

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ИЗДАНИЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Журнал издается с января 1958 г.

ТОМ 55

ФЕВРАЛЬ 2012

№ 2

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Под редакцией доктора технических наук, профессора С. Г. Емельянова,
доктора технических наук, профессора В. С. Титова*

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 5

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Сырямкин В. И., Бородин В. А., Осипов А. В., Васильев А. В., Глушков Г. С.**
Анализ изображений, формируемых рентгеновскими микротомографами 7
- Орлов А. А.** Методы выделения и вычисления признаков структур на снимках
промышленных изделий 10
- Садыков С. С., Савичева С. В.** Исследование наложенности плоских объектов в
поле зрения системы технического зрения 14
- Садыков С. С., Савичева С. В.** Предварительная обработка изображений плоских
объектов в системах технического зрения 19
- Захаров А. А.** Автоматический синтез протяженных трехмерных сцен с использо-
ванием системы компьютерного зрения 24
- Жизняков А. Л., Привезенцев Д. Г.** Распределение самоподобия на цифровом
изображении 27
- Бехтин Ю. С., Титов Д. В.** Компрессия зашумленных изображений адаптивным
вейвлет-кодеком 32

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

- Головенков Е. В., Дегтярев С. В.** Метод распознавания показаний стрелочных
индикаторов 36
- Емельянов С. Г., Труфанов М. И., Титов Д. В.** Быстродействующая система
технического зрения для поиска и определения характеристик очага воз-
горания 40

Панищев В. С., Славкова О. Б. Схема управления шаговым двигателем для автоматизированной системы нанесения этикетки на подвижный объект	43
Акульшин Г. Ю., Бобырь М. В., Ширабакина Т. А. Система фиксации деталей на основе электроореологического эффекта	47
Сырямкин В. И., Шидловский В. С., Глушков Г. С., Лунев С. О., Бурмантов С. И. Интегрированные структурно-перестраиваемые корреляционно-экстремальные навигационные системы	51
Николаев В. Н. Принципы построения инновационной геоинформационной системы научно-промышленного предприятия	55
МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СРЕДСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ	
Леньшин А. В., Перова А. В. Инструментальная среда проектирования экспертных систем	59
Сырямкин В. И., Жданов Д. С., Буреев А. Ш., Осипов А. В., Осипова А. Ю. Интеллектуальная телемедицинская система	61
Садыков С. С., Белякова А. С., Евстигнеева О. И., Жолобов С. А. Исследование корреляции окраски участков портрета сердца с параметрами электрокардиограммы	64
ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	
Муха Ю. П., Литовкин Р. В., Угаров К. К. Построение сложного фильтра для измерительного комплекса на базе процессора TMS320DSK6455	70
Иванов В. И., Титов В. С., Голубов Д. А. Преобразование параметров многоэлементных двухполюсников с уравниванием токов	73
SUMMARY (перевод Ю. И. Копилевича)	79

THEMATIC ISSUE

METHODS AND MEANS FOR IMAGE PROCESSING

*By Edition of S. G. Emelianov, Doctor of Technical Science, Professor,
V. S. Titov, Doctor of Technical Science, Professor*

CONTENTS

PREFACE.....	5
ALGORITHMIC AND METHODOLOGICAL BASIS OF IMAGE PROCESSING SYSTEMS CONSTRUCTION	
Sryamkin V. I., Borodin V. A., Osipov A. V., Vasiliev A. V., Glushkov G. S. Analysis of Images in X-Ray Microphotography.....	7
Orlov A. A. Methods for Analysis of Structures in Images of Industrial Products	10
Sadykov S. S., Savicheva S. V. Investigation of Flat Objects Superposition in Technical Vision System Field of View.....	14
Sadykov S. S., Savicheva S. V. Pre-Processing of Flat Object Image in Technical Vision System	19
Zakharov A. A. Automated Synthesis of Extended 3-D Scenes with the Use of Computer Vision System.....	24
Zhiznyakov A. L., Privezencev D. G. Distribution of Self-Similarity Throughout the Digital Image	27
Bekhtin Yu. S., Titov D. V. Compression of Noisy Images with Adaptive Wavelet-Codec	32
METHODS AND MEANS OF REALIZATION OF OPTICAL-ELECTRONIC DEVICES	
Golovenkov E. V., Degtyarev S. V. Recognition of Pointer-Type Instrument Readings.....	36
Emelianov S. G., Truphanov M. I., Titov D. V. High-Speed Vision System for Flame Detection and Recognition	40
Panishchev V. S., Slavkova O. B. Control Circuit of Stepper Motor for Automated System of Moving Objects Labeling	43
Akulshin G. Yu., Bobyr M. V., Shirabakina T. A. System of Workpiece Fixing on the Base of the Electrorheological Effect	47
Sryamkin V. I., Shidlovskiy V. S., Glushkov G. S., Lunev S. O., Burmantov S. I. Integrated Structurally Reconfigurable Extreme-Correlation Navigation Systems.....	51
Nikolaev V. N. Principles of Construction of an Innovative Geoinformation System of Research and Production Enterprise.....	55

DEVELOPMENT OF MEDICAL INSTRUMENTS AND EXPERT SYSTEM DESIGN

Lenshin A. V., Perova A. V. Tools Environment for Expert Systems Design	59
Sryamkin V. I., Zhdanov D. S., Bureev A. Sh., Osipov A. V., Osipova A. Yu. Intellectual Telemedical System	61
Sadykov S. S., Belyakova A. S., Evstigneeva O. I., Zholobov S. A. Investigation on Correlation between Color of Heart Portrait Areas and Electrocardiogram Features.....	64
DEVELOPMENT OF BASIC ELEMENTS OF TECHNICAL VISION SYSTEMS	
Mukha Yu. P., Litovkin R. V., Ugarov K. K. Construction of a Complex Filter for Measuring Complex Based on TMS320DSK6455 Processor	70
Ivanov V. I., Titov V. S., Golubov D. A. Measuring Converter of Parameters of Multiple-Unit One-Port Networks with Balancing of Currents	73
SUMMARY	79

Editor-in-Chief E. B. Yakovlev

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Тематический выпуск
посвящен памяти главного редактора журнала
„Известия вузов. Приборостроение“
Л. Ф. Порфирьева*

Выпуск „Методы и средства обработки изображений“ знакомит читателей с работами научной школы Юго-Западного государственного университета (Курский государственный технический университет), проводимыми в содружестве с учеными других вузов России, в частности, Муромского института Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Рязанского государственного радиотехнического университета, Томского государственного университета, Воронежского авиационного инженерного университета и Волгоградского государственного технического университета.

В соответствии с тематикой статей содержание выпуска разбито на четыре раздела. В первом основное внимание уделено разработке методов фрактальной обработки изображений, построения вейвлет-кодеков, предназначенных для компрессии зашумленных изображений; методов анализа снимков промышленных изделий и др.

Второй раздел посвящен методам и средствам реализации оптико-электронных устройств. Предложены метод распознавания показаний стрелочных индикаторов, система технического зрения для поиска очага возгорания, автоматизированная система нанесения этикеток на подвижный объект и оптико-электронная система управления электрогеологическим эффектом и др.

Заслуживают внимания статьи третьего раздела, посвященные медицинскому приборостроению и средствам проектирования экспертных систем. В четвертый раздел включены статьи, отражающие результаты исследований по разработке элементной базы систем технического зрения.

Результаты исследований, представленные в выпуске, получили положительную оценку на выездной сессии Международной научно-технической конференции „Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации“ („Распознавание-2011“), Алания (Турция).

Коллектив преподавателей Юго-Западного государственного университета и ученые других университетов выражают искреннюю признательность редакции журнала за возможность публикации статей и помощь в подготовке данного выпуска.

*Ректор Юго-Западного государственного
университета, доктор технических наук,
профессор С. Г. ЕМЕЛЬЯНОВ*

*Заведующий кафедрой вычислительной
техники, доктор технических наук,
профессор В. С. ТИТОВ*

PREFACE

*Thematic issue
devoted to the memory of Editor-in-Chief of the Journal
L. F. Porfiriev*

The issue “Methods and Means for Image Processing” presents the works of scientific school of Southwest State University (Kursk State Technical University) carried out in cooperation with scientists from other Russian institutes of higher education, including Murom Institute — branch of Vladimir State University, Ryazan State Radiotechnical University, Tomsk State University, Voronezh Military Aviation Engineering University, and Volgograd State Technical University.

In accordance with the papers subject areas, the content of the issue is grouped in four sections. The main concerns in the first section are development of fractal methods of image processing, construction of wavelet codecs for noisy image compression, methods of analysis of industrial products images, etc.

The second section is dedicated to methods and means of realization of optical-electronic devices. A method is proposed for recognition of pointer-type instrument readings, a technical vision system is developed for hotbed of fire detection, an automated system of moving objects labeling and a system of workpiece fixing on the base of the electrorheological effect are presented, and so on.

The papers enclosed in the third section are worthy of notice; they are concerned with development of medical instruments and expert system design. The papers in the fourth section presents results of investigations on development of basic elements of technical vision systems.

The results of research included in this issue have gained recognition at the visiting session of international scientific and technical conference Optical-electronic Instruments and Devices in Systems of Pattern Recognition, Image Processing, and Symbolic Information (Recognition-2011), Alanya, Turkey.

The academic staff of Southwest State University and scientists from other universities are grateful to the Journal editorial board for the opportunity for publication of the papers and for assistance in preparation of the issue.

*Rector of Southwest State University,
Professor S. G. EMELIANOV*

*Head of Department of Computer Science,
Professor V. S. TITOV*

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 608.3

В. И. СЫРЯМКИН, В. А. БОРОДИН, А. В. ОСИПОВ,
А. В. ВАСИЛЬЕВ, Г. С. ГЛУШКОВ

АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ РЕНТГЕНОВСКИМИ МИКРОТОМОГРАФАМИ

Рассматриваются принципы восстановления и анализа изображений органических и неорганических объектов, получаемых рентгеновскими микротомографами.

Ключевые слова: изображение, дефектоскопия, техническая диагностика, микротомограф.

Компьютерная рентгеновская микротомография — неразрушающий метод визуализации трехмерной внутренней микроструктуры объектов с использованием рентгеновского излучения. Метод аналогичен медицинской томографии, но обладает значительно более высоким пространственным разрешением. Метод рентгеновской томографии пространственной микроструктуры и морфометрии материалов, живых объектов или тканей не требует подготовки образцов и изготовления тонких срезов с последующим совмещением. Сканирование объектов исследования позволяет получить полные сведения о внутренней пространственной микроструктуре образца с микронным и субмикронным пространственным разрешением, сохраняя структуру образца или жизнь подопытного животного.

На сегодняшний день лидером в производстве настольных микротомографов различной специализации является компания SkyScan. Но этим томографам присущи следующие недостатки:

- 1) низкое быстродействие (время построения трехмерного изображения — более 2 ч);
- 2) малые размеры объекта исследования (до 50 мм);
- 3) невозможность диагностики наноматериалов.

Ниже описывается разрабатываемый рентгеновский микротомограф, в котором устранены вышеназванные недостатки; его обобщенная схема представлена на рисунке.

Трехмерное изображение образца строится на основе полученных при просвечивании рентгеновским лучом теневых проекций, которые преобразуются в цифровые изображения.

