2004. Vol. 52, № 12. P. 2052–2056.

Получено 12.06.12.

S.I. Egorov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sie58@mail.ru)

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

V.S. Panischev, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: e-mail: gskunk@yandex.ru)

M.I. Trufanov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: e-mail: temp1202@mail.ru)

LIST DECODING OF REED-SOLOMON CODES WITH ERROR PATTERN SELECTING FROM LIST USING SOFT DECISIONS

New algorithm for soft decoding of Reed-Solomon codes is proposed. This algorithm is based on selecting error pattern from the error pattern list with use of soft decisions. The simulation results of the algorithms are presented.

Key words: *Reed-Solomon codes, soft decoding, decoding beyond half the minimum distance.*

УДК 003.26, 004.056.5

А.С. Сизов, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
Юго-Западный государственный университет (Курск) (тел.: (4712) 58-19-16)

Е.И. Никутин, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр
Федерального государственного унитарного предприятия «18 ЦНИИ» МО РФ (Курск)
(e-mail: g534_nik@mail.ru)

МОДЕЛЬ КОНТЕЙНЕРА В ФОРМАТЕ JPEG ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В статье разработана математическая модель стеганографического изображения в формате JPEG, основанная на модели немодифицированного изображения и учитывающая обусловленный встраиванием информации шум в пространственной области и в области дискретного косинусного преобразования.

Ключевые слова: *стеганография, модель математическая, JPEG.*

***

Исход информационного противоборства отправителя стеганографического сообщения и нарушителя (аналитика) разрешается в пользу стороны, обладающей моделью контейнера, обеспечивающей более детальный учёт особенностей стеганографических преобразований [1, 2]. В этой связи методы встраивания информации, лежащие в основе указанных средств, должны базироваться на моделях стеганографических контейнеров, позволяющих обеспечить снижение информативности используемых аналитиком признаков распознавания. Поскольку современный стеганографический анализ основан на значительном количестве характеристик, их одновременный контроль не представляется возможным. В этих условиях обеспечение скрытности при передаче информации возможно двумя путями. Первый из них состоит в формировании СС с незначительным количеством модификаций контейнеров. Соответственно, пропускная способность канала скрытой передачи информации, организованного этим путём, невелика. Второй подход основывается на предположении, впервые изложенном в [3], согласно которому скрытность, достигаемая применением стеганографического метода, может быть повышена путём контроля значений некоторых наиболее существенных признаков. Следовательно, для разработки метода стеганографической защиты информации необходимо сформировать модель стеганографического контейнера,

адекватно отражающую влияние её встраивания на существенные характеристики контейнера. Сформируем модель стеганографического изображения в формате JPEG.

Анализ множеств признаков FBS [3], PEV-274 [4], MP [5], CC-PEV [6] и CC-C300 [7], обеспечивающих высокую достоверность распознавания стеганографических изображений, показывает, что в основе многих из них лежат такие первичные признаки, как элементы гистограмм квантованных коэффициентов (КК) дискретного косинусного преобразования (ДКП) и производные яркостных характеристик элементов пространственной области. С учётом изложенного будем полагать, что контроль этих признаков, направленный на снижение их информативности, обеспечит снижение информативности признаков из состава перечисленных множеств, в том числе вторичных признаков, непосредственный контроль которых представляет затруднения.

Будем считать естественными и учитывать взаимосвязи разрабатываемой модели с математической моделью немодифицированного изображения в формате JPEG, которая включает соотношения, определяющие преобразования над исходными данными изображения, предусмотренные рекомендацией JPEG ISO/IEC 10918-1 [8]. В основу алгоритма сжатия JPEG положено двумерное дискретное косинусное преобразование (ДКП), сопоставляющее смежным блокам изображения размером 8 на 8 пикселей матрицы коэффициентов ДКП, которые представляют исходные блоки в виде матриц той же размерности со значениями амплитуд предопределённых частот. В результате ДКП и последующего квантования часть коэффициентов приобретает близкие к нулю либо нулевые значения, которые составляют «потери» данных и требуют существенно меньший объём памяти при хранении благодаря энтропийному сжатию.

Придерживаясь предложенных в [3] обозначений, зададим полноцветное изображение в формате JPEG матрицей яркостных КК ДКП $d_k^Y(i,j)$, матрицами цветоразностных КК ДКП $d_k^r(i,j)$ и $d_k^b(i,j)$, и матрицами квантования для яркостных и цветоразностных элементов ДКП $q^Y(i,j)$, $q^{rb}(i,j)$, $i,j = 0, \ldots, 7$, $k = 1, \ldots, B$, где запись $d_k^X(i,j)$ обозначает (i,j)-й КК ДКП яркостной или цветоразностной составляющей в k-м блоке изображения из B блоков.

Введём дополнительные обозначения:

$s'(x,y)$ – значение яркостной (цветоразностной) составляющей пикселя с координатами $(x,\ y)$ в блоке с учётом сдвига уровня на 128, $0 \le x < 8$, $0 \le y < 8$;

$d'(i,j)$ – значение неквантованного коэффициента ДКП с координатами (i,j) в блоке;

S' и D' – матрицы яркостей составляющих пикселей с учётом сдвига уровня и неквантованных коэффициентов ДКП соответствующего блока;

S – матрица яркостей составляющих пикселей без учёта сдвига уровня (исходного изображения);

D – матрица квантованных коэффициентов ДКП.

Пусть модификация изображения не предусматривает изменения его фактора качества. Тогда в результате модификации коэффициентов ДКП изменятся элементы матрицы $d_k^X(i,j)$, что повлечёт изменения в пространственной области изображения. Указанные изменения могут рассматриваться как шум из-за встраивания информации в области ДКП и в пространственной области [2, 9, 10].

Тогда обеспечение скрытности встраиваемой РИ может быть связано с решением задачи минимизации этого шума.

Рассмотрим возможность минимизации шума в области КК ДКП. Одним из следствий агрегирования энергии в результате ДКП и квантования является подобие огибающей глобальной гистограммы распределения значений КК ДКП параметрической функции плотности распределения Коши $P(u)=\frac{p-1}{2s}\left(\left|u/s+1\right|\right)^{-p}$, где u – значение коэффициента, $p>1$, $s>0$ – параметры распределения.

Это следствие используется в стеганографической системе MB1 [11], где для обеспечения скрытности встраиваемой информации гистограммы модифицированных КК ДКП целенаправленно приводятся к виду этой функции. В соответствии с этим распределением матрицы КК ДКП содержат максимальное количество нулевых значений и минимальное – наибольших по абсолютной величине. При этом с ростом абсолютных значений КК ДКП наблюдается постепенное снижение значений гистограмм.

При преобразовании аналогового видеосигнала в его цифровое представление в области КК ДКП возникает шум квантования, характерный для изображений JPEG. Величина его экстремальных значений ограничена половиной шага квантования, т.е. значениями матриц квантования $Q^{Y}(i,j)$ и $Q^{rb}(i,j)$. Встраивание сообщения за счёт модификации КК ДКП сформированного изображения JPEG увеличивает амплитуду шума в три раза, т.к. округлённый вверх КК ДКП может быть увеличен на единицу, а округлённый вниз, соответственно, уменьшен. Следовательно, шум в области ДКП складывается из шума квантования и шума, обусловленного встраиванием. Недостаточный контроль значений КК ДКП при встраивании может вызвать существенные искажения их глобальных, частных и двойных гистограмм.

На рисунке 1 приведены диаграммы разностей глобальных гистограмм ΔH в диапазоне значений $d=-10,\ldots,10$ для одного и того же изображения и соответствующих ему стеганографических контейнеров, полностью заполненных с применением двух различных стеганографических систем, где $\Delta H^{d}={}^{c}H^{d}-{}^{u}H^{d}$ – разность глобальных гистограмм стеганографического ${}^{c}H^{d}$ и исходного ${}^{u}H^{d}$ изображений, $H^{d}=\sum_{i,\,j=1}^{8} g_{ij}^{d}$ – элемент глобальной гистограммы изображения, g_{ij}^{d} – элемент двойной гистограммы изображения, показывающий, сколько раз в изображении встретился КК ДКП со значением d на энергетическом уровне (i,j)

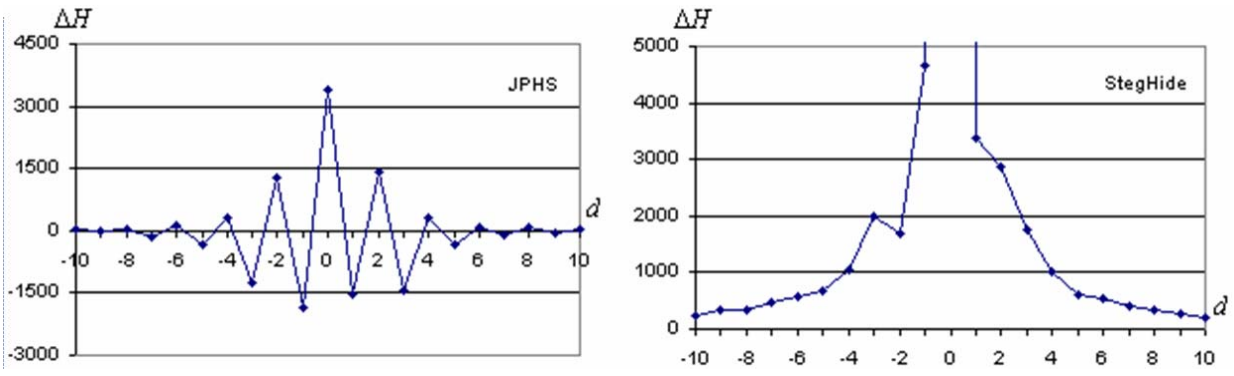


Рис. 1. Диаграммы разностей глобальных гистограмм ΔH, d = –10,…,10
для сообщений стеганографических систем JPHS и StegHide

Диаграммы отражают *индивидуальный характер воздействия исследуемых стеганографических систем на КК ДКП изображения*. Поскольку элементы глобальной гистограммы суммируют значения элементов частных гистограмм, то детальному анализу изменений в области ДКП способствует диаграмма разностей элементов частных гистограмм в некотором диапазоне значений КК ДКП. Для её двумерного представления целесообразно осуществить формирование для исходного и стеганографического изображений матриц вида

$$H = \begin{bmatrix} h_{00}^{-d_{\max}} \dots h_{00}^{0} \dots h_{00}^{d_{\max}} \\ h_{01}^{-d_{\max}} \dots h_{01}^{0} \dots h_{01}^{d_{\max}} \\ \vdots \\ h_{77}^{-d_{\max}} \dots h_{77}^{0} \dots h_{77}^{d_{\max}} \end{bmatrix},$$

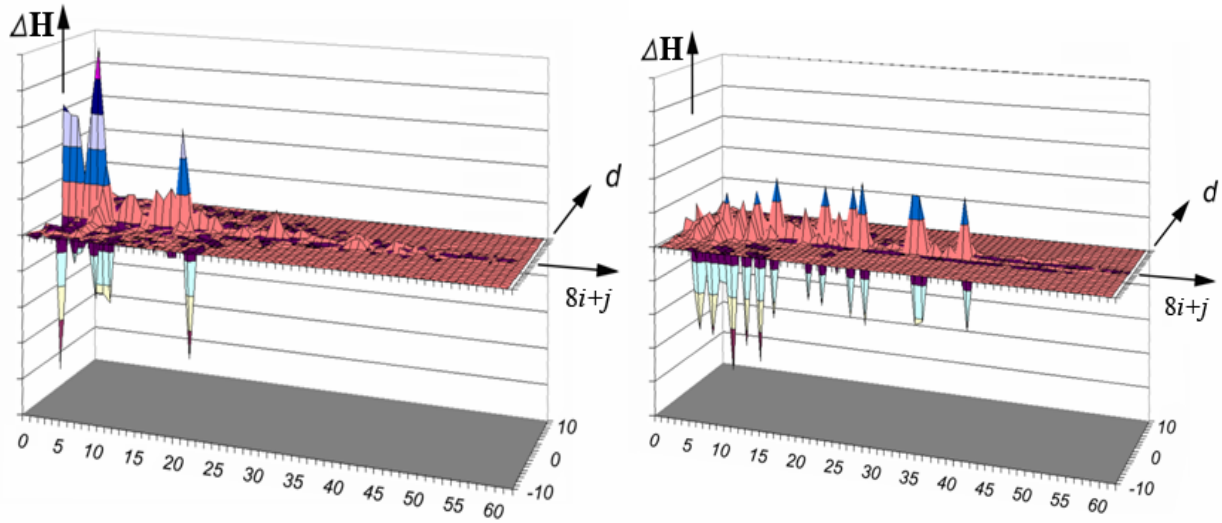
строки которых содержат элементы частных гистограмм h_{ij}^{d} значений $d_k(i, j)$ для режима (i, j), $i,\ j = 0, \dots, 7$, $d = -d_{\max}, \dots, d_{\max}$, $k = 1, \dots, B$, и вычисление разности полученных матриц $\Delta \mathrm{H} = {}^{c}\mathrm{H} - {}^{u}\mathrm{H}$. Нетрудно видеть, что в столбцах расположены значения двойных гистограмм g_{ij}^{d}, т.е. $h_{ij}^{d} = g_{ij}^{d}$.

На рисунке 2 представлены диаграммы разностей элементов частных гистограмм ΔH в диапазоне значений КК ДКП $d = -10, \dots, 10$ для полностью заполненных СС стеганографических систем JPHS и MB2.

Таким образом, диаграмма разностей элементов частных гистограмм описывает распределение шума из-за встраивания информации в области КК ДКП. Это распределение реализуется алгоритмом E встраивания информации в файлы JPEG путём модификации значений КК ДКП: $\Delta H = E(m, K)$, где m – встраиваемое сообщение, K – стеганографический ключ.

Поскольку при встраивании бита дополнительной информации изменяются значения КК ДКП, то значительное снижение этого шума может быть обеспечено путём уменьшения длины сообщения m. Тем не менее, очевидно, что контроль распределения этого шума, направленный на снижение значений разностей ${}^{c}h_{ij}^{d} - {}^{u}h_{ij}^{d}$, обеспечит снижение информативности признаков распознавания СС, основанных на оценках изменений элементов гистограмм КК ДКП. Однако такое перераспределение шума в области КК ДКП не обеспечивает его снижение, поэтому следует ожидать, что естественный для преобразования JPEG шум квантования в пространственной области изображения будет дополнен шумом, обусловленным модификацией КК ДКП. Это приведёт к увеличению пространственной блочности изображения из-за индуцированного шума в этой области.

Рассмотрим возможность снижения этого шума. В соответствии со стандартом кодирования JPEG [8] пространственная область изображения состоит из смежных блоков размером 8 на 8 пикселей. Интенсивность и цвет каждого пикселя определяются значениями интенсивностей трёх его цветовых компонент. Поэтому отдельный пространственный блок задаётся $8 \times 8 \times 3 = 192$ значениями интенсивностей его пикселей, которые рассчитываются из яркостной и цветоразностных матриц КК ДКП и таблиц квантования. При этом ДКП определяет взаимосвязь каждого ненулевого КК ДКП с каждым из 192 значений интенсивности цвета пикселей. Это обусловливает незначительное изменение интенсивностей цветовых компонент пикселей (для фактора качества изображения 85% – от 1 до 3 единиц интенсивности) в случайном подмножестве пикселей блока из-за модификации всего лишь на единицу только одного яркостного или цветоразностного КК ДКП в блоке. При этом такое подмножество может состоять как из нескольких пикселей, так и из нескольких десятков пикселей в блоке.



а) *б*)

Рис. 2. Диаграммы разностей элементов частных гистограмм ΔH для d = –10,…,10:
а – для CC JPHS; *б* – для CC MB2

Для количественного оценивания величины искажения пространственной области изображения из-за встраивания информации определим конечное состояние пространственной области стеганографического изображения как совокупность троек сумм исходных состояний цветовых плоскостей и соответствующих им шумовых составляющих, возникших из-за встраивания:

$$\left\{ {}^{c}S^{r},\ {}^{c}S^{g},\ {}^{c}S^{b} \right\}_{B} = \\ = \left\{ {}^{u}S^{r} + \Delta S^{r},\ {}^{u}S^{g} + \Delta S^{g},\ {}^{u}S^{b} + \Delta S^{b} \right\}_{B}.$$

Тогда оценкой шума в пространственной области может выступать сумма абсолютных значений искажений цветовых составляющих пикселей изображения:

$$\delta_{общ}^{rgb} = \sum_{k=1}^{B} \delta_{k}^{rgb},$$

$$\delta_{k}^{rgb} = \left\| \Delta S_{k}^{r} \right\|_{L_1} + \left\| \Delta S_{k}^{g} \right\|_{L_1} + \left\| \Delta S_{k}^{b} \right\|_{L_1},$$

где δ_{k}^{rgb} – соответствующая оценка шума для отдельного блока пикселей; L_1 – норма матрицы – сумма абсолютных значений её элементов.

Поскольку модификация КК ДКП в блоке может вызвать различные искажения в пространственной области, фиксируемые оценками δ_{k}^{rgb}, то возможные модификации могут быть упорядочены по величине вызываемых ими искажений. При этом на результат упорядочивания могут оказать влияние: принадлежность изменяемых коэффициентов к блоку яркостной или конкретной цветоразностной компоненты, значения изменяемых и неизменяемых коэффициентов $d_k(i,j)$, их энергетические уровни (i,j), а также величина и направление изменения (увеличение или уменьшение).

Преобразование цветовых пространств RGB $\rightarrow$ YCbCr [8] является линейным. Поэтому использование вместо δ_{k}^{rgb} подобной ей оценки $\delta_{k}^{YCbCr} = \left\| \Delta S_{k}'^{Y} \right\|_{L_1} + \left\| \Delta S_{k}'^{Cb} \right\|_{L_1} + \left\| \Delta S_{k}'^{Cr} \right\|_{L_1}$ не влияет на результат упорядочивания модификаций КК ДКП по величине результирующих искажений.

Оценку шума в отдельной пространственной составляющей при изменении КК ДКП в соответствующем блоке мож-

но выразить через сумму абсолютных значений разностей характеристик пикселей стеганографического и исходного изображений:

$$\delta_k^X = \left\| \Delta S_k'^X \right\|_{L_1} = \\ = \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} \left| {}^c s_k'^X (x,y) - {}^u s_k'^X (x,y) \right|,$$

где X обозначает отношение элемента к одной из составляющих: яркостной Y или цветоразностным Cr или Cb; ${}^c s_k'^X (x,\ y)$ и ${}^u s_k'^X (x,y)$ рассчитываются в соответствии с выражением для ОДКП.

Следствием свойства агрегирования энергии сигнала в низкочастотной (НЧ) является тот факт, что при прочих равных условиях модификация НЧ коэффициентов ДКП приводит к меньшим искажениям в пространственной области, чем такая же модификация высокочастотных (ВЧ) коэффициентов. Квантование коэффициентов ДКП усиливает шум в пространственной области, добавляя к нему шум квантования. Поскольку шаг квантования возрастает с частотой, то модификация ВЧ КК ДКП вызывает увеличенный шум по сравнению с шумом из-за модификации НЧ КК ДКП. При этом математическое ожидание шума пропорционально значению шага квантования модифицируемого КК ДКП:

$$\lim_{\hat{i},\hat{j}\to 0} M\left(\delta_k^X \left(\begin{array}{l} D_k^X, q^X(\hat{i},\hat{j}), \hat{i},\hat{j}, \\ {}^c d_k^X(\hat{i},\hat{j}), {}^u d_k^X(\hat{i},\hat{j}) \end{array} \right) \right) = \\ = \lim_{\hat{i},\hat{j}\to 0} \alpha\, q^X(\hat{i},\hat{j}) = \alpha,$$

где $q^X(\hat{i},\hat{j})$ – шаг квантования для модифицируемого коэффициента $d_k^X(\hat{i},\hat{j})$, α – коэффициент пропорциональности.

Поскольку элементы таблиц квантования цветоразностных данных имеют большие значения, чем соответствующие элементы для квантования яркостных данных, то при модификациях цветоразностных КК ДКП следует ожидать большие уровни шума в пространственной области, чем при модификациях яркостных коэффициентов:

$$M\left(\delta_k^{Cr}(\cdot)\right) > M\left(\delta_k^Y(\cdot)\right), \\ M\left(\delta_k^{Cb}(\cdot)\right) > M\left(\delta_k^Y(\cdot)\right)\ \forall(\hat{i},\ \hat{j}).$$

Учитывая возможность обеспечения повышения скрытности СС путём выборочного контроля признаков, следует ожидать, что уменьшение шума из-за встраивания в пространственной области обеспечит снижение информативности признаков, рассчитываемых на основе значений элементов растрового представления изображения: пространственной блочности [3], множеств признаков BSM [12], WBS [3] и др.

Доступность в ходе стеганографического преобразования немодифицированного изображения обусловливает возможность определения модели стеганографического изображения в формате JPEG через модель немодифицированного изображения с шумовыми составляющими для пространственной области и области ДКП. Взаимосвязанные элементы такой модели приведены в таблице.

Элементы математической модели стеганографического изображения в формате JPEG

Элемент	Описание элемента
$d_k^Y(i,j)$, $d_k^r(i,j)$, $d_k^b(i,j)$, $Q^Y(i,j)$, $Q^{rb}(i,j)$, $i, j = 0, \ldots, 7$, $k = 1, \ldots, B$,	Исходное изображение

Окончание табл.

Элемент	Описание элемента
$m = (m_1,\ m_1,\ \ldots,\ m_l),\ m_t \in \{0;\ 1\},\ t \in \{1,\ 2,\ \ldots,\ l\}$	Защищаемое сообщение
${}^{c}H = {}^{u}H + \Delta H$	Матрица элементов стеганографического изображения
$\Delta H = E(m,\ K)$	Матрица разностей элементов частных гистограмм
$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = Z * \begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix},\ Z' = \begin{bmatrix} 1 & 1{,}14 & 0 \\ 1 & -0{,}395 & 0{,}581 \\ 1 & 2{,}032 & 0 \end{bmatrix}.$	Правила преобразования цветовых пространств
$s'(x,\ y) = \frac{1}{4}\sum_{i=0}^{7}\sum_{j=0}^{7}\alpha(i)\alpha(j)d'(i,\ j)\cos\left[\frac{\pi}{8}\left(x+\frac{1}{2}\right)i\right]\cos\left[\frac{\pi}{8}\left(y+\frac{1}{2}\right)j\right],$ $\alpha(n) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}},\ n=0, \\ 1,\ n \neq 0 \end{cases} \quad d'(i,j) = d(i,j)\cdot q(i,j)$	Выражения для ОДКП и деквантования
$\left\{{}^{c}S^{r},\ {}^{c}S^{g},\ {}^{c}S^{b}\right\}_B = \left\{{}^{u}S^{r} + \Delta S^{r},\ {}^{u}S^{g} + \Delta S^{g},\ {}^{u}S^{b} + \Delta S^{b}\right\}_B$	Пространственная область стеганографического изображения
$\delta_{общ}^{rgb} = \sum_{k=1}^{B}\delta_k^{rgb};\quad \delta_k^{rgb} = \left\|\Delta S_k^{r}\right\|_{L_1} + \left\|\Delta S_k^{g}\right\|_{L_1} + \left\|\Delta S_k^{b}\right\|_{L_1}$ $\delta_k^{YCbCr} = \left\|\Delta S_k'^{Y}\right\|_{L_1} + \left\|\Delta S_k'^{Cb}\right\|_{L_1} + \left\|\Delta S_k'^{Cr}\right\|_{L_1}$	Оценка шума в пространственной области, обусловленного встраиванием
$\delta_k^{X} = \left\|\Delta S_k'^{X}\right\|_{L_1} = \sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}\left|{}^{c}s_k'^{X}(x,y) - {}^{u}s_k'^{X}(x,y)\right|$	Оценка шума в отдельной пространственной составляющей блока изображения
$\lim_{i,j\to 0} M\left(\delta_k^{X}\left(D_k^{X}, q^{X}(\hat{i},\hat{j}), \hat{i}, \hat{j}, {}^{c}d_k^{X}(\hat{i},\hat{j}), {}^{u}d_k^{X}(\hat{i},\hat{j})\right)\right) =$ $= \lim_{\hat{i},\hat{j}\to 0}\alpha\, q^{X}(\hat{i},\hat{j}) = \alpha$	Выражение пропорциональности математического ожидания шума значению шага квантования модифицируемого коэффициента
$M\left(\delta_k^{Cr}(\cdot)\right) > M\left(\delta_k^{Y}(\cdot)\right),\ M\left(\delta_k^{Cb}(\cdot)\right) > M\left(\delta_k^{Y}(\cdot)\right)\ \forall(\hat{i},\hat{j})$	Соотношения уровней шума в пространственной области, обусловленных модификациями цветоразностных и яркостных коэффициентов

Таким образом, из модели следует, что для увеличения скрытности информации при разработке метода её встраивания необходимо обеспечить перераспределение искажений разностной гистограммы ΔH стеганографического и исходного изображений и минимизировать обусловленный встраиванием шум $\delta_{общ}^{rgb}$ в пространственной области изображения.

Заключение

В статье разработана математическая модель стеганографического изображения в формате JPEG, из которой следует, что снижение информативности признаков, используемых при распозна-

вании стеганографических изображений, обеспечивается перераспределением искажений гистограмм коэффициентов ДКП и минимизацией обусловленного встраиванием шума в пространственной области изображения.

Список литературы

1. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. М.: МК-Пресс, 2006. С. 248.

2. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 2002. С. 7.

3. Fridrich J. Feature-based Steganalysis for JPEG images and its implications for future design of steganographic schemes // Information Hiding. 6th International Workshop. Springer-Verlag, 2005. Vol. 3200. P. 67–81.

4. Fridrich J., Pevny T. Merging Markov and DCT features for multi-class JPEG steganalysis // Proceedings of SPIE Electronic Imaging, Photonics West, USA, January, 2007. P. 03–04.

5. C. Chen and Y.Q. Shi. JPEG image steganalysis utilizing both intrablock and interblock correlations // Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS, 2008. P. 3029–3032.

6. Fridrich D., Kodovsky J. Calibration Revisited, Proc. ACM Multimedia and Security Workshop, Princeton, NJ, September 7–8, 2009. P. 63–74.

7. Fridrich D., Kodovsky J. Steganalysis in high dimensions: fusing classifiers built on random subspaces, Proc. SPIE, Electronic Imaging, Media, Watermarking, Security and Forensics XIII, San Francisco, CA, January 23–26, 2011.

8. JPEG digital compression and coding of continuous-tone still images. ISO/IEC 10918-11991. URL: http://compression.ru/download/articles/jpeg/ itu_t81_pdf.rar.

9. Fridrich J., Goljan M. Digital image steganography using stochastic modulation. Proc. SPIE, Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents V. Santa Clara, California. 2003. Vol. 5020. P. 191–202.

10. Ramkumar M. Data Hiding in Multimedia: Theory and Applications. Doctoral dissertation, NJIT, Newark, NJ, October, 1999.

11. Sallee P. Model-Based Steganography // Image Graphics. 2005. № 5. P. 167–190.

12. Avcibas I., Kharrazi M., Memon N. Image steganalysis with binary similarity measures. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 17:2749–2757, 2005.

13. Farid H., Lyu S. Steganalysis using higher-order image statistics. IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2006. № 1(1). P. 11–119.

Получено 13.06.12.

A.S. Sizov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(тел.: (4712) 58-80-96)

E.I. Nikutin, Senior Researcher, Federal State Unitary Enterprise «18 Central Scientific Research Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Kursk)
(e-mail: g534_nik@mail.ru)

JPEG STEGO-IMAGE MODEL FOR ADAPTIVE METHODS CONSTRUCTING

The new mathematical model for JPEG stego-image taking account of stego-noise in spatial and DCT domains is introduced.

Key words: *steganography, mathematical model, JPEG.*

УДК 534.1

Ж.Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: zhanybai@gmail.com)

А.А. Михалев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: alex9561@mail.ru)

В.В. Шеин, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: sheinv78@gmail.com)

Е.И. Хранцов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: eugene.kstu@gmail.com)

БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С СИНУСОИДАЛЬНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Исследуется динамика системы управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией, демонстрирующей усложнение колебаний через бифуркацию вилка и последовательность С-бифуркаций. Описаны алгоритмы бифуркационного анализа.

Ключевые слова: *однофазный инвертор, вилообразная бифуркация, стробоскопическое отображение, хаос.*

***

Введение

В статье исследуется сложная динамика системы управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией на примере инвертора напряжения. Описаны алгоритмы бифуркационного анализа. Показано, что переход от периодических режимов к хаотическим происходит следующим образом. Сначала устойчивое движение с периодом управляющего синусоидального сигнала претерпевает вилообразную бифуркацию [1], при которой возникает пара устойчивых симметричных режимов. Затем реализуется конечная последовательность С-бифуркаций («border-collision bifurcations») [2–5], приводящая к рождению хаотических колебаний.

Постановка задачи

В качестве конкретного примера системы управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией рассмотрим инвертор напряжения, функциональная схема которого приведена на рис. 1, *а*. На рис. 1 изображены временные диаграммы, поясняющие формирование управляющих импульсов. Система реализована на базе широтно-импульсной модуляции первого рода.

Уравнение движения инвертора в безразмерной форме имеет вид

$$\dot{x} = \lambda(x - K_F),\ K_F = sign(\hat{\xi} - \eta(t)),\ (1)$$

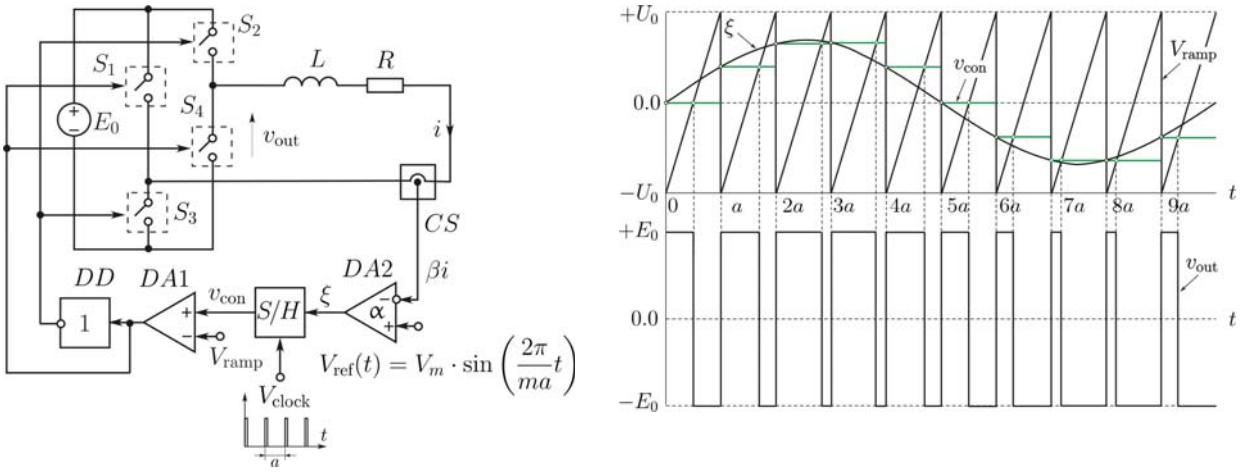
$$\hat{\xi} = \frac{q}{\Omega}\sin(\omega a\tau) - x(\tau),$$

$$\eta(t) = \frac{2P}{\alpha\Omega}(t - \tau - 1/2),$$

где $x = \frac{Ri}{E_0}$; $P = \frac{U_0 R}{\beta E_*}$; $q = \frac{U_m}{U_0}P$;

$\lambda = -\frac{R}{L}a$, $\omega = \frac{2\pi}{ma}$; $\Omega = \frac{E_0}{E_*}$.