В спиральных компьютерных томографах сканирование и получение изображения происходит следующим образом. Рентгеновская трубка в режиме излучения обходит заданный участок объекта по дуге 360° , совершая продольное перемещение и останавливаясь через каждые 3° этой дуги. На одной оси с рентгеновским излучателем закреплены детекторы — кристаллы йодистого натрия, преобразующие ионизирующее излучение в световое. Последнее

попадает на фотоэлектронные умножители, превращающие эту видимую часть в электрические сигналы. Электрические сигналы усиливаются, затем преобразуются в цифровой вид, далее вводятся в ЭВМ. Рентгеновский луч, пройдя через среду поглощения, ослабляется пропорционально плотности тканей, встречающихся на пути, и несет информацию о степени его ослабления в каждом положении сканирования.



Основные проблемы, возникающие при эксплуатации рентгеновских микротомографов, — невысокая точность позиционирования объекта в рабочей зоне, расфокусировка рентгеновского луча и недостаточно малый размер фокального пятна — могут вызывать целый спектр искажений на полученных теневых проекциях.

Для изображений, полученных с помощью рентгеновского микротомографа, характерны следующие виды искажений:

- случайные шумы, которые могут появляться на изображении в результате дискретизации, квантования, передачи или возмущений внешней среды при получении изображения;
- искажения, вносимые магнитной оптической системой, рентгеновской трубкой и рентгеновским детектором (расфокусировка, низкая контрастность, яркость).

Представим искажение изображения случайными шумами как действие некоего искажающего оператора H на исходное изображение $f(x,y)$, что после добавления аддитивного шума дает искаженное изображение $g(x,y)$. Задача компенсации состоит в построении некоего приближения исходного изображения $f'(x,y)$ на основе искаженного изображения $g(x,y)$, информации относительно оператора H и аддитивного шума $\eta(x,y)$.

Если H — линейный трансляционно-инвариантный оператор, то искаженное изображение может быть представлено в пространственной области как

$$g(x,y) = h(x,y)*f(x,y) + \eta(x,y),$$

где $h(x,y)$ — искажающий оператор в пространственной области, а символ „*“ используется для обозначения свертки. Так как свертка в пространственной области эквивалентна умножению в частотной области, то равенство можно представить как:

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) + N(u,v),$$

где функции G, H, F, N есть фурье-образы g, h, f, η [см. лит.].

В случае расфокусировки изображения представляется целесообразным использовать фильтры, задаваемые дискретными аппроксимациями дифференциальных операторов (по методу конечных разностей) для поиска и выделения границ на изображении (фильтры Прюита, Собеля, дискретный лапласиан) с дальнейшей обработкой изображения посредством морфологических операторов.

Остальные искажения, вносимые оптической системой, могут быть компенсированы путем приложения к компонентам искаженного изображения (или его части) $g(x,y)$ некоего линейного оператора A . В результате этого преобразования может быть получено приближение исходного изображения $f'(x,y)$, достаточно близкое к оригинальному неискаженному изображению $f(x,y)$. Следует сказать, что искажения яркости и контрастности не приводят к потере информации.

Возможно для детектирования искажений адаптировать фрактальные и корреляционные алгоритмы и вейвлет-анализ. Применение фрактальной геометрии дает эффективный инструмент в изучении сильно искаженных изображений. Любое искажение находит однозначное отражение в изменениях яркости отдельных точек изображения. Поэтому изучение взаимодействия элементов искаженного изображения позволяет получить информацию об искажениях, которым было подвергнуто изображение в целом.

Корреляционный метод позволяет на основании сопоставления серий изображений, снятых при различной степени шума, определить их информационные признаки, а также служит для получения качественных картин распределения искажений на изображении, дальнейший анализ которых позволит исследовать процессы искажения при различных условиях получения изображений.

Можно выделить три основных алгоритма сравнения изображений: модифицированный корреляционный, разностный и разностный быстрый. Выбор определяется требованиями, предъявляемыми к системе. Например, применение первого алгоритма обеспечивает высокие точностные характеристики (при невысоком быстродействии) за счет улучшения параметров корреляционной функции. Использование двух других алгоритмов повышает быстродействие за счет значительного сокращения вычислительных операций.

Места искажения изображения в поле векторов можно обнаружить по „вихрям“ (группы векторов разной длины и направленности).

Вейвлет-преобразование высокоинформативно, но характеризуется большим объемом вычислений, а также, как правило, избыточностью представления результатов (по сравнению с фурье-преобразованием). Это объясняется, прежде всего, тем, что вейвлет-преобразование позволяет вычислить относительный вклад частот в каждый момент времени (путем нахождения свертки с разномасштабными версиями вейвлета). Следовательно, наблюдается эволюция спектра, аналогичного Фурье, но не за выбранный период времени, как в случае фурье-преобразования, а по всему временному интервалу. Таким образом, для информативного разложения исходного сигнала достаточно знать его вейвлет-преобразование на некоторой довольно редкой решетке в частотно-временной плоскости.

Метод градиентного анализа плотности позволяет локализовать различные слои материалов, поверхностные и внутренние дефекты (трещины и микротрещины, примеси и пустоты, пластичные деформации), внутренние напряжения материала исследуемого образца по восстановленной 3D-реконструкции, а также определить их метрические характеристики. Полученная с помощью данного метода информация об исследуемом объекте позволяет сделать выводы о механических характеристиках его участков.

Работа выполнена по федеральной целевой программе РФ, государственный контракт № 16.523.11.3009.

ЛИТЕРАТУРА

Бубенчиков М. А., Газиева Е. Э., Гафуров А. О., Глушков Г. С., Жданов Д. С., Саныков Д. В., Сырямкин В. И., Шидловский С. В., Юрченко А. В. Современные методы исследования материалов и нанотехнологий. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010.

Сведения об авторах

- Владимир Иванович Сырямкин** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет, Межвузовский учебно-научно-производственный центр „Технологический менеджмент“ ТГУ; директор центра
- Владимир Алексеевич Бородин** — аспирант; Томский государственный университет, кафедра исследования операций; E-mail: vborodin@yandex.ru
- Артем Владимирович Осипов** — аспирант; Томский государственный университет, кафедра исследования операций; E-mail: avoriso@mail.ru
- Александр Владимирович Васильев** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; руководитель группы
- Глеб Сергеевич Глушков** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; инженер-программист; E-mail: gvl@sibmail.com

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

УДК 004.936

А. А. ОРЛОВ

МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ СТРУКТУР НА СНИМКАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Показана актуальность повышения оперативности и достоверности результатов обработки снимков промышленных изделий. Разрабатывается система методов анализа таких снимков, основанного на интегральных преобразованиях по сегментам линейчатых структур.

Ключевые слова: автоматический анализ снимков изделий, определение дефектов, обработка изображений.

Введение. В настоящее время повышение качества продукции машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий за счет внедрения новых технологий (в частности, технологий дефектоскопии) является очень актуальным. Необходимо повысить оперативность и достоверность процедур определения дефектов промышленных изделий по снимкам их микро- и наноструктур, но отсутствуют современные методы и алгоритмы их выявления.

На сегодняшний день в промышленности ручной контроль качества все еще преобладает над автоматизированным. Главная причина — отсутствие более совершенных методов автоматической обработки снимков (изображений), получаемых в большинстве способов контроля качества. В настоящее время для визуального контроля качества стали применяться автоматизированные системы анализа изображений (АСАИ).

Большой вклад в разработку систем и методов компьютерного анализа снимков промышленных изделий внесли Д. Мери, Р. Силва, Н. Насреддин, К. Демандт, Р. Гонсалес, И. Като, Г. Падуа, Х. Шафик, В. В. Ключев, М. В. Филинов, В. А. Лопухин и др. При обработке большинства изображений, как правило, требуется выделять и анализировать их линейчатые структуры, которыми насыщены микро- и наноснимки промышленных изделий, в частности, это дефекты-трещины, риски, царапины, швы, контуры, волокна, линейчатые вкрапления и др. Для оценки линейчатых образов на снимках измеряются геометрические характеристики.

Линейчатые структуры могут быть локально прямолинейными и представленными в виде полос с известным профилем и варьируемой шириной. При этом они часто довольно сильно зашумлены, размыты, малоконтрастны, насыщены пересекающимися образами подобных или других типов. Анализ таких структур на многих изображениях довольно сложен. Сложность выделения и анализа структур на дефектоскопических снимках обусловлена неравномерной освещенностью, неоднородной оптической плотностью анализируемого материала, присутствием шумов и размытий, появившихся при формировании снимка, а также образов, не значимых для исследования объектов и их теней.

АСАИ состоят из цифрового микроскопа и компьютерной системы, реализующей методы обработки и анализа изображений. Однако в них применяются довольно простые методы, которые не позволяют выполнить более детальный разбор линейчатых по форме дефектов и с заданной точностью определить геометрические характеристики дефектов. В связи с этим уровень автоматической обработки и анализа дефектоскопических изображений очень низок. Во многих случаях прибегают к полуавтоматической обработке, что снижает оперативность контроля качества. Вклад в разработку методов выделения и анализа изображений линейчатых структур внесли Д. Канни, А. Рад, М. Хюккель, П. Хаф, Ф. Кларк, Д. Пао, К. Канатани, С. Наяр, С. Кониши, С. В. Абламейко, В. А. Сойфер, В. В. Сергеев, Н. Г. Федотов, Я. А. Фурман и многие другие. Однако существующие методы не позволяют выделять линейчатую структуру, характеризующуюся вариациями кривизны, яркости, ширины, пересечениями и разветвлениями, с сохранением признаков, необходимых для анализа дефектоскопических и металлографических снимков. Поэтому на практике для выделения линейчатой структуры часто применяются следующие методы сегментации: пороговая, основанная на областях или морфологическом анализе. Однако данные методы ориентированы на выделение площадных образов и применимы лишь для обработки простых изображений линейчатых структур. Создание новых методов, основанных на анализе линейчатых структур, в рамках настоящего проекта позволит повысить оперативность и достоверность определения дефектов промышленных изделий по их снимкам. Целью настоящей статьи является разработка системы таких методов.

Выделение линейчатых структур с варьирующейся кривизной. Введем следующее интегральное преобразование:

$$h(x_0, y_0, \theta, \sigma) = \frac{1}{\|s_L\|^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) s_L(x - x_0, y - y_0, \theta, \sigma) dx dy,$$

где $f(x, y)$ — исходное изображение; $h(x_0, y_0, \theta, \sigma)$ — спектральная функция; $s_L(x, y, \theta, \sigma)$ — детектор сегмента линейчатой структуры; σ — масштабный коэффициент; θ — угол поворота.

Для анализа образов с варьирующейся кривизной разработан метод выделения и вычисления признаков без вращения сегмента линейчатой структуры, для которого детектор сегмента будем аппроксимировать второй производной гауссоида по переменной x :

$$s_L(x, y) = (1 - x^2) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2}}.$$

Детектор линейчатой структуры в нашем случае будет задаваться функцией трех переменных:

$$s_L(x, y, \theta) = s_L \left[\mathbf{T} \begin{pmatrix} x \\ y \\ \sigma \\ \sigma \end{pmatrix} \right] = \left(1 - \frac{(x \cos \theta - y \sin \theta)^2}{\sigma^2} \right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}},$$

где $\mathbf{T} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$ — оператор (матрица) поворота на угол θ .

Функция $s_L(x, y, \theta)$ может быть разложена на три составляющие:

$$s_L(x, y, \theta) = s_1(x, y) \cos 2\theta + s_2(x, y) \sin 2\theta + s_3(x, y),$$

где $s_1(x, y)$, $s_2(x, y)$ — нормированные гауссоидом гиперболические параболоиды:

$$s_1(x, y) = -\frac{x^2 - y^2}{2\sigma^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}, \quad s_2(x, y) = \frac{xy}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}},$$

а $s_3(x, y)$ — лапласиан гауссоида:

$$s_3(x, y) = \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}.$$

Спектральная функция $h(x_0, y_0, \theta)$ принимает максимальное значение в точке

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \angle (S_1, S_2),$$

так что

$$h(\theta_0) = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} + S_3,$$

где S_1 , S_2 , S_3 — свертки исходного изображения $f(x, y)$ с функциями $s_1(x, y)$, $s_2(x, y)$ и $s_3(x, y)$ соответственно:

$$S_i = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) s_i(x - x_0, y - y_0) dx dy, \quad i = 1, 2, 3.$$

Преобразование исходного изображения $f(x, y)$ в изображение $g(x, y)$, так что

$$g(x, y) = \max_{\theta} h(x, y, \theta) = \sqrt{(f \otimes s_1)^2 + (f \otimes s_2)^2} + f \otimes s_3,$$

назовем выделением линейчатых структур без вращения их сегментов.

Метод выделения и вычисления признаков структур без вращения их сегментов предполагает вычисление $g(x, y)$ и $\theta(x, y)$ по данным формулам.

Выделение линейчатых структур с изменяющейся шириной. Для анализа образов с изменяющейся шириной разработан метод выделения линейчатых структур различного масштаба.

Назовем интегральным преобразованием по сегменту линейчатой структуры различного масштаба преобразованием \mathbf{H}_θ , выполняющее фильтрацию функции $f(x, y)$ по масштабу в пределах $[\sigma_1, \sigma_2]$ вдоль каждого направления θ . При этом формируется спектральная функция $G(\omega, \nu, \theta)$, такая что

$$G(\omega, \nu, \theta) = \frac{F(\omega, \nu)}{C_s} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} \left| S_L \left(\mathbf{T}_\theta(\sigma\omega, \nu) \right) \right|^2 \frac{d\sigma}{\sigma},$$

C_s — нормирующий параметр, $S_L(\omega, \nu)$, $G(\omega, \nu, \theta)$, $F(\omega, \nu)$ — фурье-спектры функций $s_L(x, y)$, $g(x, y, \theta)$ и $f(x, y)$ соответственно.

Преобразование исходного изображения $f(x, y)$ в изображение $g(x, y)$, так что

$$g(x, y) = \max_{\theta} \mathbf{H}_\theta[f(x, y)],$$

назовем выделением линейчатых структур различного масштаба.

Метод выделения линейчатых структур различного масштаба предполагает вычисление $G(\omega, \nu, \theta)$ и $g(x, y)$ по данным формулам, при этом

$$\sigma_1 \leq \sigma \leq \sigma_2.$$

Преобразование заключается в поиске угла наклона детектора, который соответствует максимуму в спектре $g(x, y, \theta)$.

Если $s_L(x, y) = (1 - x^2) \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{2}}$, то

$$G(\omega, \nu, \theta) = \frac{1}{C_s} F(\omega, \nu) \psi_L \left[\mathbf{T}(\sigma\omega, l\nu) \right] \Big|_{\sigma_1}^{\sigma_2},$$

где $\psi_L(\omega, \nu) = (1 - \omega^2) e^{-\omega^2 - \nu^2}$.

Воспроизведение линейчатых структур. Для выделения образов на снимках без искажения их ширины разработан метод воспроизведения линейчатых структур, основанный на многомасштабной фильтрации профилей линейчатых структур. Для осуществления многомасштабной фильтрации профилей линейчатых структур использованы два преобразования: воспроизводящее интегральное преобразование по сегменту линейчатой структуры и преобразование для воспроизведения линейчатой структуры, подробно описанные в работе [1].

Метод воспроизведения линейчатых структур по максимуму в откликах воспроизводящего интегрального преобразования по сегменту структуры позволяет наилучшим образом повторить часть образа на снимке.

Вычисление кривизны линейчатых структур. Для анализа линейчатых структур различной формы разработан метод вычисления их кривизны образующих.

Значения координат образующей (x, y) , угол наклона нормали к ней θ и масштаб σ возможно найти, определив максимумы спектральной функции, т.е. в результате решения задачи оптимизации:

$$\begin{aligned} h(x, y, \theta, \sigma) &\rightarrow \max, \\ 0 &\leq \theta < 2\pi, \\ \sigma_1 &\leq \sigma \leq \sigma_2. \end{aligned}$$

В статье [2] показано, что кривизна линии яркостного перепада в точке (x, y) на плоскости xOy определяется как абсолютное значение дивергенции векторного поля градиента яркости в этой точке:

$$k(x, y) = |\operatorname{div}(\cos\theta, \sin\theta)|$$

для дискретного пространства

$$k(i, j) \approx \frac{1}{2} \left(|X_{i+1, j} - X_{ij} + Y_{i, j+1} - Y_{ij}| + |X_{i-1, j} - X_{ij} + Y_{i, j-1} - Y_{ij}| \right),$$

где X, Y — матрицы значений составляющих нормали к линейчатой структуре по оси x и y соответственно.

Заключение. Рассмотренные методы реализованы и апробированы на реальных изображениях промышленных объектов. Результаты экспериментальных исследований подтверждают правильность теоретических выводов [1—4]. Таким образом, разработана система методов, позволяющих анализировать различного рода структуры, которые характеризуются вариацией кривизны, яркости, ширины, пересечениями, разветвлениями, наблюдающиеся на снимках промышленных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыков С. С., Орлов А. А., Ермаков А. А. Теория, алгоритмы и методика обработки линейчатых образов на дефектоскопических снимках // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 2. С. 11—16.
2. Орлов А. А. Реализация системы обработки изображений линейчатых объектов // Программные продукты и системы. 2007. № 4. С. 61—62.
3. Орлов А. А. Компьютерный рентгенографический анализ качества сварных соединений и выделение линейчатых объектов в них // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 6. С. 5—7.

4. Орлов А. А., Ермаков А. А. Фильтрация полосовых образов прямоугольного профиля // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2008. № 3(60). С. 52—56.

Сведения об авторе

Алексей Александрович Орлов

— д-р техн. наук, доцент; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра физики и прикладной математики; E-mail: AlexeyAlexOrlov@rambler.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

УДК 004.932.2:681.327

С. С. САДЫКОВ, С. В. САВИЧЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЛОЖЕННОСТИ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПОЛЕ ЗРЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Рассмотрена задача определения наложенности друг на друга реальных плоских объектов в поле зрения системы технического зрения при изменении их формы и размеров.

Ключевые слова: плоский объект, наложенность, система технического зрения, имитационное моделирование.

В настоящее время системы технического зрения (СТЗ) достаточно широко и успешно применяются во многих отраслях промышленности при таких операциях, как контроль и отбраковка различных деталей и изделий по внешнему виду, загрузка обрабатывающих станков деталями с конвейеров или из бункеров, сортировка и ориентированная укладка в кассеты деталей и заготовок, в том числе неупорядоченно движущихся по конвейеру или поступающих в таре навалом, сборка и комплектация узлов и др. [1].

Основной задачей СТЗ является распознавание в поле зрения:

- 1) единственного объекта;
- 2) нескольких (однотипных и разнотипных) изолированных друг от друга объектов;
- 3) двух и больше (однотипных и разнотипных) соприкасающихся и наложенных друг на друга объектов.

На практике при использовании СТЗ возможно возникновение необходимости распознавания перечисленных объектов (как отдельно, так и в совокупности).

Распознавание с высокой достоверностью однотипных и разнотипных изолированных друг от друга объектов возможно с помощью несложных алгоритмов [2, 3]. Сложности возникают при распознавании соприкасающихся и наложенных объектов. При этом необходимо знать закон соприкосновения и наложения объектов, поскольку если, например, один плоский объект закрывает большую часть другого, чаще всего не удается идентифицировать закрытый объект.

Настоящая статья посвящена статистическому выявлению наложенности двух одно- и разнотипных объектов в поле зрения СТЗ с помощью имитационного моделирования бросания деталей на ленту конвейера.

Методика проведения исследований

1. *Формирование набора исходных объектов.* Для проведения исследований была составлена выборка из более 100 плоских объектов различных типов, включающая в себя как реальные, так и тестовые (сгенерированные) детали.

Для определения закона наложения все множество объектов было разделено на группы:

- площадные объекты (рис. 1, а);
- линейчатые объекты полосовые (рис. 1, б);
- замкнутые полосовые объекты (рис. 1, в).

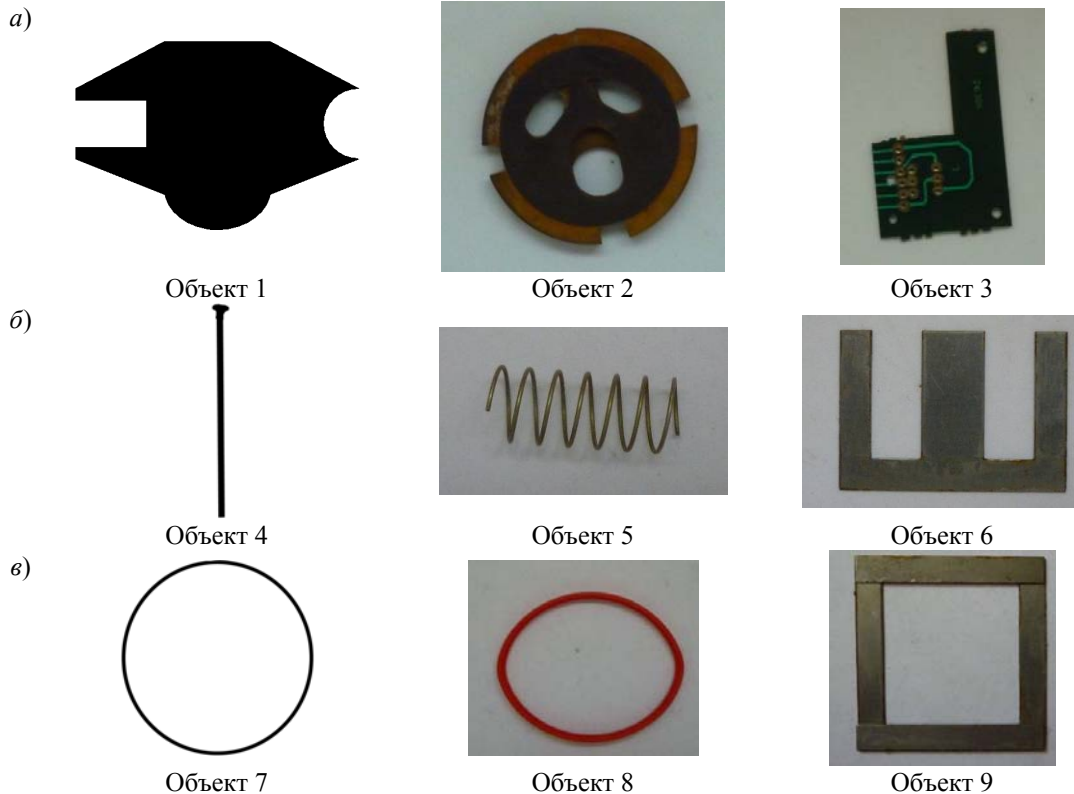


Рис. 1

2. *Определение размера поля зрения СТЗ и относительных размеров налагаемых объектов.* Для удобства размер поля зрения был выбран 800×800 точек. При этом размер рабочей области (поля зрения СТЗ) составляет 799×799 точек. Такое ограничение было введено для того, чтобы избежать ситуаций, когда объект касается краев поля зрения. В подобных случаях объект считается не вошедшим полностью в кадр и СТЗ его не анализирует.