Здесь $x \in \mathbb{R}$; K_F – сигнал на выходе модулятора; t – безразмерное время; $\hat{\xi}$ – нормированный сигнал ошибки; $\eta(t)$ – вынуждающее воздействие, представляющее собой периодическую последовательность импульсов пилообразной формы с периодом $1: \eta(t+1) \equiv \eta(t)$; $\tau = [t] = k - 1$; $k = 1, 2, ...$ – дискретное время, где $[\cdot]$ – функция, выделяющая целую часть аргумента; q – нормированная амплитуда управляющего синусоидального сигнала с периодом m. Параметр P определяет амплитуду импульсов $\eta(t)$, Ω характеризует внешнее воздействие, α – коэффициент усиления.



а) б)

Рис. 1: Временные диаграммы, поясняющие формирование управляющих имспульсов:
а – функциональная схема однофазного инвертора; E_0 – входное напряжение;
$V_{ref}(t)$ – синусоидальный управляющий сигнал с периодом T_*, кратным периоду a модуляции,
т.е. $T_* = ma$; DD, $DA1$, S/H – инвертор, компаратор, устройство выборки-хранения;
$DA2$ – усилитель сигнала ошибки. S_1, S_2, S_3, S_4 – полупроводниковые ключи; CS – датчик тока;
R, L – сопротивление и индуктивность нагрузки; *б* - временные диаграммы работы инвертора;
ξ – сигнал ошибки; υ_{con} - выходное напряжение устройства выборки-хранения;
$\pm U_0$ – опорное напряжение модулятора; υ_{out} – выходное напряжение преобразователя

Параметры модели: $R = 1.0$ Ом, $L = 10^{-4}$ Гн, $U_m = 4.0$ В, $U_0 = 2.0$ В, $a = 2 \cdot 10^{-5}$ с, $E_* = 1$ В, $\beta = 0.1$, $m > 10$, $\alpha > 0$, $25\text{ В} < E_0 < 60\text{ В}$, т.е. $P = 20.0$, $q = 40.0$, $\lambda = -0.2$, $25 < \Omega < 60$, $m > 50$.

Бифуркационный анализ

В пределах тактового интервала $k-1 < t < k$, $k = 1, 2, ...$

$$K_F = \begin{cases} 1, & k-1 \le t \le t_k; \\ -1, & t_k < t \le k. \end{cases}$$

В интервале $k-1 < t < t_k$ сигнал на выходе модулятора, $K_F = 1$, уравнение (1) принимает вид

$$\dot{x} = \lambda(x-1),\ x(k-1) = x_{k-1}.$$

Решение этого уравнения:

$$x(t) = 1 + (x_{k-1} - 1)e^{\lambda(t-k+1)}.$$

Отсюда

$$x(t_k) = 1 + (x_{k-1} - 1)e^{\lambda(t_k-k+1)}.$$

В интервале $t_k < t < k$ сигнал $K_F = -1$, уравнение (1) принимает вид

$$\dot{x} = \lambda(x+1),\ x(t_k) = 1 + (x_{k-1} - 1)e^{\lambda(t_k-k+1)}.$$

Решение этого уравнения:

$$x(t) = (x(t_k) + 1)e^{\lambda(t-t_k)} - 1.$$

Отсюда для $t = k$ имеем

$$x_k = e^{\lambda}(x_{k-1} - 1) + 2e^{\lambda(k-t_k)} - 1.$$

Введем обозначение $z_k = t_k - k + 1$ – коэффициент заполнения (относительная длительность) импульса ($0 \le z_k \le 1$).

Тогда окончательно стробоскопическое отображение, порождаемое решениями уравнения (1), принимает вид

$$x_k = e^{\lambda}(x_{k-1} - 1) + 2e^{\lambda(1-z_k)} - 1 \equiv f(x_{k-1}),\ (2)$$

где переменная z_k в соответствии с законом модуляции определяется следующим образом:

$$z_k = \begin{cases} 0, & \varphi_{k-1} \le -\dfrac{P}{\alpha\Omega}; \\ \dfrac{\alpha\Omega}{2P}\varphi_{k-1} + \dfrac{1}{2}, & -\dfrac{P}{\alpha\Omega} < \varphi_{k-1} < \dfrac{P}{\alpha\Omega}; \\ 1, & \varphi_{k-1} \ge \dfrac{P}{\alpha\Omega}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\varphi_{k-1} = \frac{q}{\Omega}\sin\frac{2\pi(k-1)}{m} - x_{k-1}.$$

Прежде чем продолжить, сделаем важное замечание. Обращение коэффициента заполнения z_k в единицу или нуль связано с насыщением модулятора, при котором возникают особые типы бифуркаций, не имеющие аналогов в гладких динамических системах. Это так называемые C-бифуркации или «border-collision bifurcations». Из (3) следует, что модулятор насыщается, когда

$$x_{k-1} = s_k^+ = \frac{q}{\Omega}\sin\frac{2\pi(k-1)}{m} + \frac{P}{\alpha\Omega}$$

и

$$x_{k-1} = s_k^- = \frac{q}{\Omega}\sin\frac{2\pi(k-1)}{m} - \frac{P}{\alpha\Omega}.$$

Итерация отображения (2) осуществляется в два шага: сначала по x_{k-1} вычисляется z_k в соответствии с алгоритмом (3), а затем полученный z_k подставляется в уравнение (2) для расчета x_k.

В действительности же для уравнения (1) стробоскопическое сечение надо проводить через период $T_0 = m$ управляющего синусоидального сигнала, т.е. от (2) перейти к отображению

$$x_k = \underbrace{f(f(\ldots f(x_{k-1})\ldots))}_{m \text{ раз}} \equiv f^{(m)}(x_{k-1}). \quad (4)$$

Покажем, что функцию $f^{(m)}(x_{k-1})$ можно получить аналитически. Для этого достаточно выполнить m итераций (2). Из (2) последовательно находим

$$x_1 = e^{\lambda}x_0 + 2e^{\lambda(1-z_1)} - e^{\lambda} - 1,$$

$$x_2 = e^{\lambda}x_1 + 2e^{\lambda(1-z_2)} - e^{\lambda} - 1 = e^{2\lambda}x_0 + 2e^{\lambda(2-z_1)} + 2e^{\lambda(1-z_2)} - 2e^{\lambda} + e^{2\lambda} - 1,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$x_m = e^{m\lambda}x_0 + 2e^{\lambda(m-z_1)} + 2e^{\lambda(m-1-z_2)} + \cdots + 2e^{\lambda(1-z_m)} - 2(1 + e^{\lambda} + e^{2\lambda} + \cdots + e^{(m-1)\lambda}) + 1.$$

Сворачивая выражение в круглых скобках как геометрическую прогрессию, получим

$$x_m = e^{m\lambda}x_0 - e^{m\lambda} + 2\sum_{i=1}^{m} e^{\lambda(m+1-i-z_i)} - 2\frac{1-e^{m\lambda}}{1-e^{\lambda}} + 1.$$

Таким образом, стробоскопическое отображение (4) принимает вид

$$x_k = e^{m\lambda}(x_{k-1} - 1) + 2\sum_{i=1}^{m} e^{\lambda(m+1-i-z_i)} - 2\frac{1-e^{m\lambda}}{1-e^{\lambda}} + 1 \equiv f^{(m)}(x_{k-1}). \quad (5)$$

Уравнение (5) дополним алгоритмом для расчета z_i, $i = 1, 2, \ldots, m$:

$$z_i = \begin{cases} 0, & \varphi_{i-1} \le -\dfrac{P}{\alpha\Omega}; \\ \dfrac{\alpha\Omega}{2P}\varphi_{i-1} + \dfrac{1}{2}, & \left|\varphi_{i-1}\right| < \dfrac{P}{\alpha\Omega}; \\ 1, & \varphi_{i-1} \ge \dfrac{P}{\alpha\Omega}, \end{cases} \quad (6)$$

$$\varphi_{i-1} = \frac{q}{\Omega}\sin\frac{2\pi(i-1)}{m} - y_{i-1},$$

$$y_i = e^{\lambda}(y_{i-1} - 1) + 2e^{\lambda(1-z_i)} - 1, \quad y_0 = x_{k-1}.$$

Период T периодического движения динамической системы (1) является кратным периоду внешнего воздействия: $T_0 = m$; $T = mN$, $N = 1, 2, \ldots$. Движение с таким периодом будем называть N-циклом, или циклом периода N. Периодическому движению с периодом $T_0 = m$

управляющего сигнала, т.е. 1-циклу, отвечает неподвижная точка отображения (5), (6):

$$x_* = f^{(m)}(x_*). \qquad (7)$$

Корни уравнения (7) можно найти численно. Устойчивость неподвижной точки x_* определяется неравенством:

$$|\rho| < 1,$$

здесь ρ – мультипликатор неподвижной точки;

$$\rho = \frac{\partial f^{(m)}(x_*)}{\partial x} = \prod_{i=1}^{m}\left(e^{\lambda} + \mu_i \lambda e^{\lambda(1-z_i)}\frac{\alpha\Omega}{P}\right),$$

где

$$z_i = \begin{cases} 0, & \varphi_{i-1} \le -\dfrac{P}{\alpha\Omega}; \\ \dfrac{\alpha\Omega}{2P}\varphi_{i-1} + \dfrac{1}{2}, & \left|\varphi_{i-1}\right| < \dfrac{P}{\alpha\Omega}; \\ 1, & \varphi_{i-1} \ge \dfrac{P}{\alpha\Omega}, \end{cases}$$

$$\varphi_{i-1} = \frac{q}{\Omega}\sin\frac{2\pi(i-1)}{m} - y_{i-1},$$

$$y_i = e^{\lambda}(y_{i-1} - 1) + 2e^{\lambda(1-z_i)} - 1, \quad y_0 = x_*,$$

$$\mu_i = \begin{cases} 0, & z_i = 0 \text{ и } z_i = 1; \\ 1, & 0 < z_i < 1. \end{cases}$$

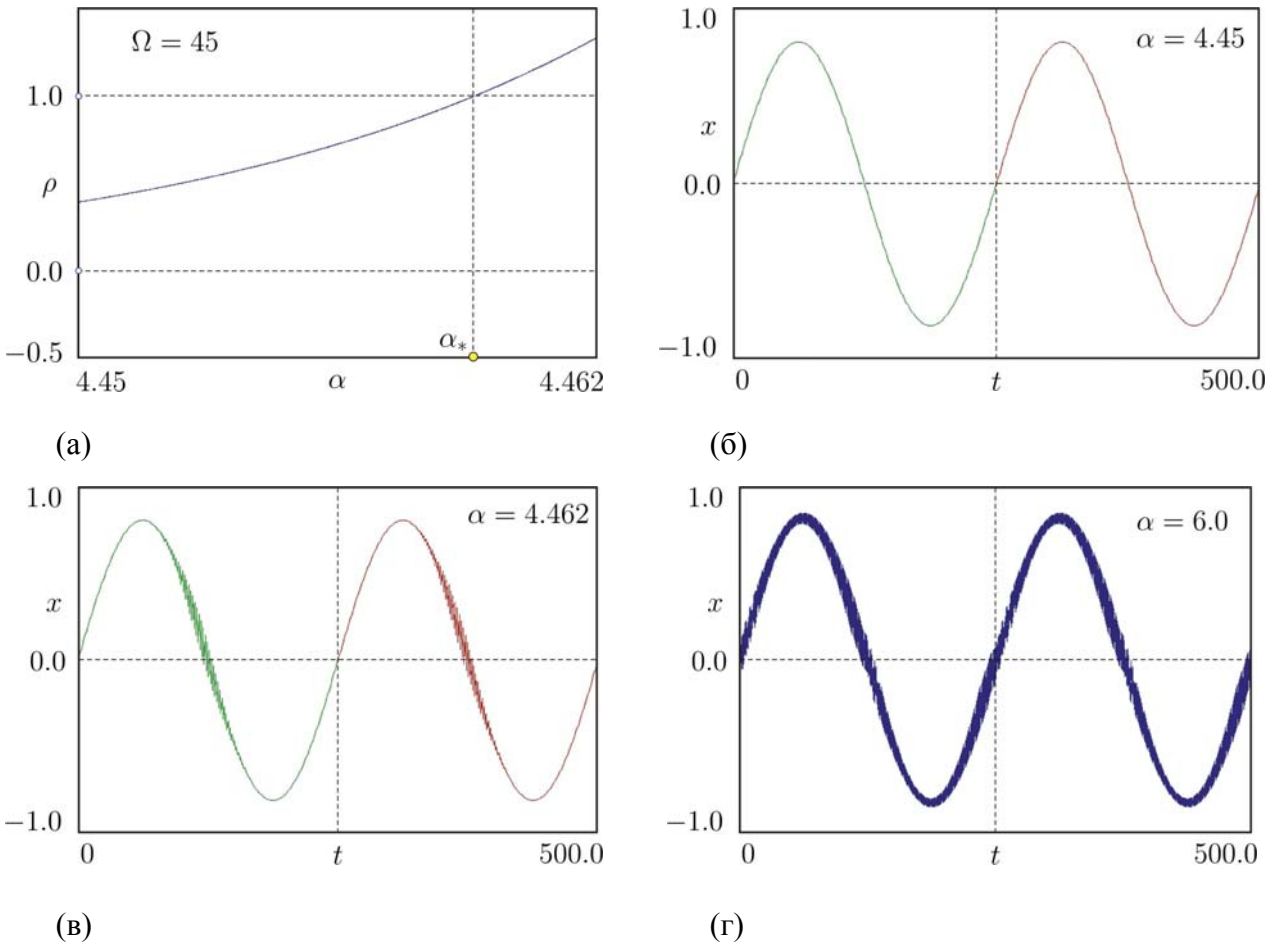


Рис. 2. Результаты бифуркационного анализа: *а* – зависимость мультипликатора 1-цикла от параметра α при Ω = 45; *б* – временная диаграмма устойчивого 1-цикла до вилообразной бифуркации; *в* – диаграмма устойчивого симметричного 1-цикла; *г* – временная диаграмма хаотического режима

Действуя точно так же, как и в случае неподвижной точки, несложно показать, что устойчивость N-цикла с элементами x_1^*, x_2^*, …, x_N^* будет определяться неравенством

$$\left|\prod_{p=1}^{N}\frac{\partial f^{(m)}(x_p^*)}{\partial x}\right|<1,$$

где x_1^*, x_2^*, …, x_N^* – неподвижные точки отображения;

$$x=Q^{(N)}(x),$$

$$x=f^{(m)}(x)\colon x_1^*=Q(x_N)=Q(Q(x_{N-1}^*))=$$
$$=\cdots=\underbrace{Q(Q(\ldots Q(x_1^*)\ldots))}_{N\text{ раз}},$$

$$x_N^*=Q(x_1)=Q(Q(x_2^*))=$$
$$=\cdots=\underbrace{Q(Q(\ldots Q(x_N^*)\ldots))}_{N\text{ раз}}.$$

На рис. 2 представлены результаты бифуркационного анализа. На рис. 2, *а* приведена зависимость мультипликатора ρ цикла периода 1 (неподвижной точки отображения (5)) от параметра α при $\Omega=45$ и $m=250$. Как можно увидеть из рис. 2, *а*, в точке $\alpha=\alpha_*$ мультипликатор 1-цикла обращается в +1. При дальнейшем увеличении коэффициента усиления α 1-цикл теряет устойчивость ($\rho>1$) через вилообразную бифуркацию (pitchfork bifurcation). В результате этого мягко возникает пара устойчивых симметричных циклов периода 1, а исходное периодическое движение становится неустойчивым.

На рис. 2, *б* показана временная диаграмма устойчивого цикла до бифуркации, а на рис. 2, *в* – устойчивого симметричного 1-цикла, возникающего через вилообразную бифуркацию. В области существования устойчивых симметричных циклов имеет место бистабильность: при одних и тех же значениях параметров сосуществуют два локально устойчивых 1-циклов. Здесь установление того или иного периодического режима определяется начальными условиями и свойствами бассейнов притяжения сосуществующих аттракторов. Исследования показали, что при дальнейшем увеличении коэффициента усиления α наблюдается конечная последовательность С-бифуркаций[2–5], приводящая к возникновению хаотического режима (рис. 2, *г*).

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Программное мероприятие № 1.3.1, Соглашение 14.B37.21.1146).

Список литературы

1. Фейгин М.И. Вынужденные колебания систем с разрывными нелинейностями. М.: Наука, 1994.

2. Nusse H.E., Yorke J.A. Border-Collision Bifurcations Including «Period Two to Period Three» for Piecewise Smooth Systems // Physica D. 1992. № 57. P. 39–57.

3. Zhusubaliev Zh.T., Mosekilde E. Bifurcations and Chaos in Peiecewise-Smooth Dynamical Systems. Singapore: World Scientific, 2003.

4. Leine R.I., Nijmeijer H. Dynamics and Bifurcations of Non-Smooth Mechanical Systems. Berlin: Springer Verlag, 2004.

5. Di Bernardo M., Budd C., Champneys A.R., Kowalczyk P., Nordmark A.B., Olivar G., Piroinen P.T. Bifurcations in Nonsmooth Dynamical Systems // SIAM Review. 2008. Vol. 50, № 4. P. 629–701.

Получено 15.06.12.

Zh. T. Zhusubaliyev, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: zhanybai@gmail.com)

A.A. Mikhalev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: alex9561@mail.ru)

V.V. Shein, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: sheinv78@gmail.com)

E.I. Khrantsov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: eugene.kstu@gmail.com)

BIFURCATION ANALYSIS OF A SYSTEM WITH SINUSOIDAL PULSE-MODULATED CONTROL

This paper studies bifurcation phenomena in a system with sinusoidal pulse-modulated control. We demonstrate how the chaotic oscillations can arise through a sequence of pitchfork and border-collision bifurcations. Algorithms for bifurcation analysis are described.

Key words: *single-phase inverter, pitchfork bifurcation, stroboscopic map, chaos.*

УДК 004.272.3+004.052.2

А.Н Зайцев, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(тел.: (4712)58-71-05)

Д.И Макаров, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(тел.: (4712)58-71-05)

И.В. Зотов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: zotovigor@yandex.ru)

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ КООРДИНИРУЮЩАЯ СРЕДА МАТРИЧНОГО ЛОГИЧЕСКОГО МУЛЬТИКОНТРОЛЛЕРА, УСТОЙЧИВАЯ К ЛОКАЛЬНЫМ ОТКАЗАМ

Представлена схема ячейки координирующей среды матричного логического мультиконтроллера, способная к обнаружению отказавшего коммуникационного модуля с сокращенными затратами на процедуры контроля.

Ключевые слова: *матричные мультиконтроллеры, СБИС, параллельные процессы, барьерная синхронизация, координирующая среда, отказоустойчивость.*

***

Функционирование логических мультиконтроллеров (ЛМК) сопряжено с выполнением ряда коммуникационных операций, к которым относятся обращения к внешней памяти, межпроцессорный обмен данными и координационные управляющие взаимодействия [1]. Одной из них является барьерная синхронизация, обеспечивающая требуемый порядок следования ветвей программы (процессов) с учетом их параллелизма. Оперативная барьерная синхронизация в ЛМК обеспечивается координирующей средой, реализующей управление процессом синхронизации на основе параллельного выполнения распределенных операций над двоичными индикаторными функциями [2].

Практическая реализация мультиконтроллеров сталкивается с проблемой надежности координирующей среды. Возникновение отказа в отдельной ее ячейке способно вызвать ошибки в фазах синхронизации/восстановления и повлечь за собой нарушение хода вычислительного процесса. В связи с этим существует объективная необходимость повышения отказоустойчивости координирующей среды ЛМК. Одним из способов решения этой задачи может стать внедрение дополнительных средств контроля, способных оперативно обнаруживать отказ и локализовать его последствия без необ-

ходимости останова мультиконтроллера [3].

Отдельной проблемой является организация подсистемы контроля. Следует отметить, что привлечение внешних устройств («сторожа») в случае распределенной среды, наподобие ЛМК, имеет ряд недостатков. Так, проведение контролирующих процедур будет требовать регулярного прерывания цикла барьерной синхронизации, а также временных затрат на связь с контролирующим модулем, что уменьшит преимущества использования координирующей среды. Кроме того, возникает вопрос о контроле самого «охраняющего» устройства, поскольку оно тоже имеет ненулевую вероятность возникновения отказа.

Вследствие однородности структуры распределенной среды ЛМК более целесообразно в качестве способа определения ее отказавшего элемента использовать метод распределенного взаимоконтроля [3]. Данный метод предполагает, что каждый модуль мультиконтроллера соединен с тремя другими соседними модулями выделенными каналами для реализации процедуры контроля. Окончательный вердикт о работоспособности конкретной ячейки выносится голосованием большинства проверяющих модулей, что уменьшает вероятность ложного опознавания отказавшей/рабочей ячейки.

Модель ячейки координирующей среды, устойчивой к отказам

В процессе исследований авторами была разработана математическая модель ячейки координирующей среды матричного ЛМК со встроенными средствами аппаратного контроля. Модель, представленная в терминах аппарата сетей Петри [5], изображена на рис. 1. Различные этапы и условия процесса синхронизации интерпретируются в виде позиций ρ и переходов π.

В приведенной ниже таблице содержится краткое описание (содержательная интерпретация) позиций и состояний сети рис. 1.

На основе представленной модели были разработаны аппаратные средства, позволяющие выявлять отказы в координирующей среде ЛМК и устранять их влияние на процесс синхронизации. На рис. 2 изображена функциональная схема ячейки координирующей среды мультиконтроллера, устойчивой к локальным отказам. Ввиду однородности модулей среды представлена схема одной ячейки.

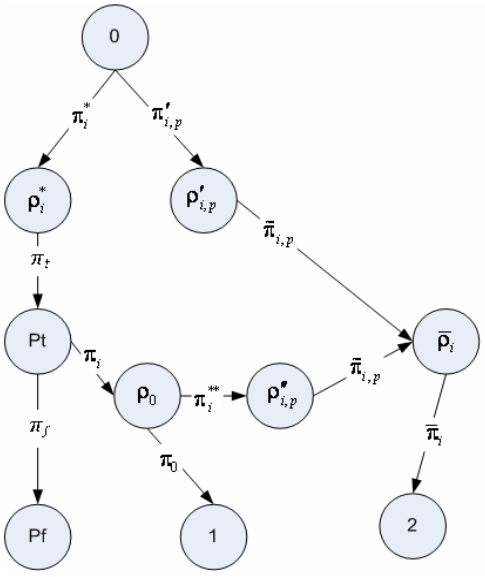


Рис. 1. Модель ячейки координирующей среды матричного логического мультиконтроллера в виде сети Петри

Позиция/ переход сети	Описание
0	Начальная вершина
π_i^*	Ячейка не входит в барьерную группу v_a или входит, но соответствующая параллельная ветвь в данный момент пассивна
ρ_i^*	Условие перехода π_i^* выполнено
π_i	Индикаторная функция ячеек положительной полуокрестности $Z_a^i(t) = 0 \to 1$ и текущая ветвь пассивна
ρ_0	Все ветви барьера ⋈ в данном слое среды завершены
π_0	Определение индикаторной функции по расположению ячейки в среде
1	Вершина выхода индикаторной функции к модулям отрицательной полуокрестности
π_i^{**}	Переход индикаторной функции в фазу восстановления $Z_a^i(t) = 1 \to 0$
$\rho''_{i,p}$	Условие синхронизации для барьера ⋈ выполнено, индикаторная функция $Z_a^i(t) = 1 \to 0$
$\rho'_{i,p}$	Ячейке назначена ветвь для последующего барьера после завершения синхронизации
$\rho'_{i,p}$	Ячейка готова для запуска новой ветви
$\tilde{\pi}_{i,p}$	Разрешение активизации ветви, индикаторная функция во всей секции $Z_a^i(t) = 1 \to 0$
$\overline{\rho}_i$	Активизация новой ветви разрешена
$\overline{\pi}_i$	Новая ветвь стала активной
Pt	Вершина тестового флага
π_t	Идентифицирует процедуру контроля (ветвь пассивна и хотя бы одна индикаторная функция положительной полуокрестности $Z_a^i(t) = 0$)
Pf	Вершина флага отказа
π_f	Переход к процедуре реконфигурации сети по детектированию отказа
2	Конечная вершина

p=31

Рассмотрим алгоритм функционирования разработанной ячейки.

Одной из основных задач при обнаружении отказавшего коммуникационного модуля является уменьшение временных затрат на выполнение процедуры контроля и принятие решения. Ясно, что отдельные ветви параллельной программы завершаются в разное время, поэтому логично производить процедуру проверки в момент, когда для тестируемого модуля ветвь уже пассивна (завершил свою часть программы), а в целом по барьерной группе ещё остаются контроллеры, где обработка продолжается. На схеме это условие реализуется с помощью элементов AND5, AND6 и триггера T4. CF – флаг завершения выполнения ветви тестируемого модуля, который устанавливается, если ветвь, назначенная на тестируемый модуль, завершена. AND5 отвечает за выдачу сигнала, если хотя бы в одной ячейке положительной полуокрестности есть активная ветвь параллельной программы.

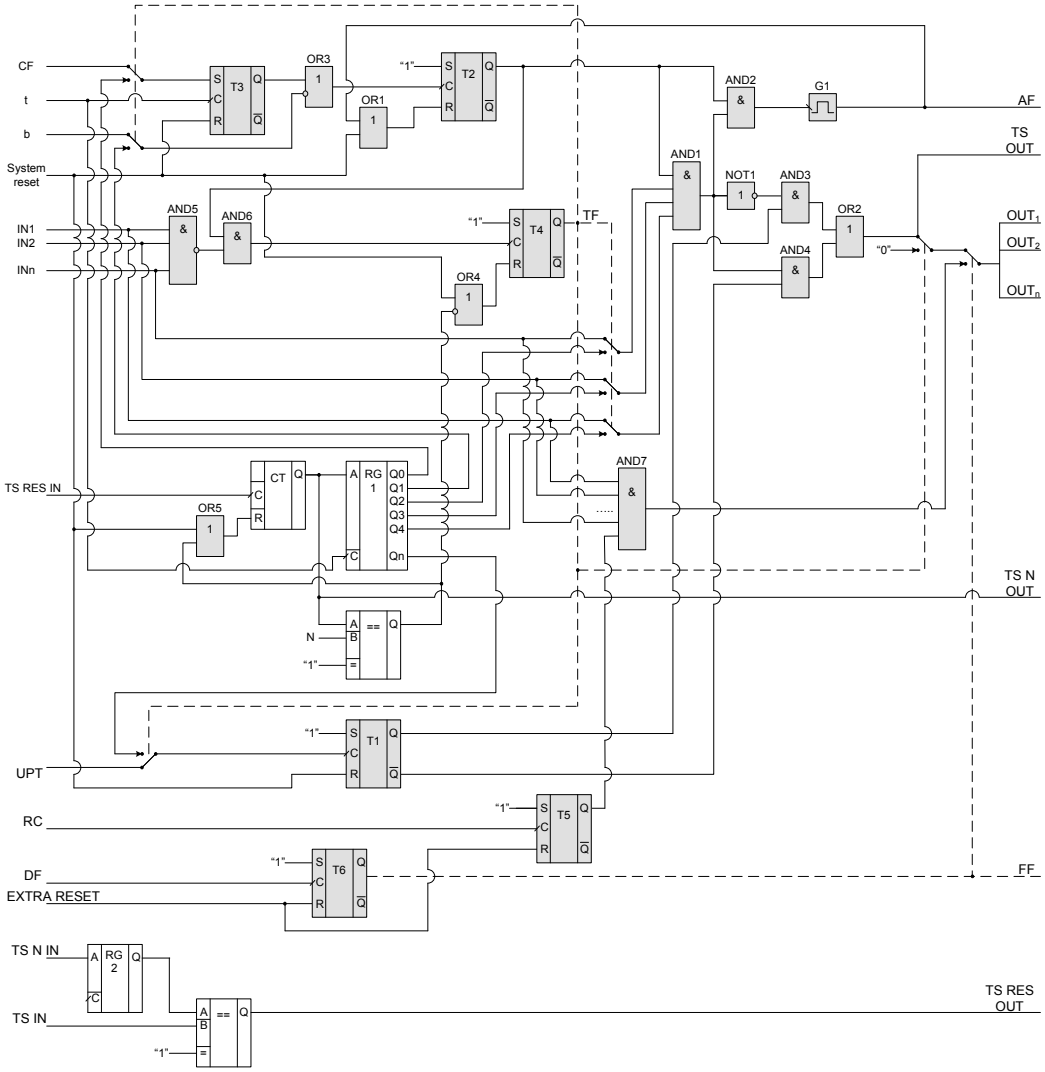


Рис. 2. Функциональная схема ячейки распределенной координирующей среды, устойчивой к локальным отказам

В момент, когда условие процедуры проверки удовлетворено, с триггера T4 снимается тестовый флаг TF. Этот флаг переводит в тестовый режим одноразрядные мультиплексоры (на схеме представлены ключами), установленные на входах b (флаг участия ячейки в барьерной группе), UPT (вход настройки ячейки, позволяющий чередовать фазы синхронизации/восстановления посредством инвертирования индикаторной функции) и всех входах соседних ячеек. Таким образом, на входы подаются не внешние сигналы, а тестовые наборы (комбинации), считываемые из параллельного регистра RG1. На выходах OUT1, OUT2,…, OUTn и AF (флаг активации ветви параллельной программы) остается постоянный «0», не позволяющий тестируемой ячейке участвовать в процессе синхронизации. Предполагается проведение тестирования для нескольких комбинаций – для этого в схему введен счетчик CT. Выход счетчика CT является адресным входом для регистра RG1 и позволяет изменять тестовые комбинации.

Результат проверки ячейки для отдельной комбинации TS OUT и номер самой комбинации TS N OUT передаются проверяющим соседним элементам. Вход TS N IN является адресным входом для регистра RG2. RG2 содержит ожидаемые результаты тестирования. Посредством компаратора сравнивается переданное

значение TS IN с эталонным значением из регистра RG2, записываемым на этапе инициализации. Сигнал с компаратора передается на вход мажоритарного блока, привязанного к текущему модулю среды.

Завершение тестового режима происходит тогда, когда счетчик тестовых ситуаций достигает значения N+1, где N – количество тестовых комбинаций. В момент завершения тестового режима TF устанавливается в «0», и все мультиплексоры на входах возвращаются в обычный режим работы.

В случае обнаружения отказа большинством соседних модулей от мажоритарного блока на вход C триггера T6 приходит сигнал DF. Триггер T6 производит флаг отказа Failure Flag, поступающий непосредственно к функциональному элементу контроллера, который (будучи работоспособным) в свою очередь должен сообщить операционной системе о произошедшем отказе. Одновременно флаг переключает выходы OUT_1, OUT_2, …, OUT_n – теперь подается «0» (триггер T5 не установлен). Таким образом, фаза синхронизации не сможет быть начата, даже если все остальные модули завершат выполнение своих ветвей программы. Подобная задержка необходима, чтобы операционная система успела назначить новый контроллер на выполнение части программы модуля с отказавшей секцией. Полагается, что по завершении реконфигурации операционная система уведомляет функциональный элемент отказавшей секции, который формирует положительный сигнал на входе Reconfiguration complete (RC) текущей секции. Сигнал RC устанавливает триггер T5, разблокируя элемент AND7. Таким образом, выходы OUT_1, OUT_2, …, OUT_n в дальнейшей работе зависят только от входов IN_1, IN_2, …, IN_n, а отказавшая секция маскируется и больше не оказывает какого-либо влияния на процесс синхронизации. Сброс триггеров T5 и T6 всех секций среды производится с помощью отдельного дополнительного входа Extra Reset. Использование System reset для этих целей нерационально, так как при перезагрузке информация о уже обнаруженных отказах должна сохраняться.

Заключение

Предложенная организация ячейки координирующей среды ЛМК характеризуется невысокой аппаратной сложностью и не чувствительна к увеличению разрядности (количества слоев) среды. Она позволяет распределенной среде оставаться работоспособной и продолжать барьерную синхронизацию при возникновении локальных отказов.

Включение разработанных дополнительных средств в состав распределенной координирующей среды ЛМК позволит повысить вероятность безотказной работы мультиконтроллера, однако оценка указанной вероятности является предметом дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-2218.2011.8.

Список литературы

1. Емельянов С.Г., Зотов И.В., Титов В.С. Архитектура параллельных логических мультиконтроллеров. М.: Высш. шк., 2009. 233 с.

2. Zotov I.V. Distributed Virtual Bit-Slice Synchronizer: a Scalable Hardware Barrier Mechanism for n-Dimensional Meshes // IEEE Transactions on computers. 2010. Vol. 59, № 9. P. 1187–1199.

3. Зайцев А.Н., Макаров Д.И., Зотов И.В. Об организации распределенного взаимоконтроля модулей в отказоустойчивых логических мультимикроконтроллерах // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика – 2009. М., 2009. С. 77–79.

4. Marcos R. Frankowiak, Roger I. Grosvenor, and Paul W. Prickett. Microcontroller-Based Process Monitoring Using Petri-Nets // EURASIP Journal on Embedded Systems, 2009.

Получено 15.06.12.

A.N. Zaitsev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(tel.: (4712)58-71-05)

D.I. Makarov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(tel.: (4712)58-71-05)

I.V. Zotov, Doctor of Science, Professor, Soutwest State University (Kursk)
(e-mail: zotovigor@yandex.ru)

A FAULT-TOLERANT DISTRIBUTED COORDINATING ENVIRONMENT FOR MESH-CONNECTED LOGICAL MULTI-CONTROLLERS

A distributed coordinating environment unit schema for mesh-connected logical multi-controllers is presented, capable of detecting a faulty communication node requiring less fault detection time.

Key words: *mesh-connected multi-controllers, VLSI, parallel processes, barrier synchronization, coordinating environment, fault-tolerance.*

УДК 681.3

Э.И. Ватутин, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: evatutin@rambler.ru)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОГРАММНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ СИНТЕЗА РАЗБИЕНИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДЕ PAE

Приведены результаты анализа эффективности программных реализаций эвристических методов синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления, работающих в составе программной системы PAE. На основании проведенного анализа осуществлена программная оптимизация, в результате которой время синтеза разбиений граф-схем алгоритмов из 100 вершин сокращается в 3,2 раза при использовании метода параллельно-последовательной декомпозиции и в 2,7 раза при использовании метода С.И. Баранова.

Ключевые слова: *система логического управления, проектирование логических мультиконтроллеров, разбиения, параллельный алгоритм, дискретная комбинаторная оптимизация, оптимизация программных средств.*

***

Одним из перспективных подходов к созданию систем логического управления (СЛУ) является их реализация в базисе логических мультиконтроллеров [1]. При этом СЛУ представляет собой однородную структуру из группы взаимосвязанных логических контроллеров, которые в совокупности способны реализовывать произвольные параллельные алгоритмы логического управления теоретически неограниченной сложности. Ключевую роль при проектировании подобных мультисистем играет выбор разбиения заданной граф-схемы алгоритма, т.к. его числовые параметры (сложность сети межблочных связей, степени дублирования микроопераций и логических условий и др.) напрямую влияют на аппаратную сложность и быстродействие СЛУ. Задача выбора оптимального разбиения является задачей дискретной комбинаторной оптимизации и относится к классу вычислительно сложных, что не допускает отыскания оптимального решения для алгоритмов управления с большим числом вершин за приемлемое для практики время. Для ее решения на практике разработан ряд эвристических методов [2–5] и визуальная среда PAE для автоматического синтеза разбиений [6–7]. Вычислительные эксперименты, проводимые с использованием разработанных программных средств с целью сравнения методов в различных условиях, также являются достаточно затратными с точки зрения требований к необходимому объему вычислительного времени, поэтому вызывает интерес анализ «узких мест» (англ. hotspots или bottlenecks), ограничи-

вающих их быстродействие, и их возможная программная оптимизация.

Одним из этапов, выполняемых непосредственно перед синтезом разбиений, является построение матрицы отношений вершин $M_R = \|m_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, N}$ [8], где N – число вершин в составе граф-схемы алгоритма. Выяснение отношений следования ν фактически сводится к нахождению его транзитивного замыкания путем нахождения таких групп вершин a_i, a_j и a_k, что $(a_i \nu a_j) \wedge (a_j \nu a_k) \wedge \neg(a_i \nu a_k)$ до тех пор, пока это возможно. Для построения транзитивного замыкания может быть использован алгоритм Флойда-Уоршелла [9].

Его особенностью является порядок следования циклов, обеспечивающий нахождение искомого транзитивного замыкания за один проход выполнения вложенных циклов (т.е. за время $O(n^3)$). На псевдокоде он может быть представлен в следующем виде:

```
for k := 1 to n do
  for i := 1 to n do
    if (a_i ν a_k) then
      for j := 1 to n do
        if (a_k ν a_j) then
          m_ij := { ν };
```

При этом в качестве исходных значений для алгоритма выступает матрица отношения следования, в которой заполнены позиции для пар вершин, непосредственно соединенных дугой. В ранней реализации алгоритма выяснения отношения следования [3] порядок циклов был иным (первые два цикла поменяны местами):

```
for i := 1 to n do
  for k := 1 to n do
    if (a_i ν a_k) then
      for j := 1 to n do
        if (a_k ν a_j) then
          m_ij := { ν };
```

Исследования на выборках алгоритмов управления со случайной структурой [10, 11] показывают, что использованный в ранней реализации порядок следования циклов приводит к построению матрицы отношения следования за два прохода (приведенные циклы выполняются дважды до тех пор, пока матрица M_R перестает изменяться), в то время как использование порядка циклов, предложенного в алгоритме Флойда-Уоршелла, требует одного прохода.

Использование данной алгоритмической оптимизации при синтезе разбиений алгоритмов управления из 100 вершин параллельно-последовательным методом позволяет сократить общее время синтеза разбиения на 20,4% с 582 мс до 463 мс на процессоре Intel Core 2 Duo 1,86 ГГц (однопоточная реализация, число алгоритмов управления в выборке $K = 1000$, ограничения отсутствуют, длительность вычислительного эксперимента 20 мин.).

В ранней программной реализации [3, 8] в ходе построения матрицы отношений вершин отношения выяснялись в следующем порядке: отношение следования ν, отношение связи φ, отношение альтернативы ψ, отношение параллельности ω. При этом выяснение отношения связи производилось непосредственно после отношения следования следующим образом:

```
for i := 1 to n do
  for j := 1 to n do
    if (a_i ν a_j) then begin
      m_ij := m_ij ∪ { φ };
      m_ji := m_ji ∪ { φ };
    end;
```

Можно заметить, что выяснение отношения связи можно совместить с выяснением отношения следования. Для этого вместо присваивания

```
m_ij := { ν };
```

необходимо использовать пару присваиваний

$m_{ij} := \{ v, \varphi \};$
$m_{ji} := \{ \varphi \};$

как на этапе инициализации отношения следования, так и в процессе его транзитивного замыкания, рассмотренном выше. Подобное совместное выяснение отношений следования и связи дополнительно снижает затраты времени на 3,9% с 463 мс до 445 мс.

В процессе синтеза разбиения на различных этапах работы методов производится формирование протокола выполняемых преобразований (в текстовом виде или в формате HTML) с последующим сохранением в файл. Подобный протокол может быть полезен в случае детального анализа качества полученного разбиения или выяснения причин его некорректности во время отладки/тестирования, однако при построении разбиений выборок алгоритмов управления в ходе вычислительных экспериментов на его формирование может быть затрачено достаточно большое количество времени, поэтому вызывает интерес добавление в среду возможности управления его формированием с использованием булевой переменной-флажка. В результате отключения возможности формирования протокола промежуточных преобразований время синтеза разбиения сокращается на 57,5% (в 2,4 раза) с 445 мс до 190 мс. Таким образом, большую часть времени занимает именно формирование протокола преобразований (фактически работа со строками), а не выполнение самих преобразований.

Аналогичную оптимизацию можно проделать с программными реализациями всех остальных методов. Так, например, для метода С.И. Баранова [4] также наблюдается сокращение времени синтеза разбиения на 62,3% (в 2,7 раза) с 15,1 мс до 5,7 мс (при тех же условиях проведения эксперимента).

В итоге указанные оптимизации приводят к уменьшению интегрального времени выполнения вычислительных экспериментов. Например, длительность вычислительного эксперимента с участием методов С.И. Баранова, А.Д. Закревского и параллельно-последовательного сокращается на 23,6% с 17,8 мин до 13,6 мин.

В процессе разработки среды PAE [6, 7] первоначально был реализован параллельно-последовательный метод (включающий в своем составе программную реализацию алгоритма построения матрицы отношений), который обменивался с графической оболочкой через интерфейс SMI (получение исходных данных и параметров разбиения, возврат разбиения). Позднее с появлением в составе среды новых методов синтеза разбиений (например, метод С.И. Баранова) появилась необходимость в реализации возможности их обращения к матрице отношений. С этой целью была реализована пара интерфейсов: RMBI (для построения матрицы отношений, на данный момент поддерживается только параллельно-последовательным методом) и RMUI (для использования уже построенной матрицы отношений, поддерживается всеми методами, требующими доступа к матрице отношений). Порядок действий при синтезе разбиения каждого алгоритма управления можно схематично представить следующим образом:

```
Построить_матрицу_
отношений_для_RMBI();
   for i := 1 to n do
методi.Построить_разбиение();
```

При подобном подходе без ряда специальных проверок получается, что построение матрицы отношений (а вместе с ней загрузка исходной граф-схемы алгоритма и ее предварительные преобразования) производится дважды для метода, реализующего интерфейс RMBI (первый раз при построении через RMBI, второй – при синтезе разбиения через SMI). Чтобы

избежать этого, в ходе оптимизации была предусмотрена возможность сохранения результатов предыдущих преобразований для метода, реализующего интерфейс RMBI, что сокращает время синтеза разбиения параллельно-последовательным методом на 3,7% с 190 мс до 183 мс.

Побочным эффектом подобной оптимизации является то, что время синтеза разбиения параллельно-последовательным методом теперь не включает затрат на построение матрицы отношений, что, с одной стороны, позволяет сравнивать все методы в равных условиях (например, временные затраты метода С.И. Баранова в работе [11] не учитывают построение матрицы отношений, хотя метод ее использует), однако, с другой стороны, несколько затрудняет подсчет «честного» (с учетом построения матрицы отношений) времени получения разбиения в результате его прямого замера. Полученный малый выигрыш во времени свидетельствует о том, что построение матрицы отношений (вместе с подготовительными действиями) занимает достаточно малое время от общего времени построения разбиения параллельно-последовательным методом.

Таким образом, предварительный анализ затрат вычислительного времени на различные преобразования и проделанная программная оптимизация позволили сократить время синтеза разбиений с 582 мс до 183 мс (в 3,2 раза) для программной реализации параллельно-последовательного метода и с 15,1 мс до 5,7 мс (в 2,7 раза) для программной реализации метода С.И. Баранова, что открывает путь для более эффективного выполнения дальнейших вычислительных экспериментов.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы» (проект 14.B37.21.0598 «Теоретические основы и методы использования распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем для решения дискретных оптимизационных задач»).

Список литературы

1. Ватутин Э.И. Проектирование логических мультиконтроллеров. Синтез разбиений параллельных граф-схем алгоритмов. Saarbrucken: Lambert Academic Publishing, 2011. 292 с.

2. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Метод формирования субоптимальных разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Параллельные вычисления и задачи управления (PACO’04). М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2004. С. 884–917.

3. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Параллельно-последовательный метод формирования субоптимальных разбиений параллельных управляющих алгоритмов: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005613091 от 28.11.05.

4. Баранов С.И., Журавина Л.Н., Песчанский В.А. Метод представления параллельных граф-схем алгоритмов совокупностями последовательных граф-схем // Автоматика и вычислительная техника. 1984. № 5. С. 74–81.

5. Ватутин Э.И. Библиотека функций построения разбиений методом С.И. Баранова с жадным последовательным формированием блоков: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612902 от 28.04.10.

6. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Программная система для построения разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO’06). М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006. С. 2239–2250.

7. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Визуальная среда синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007613222 от 30.07.07.

8. Ватутин Э.И., Зотов И.В. Построение матрицы отношений в задаче оптимального разбиения параллельных управляющих алгоритмов // Известия Курск. гос. техн. ун-та. 2004. № 2. С. 85–89.

9. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Флойда_—_Уоршелла.

10. Vatutin E.I. Constructing Random Sample Parallel Logic Control Algorithms // 11th International Student Olympiad on Automatic Control (Baltic Olympiad BOAC'06). Saint-Petersburg, 2006. P. 162–166.

11. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексная сравнительная оценка методов выбора разбиений при проектировании логических мультиконтроллеров // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'08). М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2008. С. 1917–1940.

Получено 11.06.12.

E.I. Vatutin, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

EFFICIENCY ANALYSIS AND PROGRAM OPTIMIZATION OF METHODS FOR GETTINS SEPARATIONS OF PARALLEL LOGIC CONTROL ALGORITHMS UNDER PAE FRAMEWORK

The results of performance analysis of software implementations of heuristic methods for getting separations of parallel logic control algorithms under PAE framework are given. Based on the analysis is carried out program optimization of software implementations of framework and methods source code. Resulting time cost for getting separation of graph-scheme with 100 vertices decreased by 3,2 times using parallel-sequential method and by 2,7 times using S.I. Baranov method.

Key words: *logic control system, logic multicontrollers design, separations, parallel algorithm, discrete combinatorial optimization, software optimization.*

УДК 004.62

И.А. Терехова, инженер отдела Научно-исследовательского центра, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ (Курск) (e-mail: ira_terehova@list.ru)

Е.В. Непочатых, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: nevgeney@gmail.com)

В.П. Добрица, д-р физ.-мат. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ТЕСТА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАЩИЩАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

В статье приведён модифицированный графический спектральный тест, позволяющий выделять защищаемую информацию в потоке разнородных сообщений.

Ключевые слова: *информационная безопасность, DLP-система, дискретно-косинусное преобразование.*

***

В современных условиях на фоне быстрого развития информационных и коммуникационных технологий происходит значительный рост объемов информации, передаваемой в цифровых системах связи, в том числе и конфиденциальной. Проблема предотвращения утечек конфиденциальной информации становится как никогда актуальной. По статистике компании InfoWatch, прямые убытки кредитно-финансовых организаций от утечек в первом полугодии 2012 года со-

ставили чуть более 2 млрд долл. Решению данной проблемы служат системы предотвращения утечек (DLP-системы). DLP-системы позволяют предотвратить утечки открытой конфиденциальной информации, однако предотвращение утечки информации, защищенной алгоритмами шифрования, не является тривиальной задачей.

Стандартным подходом к выделению защищаемых данных является структурно-лингвистический метод [2], суть которого заключается в исследовании содержимого файлов на наличие заголовков, оставляемых стандартными программами шифрования, и в анализе формата расширения (PasswareEncryption Analyzer – пример программы, работающей по такой схеме).

В то же время структурно-лингвистический метод при решении задач выделения защищаемых данных имеет низкий уровень автоматической адаптации к новым типам данных (неспособность выявлять новые расширения файлов, потребность в регулярном и оперативном обновлении баз, неспособность автоматизированного анализа неизвестных типов данных).

При этом в последнее время широкое распространение получают программы защиты пользовательских данных, которые маскируют файл под известный формат, создают файлы с неизвестными расширениями и сигнатурами (иногда постоянно новыми), маскируют содержимое под текст, вставляют представляющую интерес текстовую информацию в файлы графического формата (jpg, tiff, pdf и т.д.).

Таким образом, складывается объективная необходимость разработки дополнительных методов и инструментов анализа потоков разнородных сообщений с целью выявления защищаемой информации.

Учитывая вышеперечисленные недостатки структурно-лингвистического метода выделения защищенной информации в потоке разнородных сообщений, приходим к выводу о необходимости рассмотрения содержимого исследуемых файлов, не привязываясь к расширению и наличию сигнатур, то есть к анализу считанных из файла данных.

Защищаемыми данными будем называть данные, обработанные при помощи различных алгоритмов блочно-поточного шифрования. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие алгоритмы шифрования: AES (американский стандарт шифрования), 3DES, RC6, Twofish, IDEA, SEED (корейский стандарт шифрования данных), Camellia (сертифицированный для использовании в Японии шифр) и другие. Все перечисленные шифры строятся с использованием следующих структурных элементов: блока перестановок, блока замены, блока функциональных преобразований.

Перечисленные блоки позволяют открытую информацию на входе криптоалгоритма преобразовать в шифртекст, в котором частотная характеристика символов стремится к равномерному распределению, независимо от содержания открытого текста и алгоритма закрытия, приближая структуру данных к псевдослучайной последовательности (ПСП).

Мера близости анализируемой последовательности к ПСП определяется совокупностью методов (тестов). В качестве такой меры выступает наличие равномерного распределения, большого периода, равной частоты появления одинаковых подстрок и т.п. Графический спектральный [1] тест позволяет оценить равномерность распределения бит последовательности на основании анализа высоты выбросов преобразования Фурье. Цель теста – проверить равномерность распре-

деления 0 и 1 в исследуемой последовательности.

Пусть $\varepsilon = \varepsilon_1\varepsilon_2\ldots\varepsilon_n$ – двоичная последовательность длины *n*. Преобразуем ее в нормализованную последовательность $x = x_1x_2\ldots x_n$, где $x_i = 2\varepsilon_i - 1$ (т.е. $1 \to 1$, $0 \to -1$). Применим к *x* дискретное преобразование Фурье и получим последовательность гармоник $S = DFT(x)$. Изобразим графически первые *n*/2 гармоник. У последовательности, чьи свойства близки к свойствам истинно случайной последовательности, число гармоник, чьи длины значительно превышают среднюю длину гармоники, должно стремиться к 0 (рис. 1, *б*). В противном случае последовательность не является случайной (рис. 1, *а*).

Однако описанный тест имеет следующие недостатки:

– невозможна объективная интерпретация итогов теста, так как результаты интерпретируются пользователем;

– невозможно однозначно принять решение об отнесении данных ряда широко используемых форматов, например растровых изображений, к группам защищенных или не защищенных сообщений (рис. 2);

– нет численной характеристики, которая позволяет в режиме автоматизированного принятия решения однозначно сказать, пройден тест или нет.

В процессе устранения изложенных недостатков был разработан модифицированный графический спектральный тест, основанный на выполнении следующей последовательности действий:

1. Нормализация данных.

2. Выполнение быстрого дискретно-косинусного преобразования $S = DCT(x)$ (далее – ДКП), базирующегося на быстром преобразовании Фурье.

Применение на втором шаге ДКП вместо ДПФ является ключевой отличительной особенностью предложенного метода. ДКП вследствие иного от преобразования Фурье перераспределения энергии сигнала позволяет значительно усилить разницу между шифрованными и нешифрованными данными (рис. 3).

3. Вычисление автокорреляционной функции (АКФ) $Y_{\text{кор}}$ дискретного входного сигнала S, где $i = -(n-1), -(n-2), \ldots -1, 0, 1, \ldots, (n-2), (n-1)$.

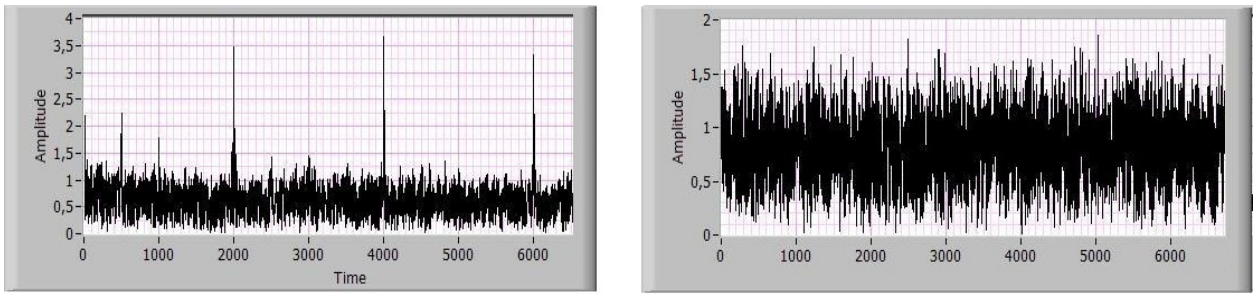
Для последовательностей, чьи свойства близки к свойствам истинно случайной последовательности, значения всплесков корреляции должны стремиться к нулю во всех точках, кроме тех, чьё значение кратно длине последовательности в символах для символьной АКФ и длине последовательности в битах для битовой АКФ (рисунки 4, *б* и 5, *б*). Присутствие значительных всплесков корреляции свидетельствует о наличии зависимости между элементами последовательности (рисунки 4, *а* и 5, *а*).

4. Расчет коэффициента корреляции.

Коэффициент корреляции (коэффициент Пирсона) является мерой линейной статистической связи между данными, позволяет измерить силу линейной корреляционной связи количественных признаков и вычисляется по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y1_i - \overline{y1}) * (y_i - \overline{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y1_i - \overline{y1})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y})^2}},$$

где $\overline{y1} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y1_i$, $\overline{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$ – выборочное среднее; *n* – число элементов входной последовательности; а $y1$, y – векторы эталонных и пришедших на рассмотрение данных.



а) *б*)

Рис. 1. Применение спектрального теста к текстовому документу (*а*),
к данным, закрытых алгоритмом AES (*б*)

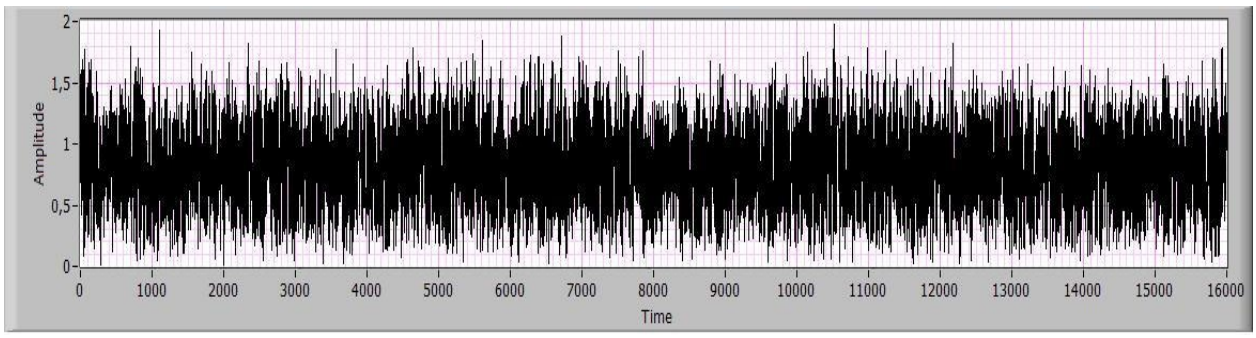
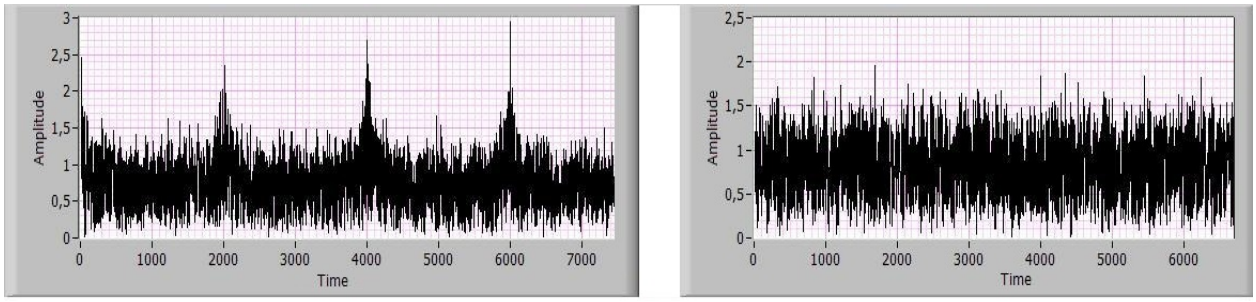


Рис. 2. Применение спектрального теста к растровому изображению



а) *б)*

Рис. 3. Применение модифицированного графического спектрального теста
к растровому изображению (*а*) и к данным, закрытым алгоритмом AES (*б*)

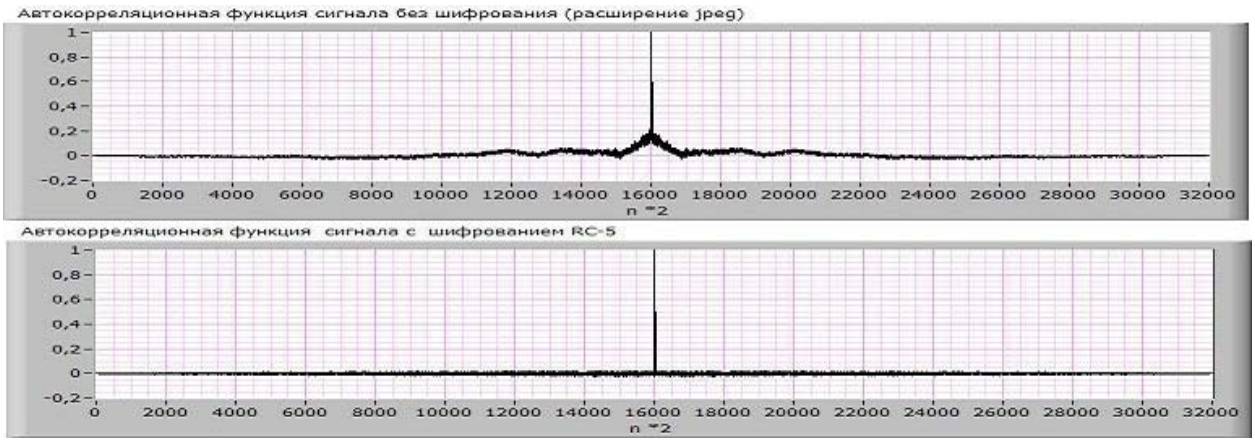


Рис. 4. АКФ для файла jpg и jpg, закрытого алгоритмом RC-5

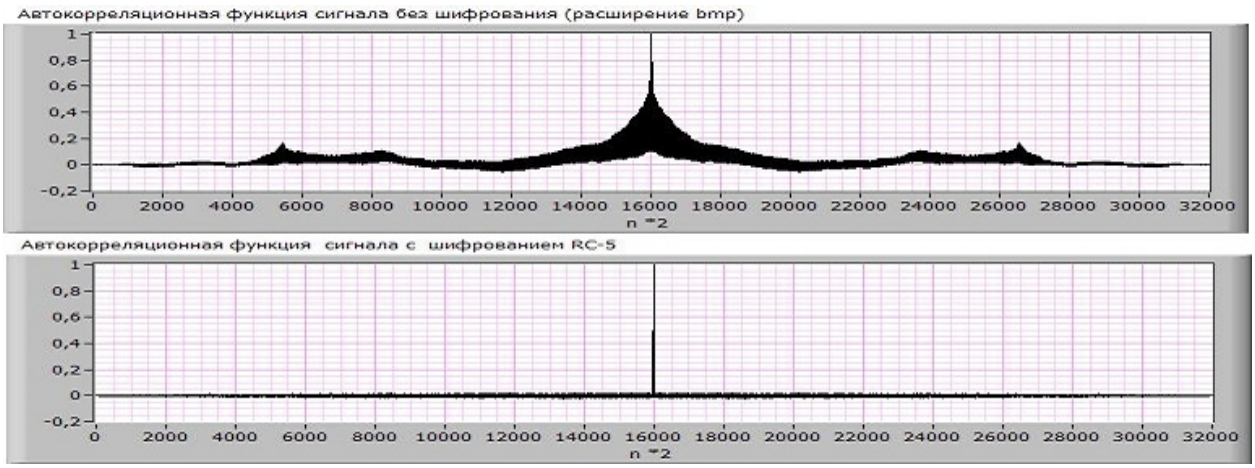


Рис.5. АКФ для файла bmp и bmp, закрытого алгоритмом RC-5

Результаты распознавания защищаемой информации (ЗИ) с использованием описанного модифицированного теста приведены в таблице.

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что предложенный модифицированный графический спектральный тест обеспечивает высокую вероятность правильного распознавания информации, защищенной с использованием блочно-поточных алгоритмов шифрования, в потоке разнородных сообщений цифровых сетей передачи данных на уровне 92–98% , при этом уровень ложной тревоги составляет всего 3–5%.

Результаты распознавания защищаемой информации
с использованием модифицированного теста

Тип данных	Закрытие	Объем выборки	Обнаружено	
			ЗИ	ЗИ (%)
Файлы с расширением JPG	нет	500	15	3
Файлы с расширением PNG	нет	500	25	5
Файлы, закрытые с использованием блочного алгоритма шифрования AES	да	500	490	98
Файлы, закрытые с использованием потокового алгоритма шифрования RC5	да	500	485	98
Использование пароля при сохранении файла	да	500	461	92

Предложенный модифицированный графический спектральный тест может быть использован в качестве основы при разработке программно-аппаратных средств выделения защищаемой информации в каналах цифровых систем связи.

Список литературы

1. Иванов М.А., Чугунков И.В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. 240 с.

2. Фергюсон Н., Шнайер Б. Практическая криптография: [пер. с англ.]. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 424 с.

3. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.

Получено 13.06.12.

I.A. Terehova, Engineer, Scientific Research Center of the Federal State Unitary Enterprise, "18Central Scientific Research Institute" the Ministry of Defence of the Russian Federation (Kursk) (e-mail:ira_terehova@list.ru)

E.V. Nepochatukh, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: nevgeney@gmail.com)

V.P. Dobritsa, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

THE USE OF GRAPHIC SPECTRAL TEST FOR RELEASE OF PROTECTED INFORMATION IN THE CHANNELS OF DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS

The article presents the modified spectral graphical test to allocate protected information in a stream of differently-family messages.

Key words: *information security, DLP-system, discrete cosine transformation.*

УДК 681.3

В.В. Валяев, инженер-программист, ЗАО «Белгран» (Гомель) (e-mail: funkybee@yandex.ru)

Э.И. Ватутин, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОМОРФИЗМА ГРАФОВ ОБЩЕГО ВИДА ЗА ПОЛИНОМИАЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Предложены метод и алгоритм определения изоморфизма графов с асимптотической временной сложностью $O\left(n^4\right)$ и затратами памяти $O\left(n^3\right)$. Метод основан на обходе графа группой окрестностей (волн) с определением полустепеней захода и исхода вершин на стыке окрестностей. За счет использования операций сортировки метод нечувствителен к порядку рассмотрения вершин в процессе построения окрестностей и построчного формирования инварианта, что позволяет считать получаемый инвариант предположительно полным.

Ключевые слова: *теория графов, изоморфизм графов общего вида, полиномиально вычислимый инвариант графа.*

***

Одной из широко известных задач в области теории графов является задача выяснения факта изоморфизма двух неориентированных графов

$$G_1 = \langle A_1, V_1 \rangle \text{ и } G_2 = \langle A_2, V_2 \rangle \quad [1, 2],$$

где $A_i = \left\{a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, ..., a_n^{(i)}\right\}$ – множество вершин; $V_i = \left\{v_1^{(i)}, v_2^{(i)}, ..., v_m^{(i)}\right\}$ – множество дуг графа G_i, $\forall v_j^{(i)} = \left(a_{k_1}^{(i)}, a_{k_2}^{(i)}\right) \in V_i : \left(a_{k_1}^{(i)} \in A_i\right) \wedge \left(a_{k_2}^{(i)} \in A_i\right)$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, 2}$.