Размеры исходных объектов составляли 10—100 % относительно поля зрения. Для площадных объектов изменяемым параметром была выбрана площадь, для линейчатых полосовых и замкнутых — длина.

3. *Формирование случайных пространственных координат x и y и угла наклона объекта.* Исходной информацией для генерации изображений плоских наложенных объектов являются координаты точек x и y исходного объекта и его угол наклона. Значения параметров задаются с помощью датчиков случайных чисел [4]. При этом значения угла наклона изменяются в пределах от 0 до 360° (шаг 1°), а координат x и y исходного объекта — в пределах от 0 до 799 .

4. *Определение общего числа испытаний и критерий выяснения наложенности.* Репрезентативное количество испытаний было выбрано равным 2000.

Наложённость двух любых типов объектов в поле зрения СТЗ определяется маркировкой [5]:

- в поле зрения одна связная компонента — объекты наложены;
- в поле зрения две связные компоненты — объекты не наложены.

Частота наложения k объектов определяется как

$$k = n/N, \quad (1)$$

где n — число случаев наложения объектов; N — число испытаний (генеральная выборка).

Структура системы исследований. На рис. 2 представлена схема разработанной системы генерации.

Назначение и особенности работы блоков системы:

- исходный объект — содержит исходное изображение объекта для исследования;
- блок настройки системы — включает в себя такие параметры, как количество генерируемых изображений, размер поля зрения, размер объекта, число объектов в поле зрения и их виды;
- генератор координат x и y — формирует случайные числа в пределах от $[P-1, M-1]$, где $P \times M$ — размер поля зрения СТЗ;
- генератор угла наклона — случайным образом выбирает значение угла поворота исходного объекта в интервале от $0-360^\circ$ с шагом 1° ;
- блок генерации — формирует изображения в соответствии с параметрами, поступившими с блоков настройки системы, генератора координат x и y и генератора угла наклона;
- блок расчета — предназначен для определения частоты наложенности объектов;
- база данных — хранит изображения всех объектов, а также таблицы и графики результатов проводимых исследований;
- блок вывода данных — формирует таблицы по данным, полученным из блока расчета, и представляет эти результаты (для удобства анализа) в виде графиков.

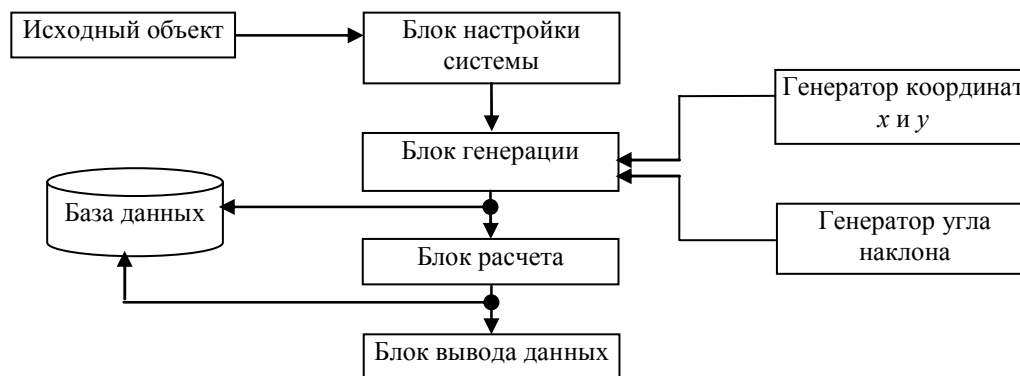


Рис. 2

Результаты исследований и их анализ. На рис. 3 приведена часть графиков изменения частоты наложенности для попарных объектов, представленных на рис. 1.

Для площадных объектов исследования показали, что при площади объекта, равной половине площади поля зрения СТЗ, во всех испытаниях имеется наложение (рис. 3, эксперимент 1, A — площадь объекта в процентах от площади поля зрения). Аналогичные результаты были получены и для разнотипных площадных объектов (рис. 3, 2).

Для линейчатых полосовых объектов в результате проведенных исследований было установлено, что для случаев $A = 10-40\%$ $n = 5-100$, а для $A = 100\%$ $n = 900$ (рис. 3, 3). Схожие результаты дают эксперименты на разнотипных линейчатых полосовых объектах (рис. 3, 4).

На рис. 3, эксперименты 5 и 6, видно, что у замкнутых полосовых объектов при $A = 10-25\%$ число наложений меньше 600. При $A = 30-55\%$ количество наложений находится в пределах 800—2000, а начиная с 60% — во всех 2000 испытаниях объекты налагаются.

Эксперименты по наложению площадного и линейчатого полосового объектов показали, что при $A = 10-50\%$ от размеров поля зрения СТЗ $n < 600$, а при 55—85% значение n резко возрастает — с 1000 до 2000. В случаях, когда размер объекта более 90% от размеров рабочей области, во всех испытаниях имеются наложения (рис. 3, 7).

Для площадного и замкнутого полосового объектов результаты аналогичны результатам исследования для двух однотипных и разнотипных площадных объектов (рис. 3, 8).

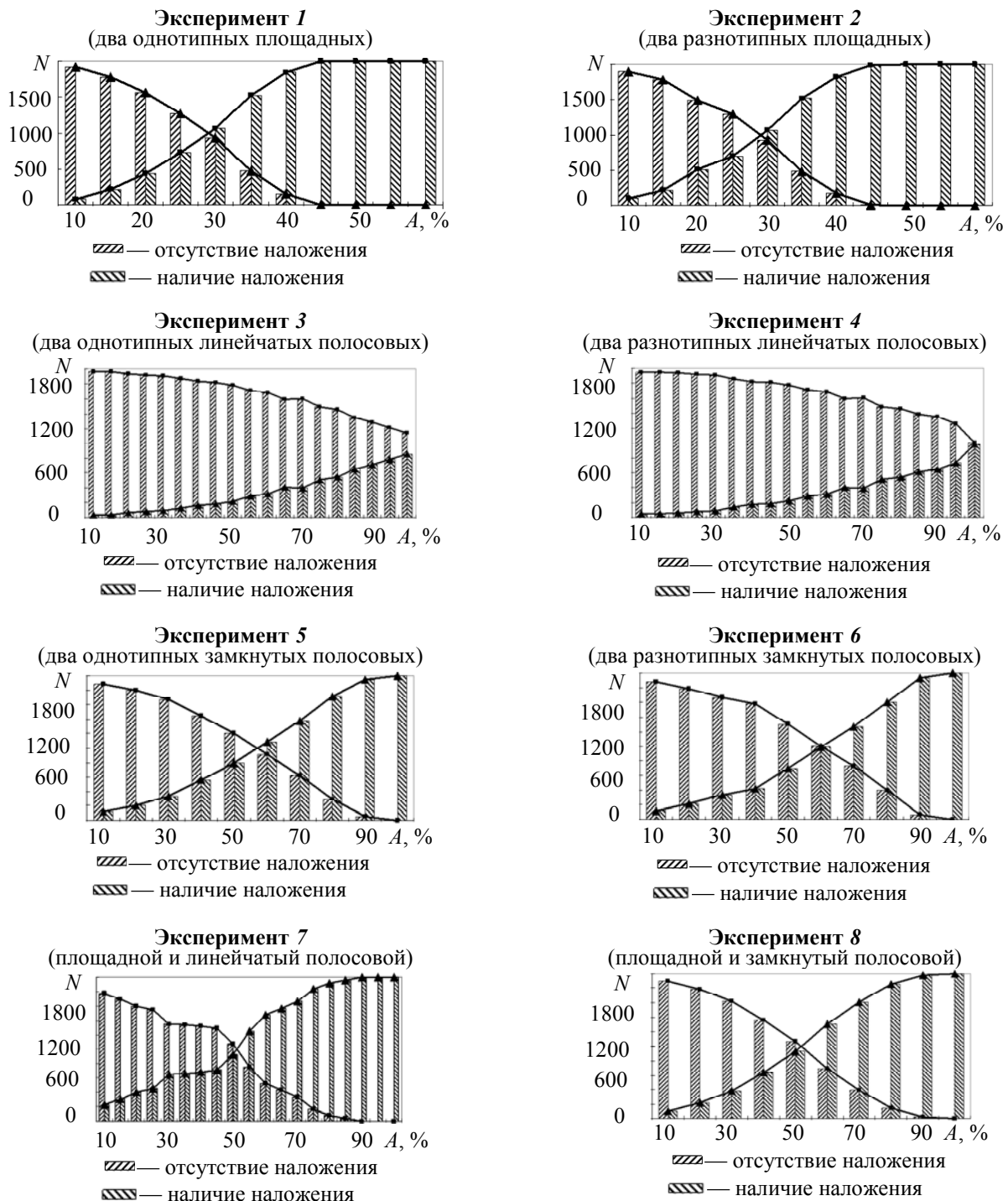


Рис. 3

При распознавании наложенных плоских площадных объектов помимо частоты наложения важно установить, какая часть одного объекта перекрыта другим объектом. Процент перекрытия одного площадного объекта другим определяется как

$$K_{пл} = \left(1 - \frac{S_{\text{сост}}}{S_{\text{общ}}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $S_{\text{сост}}$ — площадь двух наложенных объектов (одна связная компонента); $S_{\text{общ}} = S_1 + S_2$ — общая (суммарная) площадь двух отдельных наложенных объектов S_1 и S_2 .

На рис. 4 приведены графики наложенности плоских площадных объектов (*a* — при $A=20$, *b* — 50 %).

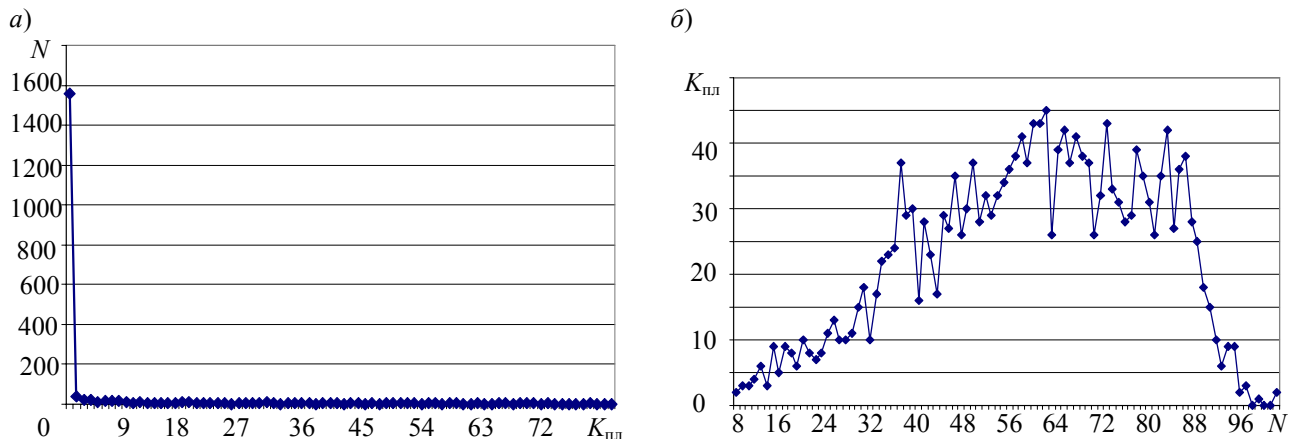


Рис. 4

Из графиков видно, что при размере объектов 20 % от размера поля зрения СТЗ основная часть объектов — неналоженные (более 1500 испытаний), а для $A=50$ % — в основном во всех испытаниях имеется наложение, а число неналоженных объектов менее 5.