Графы считаются изоморфными $\left(G_1 \simeq G_2\right)$ в том случае, если возможно отыскание взаимно-однозначного соответствия $F = \begin{pmatrix} a_1^{(1)} & a_2^{(1)} & ... & a_n^{(1)} \\ a_{i_1}^{(2)} & a_{i_2}^{(2)} & ... & a_{i_n}^{(2)} \end{pmatrix}$ между множествами вершин, называемого также подстановкой изоморфизма, переводящего номера вершин $a_k^{(1)}$ в $a_{i_k}^{(2)}$ (по сути F является биективным бинарным отношением между множествами A_1 и A_2) с получением идентичного графа с совпадающей матрицей смежности M. Фактически в случае наличия изоморфизма граф G_2 может быть получен из графа G_1 путем перенумерации его вершин (рис. 1).

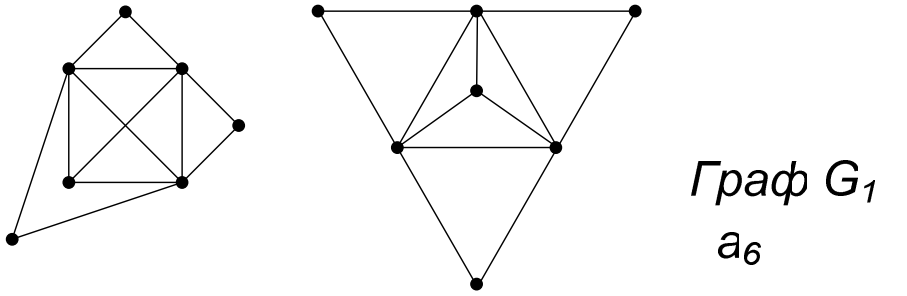


Рис. 1. Пример изоморфизма графов $G_1 \simeq G_2$ и одна из возможных подстановок изоморфизма

$$F = \begin{pmatrix} a_1^{(1)} & a_2^{(1)} & a_3^{(1)} & a_4^{(1)} & a_5^{(1)} & a_6^{(1)} & a_7^{(1)} \\ a_2^{(2)} & a_5^{(2)} & a_6^{(2)} & a_4^{(2)} & a_3^{(2)} & a_1^{(2)} & a_7^{(2)} \end{pmatrix}$$

Бинарное отношение изоморфизма графов фактически является отношением эквивалентности, что позволяет разбить множество графов с заданным числом вершин на классы эквивалентности [9]. Графы, входящие в каждый из классов эквивалентности, попарно изоморфны.

Задача изоморфизма графов примечательна тем, что за более чем полвека исследований не доказана ее принадлежность ни к классу полиномиально разрешимых *P*, ни к классу *NP* (при условии $P \neq NP$ [3]), что по-прежнему оставляет попытки ее исследования актуальными. Известны лишь частные случаи ее решения. Так, например, задача поиска изоморфного вхождения подграфа в граф общего вида относится к классу *NP*, а ряд частных случаев (для планарных графов, деревьев [4], *R*-выражений [5, 6]) может быть эффективно решен с использованием полиномиальных алгоритмов. В общем случае не известен полиномиальный алгоритм решения поставленной задачи общего вида, но и не доказано, что он не существует.

Решение задачи полным перебором [7] сводится к формированию $n!$ перестановок вершин графа G_1 (фактически к перестановке строк и столбцов для матрицы смежности M_1) с последующим ее сопоставлением с матрицей смежности M_2 на предмет их совпадения. Каждое подобное сравнение матриц смежности требует n^2 действий, а подход в общем характеризуется асимптотической временной сложностью порядка $O\left(n^2 \cdot n!\right)$, что существенно ограничивает его применение на практике.

Большинство попыток полиномиального решения задачи сводится к отысканию полного инварианта графа [1, 8], вычисляемого за полиномиальное время. При этом под полным инвариантом понимается некая числовая характеристика либо множество характеристик графа, совпадения которых необходимо и достаточно для установления факта изоморфизма. На данный момент подобный полный инвариант либо неизвестен, либо трудно вычислим (примерами подобных инвариантов являются хроматическое число, мини- и максикоды матрицы смежности и др.), либо не является полным (например, совпадение отсортированных векторов степеней вершин является необходимым, но недостаточным условием изоморфизма). В работе предложен метод вычисления предположительно полного инварианта для неориентированных графов общего вида за полиномиальное время.

Суть метода сводится к следующему. На первом шаге формируется начальная окрестность q_0, из которой начинается дальнейшее движение по вершинам

графа. На каждом последующем шаге алгоритма для вершин текущей окрестности q_i определяется множество смежных с ней вершин q_{i+1}, для которых существуют дуги $\left(a_{j_k}, a_{l_m}\right)$, причем $\left(a_{j_k} \in q_i\right) \wedge \left(a_{l_m} \in q_{i+1}\right)$ и вершины из множества q_{i+1} еще не были рассмотрены: $q_{i+1} \cap \bigcup_{j=0}^{i} q_j = \varnothing$. Формирование окрестностей продолжается до тех пор, пока это возможно, т.е. пока из текущей окрестности можно попасть хотя бы в одну еще не рассмотренную вершину: $\exists a_{l_m} \wedge \exists \left(a_{j_k}, a_{l_m}\right) : \left(a_{j_k} \in q_i\right) \wedge \left(a_{l_m} \notin \bigcup_{p=0}^{i} q_p\right)$. Схематично процесс формирования окрестностей приведен на рис. 2.

Далее производится рассмотрение пар окрестностей $\left(q_i, q_{i+1}\right)$. Для каждой пары определяется множество связывающих дуг $V_{(q_i, q_{i+1})} = \left\{v_{j_1}, v_{j_2}, ..., v_{j_r}\right\}$, таких что $\forall v_{j_k} = \left(a_{j_k}^{(нач)}, a_{j_k}^{(кон)}\right) \in V_{(q_i, q_{i+1})}$: $: \left(a_{j_k}^{(нач)} \in q_i\right) \wedge \left(a_{j_k}^{(кон)} \in q_{i+1}\right)$.

Отталкиваясь от дуг данного множества $V_{(q_i, q_{i+1})}$, для всех вершин множества q_i рассчитываются оценки $\rho^+\left(a_{j_k}^{(нач)}\right)$, а для вершин множества q_{i+1} – оценки $\rho^-\left(a_{j_k}^{(кон)}\right)$, фактически представляющие собой полустепени исхода и захода для вершин множеств q_i и q_{i+1} соответственно, рассчитанные для ориентированного двудольного графа $G_{(q_i, q_{i+1})} = \left\langle q_i \cup q_{i+1}, V_{(q_i, q_{i+1})} \right\rangle \subseteq G$. Полученные оценки группируются в векторы $\mathrm{P}^-_{(q_i, q_{i+1})} = \left[\rho^-\left(a_{j_1}^{(нач)}\right), \rho^-\left(a_{j_2}^{(нач)}\right), ..., \rho^-\left(a_{j_r}^{(нач)}\right)\right]$ и $\mathrm{P}^+_{(q_i, q_{i+1})} = \left[\rho^+\left(a_{j_1}^{(кон)}\right), \rho^+\left(a_{j_2}^{(кон)}\right), ..., \rho^+\left(a_{j_r}^{(кон)}\right)\right]$.

Для приведенного выше примера

$$\mathrm{P}^-_{(q_0, q_1)} = [3],\ \mathrm{P}^+_{(q_0, q_1)} = [1, 1, 1];$$

$$\mathrm{P}^-_{(q_1, q_2)} = [3, 0, 3],\ \mathrm{P}^+_{(q_1, q_2)} = [1, 1, 2, 1, 1].$$

Далее из полученных векторов исключаются нулевые оценки и производится сортировка оценок в каждом из них (тип сортировки – по возрастанию или убыванию – не играет роли, в данном случае произведена сортировка по убыванию). Для приведенного выше примера

$$\mathrm{P}^-_{(q_0, q_1)}{}' = [3],\ \mathrm{P}^+_{(q_0, q_1)}{}' = [1, 1, 1];$$

$$\mathrm{P}^-_{(q_1, q_2)}{}' = [3, 3],\ \mathrm{P}^+_{(q_1, q_2)}{}' = [2, 1, 1, 1, 1].$$

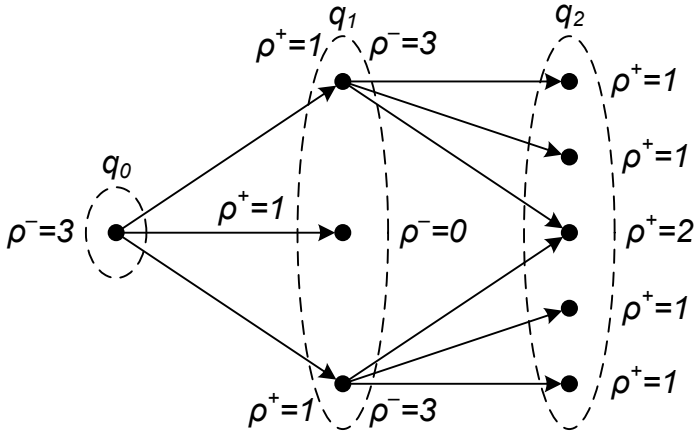


Рис. 2. Иллюстрация к процессу формирования окрестностей

Далее производится формирование строки инварианта графа путем конкатенации полученных векторов, причем оценки векторов $\mathrm{P}^{+}_{(q_i, q_{i+1})}{}'$ берутся с обратным знаком. Для приведенного выше примера

$$S(q_0)=\mathrm{P}^{-}_{(q_0,q_1)}{}'\odot\mathrm{P}^{+}_{(q_0,q_1)}{}'\odot\mathrm{P}^{-}_{(q_0,q_1)}{}'\odot\mathrm{P}^{+}_{(q_0,q_1)}{}'=$$
$$=[3|-1-1-1|3\,3|-2-1-1-1],$$

где «$\odot$» – обозначение операции конкатенации, а символы «|» ограничивают отдельные векторы и добавлены для наглядности.

Выбирая различные наполнения начальной окрестности $q_0^{(i)}$, можно получать различные строки инварианта $S\left(q_0^{(i)}\right)$. Отсортированная в лексикографическом порядке совокупность строк $\left[S\left(q_0^{(1)}\right), S\left(q_0^{(2)}\right), ..., S\left(q_0^{(t)}\right)\right]$ образует искомый предположительно полный инвариант.

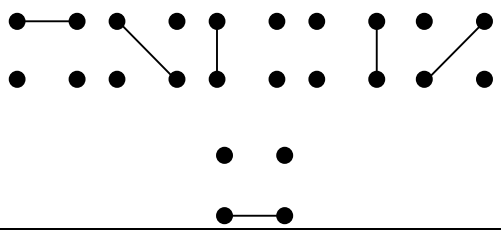
Формирование множества начальных окрестностей $\left\{q_0^{(1)}, q_0^{(2)}, ..., q_0^{(t)}\right\}$ в простейшем случае осуществляется путем помещения каждой из вершин $a_i \in A$ графа G в отдельную начальную окрестность: $q_0^{(1)}=\{a_0\}$, $q_0^{(2)}=\{a_1\}$, $q_0^{(3)}=\{a_2\}$ и т.д. Более трудоемким является формирование начальных окрестностей из всех возможных пар

$$\begin{pmatrix} \{a_0,a_1\},\{a_0,a_2\},..., \\ ...,\{a_0,a_n\},\{a_1,a_2\},\{a_1,a_3\},..., \\ ...,\{a_1,a_n\},...,\{a_{n-1},a_n\} \end{pmatrix},$$

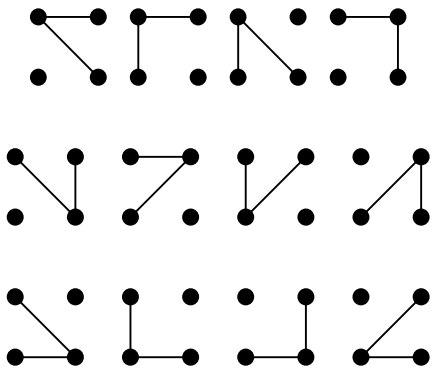
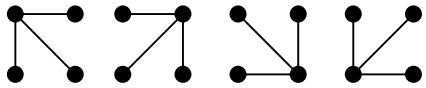
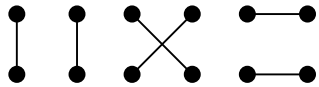
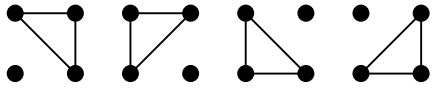
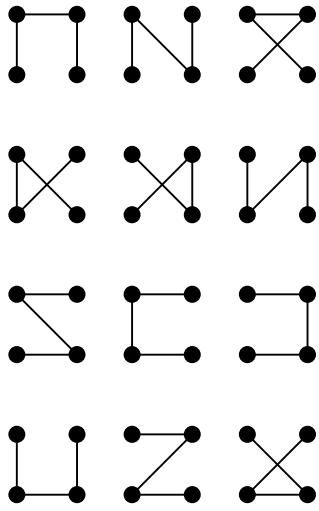
троек, четверок и т.д. вершин графа.

В таблице в качестве примера приведено разбиение множества всех графов из 4 вершин на классы эквивалентности [9], полученное с использованием предложенного инварианта. В качестве начальных значений окрестностей использована простейшая стратегия поочередного помещения в них вершин графа по одной в каждую окрестность.

Множество классов изоморфизма для графов из 4 вершин, полученное с использованием предложенного инварианта (*p* – код матрицы смежности, полученный путем построчного выписывания элементов верхней треугольной подматрицы и перевода полученного двоичного числа в десятичную форму)

Класс изоморфизма	Примеры графов	Инвариант
1		$\begin{pmatrix}-\\-\\-\\-\end{pmatrix}$
2		$\begin{pmatrix}- & \\ - & \\ 1 & -1 \\ 1 & -1\end{pmatrix}$

Продолжение табл.

Класс изоморфизма	Примеры графов	Инвариант
3		$\begin{pmatrix} - & & & \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 2 & -1 & -1 & \end{pmatrix}$
4		$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 2 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 2 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 2 & -1 & -1 \\ 3 & -1 & -1 & -1 & \end{pmatrix}$
5		$\begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \\ 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$
6		$\begin{pmatrix} - & & & \\ 2 & -1 & -1 & \\ 2 & -1 & -1 & \\ 2 & -1 & -1 & \end{pmatrix}$
7		$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & -1 & \\ 2 & -1 & -1 & 1 & -1 & \end{pmatrix}$

p=3 p=5 p=6

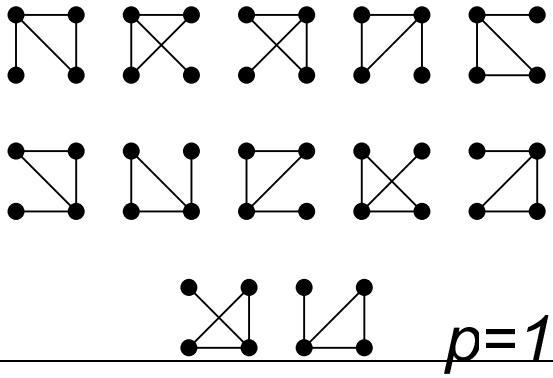
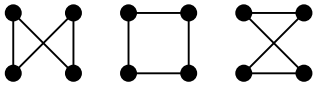
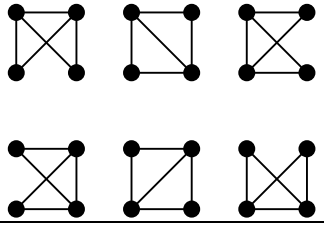
p=10 p=17 p=2

p=34 p=36 p=4

p=7 p=25 p=4

p=12 p=18

Окончание табл.

Класс изоморфизма	Примеры графов	Инвариант
8		$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 2 & -1 & -1 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 3 & -1 & -1 & -1 & \end{pmatrix}$
9		$\begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & -2 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & -2 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & -2 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & -2 \end{pmatrix}$
10		$\begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & -2 \\ 2 & -1 & -1 & 1 & 1 & -2 \\ 3 & -1 & -1 & -1 & & \\ 3 & -1 & -1 & -1 & & \end{pmatrix}$
11		$\begin{pmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 \\ 3 & -1 & -1 & -1 \\ 3 & -1 & -1 & -1 \\ 3 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$

Из приведенного пример видно, что первый столбец инварианта представляет собой отсортированный вектор степеней вершин графа (при условии, что символы «–» заменяются на нули).

Для формирования множества начальных окрестностей в простейшем случае необходимо *n* шагов; число получаемых окрестностей не превышает диаметр графа $d(G) \le n$; вычисление оценок ρ^+ и ρ^- требует не более $|q_i| \cdot |q_{i+1}| < n^2$ действий; сортировка векторов P^+ и P^- выполняется за время порядка $O(|q_i|)$ и $O(|q_{i+1}|)$ при использовании сортировки распределением [10], каждое из которых не превосходит $O(n)$; итоговая сортировка строк инварианта требует $O(n \log n)$ действий. Таким образом, временны́е затраты на вычисление инварианта составляют

$$O\left(n \cdot \alpha_1 n \cdot \left(\alpha_2 n^2 + \alpha_3 n + \alpha_4 n\right) + \alpha_5 n \log n\right) \simeq \simeq O\left(n^4\right),$$

где $\alpha_i, i = \overline{1,5}$ – некоторые коэффициенты.

Затраты памяти определяются затратами на хранение инварианта и составляют в простейшем случае величину

$$O\left(n \cdot d\left(G\right) \cdot \left(\left|\overline{q}_i\right| + \left|\overline{q}_{i+1}\right|\right)\right) \simeq O\left(n^3\right).$$

В перспективе дальнейших исследований необходимо исследование вопроса о том, является ли предложенный инвариант действительно полным для графов с бóльшим числом вершин. В пределах графов, входящих в состав класса эквивалентности, инварианты, скорее всего, должны совпадать. Если при этом не будет наблюдаться совпадений инвариантов для графов из различных классов эквивалентности, инвариант можно эмпирически считать полным.

Работа выполнена в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (проект 14.B37.21.0598 «Теоретические основы и методы использования распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем для решения дискретных оптимизационных задач»).

Список литературы

1. Зыков А.А. Основы теории графов. М.: Наука, 1986. 384 с.

2. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Изоморфизм_графов.

3. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Равенство_классов_P_и_NP.

4. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_isomorphism_problem.

5. Ватутин Э.И., Зотов И.В., Титов В.С. Выявление изоморфных вхождений *R*-выражений при построении множества сечений параллельных алгоритмов логического управления // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 11, Т. 7. С. 49–56.

6. Ватутин Э.И., Зотов И.В., Титов В.С. Алгоритм и устройство выявления изоморфных вхождений *R*-выражений при построении множества сечений параллельных алгоритмов логического управления // Известия вузов. Серия «Приборостроение». 2009. Т. 52, № 2. С. 37–45.

7. Курейчик В.М., Глушань В.М., Щербаков Л.И. Комбинаторные аппаратные модели и алгоритмы в САПР. М.: Радио и связь, 1990. 216 с.

8. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Инвариант_графа.

9. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Класс_эквивалентности.

10. URL: http://algolist.manual.ru/sort/radix_sort.php.

Получено 15.06.12.

V.V. Valyaev, Closed Joint-Stock, Company «Belgran» (Gomel)
(e-mail: funkybee@yandex.ru)

E.I. Vatutin, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: evatutin@rambler.ru)

METHOD FOR DETERMINING ISOMORPHISM OF GENERAL FORM OF GRAPH IN POLYNOMIAL TIME

A method and an algorithm for determining isomorphism of general form graphs in $O\left(n^4\right)$ памяти $O\left(n^4\right)$ time using $O\left(n^3\right)$ memory are proposed. It based on traverse of graph using a group of neighborhoods (waves) with determining indegree and outdegree of vertices between neighborhoods. Due to using sorting operation given method is insensitive to the order of consideration of vertices during construction neighborhoods and line by line forming of the invariant, that allows to consider the resulting invariant is supposedly full.

Key words: *graph theory, general form graph isomorphism, polynomially computable graph invariant.*

УДК 004.932

А.П. Коновальчик, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: temp1202@mail.ru)

А.В. Помельников, магистрант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: aleksey_pomelnikov@mail.ru)

М.И. Труфанов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: temp1202@mail.ru)

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ФОНА ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСАХ

Представлен алгоритм обнаружения движущихся объектов известной формы посредством анализа текущего и усредненного кадра. Отличительной особенностью алгоритма является возможность достоверного обнаружения объекта в условиях его незначительного отличия от фона и использование относительно простых вычислений, позволяющих характеризовать алгоритм как нересурсоемкий и обеспечивающий обработку изображений в реальном времени без использования высокопроизводительных вычислительных средств. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие корректность предложенного алгоритма.

Ключевые слова: *распознавание изображений, сферический объект, алгоритм, помехи, сложный фон.*

***

При решении ряда практических задач при построении систем технического зрения возникает задача обнаружения объекта заранее известной формы и измерения его характеристик. Известные подходы к решению данной задачи позволяют достоверно обнаруживать объект в условиях достаточных вычислительных ресурсов и времени обработки изображений, а также в случае четко выделяющегося объекта на однородном фоне. Сложность при решении задачи обнаружения объекта априори известной формы заключается в случае близких цветовых характеристик объекта и фона, а также малом допустимом времени обнаружения объекта.

Предлагаемый алгоритм предназначен для обнаружения объекта, схожего по цвету с фоном, в условиях движения объектов и их относительно большого количества (несколько сотен объектов) на обрабатываемом кадре изображения. Алгоритм ориентирован на обнаружение и вычисление параметров окатышей – сфероидальных объектов размером от 7 до 20 мм, быстро движущихся по конвейеру [1]. Алгоритм путем незначительного изменения может быть доработан для обнаружения других объектов.

Особенность обработки изображений окатышей заключается в том, что их мелкие раздробленные частички фактически и составляют часть фона изображения, т.е. фон по своим цветовым характеристикам в большинстве областей изображения практически полностью совпадает с цветоконтрастными характеристиками самих окатышей. При этом фон постоянно динамически меняется, т.к. сами окатыши и их мелкие частички движутся по конвейеру, и барабаны конвейера вращаются, что вызывает постоянное изменение фона изображения [2].

Рассмотрим разработанный алгоритм. Алгоритм заключается в выполнении следующих шагов:

– шаг 1 – расчет значения фоновой составляющей изображения путём усреднения серии кадров;

– шаг 2 – сглаживание текущего обрабатываемого кадра изображения;

– шаг 3 – формирование множества пикселей текущего кадра изображения, предположительно принадлежащих искомым объектам;

– шаг 4 – формирование множества пикселей фонового изображения, удовлетворяющих цветовым характеристикам искомых объектов;

– шаг 5 – исключение из дальнейшей обработки на текущем кадре изображения областей, которые на фоновом изображении соответствуют цветовым характеристикам искомых объектов;

– шаг 6 – сегментация изображения, полученного после выполнения предыдущего шага с целью предварительного формирования множества искомых объектов;

– шаг 7 – уточнение множества искомых объектов путем анализа их формы и расчет радиусов каждого найденного объекта.

В соответствии с алгоритмом первым шагом является расчет фоновой составляющей изображения. Для этого в блоке 1 (рис. 1) задается необходимое количество кадров, используемых для усреднения. Обработка кадров производится попиксельно. Каждый пиксель очередного введенного кадра (блок 2 алгоритма) усредняется с пикселем промежуточного усредненного изображения, которое при получении достаточного количества кадров принимается результирующим изображением, содержащим только фоновую составляющую. Усреднение кадра происходит в блоке 3 по итерационной формуле:

$$I_{avg}(x, y) = (I_{avg}(x, y) \cdot k + I_{cur}(x, y))/(k+1),$$

где $I_{avg}(x,y)$ – функция яркости усредненного кадра; $I_{cur}(x,y)$ – функция яркости текущего кадра; k–коэффициент усреднения.

На рисунке 2 приведен пример усредненного и текущего изображения (изображения получены на имитационной модели).

Сглаживание текущего изображения производится на основе функции Гаусса. Радиус сглаживания выбран равным 2 пикселям, что позволяет уменьшить уровень случайных помех, вносимых приемником изображения – шумом:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-r^2/(2\sigma^2)},$$

где r – радиус размытия; σ – стандартное отклонение распределения Гаусса.

В следующей группе блоков производится предварительное формирование множества пикселей, предположительно принадлежащих объекту (блоки 5-8). Для каждого очередного пикселя в блоке 7 текущего I_{cur} и усредненного I_{avg} изображения проверяется выполнение условий:

$$I_{cur} \in M, \text{ если } \left|I_{cur}(x, y) - c\right| < T$$
$$\text{и } \left|I_{avg}(x, y) - c\right| \geq NT,$$

где M – множество точек, являющихся предполагаемым объектом; c – цвет объекта; T – пороговое значение для определения объекта на текущем кадре; NT – пороговое значение для определения точек, подобных объекту на усредненном кадре.

Это позволяет с большей вероятностью определить точки, принадлежащие объекту. Таким образом, сформировано промежуточное изображение (рис. 2, *а*) для текущего кадра, которое содержит области искомых объектов, как правило, обособленные друг от друга.

Полученное изображение сегментируется на основе способа [3,4] в блоке 9 (рис.2, *б*). Данный алгоритм сегментации использует RGB-пространство, разбитое на подпространства. Каждое подпространство имеет свой номер, относительно которого происходит выбор соответствия текущего пикселя нужной области. Номер подпространства X_p для каждого пикселя рассчитывается по следующей формуле:

$$X_p = \mathrm{mod}\left(\frac{r}{h_R}\right) << \mathrm{mod}\left(\frac{g}{h_G}\right) << \mathrm{mod}\left(\frac{b}{h_B}\right),$$

где операция << – операция сдвига числа на 8 бит; операция mod() – получение целой части от деления; *r, g, b* – соответственно красная, зеленая и синяя составляющие обрабатываемого пикселя; h_R, h_G, h_B – количество единиц цвета для каждого диапазона и каждой цветовой составляющей.

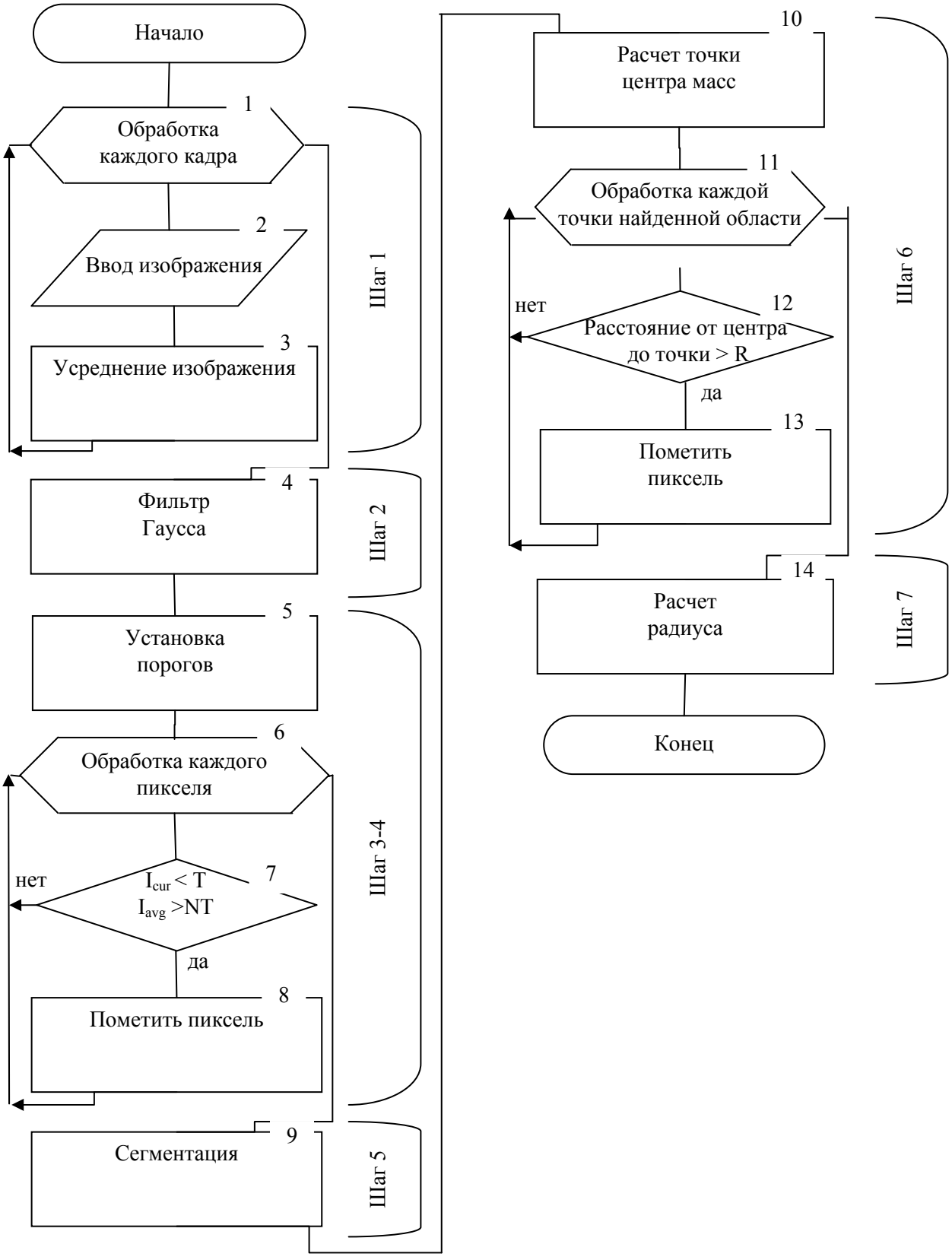
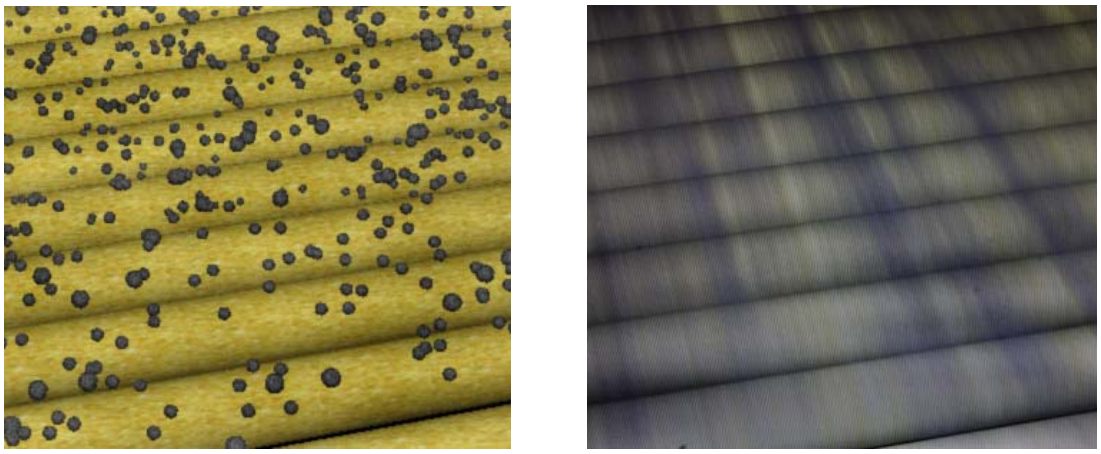


Рис. 1. Блок-схема алгоритма обнаружения сферического объекта



а) *б)*

Рис. 2. Результат усреднения изображения: *а* – текущий кадр, *б* – усредненный кадр

Результат сегментации изображений окатышей показан на рис. 3.

Следующей группой операций является окончательное обнаружение объектов (блоки 12–14). Для каждого объекта из множества *M* ищется его центр масс. Затем анализируется размер объекта путем сравнения его с максимальным радиусом. Определение центра масс осуществляется путем нахождения среднего арифметического координат каждого объекта области *M*. В результате получают точку с координатами *w*(*x*, *y*), находящуюся в области центра объекта. Так как объект имеет форму, близкую к сферической, то выделяют только те точки, которые лежат в области окружности радиусом *R* и центром *w*(*x*,*y*), а остальные точки считают шумом (рис. 4).

Осуществляется вычисление расстояния *l* между центром масс объекта и его текущей анализируемой точкой:

$$l = \sqrt{(x - wx)^2 + (y - wy)^2},$$

где *x* – координата точки области M; *y* – координата точки области; *wx* – координата центра окружности, *wy* – координата центра окружности.

Таким образом, все точки, принадлежащие искомому объекту, будут удовлетворять следующему условию:

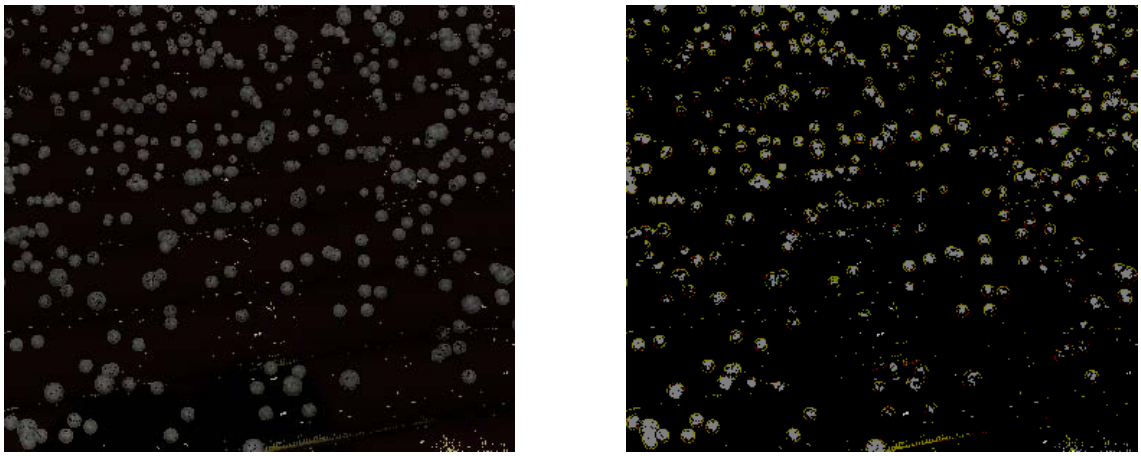
$$p_i \in H, \text{ если}$$
$$(x - wx)^2 + (y - wy)^2 \le R^2,$$

где H – область точек объекта.

Для вычисления радиуса каждого объекта производится анализ его изображения на исходном кадре путем расчета и последующего усреднения множества элементарных радиусов для каждого объекта (блок 14 алгоритма).

Для проверки алгоритма были приведены экспериментальные исследования в лаборатории по созданным имитационным рабочим сценам (250 изображений) и по изображениям, полученным с конвейера Михайловского горно-обогатительного комбината [5] (17 изображений). Алгоритм реализован на языке C в среде Visual Studio 2010. На рисунке 5 представлены примеры изображений при вычислении количества и радиусов окатышей по их изображению при движении на конвейере.

Анализ результатов реализации предложенного алгоритма на персональном компьютере с процессором Intel Core i7 показал, что время обработки одного кадра составляет не более (74±12) мс при 100 объектах на изображении и (3,8±0,1) с при 300 объектах, погрешность вычисления количества объектов составляет 5% на реальных изображениях и 2% на изображениях имитационной модели, погрешность вычисления радиусов окатышей – 1,5%.



а) *б)*

Рис. 3. Результат сегментации изображений окатышей:
а – результат выделения множества пикселей объектов; *б* – результат сегментации

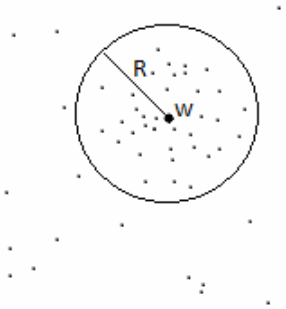
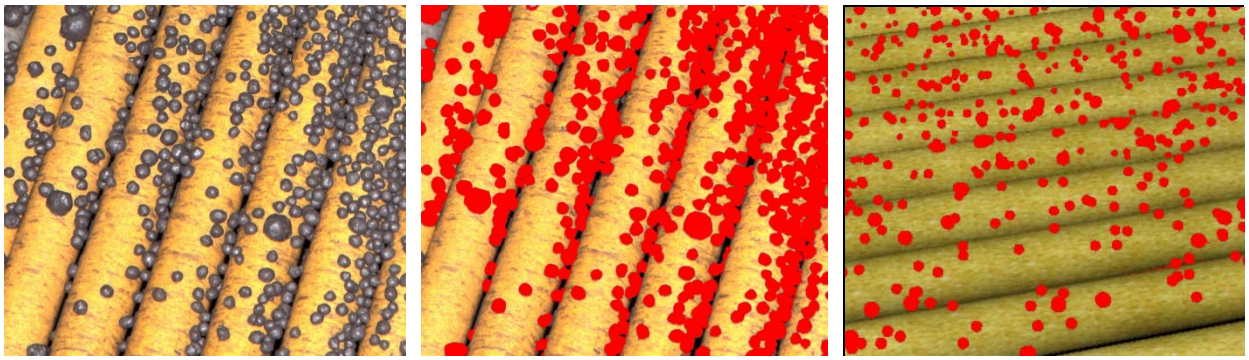


Рис. 4. Область отсечения точек шума



а) *б)* *в)*

Рис. 5. Изображения при вычислении количества и радиусов окатышей:
а – исходное изображение, полученное на Михайловсоком горно-обогатительном комбинате;
б – окатыши, обнаруженные на исходном изображении; *в* – окатыши, обнаруженные на изображении (см. рис. 2, *а*), полученном на имитаторе

Таким образом, предложен алгоритм обнаружения быстродвижущихся объектов сферической формы, отличающийся использованием вычислительно несложных операций и возможностью обнаружения объектов на сложном фоне и при большом количестве объектов.

Работа поддержана грантом по ФЦП, Госконтракт П1006.

Список литературы

1. Чернецкая И.Е., Труфанов М.И., Конча Ороско Э.Э. Система технического зрения анализа гранулометрического состава железорудных окатышей // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5. С. 98–102.

2. Труфанов М.И., Конча Э.Э. Ороско. Специализированное оптико-электронное устройство анализа гранулометрического состава железорудных окатышей// Информационные технологии и математическое моделирование систем – 2011: тр. Междунар. науч.-техн. конф. М.: Центр информационных технологий в проектировании РАН, 2011. С. 167–170.

3. Gilboa G., Osher S. Nonlocal linear image regularization and supervised segmentation // SIAM Multiscale Model. Simul. 2007. Vol. 6, № 2. P. 595–630.

4. Бугаенко, Е.И. Тарасова О.Б., Кузнецов С.В. Формирование панорамных изображений на основе поиска особенностей на изображении // Распознавание-2010: сб. матер. 9-й Междунар. конф. Курск, 2010. С. 71–73.

5. Truphanov M., Chernetskaya I., Concha H. Sistema de visión artificial para el analisis en la composición granulometrica del granulado de hierro // Revista Eídos. 2011. № 4. P. 26–30.

Получено 14.06.12.

A.P. Konovalchick, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: temp1202@mail.ru)

A.V. Pomelnikov, Undergraduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: aleksey_pomelnikov@mail.ru)

M.I. Truphanov, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: temp1202@mail.ru)

ALGORITHM FOR DETECTING MOVING OBJECTS IN A COMPLEX BACKGROUND UNDER LIMITED COMPUTING RESOURCES

The algorithm for the detection of moving objects of known shape by analysis of the current and the average frame. A distinctive feature of the algorithm is the ability to reliably detect an object in its slight differences from the background and the use of relatively simple calculations to characterize the algorithm as neresursoemky and provide image processing in real time without the use of high performance computing resources. The experimental results confirming the correctness of the algorithm.

Key words: *image recognition, spherical object, algorithm, noise, complex background.*

УДК 519.7

В.Н. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор, Московский государственный институт электронного машиностроения (e-mail: afanval@mail.ru)

Д.В. Титов, канд. техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: amazing2004@inbox.ru)

Т.А. Ширабакина, канд. техн. наук, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: tas_06@mail.ru)

УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ПАРАМЕТРАМИ, ЗАВИСЯЩИМИ ОТ СОСТОЯНИЯ (ЧАСТЬ 1)

Предложен метод синтеза робастного управления для нелинейного неопределенного объекта с параметрами, зависящими от его состояния (SDC), при отсутствии краевых условий на правом конце и заданным временем переходного процесса. Приведен пример построения робастного регулятора для нелинейной неопределенной системы.

Ключевые слова*: робастное управление, нелинейный объект, регулятор.*

***

Сравнительно недавно теория робастных систем пополнилась новыми инструментами синтеза регуляторов. Для линейных неопределенных систем это алгебраическое неравенство Риккати (ARI), для нелинейных – неравенство Гамильтона-Якоби (HJI) [1, 2]. HJI является скалярным неравенством с частными производными, что затрудняет применение этого метода. Одним из возможных способов нахождения робастного управления с использованием HJI является метод, основанный на аппроксимации HJI рядом Тейлора вокруг точки равновесия. Однако метод, основанный на представлении неравенства с частными производными с использованием аппроксимации возле точки равновесия, не позволяет получить более общие решения. С другой стороны, использование нелинейных матричных неравенств дает возможность исследовать системы, параметры которых зависят от состояния (SDC) [3]. Этот тип нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений позволяет перейти при синтезе робастного управления от использования неравенства Гамильтона-Якоби к неравенству Риккати с параметрами, зависящими от состояния объекта (SDRI). Другими словами, если существует положительно определенная матрица $S(x)$, параметры которой зависят от состояния объекта и которая удовлетворяет неравенству Риккати (SDRI), и существует положительно определенная скалярная функция $V(x)$, удовлетворяющая решению $dV(x)/dt = S(x)x(t)$, тогда эта функция удовлетворяет неравенству Гамильтона-Якоби (HJI).

Следует отметить, что использование метода SDRI для решения HJI наталкивается на проблему неоднозначного представления нелинейной системы в форме SDC [3]. Таким образом, решение SDRI может дать различные положительно определенные матрицы $S(x)$.

Добавим, что ARI и HJI невозможно использовать для решения терминальных задач управления неопределенными объектами. В работе предлагается метод синтеза робастного управления для нелинейного неопределенного объекта с параметрами, зависящими от его состояния (SDC), и заданным временем переходного процесса.

I. Постановка задачи

Пусть нелинейный управляемый объект описывается векторным дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} &\frac{d}{dt}x(t) = f(t,x) + g_1(t,x)w(t) + g_2(t,x)u(t), \\ &x(t_0) = x_0,\ y(t) = h(t,x), \\ &f,\ g_1,\ g_2:\ T\times\Omega\to R^n,\quad h: T\times\Omega\to R^m, \\ &(t,x)\to f(t,x),\ g_1(t,x),\ g_2(t,x),\ h(t,x), \end{aligned} \tag{1.1}$$

где T – интервал $[t_0, T]$; Ω –область (открытое связанное множество) R^n, содержащая начало; $x\in R^n$ –состояние системы; $x_0 \in X_0$, X_0 – область возможных начальных состояний системы; $y\in R^m$, $m\le n$ – выход системы; $u\in R^r$ –управление, подлежащее нахождению; $w\in R^m$ – неизвестное возмущение; матрицы $f(t,x)$, $g_1(t,x)$, $g_2(t,x)$, $h(t,x)$ действительны и непрерывны.

Предполагается, что пары $\langle f(t,x), g_1(t,x)\rangle$ и $\langle f(t,x), g_2(t,x)\rangle$ являются управляемыми, пара $\langle f(t,x), h(t,x)\rangle$ наблюдаемой. Кроме того, функции $f(t,x)$, $g_1(t,x)$, $g_2(t,x)$, $h(t,x)$ будем предполагать достаточно гладкими, чтобы через любые $(t_0, x_0)\in T\times\Omega$ проходило одно и только одно решение (1.1) $x(t, t_0, x_0)$ и был бы единственный соответствующий выход системы $y(t) = h(t, x(t, t_0, x_0))$.

Рассматривая задачу синтеза закона управления как дифференциальную игру двух игроков U и W на заданном интервале $[t_0, T]$, введем функционал

$$J(x,u,w)=\frac{1}{2}x^T(T)Fx(T)+\frac{1}{2}\int_{t_0}^{T}\left\{x^T(t)Qx(t)+u^T(t)Ru(t)-w^T(t)Pw(t)\right\}dt. \qquad (1.2)$$

Первое слагаемое функционала (1.2) – взвешенная терминальная оценка качества выполнения задачи дифференциальной игры; матрицы Q и F могут быть положительно полуопределенными; матрицы R, $P-$ положительно определенные. Требования к значениям параметров матриц F, Q, R, P будут определены далее.

Задача заключается в построении оптимальной стратегии с обратной связью для игроков U и W. Ограничения на управляющие воздействия учитываются при назначении матриц P и R.

II. Дифференциальная игра: общее решение

Следуя [4], оптимальные стратегии с обратной связью для игроков U и W на заданном интервале $[t_0,T]$ определяются выражением

$$u(t)=-R^{-1}g_2^T(t,x)\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T,$$

$$w(t)=P^{-1}g_1^T(t,x)\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T, \qquad (2.1)$$

где $V(x)$ − положительно определенная функция, отвечающая уравнению Гамильтона-Якоби:

$$\frac{\partial V(x)}{\partial t}+\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}f(t,x)+\frac{1}{2}x^T(t)Qx(t)+$$
$$+\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\begin{bmatrix}g_1(t,x)P^{-1}g_1^T(t,x)-\\-g_2(t,x)R^{-1}g_2^T(t,x)\end{bmatrix}\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T=0,$$
$$V(x(T))=\frac{1}{2}x^T(T)Fx(T).$$

Из условия положительной определенности функционала (1.2) следует, что назначения матриц R и P должны быть такими, чтобы матрица $\left[g_2(t,x)R^{-1}g_2^T(t,x)-g_1(t,x)P^{-1}g_1^T(t,x)\right]$ была бы, по крайней мере, положительно полуопределенной.

Основная трудность реализации управлений в виде (2.1) заключается в нахождении вектора $\partial V(x)/\partial x(t)$, удовлетворяющего скалярному уравнению (2.2). Одним из возможных способов нахождения робастного управления с использованием уравнения (2.2) является метод, основанный на аппроксимации этого уравнения рядом Тейлора вокруг точки равновесия [5]. Однако метод, основанный на представлении неравенства с частными производными с использованием аппроксимации возле точки равновесия, не позволяет получить более общие решения.

III. Объект с параметрами, зависящими от состояния

Сделаем ряд предположений относительно матриц $f(t,x)$, $g_1(t,x)$, $g_2(t,x)$, $h(t,x)$. Пусть, каково бы ни было $\varepsilon>0$, существуют такие δ и T, что

$$\begin{aligned}f(t,x)&=\left[A_1(t)+A_2(x)\right]x(t),\\ g_1(t,x)&=G_{11}(t)+G_{12}(x),\\ g_1(t,x)&=G_{21}(t)+G_{22}(x),\\ h(t,x)&=\left[H_1(t)+H_2(x)\right]x(t),\end{aligned} \qquad (3.1)$$

где $\|A_1(t)\|\le a_1$, $\|G_{11}(t)\|\le g_{11}$, $\|G_{21}(t)\|\le g_{21}$,
$$\|H_1(t)\|\le h_1,\ t\in[t_0,T], \qquad (3.2)$$

$$\begin{aligned}&|A_2(x)x(t)|\le\varepsilon|x|,\ \ |G_{12}(x)|\le\varepsilon|x|,\\ &|G_{22}(x)|\le\varepsilon|x|,\ \ |H_2(x)|\le\varepsilon|x|,\\ &\left(|x|\le\delta,\ \ t\ge T\right).\end{aligned} \qquad (3.3)$$

Из условия (3.3) следует, что

$$\left\|\left[A_1(t)+A_2(x)\right]x(t)\right|=o\left(|x|\right),$$
$$|G_{12}(x)|=o\left(|x|\right),\ \ |G_{22}(x)|=o\left(|\ |\right),$$
$$|H_2(x)|=o\left(|x|\right)$$

при $\left(|x|\to 0\right)$ равномерно по t, $t\ge t_0$ [6].

Таким образом, решение дифференциального уравнения (1.1), тождественно равное нулю, асимптотически устойчиво.

Из условий (3.2) можно сделать вывод, что

$$\begin{aligned}
&\underline{A}_1 \le A_1(t) \le \overline{A}_1, \quad \underline{G}_{11} \le G_{11}(t) \le \overline{G_{11}}, \\
&\underline{G}_{21} \le G_{21}(t) \le \overline{G_{21}}, \\
&\underline{h}_1 \le H_1(t) \le \overline{h}_1, \quad t \in [t_0, T] \ ,
\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned}
&\left\| A_2(x_0) \right\| > \left\| A_2(x) \right\|, \\
&\left\| G_{21}(x_0) \right\| > \left\| G_{21}(x) \right\|, \\
&\left\| G_{22}(x_0) \right\| > \left\| G_{22}(x) \right\|, \\
&\left\| H_2(x_0) \right\| > \left\| H_2(x) \right\|, \quad t > t_0.
\end{aligned} \tag{3.5}$$

или, объединив условия (3.4) и (3.5), будем иметь

$$\begin{aligned}
&\left\| \underline{A}_1 \right\| < \left\| A_1(t) + A_2(x) \right\|, < \left\| \overline{A}_1 + A_2(x_0) \right\| \\
&\left\| \underline{G}_{11} \right\| < \left\| G_{11}(t) + G_{12}(x) \right\| < \left\| \overline{G}_{11} + G_{12}(x_0) \right\|, \\
&\left\| \underline{G}_{21} \right\| < \left\| G_{21}(t) + G_{22}(x) \right\| < \left\| \overline{G}_{21} + G_{22}(x_0) \right\| \ , \\
&\left\| \underline{H}_1 \right\| < \left\| H_1(t) + H_2(x) \right\| > \left\| \overline{H}_1 + H_2(x_0) \right\|, \quad t > t_0.
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Следует отметить, что представление матриц $f(t,x)$, $g_1(t,x)$, $g_2(t,x)$, $h(t,x)$ в виде (3.1) не является единственным [3].

Определение. Представление управляемой и наблюдаемой системы (1.1) в виде

$$\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}x(t) = \left[A_1(t) + A_2(x)\right]x(t) + \\
&+\left[G_{11}(t) + G_{12}(x)\right]w(t) + \\
&+\left[G_{21}(t) + G_{22}(x)\right]u(t), \quad x(t_0) = x_0
\end{aligned} \tag{3.7}$$

является эквивалентным, если матрицы $\left\langle \left[A_1(t) + A_2(x)\right], \left[G_{11}(t) + G_{12}(x)\right] \right\rangle$ и $\left\langle \left[A_1(t) + A_2(x)\right], \left[G_{21}(t) + G_{22}(x)\right] \right\rangle$ образуют управляемые пары, а матрицы $\left\langle \left[A_1(t) + A_2(x)\right], \left[H_1(t) + H_2(x)\right] \right\rangle$ образуют наблюдаемую пару при всех возможных $(t,x) \in \Omega$.

Пусть $k \ge 1$ – количество возможных эквивалентных представлений исходной системы. Далее будет рассматриваться одна из систем вида (3.7), попадающих под сделанное определение.

IV. Синтез управлений в задаче дифференциальной игры

Теорема 4.1. Если $z(t)$ является решением дифференциального уравнения с постоянными параметрами

$$\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}z(t) = \left\{ [\overline{A}_1 + A_2(x_0)] + \right. \\
&+\left. \begin{bmatrix} \left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right] \times \\ \times P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T - \\ -\underline{G}_{21} \quad R^{-1}\underline{G}_{21}^T \end{bmatrix} S \right\} z(t), \\
&z(t_0) = x_0,
\end{aligned} \tag{4.1}$$

а $x(t)$ – возможные решения исходного нелинейного уравнения,

$$\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}x(t) = f(t,x) + \\
&+\begin{bmatrix} g_1(t,x)P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T - \\ -g_2(t,x)R^{-1}\underline{G}_{21}^T \end{bmatrix} Sx(t), \\
&x(t_0) = x_0,
\end{aligned}$$

где положительно определенная матрица S является решением алгебраического уравнения Риккати:

$$\begin{aligned}
&S[\overline{A}_1 + A_2(x_0)] + [\overline{A}_1 + A_2(x_0)]^T S + \\
&+S\begin{Bmatrix} \left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right] \ P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T - \\ -\underline{G}_{21} \quad R^{-1}\underline{G}_{21}^T \end{Bmatrix} S + \\
&+[\overline{H}_1 + H_2(x_0)]^T[\overline{H}_1 + H_2(x_0)] = 0,
\end{aligned}$$

то при всех возможных $(t,x) \in \Omega$ справедливо соотношение $\left\| z(t) \right\| \ge \left\| x(t) \right\|$.

Доказательство. Так как выражение $x^T(t)Qx(t)$, по крайней мере, положительно полуопределенное, то с учетом (3.7) справедливо неравенство [5]

$$\frac{\partial V(x)}{\partial t}+\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\left[A_1(t)+A_2(x)\right]x(t)+$$
$$+\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\left[G_{11}(t)+G_{12}(x)\right]P^{-1}\left[G_{11}(t)+G_{12}(x)\right]^T\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T- \quad (4.2)$$
$$-\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\left[G_{21}(t)+G_{22}(x)\right]R^{-1}\left[G_{21}(t)+G_{22}(x)\right]^T\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T\le 0.$$

Условие (4.2) должно выполняться для всех $(t,x)\in\Omega$.

Из этого условия видно, что предельными значениями параметров, при которых должно выполняться неравенство, будут $\left[\overline{A_1}+A_2(x_0)x(t_0)\right]$, $\left[\overline{G}_{11}(t)+G_{12}(x_0)\right]$, $\underline{G}_{21}(t)$. Неравенство (4.2), записанное с предельными значениями матриц, имеет вид

$$\frac{\partial V(x)}{\partial t}+\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}[\overline{A}_1+A_2(x_0)]x(t)+$$
$$+\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\left[\overline{G}_{11}+G_{12}(x_0)\right]P^{-1}\left[\overline{G}_{11}+G_{12}(x_0)\right]^T\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T- \quad (4.3)$$
$$-\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\underline{G}_{21}R^{-1}\underline{G}_{21}{}^T\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T\le 0.$$

Перепишем уравнение Гамильтона-Якоби (2.2) с учетом (4.3):

$$\frac{\partial V(x)}{\partial t}+\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}[\overline{A}_1+A_2(x_0)]x(t)+$$
$$+\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\left[\overline{G}_{11}+G_{12}(x_0)\right]P^{-1}\left[\overline{G}_{11}+G_{12}(x_0)\right]^T\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T- \quad (4.4)$$
$$-\frac{1}{2}\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\underline{G}_{21}R^{-1}\underline{G}_{21}{}^T\left\{\frac{\partial V(x)}{\partial x(t)}\right\}^T+\frac{1}{2}x^T(t)Qx(t)=0,$$
$$V(x(T))=\frac{1}{2}x^T(T)Fx(T).$$

Уравнение (4.4) содержит постоянные матрицы, и его решение можно искать в виде $V(x)=\frac{1}{2}x^T(t)S(t)x(t)$. Это приводит к уравнению Риккати [5]:

$$\frac{d}{dt}S(t)+S(t)[\overline{A}_1+A_2(x_0)]+[\overline{A}_1+A_2(x_0)]^TS(t)+$$
$$+S(t)\left[\overline{G}_{11}+G_{12}(x_0)\right]P^{-1}\left[\overline{G}_{11}+G_{12}(x_0)\right]^TS(t)- \quad (4.5)$$
$$-S(t)\underline{G}_{21}R^{-1}\underline{G}_{21}{}^TS(t)+Q=0,$$
$$S(T)=F.$$

Если определить матрицу S как решение алгебраического решения уравнения

$$S[\overline{A}_1 + A_2(x_0)] + [\overline{A}_1 + A_2(x_0)]^T S + \\ + S\left\{\begin{matrix}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T - \\ -\underline{G}_{21}R^{-1}\underline{G}_{21}{}^T\end{matrix}\right\}S + \\ + Q = 0, \tag{4.6}$$

и принять $S(T)$, равной полученной при решении уравнения (4.6) матрице S, т.е. $S(T) = S$ (при этом $dS/dt = 0$), уравнения управляющих воздействий (2.1) будут содержать постоянные параметры:

$$u(t) = -R^{-1}\underline{G}_{21}{}^T Sx(t), \\ w(t) = P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T Sx(t). \tag{4.7}$$

Робастная модель системы с управлениями (4.7) принимает вид (4.1), а так как и модель, и уравнение, которое использовалось при нахождении матрицы S, содержат предельные значения матриц, при которых выполняется неравенство (4.3), то это означает, что при всех возможных $(t,x) \in \Omega$ справедливо соотношение $\|z(t)\| \geq \|x(t)\|$.

Управления (4.7) описывают стратегию с обратной связью в дифференциальной игре для игроков U и W, описываемой динамической системой (3.7). Отметим, что эквивалентное представление системы (1.1) в виде (3.7) приводит к различным управлениям вида (4.7), так как в уравнениях вида (4.6), решениями которых определяется положительно определенная матрица S, будут содержаться различные матрицы с постоянными параметрами, характеризующими каждое из представлений.

Отметим, что матрица $S(T)$, как следует из функционала (1.2), влияет на значение терминального штрафа, определяющего качество выполнения задачи с заданным временем переходного процесса, т.е. на значение взвешенной квадратичной формы $x^T(T)Sx(T)$. Само же значение $x(T)$ зависит не только от управляющих воздействий (4.7), но и от начальных условий исходной системы. Как видно из уравнения (4.6), на значение матрицы S влияет выбор матрицы Q. Учитывая эти соображения, назначим матрицу Q с учетом параметров выхода системы, т.е.

$$Q = [\overline{H_1} + H_2(x_0)]^T[\overline{H_1} + H_2(x_0)]. \tag{4.8}$$

Перепишем (4.6) с учетом (4.8):

$$S[\overline{A}_1 + A_2(x_0)] + [\overline{A}_1 + A_2(x_0)]^T S + \\ + S\left\{\begin{matrix}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T - \\ -\underline{G}_{21}R^{-1}\underline{G}_{21}{}^T\end{matrix}\right\}S + \\ + [\overline{H_1} + H_2(x_0)]^T[\overline{H_1} + H_2(x_0)] = 0. \tag{4.9}$$

Положительно определенная матрица S, как решение уравнения (4.9), в управляющих воздействиях (4.7) обеспечит конечное значение функционала на робастной модели объекта [6]:

$$J(z^0, u^0, w^0) = \frac{1}{2}x^T(t_0)Sx(t_0). \tag{4.10}$$

Следствие из теоремы 4.1. Из того обстоятельства, что решение уравнения робастной модели (4.1) на $[t_0, T]$ является мажорантой (в том смысле того, что $\|z(t)\| \geq \|x(t)\|$) для решений исходной системы с управлениями (4.7)

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(t,x) + \\ + \left[\begin{matrix}g_1(t,x)P^{-1}\left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0)\right]^T - \\ -g_2(t,x)R^{-1}\underline{G}_{21}^T\end{matrix}\right]Sx(t) \tag{4.11} \\ x(t_0) = x_0,$$

следует, что

$$J(x,u,w) \le \frac{1}{2} x^T(t_0) S x(t_0) \qquad (4.12)$$

при всех возможных $(t,x) \in \Omega$.

Уточним важное свойство уравнения исходной динамической системы с управляющими воздействиями (4.7). Перепишем уравнение (4.11) в виде

$$\frac{d}{dt} x(t) = \varphi(x, \alpha(t.x)), \quad x(t_0) = x_0, \quad (4.13)$$

где

$$\varphi(x,\alpha(t,x)) = f(t,x) + \left\{ \begin{bmatrix} g_1(t,x) P^{-1} \left[\overline{G}_{11} + G_{12}(x_0) \right]^T \\ -g_2(t,x) R^{-1} \underline{G}_{21}^T \end{bmatrix} S \right\} x(t). \qquad (4.14)$$

Здесь $\alpha(t,x)$ – параметры матриц $f(t,x)$, $g_1(t,x)$, $g_2(t,x)$, $t \in [t_0,T]$; Ω_α – область (t,x,α) – пространства. В силу сделанных ранее предположений относительно этих матриц, множество Ω_α – замкнутое множество возможных траекторий параметров системы в интервале $[t_0,T]$.

Теорема 4.2. Пусть вектор функция $\varphi(x,\alpha(t,x))$ обладает следующими свойствами:

- $\varphi(x,\alpha(t,x))$ измерима на множестве Ω_α при любых фиксированных траекториях $\alpha(t,x)$ и соответствующих решениях $x_\alpha(t)$, $t \in [t_0,T]$;
- $\varphi(x,\alpha(t,x))$ непрерывна по совокупности $\{x_\alpha(t), \alpha(t,x)\}$;
- $\varphi \in (C, Lip)$ в Ω_α и $\alpha^* \in \partial\Omega_\alpha$, постоянные параметры робастной модели системы $\frac{d}{dt} z(t) = \varphi(z,\alpha^*)$, $z(t_0) = x_0$, а $z(t_0,T)$ – единственное решение уравнения на интервале $[t_0,T]$.

В таком случае для каждой траектории изменения параметров $\alpha(t,x) \in \Omega_\alpha$ существует соответствующее единственное решение задачи (4.13) $x_\alpha(t)$ на $[t_0,T]$, и если $\alpha(t,x)$ последовательно от решения к решению устремлять к α^*, т.е. $\alpha(t,x) \to \alpha^*$, то соответствующие решения $x_\alpha(t_0,T)$ будут сходиться к $z(t_0,T)$.

Доказательство. При сделанных выше предположениях о непрерывности правой части исходного дифференциального уравнения объекта справедливо заключение о существовании интегрируемой по Лебегу на интервале $[t_0,T]$ функции $m(t)$, такой что, если $\|\varphi(z,\alpha^*)\| = m(t)$, где $\alpha^* \in \partial\Omega_\alpha$, то $\|\varphi(x,\alpha(t,x))\| < m(t)$, $\alpha(t,x) \in \Omega_\alpha$, $t \in [t_0,T]$, если $\alpha(t,x) \ne \alpha^*$. Учитывая, что $\varphi \in (C, Lip)$ в Ω_α, решение уравнения (4.13) непрерывно зависит от начальных условий и параметров системы, а следовательно, если $\alpha(t,x)$ последовательно от решения к решению устремлять к α^*, т.е. $\alpha(t,x) \to \alpha^*$, то соответствующие решения $x_\alpha(t_0,T)$ будут сходиться к $z(t_0,T)$.

Список литературы

1. Van der Schaft A.J. L_2-gain analysis of nonlinear systems and nonlinear state feedback H_∞ control // IEEE. Trans. On Automatic Control. 1992. Vol. 37. P. 770–784.

2. Lu Wei-Min and Doyle John C. H_∞ control of nonlinear systems: A convex Characterization // IEEE. Trans. On Automatic Control. 1995. Vol. 40. P. 168–175.

3. Sakayanagi Y., Nakayama D., Shigeki N. [et al.]. Clarification of Free Parameters of State-dependent Coefficient Form: Effect on Solving State-dependent Riccati Inequality // 17th WC IFAC. Seoul, 2008. P. 182-187.

4. Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления. М.: Мир, 1974. 488 с.

5. Беллман Р., Энджел Э. Динамическое программирование и уравнения в частных производных. М.: Мир, 1974. 207 с.

6. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. М.: Высш. шк., 2003. 614 с.

Получено 18.06.12.