Экспериментально были получены данные о наложенности двух однотипных и разнотипных площадных объектов с различным значением A . Исходя из анализа проведенных исследований можно сделать вывод, что наиболее приемлемым является размер объектов, лежащий в пределах от 10 до 35 % от размеров поля зрения СТЗ. В этом интервале наблюдается наименьшее количество наложенных объектов, что позволяет наиболее точно и быстро их идентифицировать. Для использования объектов больших размеров необходимо увеличивать размер рабочей области с целью сокращения числа наложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
2. Савичева С. В. Экспериментальное исследование алгоритма идентификации плоских объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. Сб. науч. тр. Муром: Изд.-полиграф. центр МИ ВлГУ, 2010. Вып. 15. С. 153—160.
3. Садыков С. С., Савичева С. В. Алгоритм идентификации реальных плоских объектов с использованием значений их r -функций // Надежность и качество. Тр. междунар. симпозиума / Под ред. Н. К. Юркова. Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2011. Т. 1. 400 с.
4. [Электронный ресурс]: <<http://www.exponenta.ru/soft/matlab/potemkin/book2/chapter5/rand.asp>>.
5. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерные обработки и распознавание изображений: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.

Сведения об авторах

- Султан Сидыкович Садыков** — д-р техн. наук, профессор; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Светлана Владимировна Савичева** — аспирантка; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

С. С. САДЫКОВ, С. В. САВИЧЕВА

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Предложена и реализована методика предварительной обработки изображений реальных плоских объектов, использование которой позволяет осуществлять идентификацию промышленных деталей в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: предварительная обработка, плоский объект, сглаживание шума, выделение контура, длина объекта, маркировка, бинаризация, поворот объекта.

На современном этапе развития компьютерных технологий все более широкое распространение получают системы технического зрения (СТЗ). Их основное назначение — помочь человеку в областях деятельности, связанных со сбором и анализом зрительной информации, или даже заменить его. Уровень использования СТЗ в прикладных областях является одним из наиболее ярких и наглядных показателей развития высоких технологий в самых различных сферах человеческой деятельности. Традиционно развитие СТЗ ориентировано на промышленное производство, связанное с робототехникой [1].

На изображениях практически каждого реального объекта присутствуют шумовые составляющие. Они могут возникать из-за несовершенства видеодатчиков, наличия пыли или грязи на обрабатываемой поверхности, износа источников освещения и пр. Все эти помехи затрудняют распознавание объектов с помощью СТЗ, и если их не сократить (в идеале — удалить), помехи могут привести к значительным ошибкам.

Снизить уровень ошибок при распознавании позволяет использование быстрых алгоритмов предварительной обработки изображений плоских объектов сразу после их получения с видеодатчика. Рассмотрим этапы предлагаемой методики предварительной обработки изображений плоских объектов.

Этап 1. Снижение уровня шума на изображениях объектов до требуемого. К настоящему времени разработано много методов и алгоритмов сглаживания шума. Среди них можно выделить методы адаптивного сглаживания [2, 3], анизотропной диффузии [4, 5] и медианной фильтрации [2—7]. Последний обладает высоким быстродействием и позволяет снизить уровень помех на изображениях, при его работе не происходит усреднения по яркости, контуры объектов на изображении не размываются.

Обозначим последовательность обрабатываемых точек в виде одномерного массива $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. Обычно используется квадратная апертура размером $(2k + 1) \times (2k + 1)$, $k = 1, 2, \dots$, и в каждой точке раstra (i, j) яркость пересчитывается по следующему правилу: апертура помещается в левый верхний угол так, чтобы ее центр совпал с точкой (i, j) . Яркости $(2k + 1)^2$ элементов изображения, попавших в окно, нумеруются по возрастанию: $b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_i$. При этом медианой набора $b_1 \dots b_i$ является его средний элемент.

Описанную процедуру можно представить следующим образом:

$$x^* = \text{med}(y_1, y_2, \dots, y_n). \quad (1)$$

Этап 2. Бинаризация изображений. Бинаризация является одним из основных методов обработки изображений в робототехнике, позволяющих выделять объекты в поле зрения СТЗ. Наиболее известны следующие алгоритмы бинаризации:

- адаптивная бинаризация [2, 3];
- метод Отсу [9];

- методы кластеризации (к-средних, EM-алгоритм) [10, 11];
- обработка с постоянным порогом [2, 3].

Исследования показали, что лучшие результаты как по скорости, так и по качеству уменьшения шума дает метод Отсу. Данный алгоритм состоит из двух основных шагов.

Шаг 1. Автоматическое определение порога бинаризации по нормированной гистограмме яркостей изображения по формуле:

$$p_i = n_i / N, \quad (2)$$

где N — общее число пикселей на изображении; n_i — число пикселей с уровнем яркости i .

Шаг 2. Процедура простого порогового разбиения изображения.

Диапазон яркостей делится на два класса с помощью порогового значения уровня яркости t (целое значение от нуля до L). При этом каждому классу соответствуют:

$$\omega_0(t) = \sum_{i=1}^t p_i, \quad (3)$$

$$\omega_1(t) = 1 - \omega_0(t),$$

$$\mu_0(t) = \sum_{i=1}^t i p_i / \omega_0(t),$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^L i p_i / \omega_1(t),$$

где $\omega_0(i)$ и $\omega_1(i)$ — относительная частота двух классов 0 и 1, разделенных порогом i ; $\mu_0(0)$ и $\mu_1(0)$ — средний уровень для каждого из двух классов 0 и 1 изображения, разделенных порогом i .

Этап 3. Маркировка. Наиболее известны алгоритмы маркировки связных областей путем последовательного сканирования и рекурсивной маркировки [6, 12—15].

Сравнение показало, что лучшим по быстродействию является алгоритм последовательного сканирования. Он заключается в следующем:

- изображение последовательно сканируется слева-направо и сверху-вниз;
- для каждой точки изображения анализируется ее окрестность 3×3 (рис. 1);
- проверяются условия:

$$\left. \begin{aligned} x(i-1, j+1) \wedge x(i, j+1) \wedge x(i+1, j+1) \wedge x(i-1, j) &= 0, \\ x(i, j) &= N, \text{ если } x(i, j) = 1, \\ x(i+1, j) &= N, \text{ если } x(i, j) \wedge x(i+1, j) = 1, \\ x(i-1, j-1) &= N, \text{ если } x(i, j) \wedge x(i-1, j-1) = 1, \\ x(i, j+1) &= N, \text{ если } x(i, j) \wedge x(i, j+1) = 1, \\ x(i+1, j-1) &= N, \text{ если } x(i, j) \wedge x(i+1, j-1) = 1, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где N — номер связной компоненты (объекта).

$x(i-1, j+1)$	$x(i, j+1)$	$x(i+1, j+1)$
$x(i-1, j)$	$x(i, j)$	$x(i+1, j)$
$x(i-1, j-1)$	$x(i, j-1)$	$x(i+1, j-1)$

Рис. 1

В результате работы описанного алгоритма получаем изображение, в котором каждому объекту присвоен отдельный номер.

Этап 4. Деление нецелых объектов, т.е. не полностью вошедших в кадр поля зрения.

К настоящему моменту разработаны рекурсивный алгоритм удаления объектов, расположенных по краю поля зрения, и алгоритм удаления объектов по площади [6, 13]. Проведенные исследования показали, что наиболее быстродействующим является первый алгоритм.

Этап 5. Выделение контура. Существует множество алгоритмов выделения контуров бинарных изображений: алгоритм жука [15, 16], алгоритм направленного перебора [5, 16], сканирующий алгоритм [16], рекурсивный метод [4, 16], метод связности [17].

Исследования показали, что наиболее быстродействующим является алгоритм направленного перебора. Контурное изображение формируется следующим образом: для каждой точки изображения анализируется ее окрестность 3×3 (рис. 1).

Точка $x(i, j)$ считается контурной, если выполняются следующие условия:

$$\left. \begin{aligned} x(i, j) = 1 \text{ и } x(i+1, j) \wedge x(i, j+1) = 0, \\ x(i, j+1) = 1 \text{ и } x(i, j) = 0, \\ x(i+1, j) = 1 \text{ и } x(i, j) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В результате получаем одноточечный безразрывный контур, состоящий из четырех связанных точек.

Этап 6. Вычисление центра тяжести объекта, заданного координатами (x_c, y_c) , определяемыми как среднее значение координат (x, y) , принадлежащих объекту, в соответствии с уравнениями:

$$x_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i, \quad y_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i, \quad (6)$$

где x_i, y_i — текущие координаты точек контура по оси X и Y соответственно; m — число точек контура объекта.

Этап 7. Определение длины объектов. Существует несколько алгоритмов вычисления длины объекта: путем определения длины максимальной хорды; путем вычисления максимального расстояния между двумя параллельными касательными и путем построения выпуклой оболочки объекта и определения максимальной стороны [3, 13, 14, 18]. Наиболее быстродействующим является первый алгоритм, он состоит в следующем. Для каждой точки контура вычисляется расстояние между ней и соседними точками по формулам:

$$a_i = \rho_i[C(x_i, y_i), D(x_j, y_j)], \quad a_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}. \quad (7)$$

Длина объекта есть максимальное значение:

$$A = \max_i \{a_i\}, \quad (8)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ — число точек контура.

Этап 8. Поворот объектов. Среди алгоритмов поворота можно выделить основанный на расчете тангенса угла наклона линии длины объекта к оси X [19]. Однако наиболее быстрым является алгоритм, в котором для поворота объекта на угол α координаты каждой точки объекта пересчитываются в соответствии с формулами:

$$\begin{aligned} x_n &= (x - x_c) \cos \alpha - (y - y_c) \sin \alpha + x_c; \\ y_n &= (y - y_c) \cos \alpha - (x - x_c) \sin \alpha + y_c, \end{aligned} \quad (9)$$

где x_n, y_n — новые координаты точки, x, y — исходные координаты точки.

Предложенная методика, включающая рассмотренные алгоритмы, исследовалась на 100 изображениях реальных плоских объектов. Некоторые объекты и результаты их предварительной обработки приведены на рис. 2.