V.N. Afanasiev, Doctor of Sciences, Professor, MIEM
(e-mail: afanval@mail.ru)

D.V. Titov, Candidate of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: amazing2004@inbox.ru)

T.A. Shirabakina, Candidate of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: tas_06@mail.ru)

CONTROL OF NON-LINEAR OBJECTS WITH PARAMETERS, DEPENDED ON CONDITION (PART 1)

In the article the method of the robust control synthesis for the non-linear undefined object with parameters, depended on it's condition, during border conditions absence and transitional process time, is shown. The example of the robust regulator building for the non-linear undefined system is described.

Key words: *robust control, non-linear object, regulator.*

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 615.47

В.Н. Мишустин, д-р мед. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: Nikiti4007@yandex.ru)

Л.П. Лазурина, д-р биол. наук, профессор, Курский государственный медицинский университет (тел.: (4712) 58-70-98).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ХОЛЕЦИСТИТА

В работе рассматриваются вопросы синтеза нечетких правил прогнозирования и ранней диагностики холецистита. Показывается, что уверенность в прогнозе составляет не менее 0,95.

Ключевые слова: *математическое моделирование, холецистит, функции принадлежностей, коэффициент уверенности.*

***

К одной из проблемных областей медицины относят желчекаменную болезнь (ЖКБ) и тесно связанные с ней хронический калькулезный и острый холециститы, которые являются одной из актуальных проблем экстренной и плановой хирургии. Диагностика ЖКБ по клиническим данным без применения специальных методов исследования бывает существенно затруднена. Около 80% больных даже на стадии холецистолитиаза не предъявляют жалоб, характерных для ЖКБ, а желчные камни являются «случайной находкой».

Такая ситуация делает задачу прогнозирования и ранней диагностики острого холецистита весьма актуальной.

Для решения задач синтеза прогностических и диагностических решающих правил была сформирована группа высококвалифицированных экспертов (2 доктора медицинских наук, 3 кандидата медицинских наук, 3 врача высшей квалификации). У выбранной группы экспертов по исследуемому классу медицинских задач проверялся коэффициент конкордации, определяющий способность экспертов к выполнению согласованной профессиональной экспертизы. Этот коэффициент составил 0,83, что позволило сделать вывод о профессиональной пригодности врачей к выполнению задач предлагаемой работы.

На основании анализа информации об этиологии и патогенезе холецистита с участием экспертной группы с учетом ограничений на время и точность принятия решений на первом шаге исследований решалась задача формирования списка информативных признаков.

С учетом способов получения и структуры данных вся группа информативных признаков разделена на 3 подгруппы:

– признаки, используемые в медицинской практике (опрос, осмотр, инструментальные и лабораторные исследования);

– признаки, характеризующие микроэлементный статус человека;

– признаки, связанные с «энергетикой» меридианных структур, «связанных» с желчным пузырем.

В качестве традиционно получаемых информативных признаков эксперты отобрали следующий их набор: возраст (x_1); пол (x_2); диспептические расстройства (x_3); выраженность болевого синдрома (x_4); окраска кожных покровов (x_5); наличие сопутствующей патологии (x_6); частота пульса (x_7); перитонеальные синдромы (x_8); этиология (x_9); желчный

пузырь по УЗИ (x_{10}); наличие гипертензии по УЗИ (x_{11}); осмотр БСДК на ФГДС (x_{12}); наличие синдрома дежурной петли на R-графии (x_{13}); гематокрит (x_{14}); лейкоцитарный индекс интоксикации (x_{15}); мочевина (x_{16}); билирубин (x_{17}); креатин (x_{18}); диастаза мочи (x_{19}).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что в крови больных острым холециститом наблюдаются значительные изменения в количественном содержании микроэлементов, которые не нормализуются и при клиническом выздоровлении.

Отмеченные тенденции позволяют наряду с другими информативными признаками использовать количественное содержание в цельной крови меди, цинка и кобальта для решения задач прогнозирования возникновения (класс $\omega_П$) и ранней диагностики (класс ω_P).

Проведенный разведочный анализ структуры данных по выбранному классу заболеваний показал, что выделяемые классы заболевания имеют нечеткие «сильно» пересекающиеся границы, что делает целесообразным использование в качестве основного математического аппарата теории нечеткой логики принятия решений. В соответствии с рекомендациями научной школы «Биомедицинская кибернетика» (г. Санкт-Петербург) основным элементом интегрируемых решающих правил является функция принадлежности к исследуемым классам ω_ℓ $(\ell = П, P)$ – $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$ с базовой переменной по выбранному списку информативных признаков [1].

В качестве примера на рисунке приведены графики функций принадлежностей к классам ω_0, $\omega_П$, ω_P с базовыми переменными по концентрации микроэлементов (МЭ) в крови человека.

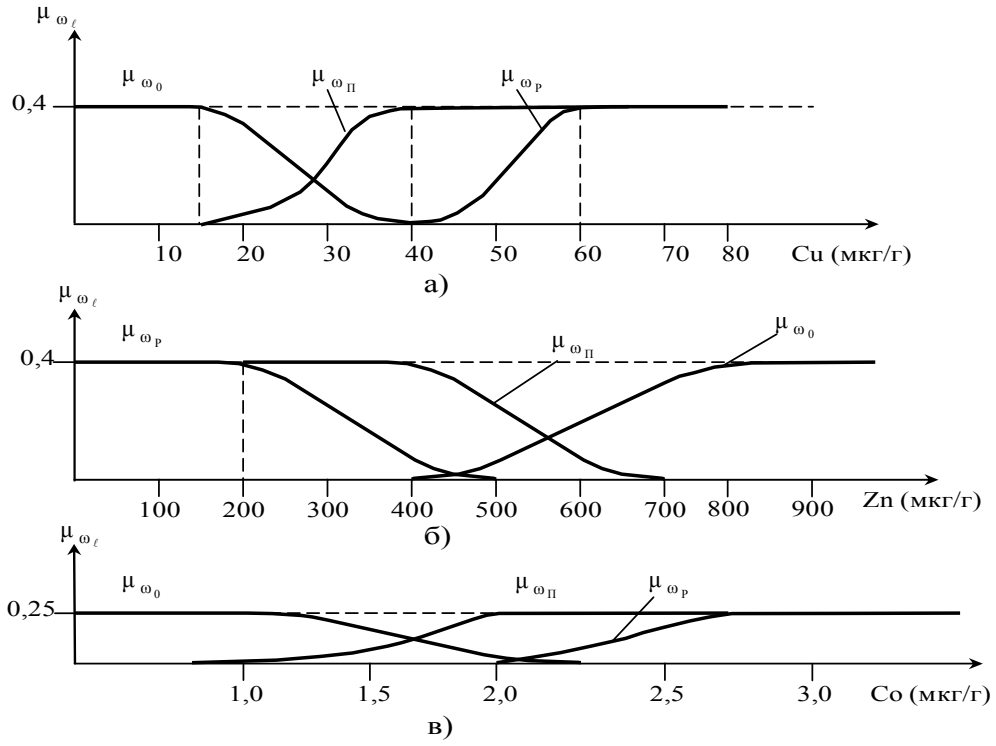


Рис. Функции принадлежностей к классам ω_ℓ по шкалам «концентрация» меди Cu (*а*), «концентрация» цинка Zn (*б*), «концентрация» кобальта Co (*в*)

Для агрегирования полученных функций принадлежностей в правило принятия решений по всему выбранному комплексу микроэлементов с учетом выбранных свойств функций принадлежности используется модифицированное правило нечеткого вывода по Е. Шортлиффу:

$$\begin{aligned}\text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{МЭ}} &= \mu_{\omega_\ell}(\text{Cu}) + \mu_{\omega_\ell}(\text{Zn}) + \mu_{\omega_\ell}(\text{Co}) - \\ &- \mu_{\omega_\ell}(\text{Cu}) \cdot \mu_{\omega_\ell}(\text{Zn}) - \mu_{\omega_\ell}(\text{Cu}) \cdot \mu_{\omega_\ell}(\text{Co}) - \\ &- \mu_{\omega_\ell}(\text{Zn}) \cdot \mu_{\omega_\ell}(\text{Co}) + \\ &+ \mu_{\omega_\ell}(\text{Cu}) \cdot \mu_{\omega_\ell}(\text{Zn}) \cdot \mu_{\omega_\ell}(\text{Co}).\end{aligned} \quad (1)$$

По выбранным группам биологически активных точек были получены системы функций принадлежностей $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{AP96})$, $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{AP109})$, $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{E25})$, $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{VB24})$, $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{VB38})$, $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{VB40})$, $\mu_{\omega_\ell}(\delta R_{VG9})$, где δR_j – величина относительного отклонения сопротивления точки с номером (именем) *j* от номинального значения.

Уверенность в принимаемых решениях по группе аурикулярных точек определяется выражением

$$\begin{aligned}\overline{KУ}_{\omega_\ell}^{AP} &= \mu_{\omega_\ell}(\delta R_{AP96}) + \\ &+ \mu_{\omega_\ell}(\delta R_{AP109})\left[1 - \mu_{\omega_\ell}(\delta R_{AP96})\right].\end{aligned} \quad (2)$$

Следует иметь в виду, что электрическое сопротивление БАТ относится к таким медицинским показателям, для которых диагностическая уверенность возрастает, если наблюдаются стабильные патологические отклонения при неоднократном измерении. Для учета этого фактора в расчет показателей соответствующих коэффициентов уверенности $\text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{АР}}$ вводятся поправочные коэффициенты α_q:

$$\text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{АР}} = \alpha_q \cdot \overline{KУ_{\omega_\ell}^{AP}}, \quad (3)$$

где *j* – номер точки, выбранной для исследования.

По отношению к патологии «холецистит» экспертами определены следующие значения α_q: $\alpha_1 = 1$ – при однократном измерении, $\alpha_2 = 1{,}16$, если сохраняется аномальное отклонение сопротивлений БАТ от своих номинальных значений при повторных измерениях через сутки с учетом временных энергетических циклов меридиан; $\alpha_3 = 1{,}7$, если аномальное отклонение сопротивления БАТ удерживается в течение недели; $\alpha_4 = 2{,}3$ – в течение месяца.

Общая уверенность в принятии решения по двум показателям определяется выражением

$$\text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{АМ}} = \text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{МЭ}} + \text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{АР}}(1 - \text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{МЭ}}). \quad (4)$$

При максимальных величинах функций принадлежностей $\text{КУ}_{\omega_\ell}^{\text{АМ}} \to 0{,}9$, что вполне пригодно для практического использования полученных решающих правил.

Окончательное решение в пользу классов ω_0, $\omega_П$ или $\omega_Р$ принимается по максимальной величине соответствующего коэффициента уверенности.

При работе с корпоральными точками формула (4) модифицируется до выражения

$$KУ_{\omega_\ell}^{БМ} = KУ_{\omega_\ell}^{МЭ} + KУ_{\omega_\ell}^{БК}\left(1 - KУ_{\omega_\ell}^{МЭ}\right), \quad (5)$$

где $KУ_{\omega_\ell}^{БК}$ – частные коэффициенты уверенности в классах ω_ℓ по группе корпоральных БАТ.

В последнем выражении, если в качестве ДЗТ выбирается пара $\{E25, VG9\}$, то уверенность в классах ω_ℓ определяется выражением

ЕСЛИ

$\left[\left(\delta R_{E25} > 15\%\right)\ И\ \left(\delta R_{VG9} > 15\%\right)\right]$ ТО

$$\left\{\begin{aligned}&KУ_{\omega_\ell}^{Б}(j+1) = \\ &= KУ_{\omega_\ell}^{Б}(j) + \mu_{\omega_\ell}(\delta R_{j+1})\left[1 - KУ_{\omega_\ell}^{Б}\right]\end{aligned}\right\}$$

ИНАЧЕ

$$\left(КУ^{Б}_{\alpha_\ell}=0\right), \qquad (6)$$

где $КУ^{Б}_{\omega_\ell}(1)=\mu_{\omega_\ell}\left(\delta R_{E25}\right)$; $\delta R_2=\delta R_{VB24}$; $\delta R_3=\delta R_{VB38}$; $\delta R_4=\delta R_{VB40}$; $\delta R_5=\delta R_{VG9}$; δR – относительное изменение сопротивления, выраженное в %.

Для пары точек $\{VB24,\ VB38\}$ – следующим выражением:

ЕСЛИ $\left[\left(\delta R_{VB24}>15\%\right)\right.$ И $\left.\left(\delta R_{VG9}>15\%\right)\right]$ ТО

$$\left\{\begin{array}{l} КУ^{Б}_{\omega_\ell}(j+1)= \\ =КУ^{Б}_{\omega_\ell}(j)+\mu_{\omega_\ell}\left(\delta R_{j+1}\right)\left[1-КУ^{Б}_{\omega_\ell}\right] \end{array}\right\}$$

ИНАЧЕ $\left(КУ^{Б}_{\omega_\ell}=0\right)$. (7)

С учетом временных поправок β_q аналогично выражению (3) получаем

$$КУ^{БК}_{\omega_\ell}=\beta_q\cdot КУ^{Б}_{\omega_\ell}, \qquad (8)$$

где $\beta_1=1$; $\beta_2=1{,}05$; $\beta_3=1{,}09$; $\beta_4=1{,}12$.

Результаты математического моделирования показывают, что при максимальных значениях всех функций принадлежностей $КУ^{БМ}_{\omega_\ell}\to 0{,}96$, что вполне приемлемо для использования в медицинской практике.

1. Кореневский Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.

Получено 15.05.12.

V.N. Mishustin, Doctor of Sciences, Associate Professor, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail Nikiti4007@yandex.ru)

L.P. Lazurina, Doctor of Sciences, Professor, Kursk State Medical University (tel.: (4712) 58-70-98)

MATHEMATICAL MODELS OF PREDICTION AND EARLY DIAGNOSTICS OF CHOLECYSTITIS

The work deals with the synthesis of fuzzy rule prediction and early diagnosis of cholecystitis. We show that the confidence in the prediction of at least 0.95.

Key words: *mathematical modeling, cholecystitis, the membership function, the coefficient of confidence.*

УДК 615.47:616-072.7

Н.А. Кореневский, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

К.В. Разумова, магистрант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРАВИЛ В МНОГОМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены вопросы синтеза нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков. Полученные модели позволяют решать задачи классификации и прогнозирования состояния сложных объектов в условиях неопределенности и отсутствия точных форматных моделей исследуемых классов.

Ключевые слова: *нечёткая логика принятия решений, алгоритм, коэффициенты уверенности, информативные признаки.*

***

Значительное число задач по анализу поведения и управления сложными системами приходится решать в условиях неполных, нечетких и неопределенных суждений. Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных уче-

ных было показано, что для успешного решения задач в условиях нечеткой информации целесообразно использовать аппарат нечеткой логики принятия решений. Однако эффективность применения этого аппарата для различных проблемных ситуаций изучена недостаточно. Отсутствует теоретическая определенность в таких вопросах, как выбор типа и параметров функций принадлежностей, агрегация функций принадлежностей при решении задач со многими переменными и т.д.

Одним из хорошо зарекомендовавших себя аппаратов принятия решений в задачах со многими переменными является теория распознавания образов в ее геометрической интерпретации.

Проведенные исследования показывают, что повысить качество решения целого ряда задач оценки состояния сложных систем в условиях неопределенности и нечеткости представления данных можно, объединяя идеи теории нечеткой логики принятия решений с геометрическим подходом, принятым в теории распознавания образов с учетом данных многомерного разведочного анализа.

В общем виде будем считать, что информативные признаки, привлекаемые для решения задач прогнозирования и медицинской диагностики, могут иметь три типа представления: двоичный код (признак имеется – код 1, признак отсутствует – код 0); в виде системы градаций (шкалы наименований); непрерывная шкала описаний. В пространстве информативных признаков исследуемые классы состояний (диагнозы, нозологические формы, функциональные состояния организма), как и в задачах распознавания образов в их геометрической постановке, будем определять в виде соответствующих гиперобластей (гиперобъемов), конфигурация которых определяется используемым набором информативных признаков $X = (x_1, \ldots, x_n)$. Задачу диагностики будем рассматривать как «попадание» исследуемого объекта (пациента) в область многомерного пространства признаков, соответствующую классу $\omega_\ell \ (\ell = 1, \ldots, L)$ с некоторой степенью уверенности $U_{\omega_\ell}(X)$. В противном случае объект принадлежит альтернативным классам $\omega_r (r = 1, \ldots, R)$, $\ell \neq r$. Задачу прогнозирования будем рассматривать как задачу оценки уверенности в том, что обследуемый попадет в гиперобласть, принадлежащую классу ω_ℓ, через интервал (интервалы) времени T_ℓ, прошедший от момента формирования набора информативных признаков. При таком подходе задачу нечеткого прогнозирования можно решать с использованием практически того же математического аппарата, что и задачу классификации.

В ряде практических приложений, особенно в медицине, синтезируемые решающие правила должны поддерживать поэтапные многоальтернативные принятия решений в различных подпространствах признаков в условиях неполного и нечеткого описания данных и классов с механизмами уточнения и опровержения исследуемых гипотез, причем возможны варианты, когда объект исследования должен быть отнесен одновременно к нескольким классам состояний [1].

Перечисленные особенности достаточно хорошо поддерживаются итерационными формулами, предложенными Е. Шортлифом, для расчета коэффициентов уверенности в принимаемых решениях в соответствие с выражениями

$$KY_{\omega_\ell} = МД_{\omega_\ell} - МНД_{\omega_\ell}; \qquad (1)$$

$$МД_{\omega_\ell}(j+1) = МД_{\omega_\ell}(j) + \\ + МД^*_{\omega_\ell}(x_i) \cdot \left[1 - МД_{\omega_\ell}(j)\right]; \qquad (2)$$

$$МНД_{\omega_\ell}(k+1) = МНД_{\omega_\ell}(k) + \\ + МНД^*_{\omega_\ell}(y_q)\cdot\left[1 - МНД_{\omega_\ell}(k),\right], \qquad (3)$$

где $КУ_{\omega_\ell}$ – коэффициент уверенности в гипотезе ω_ℓ; $МД_{\omega_\ell}$ и $МНД_{\omega_\ell}$ – меры доверия и недоверия к гипотезе ω_l соответственно; j и k – номера итераций в расчетах $МД_{\omega_\ell}$ и $МНД_{\omega_\ell}$ соответственно; $МД^*_{\omega_\ell}(x_i)$ и $МНД^*_{\omega_\ell}(y_q)$ – меры доверия и недоверия к ω_ℓ от одного свидетельства (признака, фактора x_i и y_q соответственно); i и q – номера свидетельств.

В реальных задачах в качестве информативных признаков часто выбирают только те, которые свидетельствуют в пользу исследуемой гипотезы, тогда формула (1) может быть заменена выражением

$$КУ_{\omega_\ell}(j+1) = КУ_{\omega_\ell}(j) + \\ + U_{\omega_\ell}(A, x_i)\left[1 - КУ_{\omega_\ell}(j)\right], \qquad (4)$$

где A – вектор настраиваемых параметров функций уверенностей, выбираемый по критерию минимума ошибок классификации (максимальной уверенности в принимаемых решениях, если объект действительно относится к классу ω_ℓ, и минимальной уверенности в случае принадлежности объекта к альтернативному классу ω_r).

Классификационные возможности решающего правила типа (4) рассмотрим на примере искомого ω_ℓ и альтернативного ω_r классов, расположенных в двумерном пространстве признаков x_1 и x_2, как это показано на рисунке. Пусть на экспертном уровне определены функции уверенностей $U_{\omega_\ell}(x_1)$, $U_{\omega_r}(x_1)$, $U_{\omega_\ell}(x_2)$, $U_{\omega_r}(x_2)$, как это приведено на рисунке. Если для классификации используется только признак x_1, то при принадлежности объекта исследования к классу ω_ℓ ошибка классификации будет наблюдаться при условии $x_1 > x_{10}$. Например, точка 1, принадлежащая классу ω_ℓ, будет отнесена к классу ω_r, поскольку $U_{\omega_r}(x_{11}) > U_{\omega_\ell}(x_{11})$. Для этой же точки, если для классификации будет использоваться только признак x_2, ошибка классификации наблюдаться не будет, но будет наблюдаться полная неопределенность в классификации для точки 2 ($U_{\omega_r}(x_{22}) = U_{\omega_\ell}(x_{22})$), а для всех точек с координатами $x_2 > x_{20}$ объекты класса ω_ℓ ошибочно относятся к классу ω_r. Если же для классификации использовать два признака x_1 и x_2, то для точки 1 уверенность в принадлежности объекта к классам ω_ℓ и ω_r будет равна $КУ_{\omega_\ell} = 0,2 + 0,8\cdot 0,8 = 0,84$; $КУ_{\omega_r} = 0,6 + 0,0 = 0,6$; $КУ_{\omega_l} > КУ_{\omega_r}$. Для точки 2 $КУ_{\omega_l} = 0,8 + 0,3\cdot 0,2 = 0,86$; $КУ_{\omega_r} = 0,0 + 0,3 = 0,3$; $КУ_{\omega_\ell} > КУ_{\omega_r}$.

Таким образом, при использовании двух признаков для правила (4) ошибка классификации уменьшается.

Естественно, что обсуждаемый механизм классификации будет справедлив и для пространств большей размерности. При этом следует учитывать, что и в рассматриваемом, и в других вариантах взаиморасположения классов ω_ℓ и ω_r успех решения классификационных задач будет сильно зависеть от того, как и какие функции уверенностей с базовыми переменными по информативным признакам (признаковые функции уверенности (ПФУ)) будут выбраны экспертами. С учетом этого в работах [1, 2] приводится ряд рекомендаций по выбору формы и параметров функций принадлежностей к различным классам состояний с базовыми переменными, определяемыми координатами признакового пространства x_i.

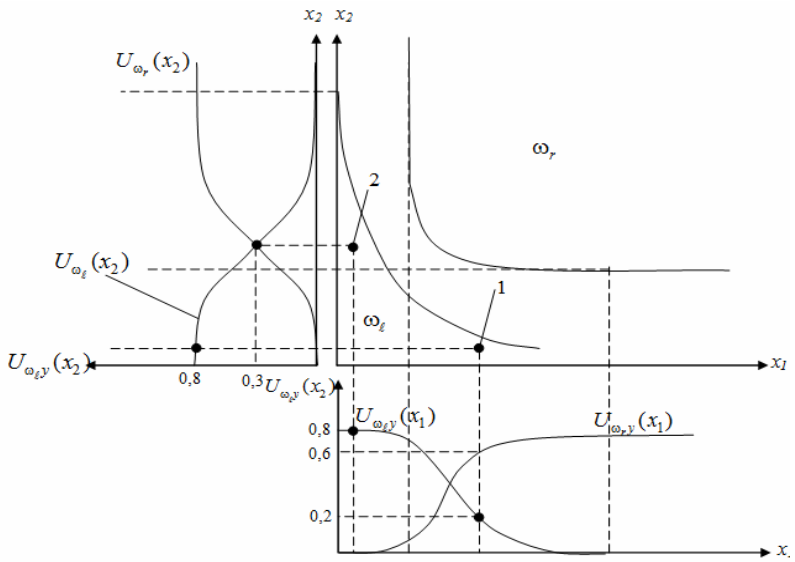


Рис. Графики функций уверенностей в классификации ω_l и ω_r с базовыми переменными по информативным признакам

Другой подход к синтезу нечетких решающих правил может быть основан на том, что расстояние между различными структурами исследуемых классов и различными точками многомерного пространства признаков можно рассматривать как базовые переменные для вынесения суждения о том, насколько исследуемый объект может принадлежать к тому или иному классу состояний. Это означает, что может быть поставлен вопрос о рассмотрении функций принадлежностей к исследуемому классу (области) состояний со шкалой, определяемой как мера близости в многомерном пространстве признаков, причём сама функция принадлежностей остаётся, как и в классической теории нечёткой логики принятия решений, одномерной.

Используя описанный механизм синтеза нечетких решающих правил, исследовались задачи прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, дыхательной системы, тромбозов центральной вены сетчатки и ее ветвей, атрофии зрительного нерва, урологических заболеваний, анемий, заболеваний, вызываемых профессиональной деятельностью, и ряд других. С помощью предлагаемого подхода также решались задачи определения защитных свойств организма по уровню адаптационного потенциала, энергетической сбалансированности общесистемных биологически активных точек, определения уровня психоэмоционального напряжения и уровня хронического физического утомления. При этом в задачах прогнозирования достигается уверенность не хуже 0,85, а в задачах диагностики не хуже 0,9. Такие результаты позволяют рекомендовать предложенный подход к синтезу нечетких решающих правил к использованию в медицинских и экологических системах поддержки принятия решений.

1. Кореневский Н. А. Проектирование нечётких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.

2. Кореневский, Н.А. Рябкова, Е.Б. Метод синтеза нечётких решающих правил для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 7, № 8. С. 128–137.

Получено 18.05.12.

N.A. Korenevsky, Doctor of Science, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

K.V. Razumova, Undergraduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

SYNTHESIS OF FUZZY CLASSIFICATION RULES IN MULTI-GOMERNOM THE FEATURE SPACE

The questions the synthesis of fuzzy classification rules in a multidimensional feature space. The derived model allows one to classify the informative factors for solving different problems of prediction and medical diagnostics.

Key words: *fuzzy logic decision making, algorithm, certainty factors, informative factors.*

УДК 614.8:449+057

Г.И. Куценко, д-р мед. наук, профессор, академик РАМН (Москва)
(e-mail: Nikiti4007@yandex.ru)

В.А. Иванов, д-р мед. наук, профессор, Курский государственный университет
(e-mail: Nikiti4007@yandex.ru)

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛЕЧЕНИЯ ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ

Выполнен математико-статистический анализ лечения больных гипертонической болезнью на основе методологии стоимости средней суточной дозы гипотензивных препаратов, что позволило сократить затраты н лечение.

Ключевые слова: *математико-статистический анализ, гипертоническая болезнь.*

***

Математическому анализу подвергнуты гипотензивные средства, используемые пациентами с гипертонической болезнью в городах Курск и Курчатов. Фармакоэкономическая оценка потребления антигипертензивных препаратов выполнена на основе методологии ДДД.

С указанных позиций монотерапия гипертонической болезни экономически целесообразна при использовании индапамида 2,5 мг №30 при ДДД, равной 2,5 мг (табл.1).

Наиболее дорогостоящим является лечение амлодипином. Гипотензивная терапия у горожан другими используемыми препаратами ниже средней стоимости 1 ДДД (лечение эналаприлом, андипалом, индапамидом, атенололом, гипотиазидом и метопрололом) при рекомендуемых значениях ДДД. Следует отметить широкий диапазон колебаний средней стоимости 1 ДДД гипотензивных препаратов, используемых в качестве монотерапии, от 0,83 рублей до 21,60 рублей.

Таблица 1

Фармакоэкономическая характеристика монотерапии гипертонической болезни в городах

Наименование, доза и количество гипотензивного препарата	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Эналаприл 20 мг № 20	20	86,0	4,30
Андипал 31 мг № 10	62	7,50	1,50
Амлодипин 10 мг № 30	10	648,0	21,60
Индапамид 2,5 мг № 30	2,5	25,0	0,83
Атенолол 100 мг № 30	100	50,0	1,67
Гипотиазид 25 мг № 20	25	78,0	3,90
Метопролол 100 мг № 30	200	72,0	4,80
Среднее	–	–	5,51

Фармакоэкономическая оценка гипотензивных препаратов, используемых для лечения гипертонической болезни без дифференциации на моно- и комбинированную терапию, показывает, что стоимость лечения в сравнении с монотерапией выше (табл. 2).

Вместе с тем диапазон колебаний стоимости 1 ДДД применяемых гипотензивных препаратов ниже. Наиболее экономически затратна терапия больных гипертонической болезнью беталоком ЗОК. Высокий показатель стоимости 1 ДДД имеет лечение нормодипином и энапом. Наиболее целесообразным с экономической точки зрения является гипотензивная терапия больных, которые принимают индап и нифедипин 2,5 мг № 30 и 10 мг № 50 соответственно. Ниже средней стоимости лечение установлено у горожан, которые принимают гипотиазид, эналаприл и метокард в приведенных стандартах.

Среди исследованных фармакологических классов гипотензивных препаратов самыми затратными являются ингибиторы АПФ (табл. 3). Из группы ингибиторов АПФ максимальный показатель средней стоимости 1 ДДД характерен для нолипрела, что указывает на его высокую затратность. Экономически затратными являются также престариум, диротон, моноприл и лизинотон. Наименьшая затратность свойственна каптоприлу 25 мг № 20. Экономически оправданным следует считать лечение пациентов с гипертонической болезнью эналаприлом 20 мг № 20 и энамом 20 мг № 20. Ниже средней стоимости 1 ДДД ингибиторов АПФ находится одноимённый показатель энапа и капотена.

Средняя стоимость 1 ДДД принимаемых β-адреноблокаторов пациентами с гипертонической болезнью в городах составляет 7,75 руб (табл. 4).

Высокую затратность в группе используемых β-адреноблокаторов имеет конкор, величина ДДД которого превосходит среднее значение в 2,5 раза. Высокая затратность установлена также для беталока ЗОК. С экономической точки зрения наиболее целесообразными среди β-адреноблокаторов являются пропранолол и атенолол.

Фармакологический класс гипотензивных препаратов – диуретики –как в целом, так и по большинству лекарственных средств, использованных больными гипертонической болезнью в городах, относятся к экономически оправданным (табл. 5).

Таблица 2

Экономическая затратность гипотензивных препаратов, используемых горожанами для лечения гипертонической болезни без выделения схемы терапии

Наименование, доза и количество гипотензивного препарата	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Эналаприл 20 мг № 20	20	86,0	4,30
Энап 20 мг № 20	20	136,0	6,80
Гипотиазид 25 мг № 20	25	78,0	3,90
Индап 2,5 мг № 30	2,5	72,0	2,40
Нифедипин 10 мг № 50	25	71,0	3,55
Метокард 100 мг № 30	200	72,0	4,80
Беталок ЗОК 50 мг № 30	100	256,0	17,07
Нормодипин 5 мг № 30	5,0	360,0	12,00
Среднее	–	–	6,85

Таблица 3

Фармакоэкономическая оценка ингибиторов АПФ, приобретаемых пациентами для лечения гипертонической болезни в городах

Название, доза и количество ингибитора АПФ	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Эналаприл 20 мг № 20	20	86,0	4,30
Энам 20 мг № 20	20	93,0	4,65
Энап 20 мг № 20	20	136,0	6,80
Каптоприл 25 мг № 20	50	10,0	1,00
Капотен 25 мг № 40	50	155,0	7,75
Диротон 10 мг № 28	20	194,0	13,86
Лизинотон 10 мг № 28	20	198,0	14,14
Моноприл 10 мг № 28	20	194,0	13,86
Фозикард 10 мг № 28	20	158,0	11,29
Престариум 5 мг № 30	5	465,0	15,50
Нолипрел 5 мг № 30	5	650,0	21,67
Среднее	–	–	10,44

Таблица 4

Экономическая затратность β-адреноблокаторов, применяемых пациентами в городах

Наименование, доза и количество β-адреноблокатора	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Беталок ЗОК 50 мг № 30	100	256,0	17,07
Метокард 100 мг № 30	200	72,0	4,80
Эгилок 100 мг № 60	100	172,0	2,87
Конкор 5 мг № 50	15	319,0	19,14
Пропранолол 40 мг № 100	240	16,20	0,97
Атенолол 100 мг № 30	100	50,0	1,67
Среднее	–	–	7,75

Таблица 5

Фармакоэкономическая оценка принимаемых больными гипертонической болезнью диуретиков в городах области

Наименование, доза и количество диуретика	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Индап 2,5 мг № 30	2,5	72,0	2,40
Гипотиазид 25 мг № 20	25	78,0	3,90
Индапамид 2,5 мг № 30	2,5	25,0	0,83
Арифон 1,5 мг № 30	1,5	364,0	12,13
Ретапрес 1,5 мг № 30	1,5	130,0	4,33
Фуросемид 20 мг № 50	20	12,0	0,24
Среднее	–	–	3,97

Только один препарат из данной группы – арифон 1,5 мг № 30 – отличается высокой затратностью. Наименьший показатель стоимости 1 ДДД свойственен фуросемиду – диуретику, который давно находится на фармацевтическом рынке. Экономически целесообразным является также приём больными гипертонической болезнью таких диуретиков, как индапамид 2,5 мг № 30 и индап 2,5 мг № 30.

Принимаемые пациентами, проживающими в городах, антагонисты кальция для лечения гипертонической болезни существенно превосходят по стоимости рассмотренные две предыдущие фармакологические группы антигипертензивных препаратов (табл. 6).

Особенно экономически затратным является амлодипин 5 мг № 30, величина 1 ДДД которого превышает в 2 раза среднюю стоимость 1 ДДД для класса антагонистов кальция. Из анализируемых антагонистов кальция наиболее экономически оправданным можно считать приём верапамила 40 мг № 30 и нифедипина 10 мг № 50.

Таблица 6

Показатели экономической целесообразности антагонистов кальция, используемых репрезентативной выборкой пациентов в городах

Наименование, доза и количество антагониста кальция	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Нифедипин 10 мг № 50	25	71,0	3,55
Верапамил 40 мг № 30	50	52,0	2,16
Нормодипин 5 мг №30	5	360,0	12,00
Амлодипин 5 мг № 30	5	527,0	17,57
Кордипин–ретард 20 мг № 20	20	152,0	7,60
Среднее	–	–	8,58

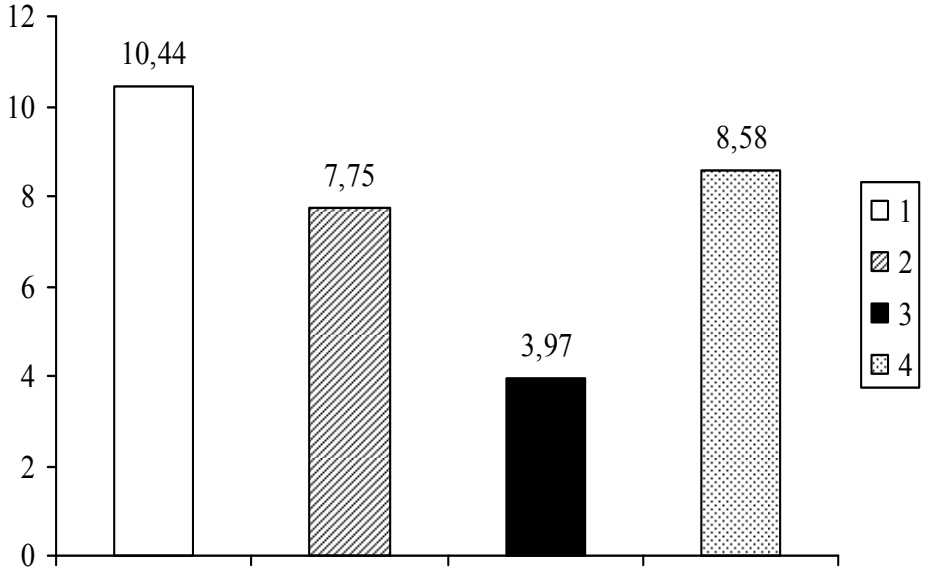


Рис. Средняя стоимость 1ДДД класса гипотензивных средств, потребляемых в городах (руб) при лечении гипертонической болезни: по оси абсцисс – фармакологическая группа гипотензивных препаратов, по оси ординат – стоимость 1 ДДД, руб.; 1 – ингибиторы АПФ, 2 – β-адреноблокаторы, 3 – диуретики, 4 – антагонисты кальция

Таблица 7

Стоимостные характеристики гиполипидемических препаратов, принимаемых больными гипертонической болезнью в городах

Наименование, доза и количество статина	Величина ДДД, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Правастатин 20 мг №210	20	227,0	22,70
Симвастатин 20 мг №28	20	373,0	13,32
Розувастатин 20 мг №28	20	1270,0	45,36
Аторвастатин 20 мг №30	20	530,0	17,67
Среднее	–	–	24,76

Таблица 8

Экономические показатели для антиагрегантов в группе больных гипертонической болезнью в городах

Антиагрегант, доза и количество	Показатель ДДД, мг	Цена 1 упаковки, руб	Стоимость 1 ДДД, руб
Аспирин 500 мг №10	500	4,0	0,40
Тромбо АСС 50 мг №30	50	38,0	1,27
Кардиомагнил 75 мг №100	75	216,0	2,88
Среднее	–	–	1,52

Сравнительная экономическая оценка классов антигипертензивных препаратов в городской местности (см. рис.) указывает на высокую затратность ингибиторов АПФ. Второе место по затратности принадлежит фармакологической группе антагонистов кальция ($P < 0,001$). Незначительно ниже показатель средней стоимости 1 ДДД β-адреноблокаторов. Наименьшую затратность среди рассмотренных антигипертензивных классов имеют диуретики. Следовательно, в изученной репрезентативной выборке населения Курска и Курчатова наиболее экономически затратным является прием ингибиторов АПФ для лечения гипертонической болезни.

Помимо гипотензивных препаратов пациенты с гипертонической болезнью в городах принимают определенные гиполипидемические средства и антиагреганты. Экономическая оценка гиполипидемических препаратов, которые использовали пациенты с гипертонической болезнью, указывает на высокую стоимость 1 ДДД (см. табл. 7). Особенно сказанное относится к розувастатину 20 мг № 28. Средняя стоимость 1 ДДД изученных статинов равна почти 25 рублям. С экономических позиций наиболее оправданным является симвастатин 20 мг № 28. В сравнении с другими гиполипидемическими препаратами его стоимость 1 ДДД наиболее низкая ($P < 0,001$).

Затратность антиагрегантов невысока и в среднем по группе препаратов составляет 1,52 рубля (см. табл. 8).

Наиболее дорогим является использование кардиомагнила 75 мг № 100, а наиболее дешёвым – использование аспирина при указанной величине ДДД.

Получено 18.05.12.

G.I. Kutsenko, Doctor of Sciences, Professor, Academician of RAMS (Moscow)
(e-mail: Nikiti4007@yandex.ru)

A.V. Ivanov, Doctor of Sciences, Professor, Kursk State Medical University
(e-mail: Nikiti4007@yandex.ru)

MATHEMATICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF TREATMENT HYPERTENSION

Made mathematical and statistical analysis of the treatment of hypertensive patients based on the methodology of an average daily dose of antihypertensive drugs, thereby reducing the cost of treatment is called.

Key words: *mathematical and statistical analysis, hypertension.*

УДК 614.8:228-56

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕРАПИИ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

Рассматривается оптимизация медикаментозной терапии гипертонической болезни для последующего формирования экономически рациональных схем терапии. Показаны преимущества данного подхода как для больных, так и для больниц.

Ключевые слова: *оптимизация, фармакоэкономические показатели, экономическая затратность.*

***

Основываясь на полученных результатах и методологии Daily definite dose (DDD), нами определены основные наиболее затратные и наименее затратные комбинации антигипертензивных препаратов для исследуемого контингента больных (табл. 1). Экономические расчёты показывают, что наиболее дорогостоящими комбинациями антигипертензивных препаратов являются сочетания конкора с амлодипином; престариума с амлодипином и лизинотона с амлодипином, 1 DDD которых составляет 36 руб., 32 руб. и 32 руб. Дешёвыми комбинациями гипотензивных препаратов признаны каптоприл с индапамидом (1,83 руб.), верапамил с фуросемидом (2,40 руб.), пропранолол с верапамилом (3,13 руб.) и верапамил с каптоприлом (3,16 руб.).

Анализ структуры и фармакоэкономическая оценка антигипертензивных препаратов, закупаемых аптекой, принадлежащей больнице, в которой проходят стационарное лечение городские пациенты с гипертонической болезнью, свидетельствуют об определённой идентичности и специфике по отношению к ранее рассмотренным данным, полученным путём опроса больных. Так, аптека городской больницы, где проводилось исследование из 6 классов антигипертензивных средств, закупает в основном ингибиторы АПФ (табл. 2). Около четверти в структуре закупаемых аптекой для городской больницы гипотензивных препаратов занимают антагонисты кальция, составляющие вместе с ингибиторами АПФ 90%. На другие фармакологические классы антигипертензивных препаратов приходится 10%.

Однако структура закупаемых аптекой гипотензивных средств менее разнообразна по сравнению с перечнем препаратов, приобретаемых самими больными (табл. 3). Это относится как к доминирующим классам антигипертензивных препаратов, так и к препаратам с низким процентом закупок. Несмотря на меньший ассортимент ингибиторов АПФ, безусловным лидером в закупках является эналаприл, составляющий почти половину от всех антигипертензивных препаратов. Обращает внимание высокий процент закупок аптекой городской больницы, приходящийся на берлиприл, содержащий в своём составе эналаприл малеат. С учётом этого доля однотипных гипотензивных препаратов ещё увеличивается.

Таблица 1

Экономически затратные и незатратные комбинации гипотензивных средств в городах

Дорогостоящие комбинации	Дешёвые комбинации
Престариум 5 мг № 30 и арифон 1,5 мг № 30	Эналаприл 20 мг № 20 и фуросемид 20 мг № 50
Лизинотон 10 мг № 28 и арифон 1,5 мг №30	Каптоприл 25 мг № 20 и индапамид 2,5 мг № 30
Престариум 5 мг № 30 и амлодипин 5 мг № 30	Верапамил 40 мг № 30 и каптоприл 25 мг № 20
Лизинотон 10 мг № 28 и амлодипин 5 мг № 30	Нифедипин 10 мг № 50 и эналаприл 20 мг № 20
Амлодипин 5 мг № 30 и арифон 1,5 мг № 30	Верапамил 40 мг № 30 и фуросемид 20 мг № 50
Нормодипин 5 мг № 30 и ретапрес 1,5 мг № 30	Нифедипин 10 мг № 50 и индапамид 2,5 мг № 30
Конкор 5 мг № 50 и амлодипин 5 мг № 30	Пропранолол 40 мг № 100 и верапамил 40 мг № 30
Беталок ЗОК 50 мг №30 и нормодипин 5 мг № 30	Атенолол 100 мг № 30 и нифедипин 10 мг № 50

Таблица 2

Распределение фармакологических групп гипотензивных препаратов, приобретаемых аптекой городской больницы для лечения больных гипертонической болезнью (P ± mp, %)

Фармакологический класс	Удельный вес
Ингибиторы АПФ	65,46 ± 0,82
Антагонисты кальция	25,22 ± 0,75*
Антагонисты рецепторов ангиотензина II	3,60 ± 0,32*
β-адреноблокаторы	0,18 ± 0,07*
Комбинированные препараты	5,40 ± 0,39*
Препараты с центральным механизмом действия	0,15 ± 0,07*
Итого	100,0

* Различие достоверно в сравнении с ингибиторами АПФ.

Таблица 3

Доля ингибиторов АПФ среди всех гипотензивных препаратов, закупаемых аптекой городской больницы для лечения гипертонической болезни (P ± mp, %)

Ингибитор АПФ	Доля препарата	Достоверность различий*
Эналаприл	45,03 ± 0,86	–
Каптоприл	3,60 ± 0,32*	P < 0,001
Капотен	3,60 ± 0,32*	P < 0,001
Престариум	1,81 ± 0,23*	P < 0,001
Диротон	1,81 ± 0,23*	P < 0,001
Берлиприл	9,61 ± 0,51*	P < 0,001
Итого	65,46 ± 0,82	–

* В сравнении с эналаприлом.

Группа антагонистов кальция, приобретаемая аптекой городской больницы, представлена тремя лекарственными средствами (табл. 4). В структуре антагонистов кальция с большим перевесом преобладает амлотоп. Достоверно меньший и равный удельный вес приходится на тенокс и нормодипин.

Другие фармакологические классы антигипертензивных средств, приобретаемых аптекой городской больницы, представлены одним препаратом. Так, антагонисты рецепторов ангиотензина II представлены препаратом лориста, β-адреноблокаторы – небилетом, группа с центральным механизмом действия – допегитом. Среди группы комбинированных гипотензивных средств аптека закупает нолипрел форте (0,90% от всех закупок), лозап плюс (0,90%) и энап–НЛ (3,60%).

Фармакоэкономический анализ закупаемых аптекой городской больницы гипотензивных препаратов показывает, что в основном приобретаются дешёвые лекарственные средства данного класса. Так, 72,65% закупленных аптекой гипотензивных препаратов приходится на лекарства, стоимость 1 DDD которых минимальна и варьирует от 3,01 руб. (амлотоп) до 5,93 руб. (берлиприл). В группе ингибиторов АПФ низкий показатель 1 DDD характерен для капотена (табл. 5), но его доля в структуре закупок аптеки невелика. Высокозатратными ингибиторами АПФ в структуре закупок аптеки являются престариум и диротон, но их удельный вес незначителен. Стоимость 1 DDD эналаприла, приобретаемого в максимальном количестве, находится ниже средней величины 1 DDD, приходящейся для всей рассматриваемой группы ингибиторов АПФ.

Таблица 4

Структура антагонистов кальция, заказываемых аптекой городской больницы (P ± mp, %)

Антагонист кальция	Доля препарата	Достоверность различий *
Амлотоп	18,01 ± 0,67	–
Тенокс	3,60 ± 0,32*	P < 0,001
Нормодипин	3,60 ± 0,32*	P < 0,001
Итого	25,22 ± 0,75	–

* В сравнении с амлотопом.

Таблица 5

Фармакоэкономические показатели ингибиторов АПФ, закупаемых аптекой городской больницы

Наименование, доза и количество ингибитора АПФ	Величина DDD, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 DDD, руб
Эналаприл 20 мг №20	20	82,48	4,12
Каптоприл 25 мг №20	50	9,20	0,92
Капотен 25 мг №40	50	134,75	6,73
Престариум 5 мг №30	5	448,50	14,95
Диротон 10 мг №28	20	185,72	13,26
Берлиприл 20 мг №30	20	178,0	5,93
Среднее	–	–	7,65

Фармакоэкономические показатели других антигипертензивных препаратов, закупаемых аптекой городской больницы, представлены в таблице 6. Наиболее затратными среди других фармакологических препаратов в структуре закупок аптеками является небилет 5мг №14 (β-адреноблокатор) и нолипрел форте (комбинированный гипотензивный препарат). Наименьшая стоимость 1 DDD соответствует амлотону 5мг №30 (антагонист кальция) и лористе 50 мг № 30 (антагонист рецепторов ангиотензина II).

Анализ потребления гипотензивных препаратов в городской больнице на 100 койко-дней больными гипертонической болезнью показал, что максимальный уровень потребления в 2010 г. соответствовал группе ингибиторов АПФ – 1142,46 DDD/100 койко-дней ($P<0,001$) (табл. 7).

Таблица 6

Экономическая затратность гипотензивных средств, закупаемых аптекой городской больницы

Название, доза и количество препарата	Величина DDD, мг	Цена 1 стандарта, руб	Стоимость 1 DDD, руб
Энап – НЛ 25 мг № 20	25	111,95	5,60
Тенокс 5 мг № 30	5	193,90	6,46
Нормодипин 5 мг № 30	5	341,15	11,37
Амлотоп 5 мг № 30	5	90,30	3,01
Нолипрел форте 5 мг № 30	5	625,80	20,86
Лозап плюс 50 мг № 30	50	233,00	7,77
Небилет 5 мг № 14	5	400,00	28,57
Лориста 50 мг № 30	50	151,00	5,03
Допегит 250 мг № 50	500	205,00	8,20
Среднее	–	–	10,76

Таблица 7

Потребление групп гипотензивных препаратов в городской больнице

Фармакологический класс гипотензивных средств	Потребление гипотензивных средств, мг	Потребление гипотензивных средств, DDD	Потребление гипотензивных средств, DDD/100 койко-дней
Ингибиторы АПФ	2 136400	77 687	1142,46
Антагонисты кальция	252 000	50 400	741,18
Антагонисты рецепторов ангиотензина II	360 000	7 200	105,88
β-адреноблокаторы	840	168	2,47
Комбинированные препараты	259 524	9 720	142,94
Препараты с центральным механизмом действия	125 000	250	3,68

На данную фармакологическую группу в стационарах приходится и максимальное потребление гипотензивных препаратов, выраженных в миллиграммах и количестве DDD. Второе место по уровню потребления гипотензивных средств на 100 койко-дней занимают антагонисты кальция, хотя количество потребления препаратов названной группы в миллиграммах значительно ниже, нежели антагонистов рецепторов ангиотензина II. Классу антагонистов кальция соответствует второе ранговое место и по потреблению, рассчитанному в виде DDD. Далее с достоверным различием по уровню потребления DDD/100 койко-дней находится фармакологическая группа «комбинированные средства», несмотря на то, что по количеству потребления гипотензивных средств в миллиграммах она значительно уступает антагонистам рецепторов ангиотензина II. Минимальное потребление в городской больнице пациентами с гипертонической болезнью по всем рассматриваемым показателям приходится на β-адреноблокаторы.

Получено 28.05.12.

V.S. Titov, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(tel.: (4712) 58-70-98)

METHODS OF THERAPY NUMERICAL ESTIMATES OF ARTERIAL HYPERTENSION

We consider optimization of drug therapy of hypertension for the subsequent formation of economically rational regimens. Shows the benefits of this approach for patients as well as for hospitals.

Key words: *optimization, pharm economic data, the economic costs on.*

УДК 615.47

В.И. Серебровский, д-р техн. наук, профессор, Курская государственная сельскохозяйственная академия
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

А.В. Бойцов, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭРГОНОМИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЁ РОЛИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ

При решении задач оценки эффективности взаимодействия человека с техническими системами, включая транспортные средства, значительную роль играет эргономический фактор, который в определенной степени влияет и на возможные изменения в состоянии здоровья обслуживающего персонала.

Ключевые слова: *эргономика, транспортное средство, нечеткие модели, функция принадлежности, агрегация.*

***

Эффективность и безопасность функционирования современных биотехнических систем различных типов и назначений во многом определяется эргономической составляющей их технических подсистем. В предлагаемой работе исследуется класс биотехнических систем, выполняющих транспортные функции.

Учитывая общие рекомендации по синтезу нечетких решающих правил, разработанные на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета [2], предлагается следующая технология определения эргономического уровня транспортного средства по каждой из составляющих. Для простых показателей, которые можно непосредственно измерить (уровень шума в кабине (x_1), температура в кабине (x_2), средний уровень нагрузки на ру-

ки (x_3), средний уровень нагрузки на ноги (x_4), вибрации всего тела (x_5), вибрация на руках (x_6), вибрация на ногах (x_7), угол наклона сиденья (x_8), высота сиденья (x_9), расстояние до основных органов управления (x_{10}) и др.), уровень эргономичности будем определять как функцию принадлежности к понятию «максимально достижимый уровень эргономичности» (МДУЭ) с базовой переменной по шкале непосредственного измерения $x_i - \mu_{ЭР}(x_i)$. Причем значение единицы для $\mu(x_i)$ следует присваивать на том интервале (x_i), где создаются максимально комфортные (эффективные) условия для взаимодействия человека с техническим средством.

В предлагаемой работе для построения соответствующих функций принадлежностей используются результаты психофизического шкалирования [1]. Например, по показателю «температура в кабине» используется психофизическая шкала типа $S_T = (8{,}93 \cdot 10^{-4}) \cdot T^{в}$, где T – физическая температура; S_T – тепловые ощущения испытуемого; $в$ – показатель степени, зависящий от индивидуальной психофизики испытуемого, лежащий в диапазоне 1,96, ..., 3,67.

Большинство обследуемых в качестве наиболее комфортной температуры называют интервал 22...24 С°.

При отсутствии возможности или при нецелесообразности проведения физических измерений для оценки «простых» эргономических показателей может быть использовано субъективное шкалирование, осуществляемое с помощью тестовых опросников, позволяющих вводить балльные оценки субъективных ощущений измеряемого параметра.

С точки зрения взаимосвязи интенсивности уровня шума в кабине с его субъективным восприятием $S_Г$ в работе [1] обосновывается следующая зависимость: $S_Г = 3{,}285 \cdot I^{в}$ $(0{,}18 < в < 0{,}44)$.

В качестве тестового опросника при оценке уровня шума можно использовать субъективную шкалу ($S_{Ш}$).

Усилия, затрачиваемые водителями транспортных средств, на различных органах управления различны. В работе [1] приводятся следующие аналитические зависимости между затрачиваемым усилием R в ньютонах и субъективным ощущением этих усилий S:

– на рулевом колесе $S = 0{,}62R_{рк}^{в}$ $(0{,}53 < в < 1{,}7)$;

– на ручном рычаге $S = 0{,}667R_{рр}^{в}$ $(0{,}4 < в < 1{,}77)$;

– на педали сцепления $S = 8{,}766 \cdot 10^{-4} R_{пс}^{в}$ $(1{,}41 < в < 3{,}12)$.

Для построения шкал усилий на руках $S_{ур}$ и ногах $S_{ун}$ может быть использован специализированный опросник.

Оценку уровня вибрации, запыленности и загазованности кабины можно выполнить по следующим шкалам: $S_В$, $S_{ЗП}$, $S_{ЗГ}$.

При длительных нагрузках уровень дискомфорта и определенные риски в появлении и развитии заболеваний создает рабочая поза и, в частности, угол наклона сиденья, который по данным работы [1] характеризуется связью субъективных ощущений $S_п$ с физическим углом наклона α соотношением:

$$S_п = 0{,}179\alpha^{в} \quad (1{,}45 < в < 2{,}7).$$

Данные экспериментальных исследований показывают, что большинство испытуемых наиболее комфортным считают угол наклона 10...13º.

Шкалирование удобства рабочей позы следует проводить для той техники, которая не имеет средств подстройки сидений под антропометрические особенности водителя.

Аналогично определяются шкалы для оценки других простых эргономических свойств.

Более сложное влияние эргономики транспортных средств на человека через систему психофизиологических нагрузок будем оценивать через шкалы комплексных показателей, отражающих уровень психоэмоционального напряжения $\left(\mathrm{U}_{ПЭН}\right)$ и хронического физического утомления $\left(\mathrm{U}_{ХФУ}\right)$ в соответствии с выражением:

$$\mathrm{U}_{ПЭН} = \mathrm{F}_{П}(ШСТ, ШЛТ, \delta \mathrm{R}_{\mathrm{R}8}, \delta \mathrm{R}_{VB20}, \delta \mathrm{R}_{P9}, ПВ, КВ, УВ), \quad (1)$$

где $F_{П}$ – функция нечеткой агрегации составляющих для определения уровня ПЭН; ШСТ, ШЛТ – показатели ПЭН по шкалам ситуативной и личностной тревожности теста Спилбергера-Ханина; δR_{R8}, δR_{VB20}, δR_{P9} – шкала отклонений сопротивлений БАТ, связанных с психоэмоциональной сферой, от своего номинального значения; ПВ, КВ, и УВ – шкалы показателей переключаемости, концентрированности и устойчивости внимания [3].

Уровень хронического физического утомления (ХФУ) рассчитывается в соответствии с выражением [4]:

$$\mathrm{U}_{ХФУ} = \mathrm{F}_{Ф}(ИФУ, ПВ, КВ, УВ, \delta \mathrm{R}_{\mathrm{E}23}\, \delta R_{E36}, \delta R_{R36}, \delta R_{V40}, \delta R_{V60}, \delta R_{V20}, t), \quad (2)$$

где $F_{Ф}$ – функция нечеткой агрегации составляющих для определения уровня ХФУ; ИФУ – индекс физического утомления, рассчитываемый по методике Кинсмана-Вайсера-Леоновой; t – стаж работы. Остальные обозначения аналогичны обозначениям выражения (1).

Конкретные выражения и параметры составляющих выражений (1) и (2) приведены в работах [3, 4].

С учетом приведенных механизмов формирования шкал, позволяющих оценивать разномодальные эргономические свойства транспортных средств, предлагается следующий способ дифференциальной и комплексной эргономической оценки качества исследуемого класса биотехнических систем:

1. На основании технических описаний и экспертного оценивания составляется перечень эргономических свойств исследуемых классов транспортных средств.

2. Для простых (получаемых на одной шкале) эргономических свойств определяется целесообразность и возможность использования: прямых измерений на исследуемом транспортном средстве (группа свойств x_i; измерений на специально создаваемых тренажерах (группа свойств y_j); оценок психофизических ощущений, получаемых методами психофизического шкалирования (группа свойств $S_к$); специально подбираемых или синтезируемых опросников (группа свойств t_q). По каждой из полученных шкал путем экспертного оценивания определяются функции принадлежностей к уровню эргономичности каждого из выбранных свойств $\mu_{эр}(x_i), \mu_{эр}(y_j), \mu_{эр}(S_к), \mu_{эр}(t_q)$.

3. Для исследования эргономических свойств, которые оцениваются через реакцию человека, взаимодействующего с технической системой, выбирается комплекс психофизиологических показателей, характеризующих его функциональное состояние (ФС), определяются составляющие, характеризующие различные классы ФС, формируемые под воздействием эргономики транспортного средства (ТС), и определяется комбинированная шкала, отражающая степень изменения составляющих ФС в зависимости от условий работы и конструктивных особенностей ТС. В предлагаемой работе это шкалы уровня психоэмоционального напряжения (1) и хронического физического утомления (2). Используя шкалы $\mathrm{U}_{ПЭН}$ и $\mathrm{U}_{ХФУ}$ как базовые пере-

менные функций принадлежностей, методом экспертного оценивания определяется уровень эргономичности ТС по этим шкалам – $\mu_{эр}(U_{ПЭН})$ и $\mu_{эр}(U_{ХФУ})$.

4. Каждая из полученных функций принадлежностей характеризует конкретные эргономические свойства, дифференцируя их по конструктивным особенностям ТС и условиям труда водителя.

Аналитическое выражение для комплексной оценки эргономики транспортного средства получается агрегацией всех частных функций принадлежностей.

В предлагаемой работе агрегация осуществляется по итерационной формуле [2]:

$$УЭ(p+1) = УЭ(p) + \\ +\mu_{эр}(Z_r)\times[1-УЭ(p)], \quad (3)$$

где $УЭ(p)$ – уровень эргономичности, определяемый по P частным свойствам; p = 1,...,P; $\mu_{эр}(Z_r)$ – функция принадлежности к уровню эргономичности по свойству Z_r; $r = 2,..., p$;

$$Z_r = x_1, x_2, ..., y_1, y_2, ..., s_1,$$

$$s_{2,}...t_1, t_2, ..., U_{ПЭН}, U_{ХФУ};$$

$$УЭ(1) = \mu_{эр}(Z_1).$$

В другом варианте (по выбору экспертов) агрегация может быть осуществлена с использованием аддитивного критерия вида

$$УЭ^* = \sum_{г} a_r \cdot \mu_{эр}(Z_г), \quad (4)$$

где a_r – весовые коэффициенты, характеризующие вклад каждой составляющей в общий показатель эргономичности, определяемые методом экспертного оценивания.

Для перехода от (4) к нормированной величине можно воспользоваться обобщенной функцией принадлежности к уровню эргономичности $УЭ = \mu^{o}_{эр}(УЭ^*)$, пример графика которой приведен на рис. 1.

5. Используя УЭ как базовую переменную, методом экспертного оценивания определяются функции принадлежностей к классам эргономичности. На рис. 2 приведен пример графиков функций принадлежностей к классам: неудовлетворительная $\mu_{н}(УЭ)$, удовлетворительная $\mu_{у}(УЭ)$, хорошая $\mu_{х}(УЭ)$ и отличная $\mu_{о}(УЭ)$ эргономика.

Используя предложенный способ оценки уровня эргономичности транспортных средств, можно решать задачи оценки их влияния на состояние здоровья водителей, если каждое из свойств рассматривать с точки зрения их влияния на возникновение и развитие соответствующих профессиональных заболеваний.

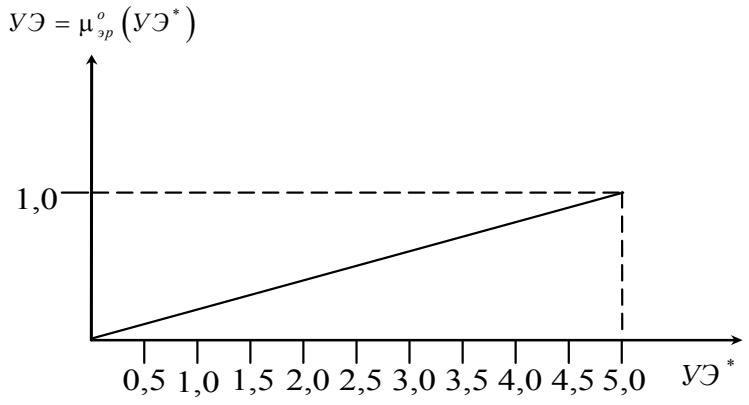


Рис. 1. Нормирование уровня эргономичности $УЭ^*$ через функцию принадлежностей

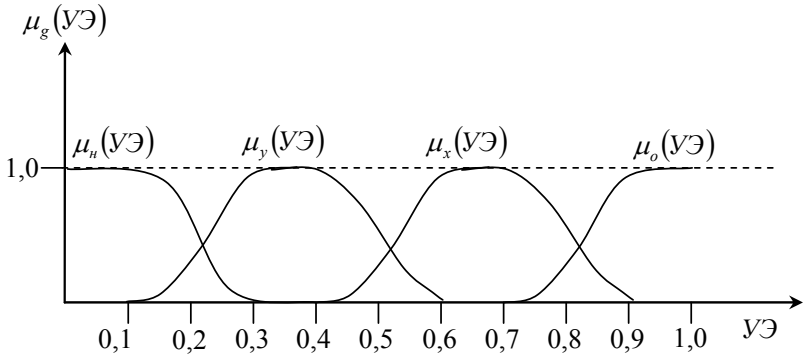


Рис. 2. График функций принадлежностей к классам уровня эргономики транспортных средств: $g = н, у, х, о$

Удобно при этом либо отдельные свойства, либо комплексный показатель уровня эргономичности использовать как базовые переменные для функций принадлежностей к исследуемым классам заболеваний. Учитывая, что только по уровню эргономичности сделать прогноз или поставить точный диагноз практически невозможно, далее следует решать задачу синтеза соответствующих решающих правил, например в соответствии в соответствии с методикой, изложенной в работе [2].

Список литературы

1. Камозин Л.М. Разработка и исследование методов и средств оценки качества биотехнической системы на основе психофизического шкалирования на примере тракторов: дис. … канд. техн. наук: 05.13.09; защищена 29.11.95. Курск, 1995. 204 с.

2. Кореневский Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.

3. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н.А. Кореневский, О.И. Филатова, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 4–9.

4. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, А.В. Еремин, О.И. Филатова // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 10–15.

Получено 28.05.12.

V.I. Serebrovskiy, Doctor of Sciences, Professor, Kursk State Agricultural Academy (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

A.V. Boytsov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

USING THE FUZZY CLASSIFICATION MODELS FOR ERGONOMICS ASSESSMENT OF THE TECHNICAL SYSTEMS AND ITS ROLE IN THE HEALTH EVALUATION TASKS

During the solution of problems of evaluating the effectiveness of human interaction with technical systems including transportation ergonomic factor which to some extent affects the possible changes in the health service staff is greatly important.

Key words: *ergonomics, vehicle, fuzzy models, membership function, aggregation.*

УДК 615.47

В.Н. Шевякин, д-р техн. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

Е.Б. Рябкова, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА СТАДИЙ ВИБРОБОЛЕЗНИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В работе рассматриваются вопросы синтеза гибридных решающих правил для дифференциальной диагностики стадий виброболезни. Доказывается, что качество срабатывания полученных решающих правил на репрезентативных контрольных выборках показало, что их диагностическая значимость составляет 0,93, что приемлемо для практического использования.