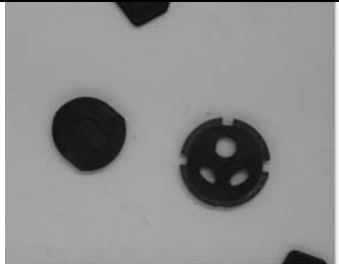

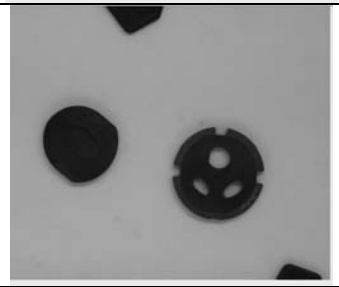
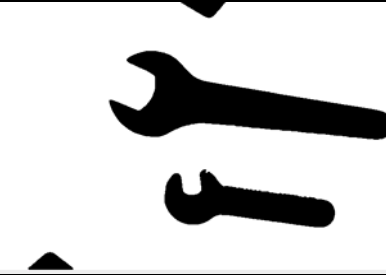
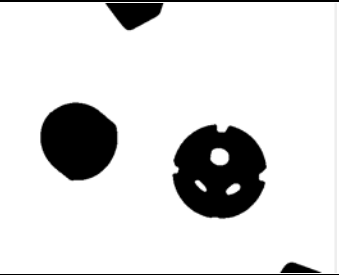
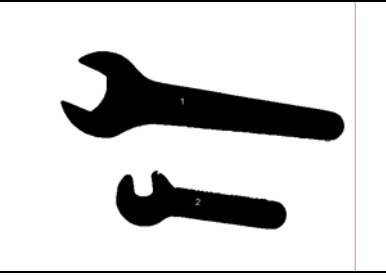
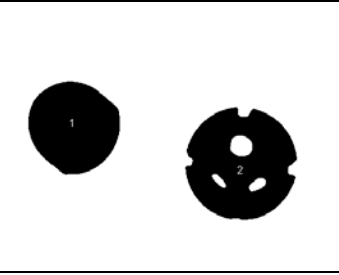
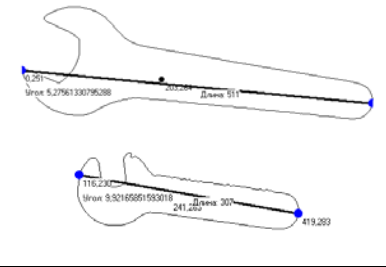
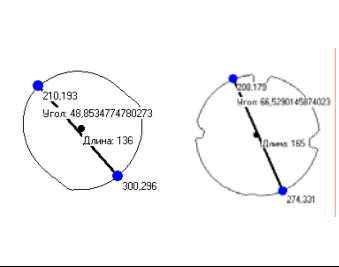
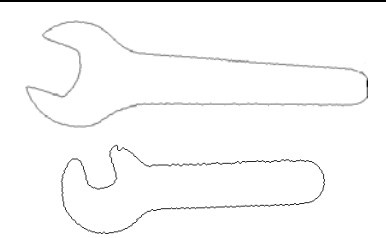
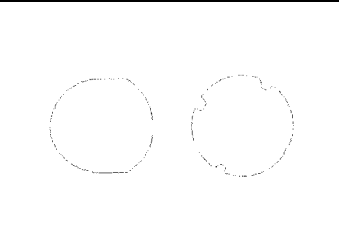
Исходное изображение		
Снижение шума		
Бинаризация		
Маркировка и удаление нецелых объектов		
Выделение контуров, определение центра тяжести, поиск длины		
Поворот объектов		

Рис. 2

Предложенная методика исследована на изображениях реальных плоских объектов и ее достоинством является простота реализации, быстрдействие, которое дает возможность

идентифицировать объекты в СТЗ, работающих в режиме реального времени. Общее время работы рассмотренных алгоритмов при 5—6 объектах на изображении составляет 120 мс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
2. *Писаревский А. Н.* и др. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение). Л.: Машиностроение, 1988. 424 с.
3. *Мошкин В. И., Петров А. А., Титов В. С., Якушенков Ю. Г.* Техническое зрение роботов. М.: Машиностроение, 1990. 272 с.
4. *Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К.* Распознавание и цифровая обработка изображений: Учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1983. 295 с.
5. *Фурман Я. А.* Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1992. 248 с.
6. *Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю.* Компьютерные обработки и распознавание изображений: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
7. *Сойфер В. А.* Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2003. 784 с.
8. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. Кн. 2. 480 с.
9. *Otsu N.* A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern. 1979. Vol. SMC-9. P. 62—66.
10. *Shi J. and Malik J.* Normalized Cuts and Image Segmentation // Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. P. 731—737.
11. *Kanungo T., Mount D. M., Netanyahu N., Piatko C., Silverman R. and Wu A Y.* An efficient k-means clustering: Analysis and implementation // Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2002. P. 881—892.
12. *Хорн Б. К. П.* Зрение роботов. М.: Мир, 1989. 487 с.
13. *Генкин В. Л., Ерош И. Л., Москалев Э. С.* Системы распознавания автоматизированных производств. Л.: Машиностроение, 1988. 246 с.
14. *Садыков С. С., Стулов Н. Н.* Методы и алгоритмы выделения признаков объектов в системах технического зрения. М.: Горячая линия—Телеком, 2005. 204 с.
15. *Дуда Р., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир, 1976. 507 с.
16. *Абламейко С. В., Лагуновский Д. М.* Обработка изображений: технология, методы, применение: Учеб. пособие. М.: Амалфей, 2000. 304 с.
17. *Кормановский С. И., Скорюкова Я. Г., Мельник О. П.* Структурно-связностная модель изображения: выделение контура и формирование признаков // Информационные технологии и компьютерная техника. 2010. № 1.
18. *Путятин Е. П., Аверин С. В.* Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
19. *Погорелов А. В.* Дифференциальная геометрия. М.: Наука, 1974. 176 с.

Сведения об авторах

- Султан Сидыкович Садыков** — д-р техн. наук, профессор; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Светлана Владимировна Савичева** — аспирантка; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

А. А. ЗАХАРОВ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРОТЯЖЕННЫХ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Рассмотрен способ автоматического синтеза протяженных трехмерных сцен по видеопоследовательности, основанный на поиске точечных соответствий. Представлены примеры реконструкции по изображениям.

Ключевые слова: автоматический синтез, трехмерная реконструкция, видеопоследовательность.

Одной из основных задач компьютерного зрения является восстановление формы объектов по изображениям. Выделяют активные и пассивные оптические методы трехмерной реконструкции. Активные методы основаны на использовании дорогостоящих дальнометров. Пассивные методы трехмерной реконструкции включают в себя обработку двумерных изображений. К пассивным методам [1, 2] относится реконструкция: по стереоизображениям (shape from stereo); по закраске изображения (shape from shading); по текстуре (shape from texture); по фокусировке (shape from focus); по контуру (shape from contour (silhouettes)); по перемещению (shape from motion).

В последнее время активно ведется разработка методов трехмерной реконструкции по перемещению (shape from motion) [1—4]. В этом случае происходит восстановление формы сцены из последовательности изображений, полученных с разных позиций съемки в некоторые моменты времени. Часто положения камеры тоже считаются неизвестными и восстанавливаются в ходе решения задачи. Для создания системы трехмерной реконструкции предлагается использовать метод, основанный на перемещении камеры в пространстве. Этот метод получил название „реконструкция по видеопоследовательности“ (shape from video), однако восстановление геометрии объектов сцены в подобных системах затруднено и требует значительного участия оператора. Поэтому необходимо разрабатывать новые методы и программные средства автоматической реконструкции трехмерных сцен с геометрией различной сложности.

Автоматическая генерация трехмерных сцен. Из всего набора изображений выбираются два соседних кадра для нахождения соответствий с соседним кадром последовательности.

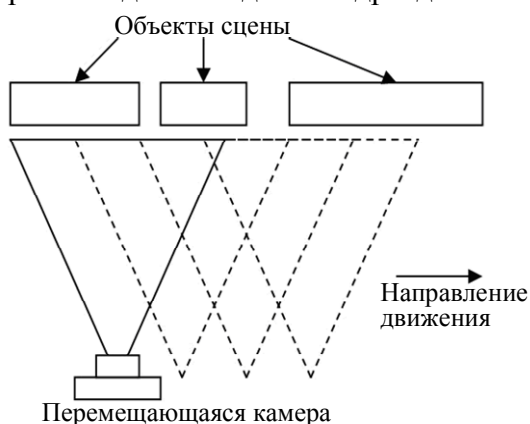


Рис. 1

По изображениям в кадрах вычисляются характерные опорные точки трехмерной сцены. Последующие изображения обрабатываются уже относительно предыдущих кадров. На каждом этапе первоначальная реконструкция уточняется и расширяется.

На начальном этапе происходит получение набора растровых изображений при помощи цифровой видеокамеры, съемка объекта ведется с разных позиций. Направление оптической оси камеры строго перпендикулярно направлению движения (рис. 1). Текущие координаты камеры определяются с помощью системы спутниковой навигации. Погрешность определения координат камеры не накладывает существенных ограничений на точность реконструкции, так как движение происходит по прямой линии.

Погрешность определения координат камеры не накладывает существенных ограничений на точность реконструкции, так как движение происходит по прямой линии.

Далее происходит выделение точечных особенностей, т.е. точек, окрестность которых отличается от окрестностей других точек изображения по выбранной мере. Одним из наиболее известных алгоритмов нахождения точечных особенностей является детектор Харриса, обладающий высоким быстродействием [6].

На следующем этапе находятся соответствия между точечными особенностями различных изображений одной и той же сцены. Для этого используются дескрипторы — идентификаторы ключевой точки, выделяющие ее из группы точек. По совпадению дескрипторов выделяются соответствующие друг другу ключевые точки. Дескрипторы должны обеспечивать инвариантность нахождения соответствия между особыми точками относительно преобразований изображений. В настоящей работе был использован дескриптор SIFT (Scale Invariant Feature Transform).

Затем вычисляются координаты опорных точек, проекции которых были выделены на изображении детектором. Два снимка с изображениями одного и того же участка местности, полученные с двух точек пространства, называются стереоскопической парой снимков (стереопарой). Для вычислений используется понятие эпиполярной конфигурации [5—8]. В простейшем случае две одинаковые параллельные плоскости изображений параллельны базе стереосистемы (рис. 2).

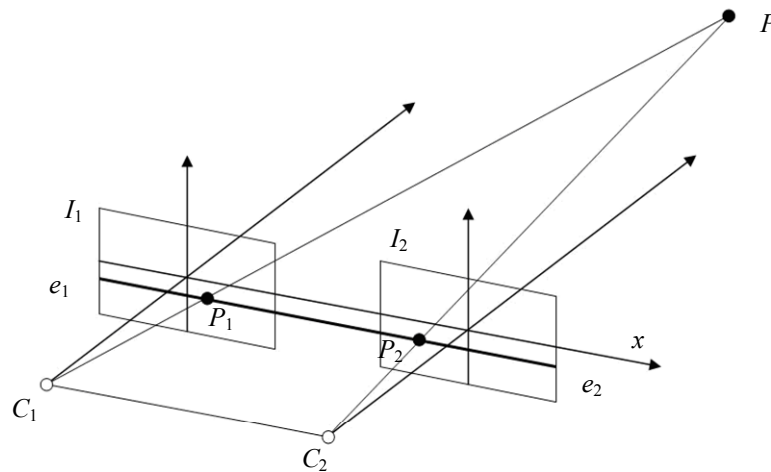


Рис. 2

Эпиполярной называется плоскость, которой принадлежит трехмерная точка P , две ее проекции P_1 и P_2 на плоскости изображений, оптические центры двух камер C_1 и C_2 . Эпиполярными называются две прямые e_1 и e_2 , которые являются пересечениями эпиполярной плоскости с двумя плоскостями изображений I_1 и I_2 . Расстояние между оптическими центрами камер называется базой b . Зная параметры эпиполярной конфигурации, можно вычислить пространственные координаты точки P .

Камера заранее калибруется, чтобы определить, как расположены пиксели на плоскости изображения данной камеры относительно точек трехмерного пространства, изображения которых требуется получать с помощью камеры. Выделяют внутренние и внешние параметры камеры. К внутренним относятся точка пересечения оптической оси и плоскости изображения, масштабные множители для горизонтального и вертикального размеров пиксела, фокусное расстояние f , множитель дисторсии объектива.