Ключевые слова: *виброболезнь, решающие правила, дифференциальная диагностика.*

***

Вибрационная болезнь является одной из самых распространенных профессиональных болезней среди рабочих, использующих виброинструменты.

Для решения задач дифференциальной диагностики этого класса на экспертном уровне были выделены три класса состояний: здоров (ω_0); ранняя (доклиническая, донозологическая) стадия (класс ω_p); клиническая стадия (класс $\omega_к$) вибрационной болезни.

Для решения классификационной задачи было выбрано 24 признака x_i двоичного типа (есть признак – 1, признак отсутствует – 0).

Список признаков следующий: x_1 – профстаж работы с инструментом не менее 8 лет; x_2 – парастезия рук после работы и ночью; x_3 – боли в руках после работы и ночью; x_4 – зябкость рук; x_5 – тугоподвижность пальцев рук по утрам; x_6 – судорожные стягивания пальцев рук; x_7 – прерывистость сна из-за болей и парастезий в руках; x_8 – побеление или посинение пальцев; x_9 – гиперемированный акроцианоз с мраморностью; x_{10} – акрогипотермия; x_{11} – акрогипергидроз; x_{12} – трофические изменения кистей; x_{13} – гипалгезия (гипералгезия) по типу «перчаток»; x_{14} – снижение вибрационной чувствительности; x_{15} – спастический или спастикоатонический тип капилляров; x_{16} – термоассиметрия на кистях и груди более 0,5°С; x_{17} – акрационаз при холодной пробе; x_{18} – акроспазмы (синдром рейно); x_{19} – замедленное восстановление кожной температуры после холодовой пробы; x_{20} – снижение силы рук; x_{21} – преобладание периферических сосудистых нарушений над церебральными по данным РЭГ, ПРГ; x_{22} – костные нарушения кистей и позвоночника; x_{23} – наличие неврита (лучевого, локтевого) нерва; x_{24} – хроническая коронарная недостаточность.

В ходе разведочного анализа было установлено, что между всеми классами существуют области пересечения и не существует линейной разделяющей поверхности, обеспечивающей отделение классов друг от друга. Было принято решение об использовании кусочно-линейной разделяющей поверхности.

В ходе предварительного обучения было установлено, что класс ω_0 отделяется от всех остальных классов ω_p и $\omega_к$ двумя гиперплоскостями с уравнениями следующего вида:

$$\begin{aligned} &1,3x_1 + 0,13x_2 + 0,13x_4 + 0,13x_6 + \\ &+1,3x_7 + 1,3x_{11} + 1,3x_{14} + 0,13x_{15} + \\ &+0,13x_{16} + 1,3x_{17} + 1,3x_{18} + 0,13x_{22} + \\ &+0,13x_{23} + 0,13x_{24} = 0,5; \end{aligned} \quad (1)$$

$$x_1 + 0,7x_2 + 0,03x_3 + 0,7x_4 + 0,03x_5 + \\ +0,7x_6 + x_7 + 0,03x_8 + 0,03x_9 + \\ +0,03x_{10} + x_{11} + 0,03x_{12} + 0,03x_{13} + \\ +x_{14} + 0,7x_{15} + 0,7x_{16} + x_{17} + x_{18} + \\ +0,7x_{19} + 0,7x_{20} + 0,03x_{21} + 0,7x_{22} + \\ +0,7x_{23} + 0,7x_{24} = 6,8. \quad (2)$$

Класс ω_p от двух других классов отделяется гиперплоскостью (1) и двумя гиперплоскостями типа:

$$1,3x_1 + 0,13x_2 + 0,13x_4 + 0,13x_6 + \\ +1,3x_7 + 1,3x_{11} + 1,3x_{14} + 0,13x_{15} + \\ +0,13x_{16} + 1,3x_{17} + 1,3x_{18} + 0,13x_{22} + \\ +0,13x_{23} + 0,13x_{24} = 1,9; \quad (3)$$

$$x_1 + 0,7x_2 + 0,03x_3 + 0,7x_4 + 0,03x_5 + \\ +0,1x_6 + x_7 + 0,03x_8 + 0,03x_9 + 0,03x_{10} + \\ +x_{11} + 0,03x_{12} + 0,03x_{13} + x_{14} + 0,7x_{15} + \\ +0,7x_{16} + x_{17} + x_{18} + 0,7x_{19} + 0,7x_{20} + \\ +0,03x_{21} + 0,7x_{22} + 0,7x_{23} + 0,7x_{24} = 5,5. \quad (4)$$

Класс $\omega_к$ от двух других классов отделяется гиперплоскостями (2), (3) и (4).

Анализ выражений разделяющих гиперплоскостей позволяет сделать вывод о возможности построения соответствующих функций принадлежностей на двух шкалах (базовых переменных):

$$Y_1 = 1,3x_1 + 0,13x_2 + 0,13x_4 + 0,13x_6 + \\ +1,3x_7 + 1,3x_{11} + 1,3x_{14} + 0,13x_{15} + \\ +0,13x_{16} + 1,3x_{17} + 1,3x_{18} + 0,13x_{22} + \\ +0,13x_{23} + 0,13x_{24}; \quad (5)$$

$$Y_2 = x_1 + 0,7x_2 + 0,03x_3 + 0,1x_4 + \\ +0,03x_5 + 0,7x_6 + x_7 + 0,03x_8 + \\ +0,03x_9 + 0,03x_{10} + x_{11} + 0,03x_{12} + \\ +0,03x_{13} + x_{14} + 0,7x_{15} + 0,7x_{16} + \\ +x_{17} + x_{18} + 0,7x_{19} + 0,7x_{20} + \\ +0,03x_{21} + 0,7x_{22} + 0,7x_{23} + 0,7x_{24}. \quad (6)$$

На этих шкалах были построены соответствующие гистограммы распределения классов, по которым получены функции принадлежностей, графики которых приведены на рисунках 1 и 2.

Согласно рекомендациям [1] решение о принадлежности к каждому из классов ω_ℓ $(\ell = 0, \ , П, \ К)$ принимаются в соответствии с выражениями

$$\mu_{\omega_0} = \min\left(\mu^1_{\omega_0}, \mu^2_{\omega_0}\right);$$

$$\mu_{\omega_p} = \min\left(\mu^1_{\omega_p}, \mu^2_{\omega_p}\right);$$

$$\mu_{\omega_к} = \min\left(\mu^1_{\omega_к}, \mu^2_{\omega_к}\right).$$

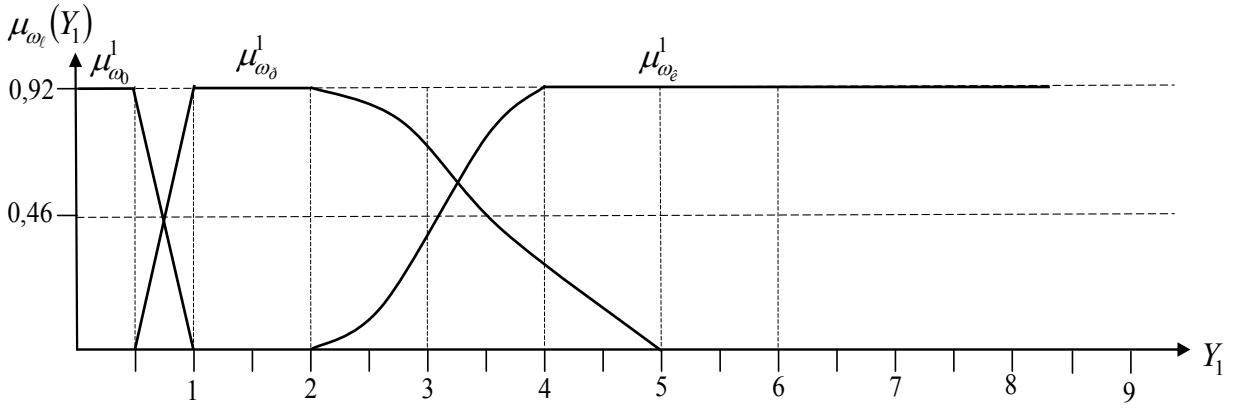


Рис. 1. Графики функций принадлежностей к классам вибрационной болезни по шкале Y_1

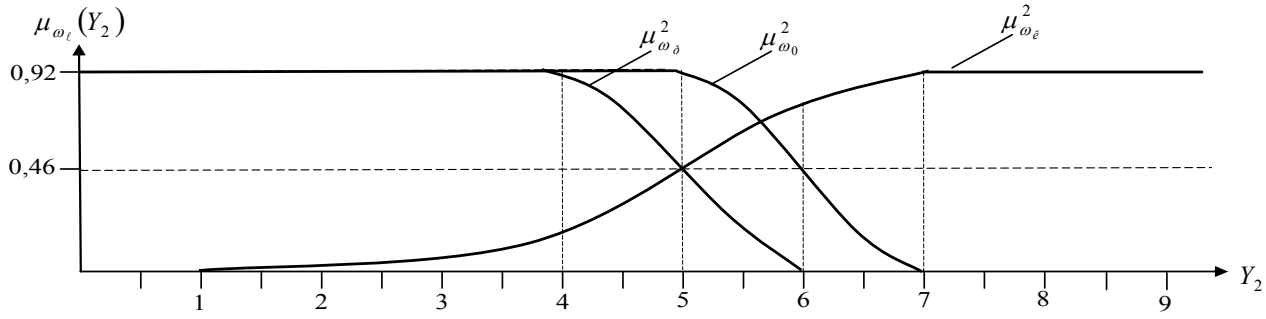


Рис. 2. Графики функций принадлежностей к классам вибрационной болезни по шкале Y_2

Решение о классификации принимается по максимальной величине функций принадлежностей. При равных значениях функций принадлежностей предпочтения отдаются в следующем порядке: $\omega_к$, $\omega_р$, ω_0, начиная с $\omega_к$.

Статистическая проверка качества срабатывания полученных решающих правил на репрезентативных контрольных выборках показала, что их диагностическая значимость составляет 0,93, что приемлемо для практического использования.

1. Кореневский, Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. XIII, № 2. С. 6–10.

Получено 29.05.12.

V.N. Shevyakin, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

E.B. Ryabkova, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

DIFFERENTIAL DIAGNOSTICS OF STAGES VIBROBOLEZNI BASED ON THE DECISION MAKING

The work deals with the synthesis of a hybrid of decision rules for the differential diagnosis vibrobolezney models. Represents the quality of the received response decision rules on representative test samples showed that their diagnostic significance of Skye is 0.93, which is acceptable for practical use.

Key words: *vibrobolezn, decision rules, the differential diagnosis.*

УДК 614.8:452-76:231+058

Л.В. Шульга, д-р мед. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: Nikiti4007@yandex.ru)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ

На основе математико-картографического моделирования распространенности гипертонической болезни в городских и сельских территориальных системах выявлены территории высокого и низкого риска, определены тенденции патологии в современных условиях.

Ключевые слова: *гипертония, математико-картографическое моделирование, интенсивный показатель.*

***

При принятии временных управленческих и лечебных решений по заболеваемости гипертонической болезнью необходимо учитывать две группы обстоятельств:

– выработка управленческих решений по заболеваемости населения гипер-

тонической болезнью базируется на анализе временных рядов и прогнозировании ситуации на ближайший период;

– временные лечебные воздействия у пациентов с гипертонической болезнью требуют оценки динамики объективных и субъективных показателей и в ряде случаев суточного мониторирования.

Формирование временных управленческих и лечебных решений по заболеваемости гипертонической болезнью проводится на основе разработанной одноименной модели и включает прежде всего информационный мониторинг (рис.). В настоящем исследовании информационный мониторинг распространенности гипертонической болезни среди населения Курской области лимитирован крайними границами от 2004 г. до 2007 г. Указанный временной период (4 года) позволяет в соответствии с общепринятыми требованиями получить репрезентативные данные относительно динамики изучаемой патологии и осуществить полноценный анализ временных рядов с выявлением тенденций. В соответствии с рекомендациями специалистов (Шмойлова [и др.], 2005; Айвазян [и др.], 2001; Ролдугин [и др.], 2003 и пр.) анализ временных рядов должен проводиться не менее чем за трехлетний период.

Рис. Модель временных управленческих и лечебных воздействий при гипертонической болезни (ГБ)

Основу информационного мониторинга составляют статистические показатели заболеваемости населения от 18 лет и старше гипертонической болезнью с диагнозом, установленным впервые в жизни, заимствованные из учетно-отчетных форм:

– талон для регистрации заключительных (уточненных) диагнозов (учетная форма №025-2/у);

– карта выбывшего из стационара (учетная форма №066/у);

– контрольная карта диспансерного наблюдения (учетная форма №039/у);

– отчет о деятельности лечебно-профилактического учреждения (отчетная форма № 001/о).

Сведения о впервые выявленных случаях гипертонической болезни у взрослых Курской области извлекаются из класса болезней системы кровообращения по МКБ–10 и соотносятся с численностью взрослого населения территориальных образований за конкретный временной интервал. Интенсивные показатели (ИП) рассчитываются на 100 000 взрослых по общепринятой формуле:

$$\text{ИП} = \frac{\text{абсолютное числов зрослых с впервые выявленной гипертонической болезнью}}{\text{абсолютная численность взрослого населения территории}} \times 100000.$$

Полученные данные за указанный период составляют временные ряды и исследуются по территориям высокого риска.

В анализе временных рядов важным является выявление долговременной компоненты, характеризующей тенденцию развития явления (Шмойлова [и др.], 2005). В настоящее время для определения наличия тренда предложено около десятка критериев, различающихся как по мощности, так и по сложности математического аппарата. При выявлении трендов заболеваемости гипертонической болезнью использован метод проверки существенности разности средних по критерию Стьюдента. В этом случае временные ряды разбиваются на две равные части – 2004–2005 гг. и 2006–2007 гг. и проверяется гипотеза о наличии разности средних:

H_0: $\overline{y_1} = \overline{y_2}$,

где $\overline{y_1}$ – средний уровень заболеваемости гипертонической болезнью в 2004–2005 гг.;

$\overline{y_2}$ – средний уровень данной патологии в 2006–2007 гг.

После установления тенденций заболеваемости взрослого населения гипертонической болезнью производится анализ трендов с помощью методов сглаживания, подразделяющихся на две основные группы:

– сглаживание или механическое выравнивание отдельных элементов временных рядов с использованием фактических значений соседних уровней;

– выравнивание с применением кривой, проведенной таким образом между конкретными уровнями, чтобы она отражала тенденцию, присущую временному ряду и одновременно освободила его от незначительных колебаний.

Для анализа трендов заболеваемости гипертонической болезнью использовался метод вычисления скользящей средней. Данный уровень временного ряда рассчитывался как сумма данного уровня и двух соседних с ним, деленная на три.

Анализ временных рядов заболеваемости гипертонической болезнью предусматривает также вычисление количественных показателей, позволяющих конкретизировать выявленные тенденции. Среди количественных показателей временных рядов рассматривались:

– абсолютный прирост (или убыль) заболеваемости гипертонической болезнью;

– темп прироста (или убыли) патологии;

– темп роста (или убыли);

– значение 1% прироста (убыли) случаев впервые выявленной гипертонической болезни на 100 000 взрослого населения.

Абсолютный прирост (или убыль) заболеваемости гипертонической болезнью – это разность между уровнем данного года (Д) и предыдущего (П), т.е.

$$АП\ (убыль) = Д - П.$$

Темп прироста (убыли) рассматривается как процентное отношение абсолютного прироста (АП) к предыдущему уровню (П), т.е.

$$ТП\ (убыли) = (АП/П)\times 100\%.$$

Темп роста (убыли) определяется как процентное отношение данного уровня к предыдущему (П):

$$ТР_{(убыли)} = (Д/П)\times 100\%.$$

Значение 1% прироста (убыли) вычисляется как отношение абсолютного прироста заболеваемости гипертонической болезнью к темпу прироста, т.е.

$$АП/ТП.$$

Важной составляющей временных управленческих решений является прогнозирование заболеваемости населения гипертонической болезнью на краткосрочный период. Получение прогностических моделей осуществляется при экстраполяции временного ряда по тренду, возможность использования которого определяется следующим:

– общие условия, определяющие тенденцию развития в прошлом, не претерпевают существенных изменений в будущем;

– тенденция ряда характеризуется аналитическим уравнением.

Для получения прогноза частоты гипертонической болезни используется экстраполяция временного ряда и разработка математических, графических моделей. При прогнозировании осуществляется разложение временного ряда патологии, строится модель, а любые ошибки прогноза зависят не только от объема выборки, но и от ошибок спецификации модели.

Математические и графические модели строились на основе регрессионного анализа и пакета прикладных программ «Statistica 5,0». Регрессионный метод показывает динамику изменчивости признака Y (или X) в зависимости от изменения значения признака X (или Y). В большинстве случаев эмпирические регрессии выражаются простым уравнением линейной зависимости:

$$\overline{y_x} = a + bx,$$

где $\overline{y_x}$ – групповая средняя арифметическая или ожидаемое значение переменной Y, соответствующее заданному значению переменной X; a и b – параметры уравнения.

Временные лечебные воздействия (хронотерапия) у больных гипертонической болезнью II степени осуществлялись в соответствии с одним из хронобиологических критериев назначения лекарственного средства – превентивной хронотерапией (Вилковский, Удалов, 2003). Она основана на математическом законе Wilder, согласно которому любая функция может быть максимально изменена в период экстремального отклонения от средних величин. Хронотерапия осуществлялась престариумом в соответствии со степенью гипертонической болезни, возрастом пациента, сопутствующей патологией и другими главными учитываемыми показаниями и противопоказаниями.

Престариум относится к группе ингибиторов ангиотензинпревращающего

фермента (АПФ). В организме метаболизируется в фармакологически активное соединение периндоприлат, не содержащее сульфгидрильной группы. Препарат оказывает пролонгированное антигипертензивное действие независимо от количества потребляемого с пищей натрия (Метелица, 2003), причем указанный эффект свойственен преимущественно в дневное время, что снижает риск развития избыточной гипотонии с развитием эпизодов ишемии в ночное время.

Антигипертензивный эффект зависит от дозы только в границах от 2 до 8 мг, а дальнейшее увеличение дозы не приводит к большему эффекту. Антигипертензивный эффект продолжается дольше, чем ингибирующее действие фермента плазмы, благодаря ингибированию местного (тканевого) фермента.

После приема разовой дозы в 4–8 мг повышенное артериальное давление снижается значительно через 4–6 часов. При повторных ежедневных приемах антигипертензивный эффект поддерживается в течение 24 часов.

Биодоступность престариума составляет 75–95% и не зависит от приема пищи. Через 1 час после приема внутрь достигается максимальная концентрация препарата в крови. Только 17–20% периндоприла от количества, принятого внутрь, метаболизируется в печени в периндоприлат, остальное количество – в другие неактивные метаболиты. Периндоприлат и другие метаболиты образуют конъюгаты с β-глюкоронидами. Связывание периндоприлата с белками составляет всего около 20%. Средний период полувыделения равен 1,5–3 часа, элиминация протекает в две фазы: первая фаза длится 5 часов, а вторая – 25–30 часов из-за сильной степени связывания с ферментами. При нарушении ферментации почек и в пожилом возрасте экскреция периндоприлата и других метаболитов снижается. У больных с почечной недостаточностью отмечается снижение клиренса периндоприлата параллельно уменьшению клиренса креатинина.

Престариум при хронотерапевтическом воздействии назначался за 2 часа до акрофазы артериального давления, т.е. с учетом его фармакокинетики. Назначению препарата предшествовало суточное мониторирование артериального давления в течение двух дней с целью выявления акрофазы этого показателя, как это рекомендуется ведущими специалистами в области хронобиологии и хронотерапии (Заславская, 1996; Комаров [и др.], 2000; Заславская, Беляев, 2002).

Больные гипертонической болезнью, получавшие хронотерапию престариумом, составляли основную группу (127 человек). Сравнением служила контрольная группа в количестве 74 пациентов, сопоставимых по степени гипертонической болезни, возрасту, длительности заболевания и другим наиболее значимым критериям. В контрольной группе престариум применялся по общепринятой схеме терапии с учетом суточной дозы препарата.

Контроль эффективности лечения в сравниваемых группах проводится на основе субъективных и объективных параметров. Последние предусматривали анализ биохимических, общих лабораторных, инструментальных показателей, суточного мониторирования артериального давления. Показатели гемодинамики определялись аппаратом «Aloka SSD–1400», биохимические показатели – прибором «Лахема», показатели суточного мониторинга артериального давления – аппаратом фирмы «Abp M Mobilograph».

Необходимость суточного мониторирования артериального давления определяется высокой изменчивостью показателя, в течение суток. Эпизодические же измерения нередко регистрируют показания, весьма далекие от характерных для данной патологии. Продолжительность исследования составляет 28 часов с целью исключения при хронобиологиче-

ском анализе из обработки первых четырех часов наблюдения времени адаптации пациентов к аппарату. Интервал между измерениями в дневное время составлял 15–20 минут, в ночное время – не более 30 минут. Общее количество измерений за сутки было не менее 60. При установке аппарата больной информировался о методике исследования, особенностях поведения во время исследования (расслабление руки во время измерения и др.). Обязательным являлось ведение дневника самонаблюдения, в котором отмечались часы ночного и дневного сна, эпизоды физической и эмоциональной активности во время бодрствования, а также время приема лекарственных препаратов.

При анализе данных суточного мониторирования артериального давления использовались такие показатели, как акрофаза, средние значения систолического и диастолического артериального давления, пульсового, среднего артериального давления.

Новизной созданного нами алгоритма организации и контроля хронотерапии гипертонической болезни, помимо хронобиологичеких аспектов, является исследование сопротивления биологически активных точек, ответственных за состояние гипертонической болезни, и определение показателей фармакокинетики используемого гипотензивного лекарственного средства. Среди показателей фармакокинетики рассматривались: период полуэлиминации и почечный клиренс.

Получено 31.05.12.

L.V. Shulga, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

PROPAGATION MODELING HYPERTENSION

Based on the mathematical and cartographic modeling prevalence of hypertension in urban and rural territorial systems identified in high-and low-risk, the tendencies of pathology in modern conditions.

Key words: *hypertension, mathematical and cartographic modeling, intensive index.*

УДК 647

А.Г. Коцарь, канд. мед. наук, докторант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru).

С.П. Серегин, д-р мед. наук, профессор, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru).

М.Н. Цуканова, аспирант, Юго-Западный государственный университет (Курск)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru).

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТОЛИТИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ПРИ КОНКРЕМЕНТАХ МОЧЕТОЧНИКА

Рассматриваются вопросы способа прогнозирования эффективности литолитической терапии при конкрементах мочеточника.

Ключевые слова: *прогнозирование, терапия.*

***

Одной из актуальных проблем современной урологии и медицины в целом является проблема лечения больных, страдающих мочекаменной болезнью (МКБ). Заболеваемость МКБ среди взрослого населения планеты составляет 1-3% [5], при этом в 68% *случаев МКБ развивается в трудоспособном возрасте (20–60 лет).* За последние три десятилетия достигнуты значительные успехи в методах удаления и дезинтеграции конкрементов за счет применения малоинвазивных и эндоскопических методов. К сожалению, результаты лечения с ис-

пользованием даже этих современных методов не всегда удовлетворяют врачей своими результатами, что обусловлено как возникновением большого числа осложнений, так и высокой частотой рецидивов камнеобразования [4]. В то же время методы перорального литолиза мочекислых камней так называемыми цитратными препаратами получили научное развитие и нашли широкое клиническое применение во всем мире [2]. Пероральный литолиз камней дает возможность неинвазивного избавления пациента от уратных конкрементов чашечно-лоханочной системы и является «золотым стандартом» лечения пациентов этой группы [1]. Доля мочекислых камней варьирует от 2,3 до 44% и чаще встречается в возрастной группе 56–65 лет, когда риски оперативного и анестезиологического пособия значительно возрастают в силу манифестации сопутствующей общесоматической патологии. При этом важно правильно оценить показания и предполагаемую эффективность литолиза, так как необоснованное назначение цитратных смесей может приводить к прогрессии фосфатного литогенеза, финансовым издержкам пациента, потери времени для проведения альтернативных методов лечения. Задачей предлагаемой работы является повышение эффективности прогнозирования литолитической терапии, определение показаний и противопоказаний к данному методу лечения при мочекаменной болезни.

Предлагаемый способ реализуется комплексным использованием информативных признаков для расчета коэффициентов уверенности в прогнозе эффективности ЛЛТ с использованием математического аппарата нечеткой логики и теории распознавания образов.

Способ осуществляется следующим образом. Согласно общей концепции синтеза нечетких решающих правил, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета [3], задача нечеткого прогнозирования эффективности ЛКТ рассматривается как задача разделения обследуемых на два класса: $\omega_{лит+}$ – показана литолитическая терапия, $\omega_{лит-}$ – противопоказана литолитическая терапия. Для этого необходимо:

1. Данные, полученные в результате обследования пациентов, согласно стандартам оказания медицинской помощи больным мочекаменной болезнью, утвержденным Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации, заносятся в компьютер в виде информативных признаков. В интерфейсе пользователя предлагается ответить на следующие вопросы в рубрикациях:

x_1 – локализация камня:

1 – локализация неизвестна,

2 – верхняя чашка,

3 – средняя чашка,

4 – нижняя чашка,

5 – лоханка,

6 – лоханочно-мочеточниковый сегмент,

7 – мочеточник;

x_2 – размер камня, мм,

x_3 – плотность камня по результатам СКТ (хаунсфилд),

x_4 – рентгенинтенсивность камня по результатам урографии:

1 – неконтрастный,

2 – слабоконтрастный,

3 – контрастный,

4 – интенсивно контрастный;

x_5 – химическая структура камня (в анамнезе):

1 – моногидратный оксалат,

2 – неизвестно,

3 – фосфат,

4 – дигидратный оксалат,

5 – урат,

6 – смешанный;

x_6 – толщина паренхимы почки, см,

x_7 – беременность,

x_8 – пиелонефрит.

2. Для каждого признака рассчитывается значение функций принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$ (i = 1,…, 8) к классам $\omega_{ЛЛТ+}$, $\omega_{ЛЛТ-}$, (ℓ =ЛЛТ+, ЛЛТ-) на основании следующих формул:

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_1)=\begin{cases}0,25, \text{ если } 2\le x_1\le 5;\\ 0, \text{ если } (x_1=1) \text{ или } (x_1>5),\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_1)=0,$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_2)=$$
$$=\begin{cases}0,2, \text{ если } x_2\le 5;\\ 0,265-0,013x_2, \text{если } 5<x_2\le 20;\\ 0, \text{ если } x_2>20,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_2)=0,$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_3)=$$
$$=\begin{cases}0,2, \text{ если } x_3\le 500;\\ 0,7-0,001x_3, \text{ если } 500<x_3\le 700;\\ 0, \text{ если } x_3>700,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_3)=$$
$$=\begin{cases}0, \text{ если } x_3\le 600;\\ 0,002x_3-1,2, \textit{если } 600<x_3\le 1000;\\ 0,8 \text{ если } x_3>1000,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_4)=\begin{cases}0,5, \text{ если } x_4=1;\\ 0, \text{ если } x_4\ge 2,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_4)=\begin{cases}0, \text{ если } x_4=1;\\ 0,4, \text{ если } x_4=2;\\ 0,9 \text{ если } x_4\ge 3,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_5)=\begin{cases}0, \text{если } (x_5\le 4) \text{ или } (x_5=6);\\ 0,6, \text{ если } x_5=5,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_5)=\begin{cases}0,8, \text{если } (2<x_5\le 4)\\ \quad \text{или } (x_5=1) \text{ или } (x_5=6);\\ 0, \text{ если } (x_5=5) \text{ или } (x_5=2),\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_6)=0,$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_6)=\begin{cases}0,8, \text{ если } x_6\le 6;\\ 2-0,2x_6, \text{ если } 6<x_6\le 10;\\ 0, \text{ если } x_6>10,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_7)=0,$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_7)=\begin{cases}0, \text{если } x_7=0;\\ 0,99, \text{ если } x_7=1,\end{cases}$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ+}(x_8)=0,$$

$$\mu_{\omega ЛЛТ-}(x_8)=\begin{cases}0, \text{если } x_8=0;\\ 0,9, \text{ если } x_8=1.\end{cases}$$

Вышеуказанные выражения синтезированы группой высококвалифицированных экспертов-специалистов в области урологии, под руководством инженера по знаниям.

3. Рассчитывается общий коэффициент уверенности в отнесении обследуемого к классам $\omega_{ЛЛТ+}$ ($КУ_{ЛЛТ+}$), $\omega_{ЛЛТ-}$ ($КУ_{ЛЛТ-}$) с помощью итерационного правила логического вывода [3] вида

$$КУ_\ell(r+1)=КУ_\ell(r)+$$
$$+\mu_{\omega_\ell}(x_{i+1})\left[1-КУ_\ell(r)\right],$$

где КУ ℓ (r) – коэффициент уверенности в классе ω_ℓ на r-м шаге итерации; КУ ℓ (1)=$\mu_{\omega_\ell}(x_1)$; $\mu_{\omega_\ell}(x_{i+1})$ – функция принадлежности для вновь вводимого признака с номером i + 1; i = 1,…, 8.

4. На основании сравнения полученного коэффициента уверенности с пороговыми значениями $КУ^{П}_{ЛЛТ+}$=0,6, $КУ^{П}_{ЛЛТ-}=0,6$ производится дефазификация вывода. Окончательный вывод определяется логическим выражением вида:

ЕСЛИ ($КУ_{ЛЛТ+}\ge$0,6) И ($КУ_{ЛЛТ-}<$0,6), ТО [«целесообразно выполнение литолитической терапии»] ИНАЧЕ [«нецелесообразно выполнение литолитической терапии»].

Проверка результатов срабатывания полученных решающих правил на кон-

трольной выборке (150 человек) показала, что диагностическая эффективность предлагаемого метода достигает 96%, что вполне приемлемо для использования в медицинской практике.

Таким образом, использование предложенной нами методики прогнозирования позволяет точно определять показания, противопоказания и предполагаемую эффективность предстоящей литолитической терапии при конкрементах почки.

Список литературы

1. Аляев Ю.Г., Кузьмичева Г.М., Рапопорт Л.М. Современные аспекты цитратной терапии у больных мочекаменной болезнью // Врачебное сословие. 2004. № 4. С. 20–24.

2. Колпаков И.С. Консервативное лечение мочекаменной болезни. М.: Медицинское информационное агенство. 2009. С. 222.

3. Кореневский Н.А., Титов В.С., Чернецкая И.А. Проектирование систем поддержки принятия решений для медико-экологических приложений: монография / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2004. 180 с.

4. Мочекаменная болезнь. Современные методы диагностики и лечения / под ред. чл.-кор. РАМН Ю.Г. Аляева. М.: «Гэотар-Медиа», 2010.

5. Тиктинский О.Л., Александров В.П. Мочекаменная болезнь. СПб.: «Питер», 2000. 379 с.

Получено 31.05.12.

A.G. Kotsar, Candidate of Sciences, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

S.P. Seregin, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

M.N. Tsukanova, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

METHOD OF FORECASTING PERFORMANCE LITHOLYTIC THERAPY IN URETERAL STONES

Questions of a method for predicting the effectiveness litholytic therapy for ureteral stones.
Key words: *forecasting, therapy.*

К сведению авторов

1. К публикации в «Известиях Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 10 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим- по требованию редколлегии);
- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);
- электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны-2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК, авторы, название, аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

9. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул Microsoft Equation 3.0 (Вставка- Объект- Создание - Microsoft Equation) с размерами: обычный – 14 пт; крупный индекс 12 пт, мелкий индекс – 10 пт; крупный символ – 16 пт; мелкий символ – 10 пт.

Необходимо учитывать, что полоса набора- 75 мм. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – курсивом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF,JPEG,PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

13. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-14.

E-mail: rio_kursk@mail.ru.