Внешние параметры описывают местоположение и ориентацию системы координат камеры в трехмерном пространстве. К ним принадлежат параметры переноса и параметры поворота.

В настоящей работе рассматривается частный случай: известны внутренние и внешние параметры камеры. Так как оптическая ось камеры всегда направлена перпендикулярно движению, то параметры поворота не учитываются.

В рассматриваемой системе координаты проекций точки P на плоскости изображений можно вычислить следующим образом:

$$x_{P_1} = f(x_P + b/2) / z_P, \quad (1)$$

$$x_{P_2} = f(x_P - b/2) / z_P, \quad (2)$$

$$y_{P_1} = y_{P_2} = fy_P / z_P. \quad (3)$$

Из первых двух соотношений следует, что

$$z_P = fb / (x_{P_1} - x_{P_2}). \quad (4)$$

Таким образом, можно вычислить координаты x и y точки P

$$x_P = b \frac{x_{P_1} + x_{P_2}}{2(x_{P_1} - x_{P_2})}, \quad y_P = b \frac{y_{P_1} + y_{P_2}}{2(x_{P_1} - x_{P_2})}. \quad (5)$$

На последнем этапе происходит построение трехмерной модели по вычисленным координатам с использованием полигональной геометрии. Этот этап является одним из наиболее простых в реализации, так как существуют эффективные алгоритмы построения поверхности по известным координатам вершин.

Результаты реконструкции. При реализации алгоритма необходимо находить компромисс между размером поля зрения, точностью вычисления трехмерных координат и количеством найденных точечных соответствий. При малой базе небольшие исходные погрешности в определении координат могут привести к значительным ошибкам вычисления глубины. Большая база может привести к трудностям в сопоставлении точечных особенностей из-за взаимного перекрытия объектов на изображениях и изменения изображения сцены.

Были проведены экспериментальные исследования алгоритма на тестовом объекте. По полученным результатам съемки сцены с нескольких позиций были получены зависимости абсолютной погрешности измерения трехмерных координат и определения количества найденных точечных пар от угла смещения относительно исходного положения камеры. Анализ зависимостей показал, что наибольшая точность вычислений координат обеспечивается при угле смещения камеры $25\text{--}45^\circ$. Однако с увеличением угла смещения значительно снижается количество автоматически найденных точечных соответствий. Таким образом, для системы были выбраны параметры, при которых угол смещения относительно текущего положения был равен 25° . Была проведена реконструкция трехмерной сцены с использованием реальных снимков (рис. 3).



Рис. 3

Следует, однако, отметить, что качество синтезируемой сцены во многом зависит от сложности растрового рисунка. Алгоритм не всегда корректен для обработки изображений, на которых представлены объекты сложной геометрической структуры или присутствуют взаимные перекрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hartley R.* Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, 2000.
2. *Szeliski R.* Computer Vision: Algorithms and Applications. NY: Springer-Verlag, 2010.
3. *El-Hakim S.F.* Semi-automatic 3d reconstruction of occluded and unmarked surfaces from widely separated views // Proc. ISPSRS Symp. Corfu, 2002. P. 143—148.
4. *Pollefeys M.* Detailed realtime urban 3D reconstruction from video // Inten. J. of Computer Vision. 2008. Vol. 78 (2—3). P. 143—167.
5. *Март Д.* Зрение. Информационный подход к представлению и обработке зрительных образов. М.: Радио и связь, 1987.
6. *Форсайт Д.* Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Вильямс, 2004.
7. *Хорн Б.К.П.* Зрение роботов. М.: Мир, 1989.
8. *Шаниро Л.* Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
9. *Harris C.G.* A combined corner and edge detector // Proc. 4th Alvey Vision Conf. Manchester, 1988. P. 147—151.

*Сведения об авторе**Алексей Александрович Захаров*

— канд. техн. наук; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: aa-zaharov@ya.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетомПоступила в редакцию
24.10.11 г.

УДК 004.942

А. Л. ЖИЗНЯКОВ, Д. Г. ПРИВЕЗЕНЦЕВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САМОПОДОБИЯ НА ЦИФРОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Приведены алгоритмы вычисления признаков изображений, характеризующих внутреннее распределение самоподобия.

Ключевые слова: обработка изображений, фрактальные признаки изображений.

Введение. В настоящее время одним из перспективных направлений в цифровой обработке изображений является применение фрактального анализа. Фракталы обладают свойством самоподобия, означающим сохранение (точное или вероятностное) свойств объекта при изменении его масштабов. Свойство самоподобия приводит к определенным закономерностям в статистическом поведении признаков изображений, в результате чего изображения можно с определенной точностью описать фрактальными признаками [1—4].

Любая из процедур обработки изображений опирается на формализованное описание, выполненное с определенной степенью абстрагирования. Модель изображения позволяет получить адекватное описание его существенных свойств, чтобы строить эффективные вычислительные процедуры.

Описание изображений возможно с помощью систем итерируемых функций [5, 6], которые также могут быть использованы для построения фракталов [1, 2, 4].

Для качественной классификации изображений необходим набор признаков, характеризующий их однозначно. Точность классификации зависит от полноты набора [7]. Поэтому

использование фрактальных характеристик изображений полностью традиционных признаков позволит снизить ошибки и существенно увеличить эффективность распознавания.

Распределение самоподобия изображений. Согласно фрактальной модели, изображение разбивается на доменные блоки D , с помощью которых будет впоследствии описано изображение. Затем изображение разбивается на ранговые блоки R таким образом, чтобы каждый его участок был описан с помощью доменного блока с требуемой точностью.

Для аппроксимации ранговых блоков доменными применяется преобразование w , включающее операции масштабирования, переноса, изменения яркости:

$$R_i \approx w_i(D_i) = s_i(\tilde{w}_i(D_i)) + o_i,$$

в итоге такого преобразования получается совокупность ранговых блоков, из которых строится изображение, для каждого указывается доменный блок и преобразование [5, 6]:

$$f' = \sum_{i=1}^M (B_{n_i, m_i}^{r_i})^* \left[s_i \left(\tilde{w}_i \left(B_{k_i, l_i}^{d_i} [f] \right) \right) + o_i \right],$$

где f — исходное изображение; $B_{k_i, l_i}^{d_i}$ и $B_{n_i, m_i}^{r_i}$ — операторы извлечения и вставки блока изображения размером $k \times k$, левый нижний угол которого находится в точке с координатами (n, m) , s_i, o_i — коэффициенты преобразования яркости изображения; \tilde{w}_i — аффинное преобразование; M — число ранговых блоков, на которое разбивается изображение при заданных условиях фрактального разложения.

Из множества доменных блоков $D = \{D_i\}$ можно выделить подмножество используемых доменных блоков $D_{\text{и}} = \{D_{\text{и}i}\} \in D$, отражающее самоподобные участки изображения. В качестве характеристики самоподобия изображений можно использовать отношение числа используемых к общему числу доменных блоков.

Каждый доменный блок из множества $D_{\text{и}}$ используется для формирования фрактального кода определенное количество раз, т.е. каждому доменному блоку можно сопоставить число, равное количеству раз использования данного блока во фрактальном коде, которое означает, сколько других участков изображения подобно этому. Разместив эти числа на изображении в местах расположения соответствующих доменных блоков, можно увидеть наиболее часто встречающиеся участки (рис. 1, *a* — первого, *б* — второго уровня).

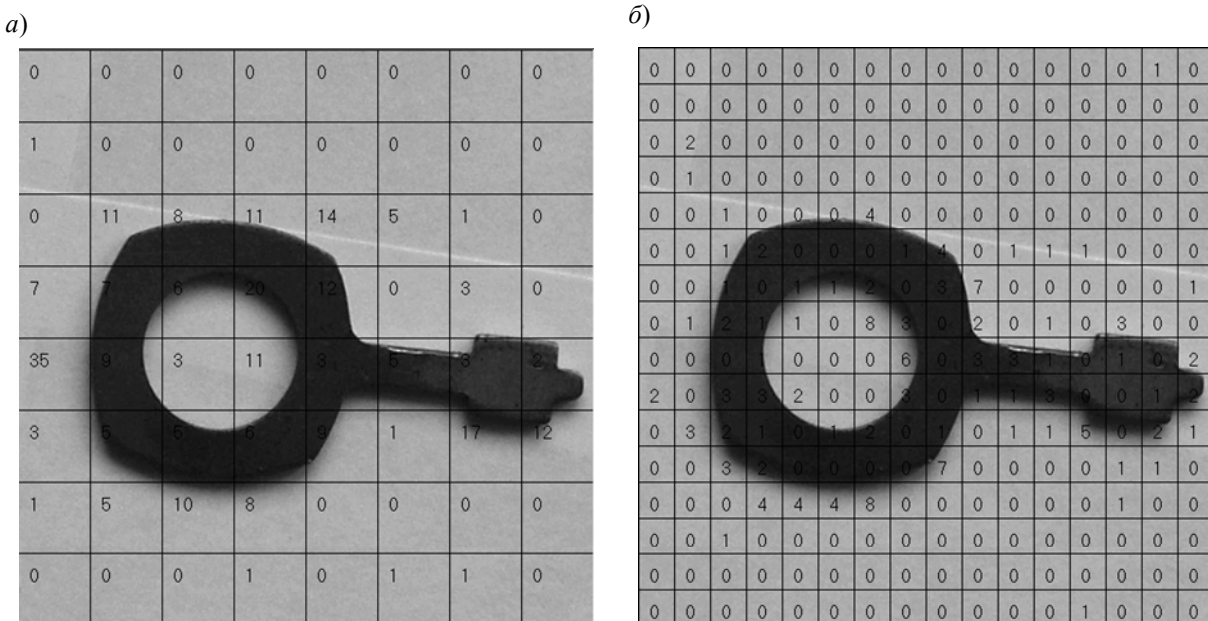


Рис. 1

Если используется несколько уровней доменных блоков, то для отражения подобия участков изображения данные по доменным блокам каждого уровня необходимо отобразить на одном изображении (рис. 2).

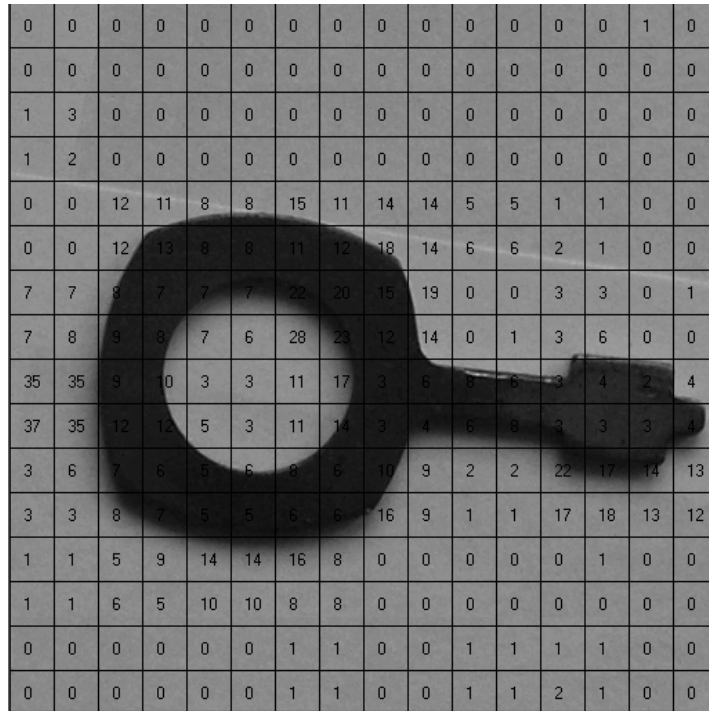


Рис. 2

Представив частоту использования доменных блоков в виде карты высот и проведя аппроксимацию, можно получить трехмерную поверхность $Z(x, y)$, где $x = 1, \dots, W$, $y = 1, \dots, H$, координата $Z(x, y) = 1, \dots, \max(D_{i_i})$ которой в каждой точке отражает степень подобия участка изображения (рис. 3).

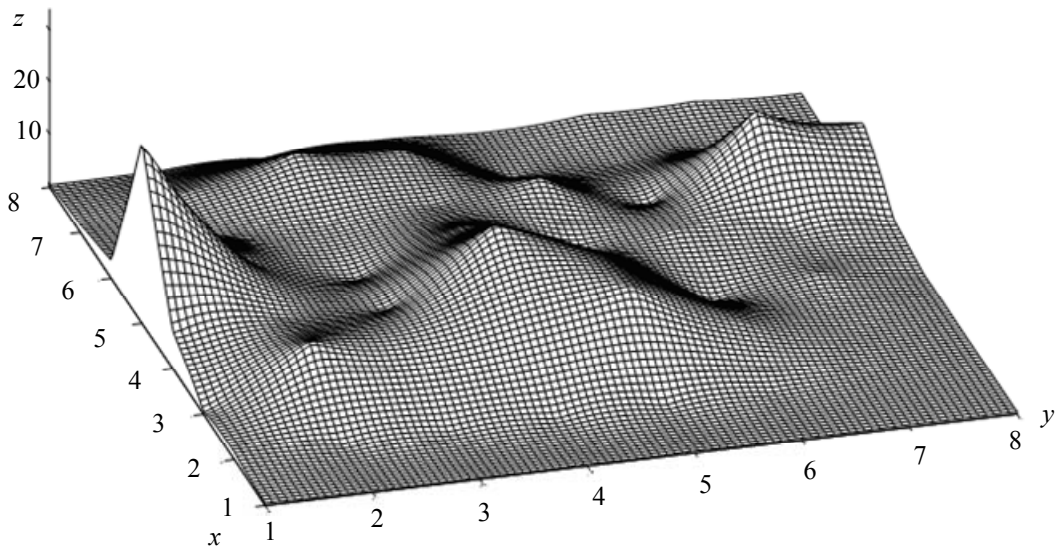


Рис. 3

Для лучшего отражения непрерывного изменения исследуемой величины на трехмерных поверхностях обычно применяются изолинии.

Построенные для поверхности $Z(x, y)$ и наложенные на исходное изображение изолинии демонстрируют изменения самоподобия участков (рис. 4).

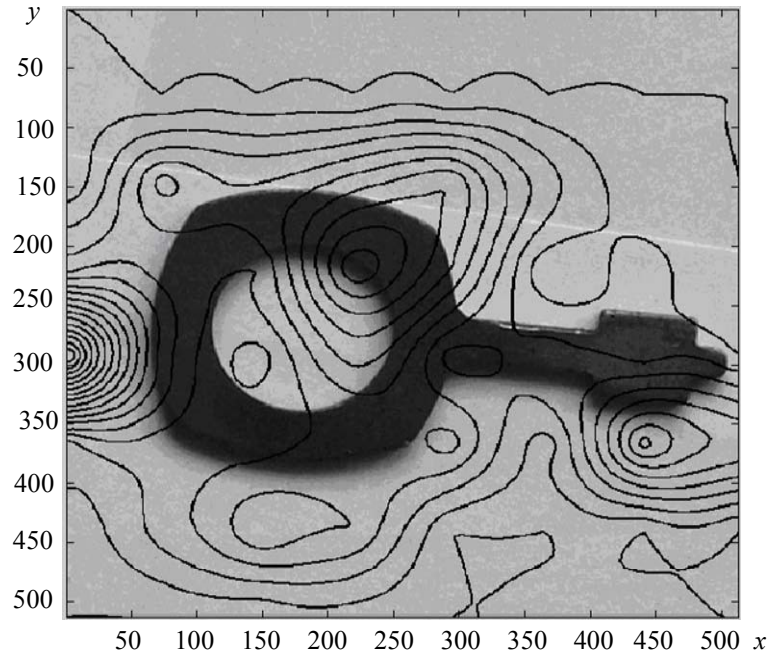


Рис. 4

Распределение локальных признаков самоподобия внутри изображения лучше всего характеризовать параметрами представленной трехмерной гистограммы использования доменных блоков для восстановления изображения по его фрактальному коду.

Характер распределения самоподобия изображения. Изменение самоподобия участков изображения с помощью изолиний позволяет качественно оценить распределение, но не дает количественной оценки. Для задач автоматической обработки изображений необходимо представить распределение самоподобия в виде характеристик, имеющих числовое или аналитическое выражение. Для этого строится гистограмма использования доменных блоков $H_D(i)$ (рис. 5).

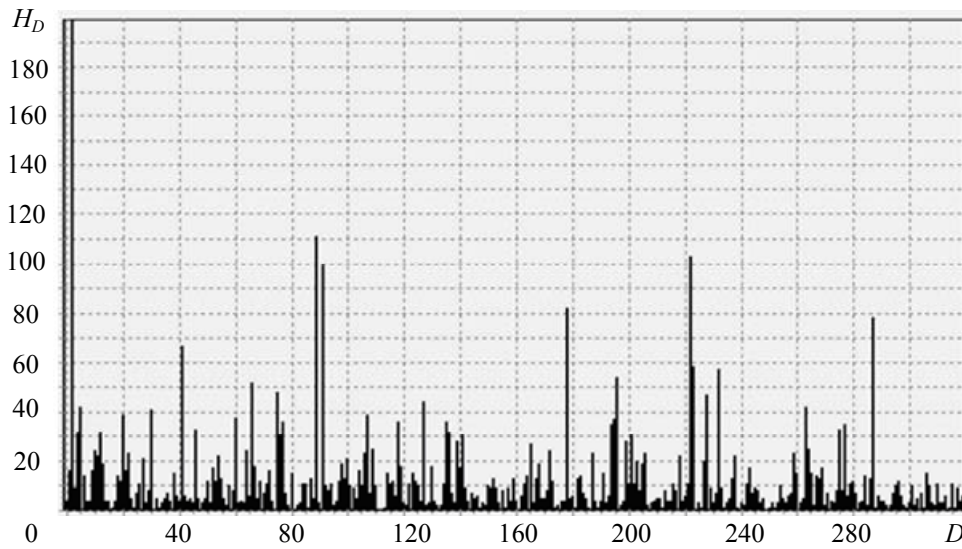


Рис. 5

Чем больше значение $H_D(i)$ для доменного блока D_i , тем более характерным является участок для этого изображения. Следовательно, участки с наибольшим значением $H_D(i)$

можно использовать как шаблоны изображений в задаче распознавания и классификации изображений.

Если значения $H_D(i)$ расположить по убыванию, то в общем виде получится следующего вида кривая (рис. 6), которая отражает характер распределения самоподобия на изображении. Если аппроксимировать полученные значения уравнением вида $y(x) = k \ln(x) + b$, то можно получить аналитическое выражение, характеризующее распределение признаков самоподобия: $y = -13,43 \ln(x) + 77,016$ при доверительной вероятности 9,93.

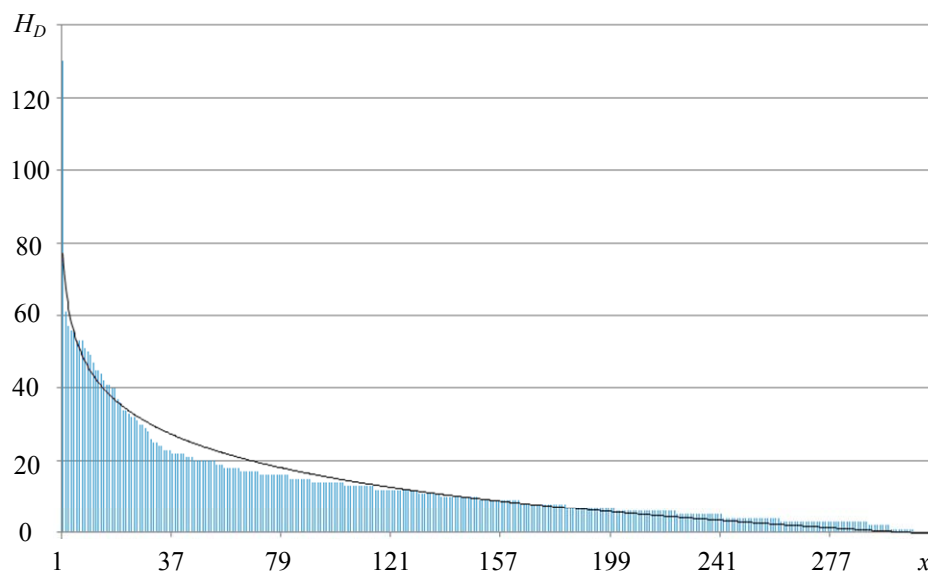


Рис. 6

Таким образом, предлагается использовать признаки изображений, характеризующие внутреннее распределение самоподобия участков изображения. Распределение самоподобия позволяет использовать в качестве информативных признаков изображения наиболее характерные его участки, полученные на основе гистограммы $H_D(i)$, которые в большинстве случаев являются уникальными для каждого изображения или класса изображений, и коэффициенты уравнения k и b , описывающего характер распределения локальных признаков самоподобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А. А. Потапова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Шелухин О. И., Осин А. В., Смольский С. М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
3. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
4. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. М.: Изд-во „Триумф“, 2003. 320 с.
5. Привезенцев Д. Г. Модель цифрового изображения с использованием систем итерированных функций // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. № 6(65). С. 761—769.
6. Привезенцев Д. Г., Жизняков А. Л. Фрактальная модель цифрового изображения // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. науч. тр. Муром: Изд.-полиграф. центр МИ ВЛГУ, 2010. Вып. 15. С. 147—152.
7. Жизняков А. Л. Формирование и анализ наборов признаков многомасштабных последовательностей цифровых изображений // Программные продукты и системы. Изд. ЗАО НИИ „Центрпрограммсистем“. 2007. № 4.

Сведения об авторах

- Аркадий Львович Жизняков** — д-р техн. наук, профессор; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра САПР ЭС; заведующий кафедрой; E-mail: lvovich@newmail.ru
- Денис Геннадьевич Привезенцев** — аспирант; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра САПР ЭС; E-mail: dgprivezenцев@mail.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

УДК 681.7.069.32

Ю. С. БЕХТИН, Д. В. ТИТОВ

КОМПРЕССИЯ ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ АДАПТИВНЫМ ВЕЙВЛЕТ-КОДЕКОМ

Представлен основанный на итеративном извлечении когерентных структур новый метод построения вейвлет-кодеков, предназначенных для компрессии зашумленных изображений.

Ключевые слова: вейвлет, алгоритм, фактор, изображение.

Введение. Современный рынок радиоэлектронных устройств предлагает ряд микрочипов, специально созданных для компрессии видеоданных. Большую их часть составляют так называемые вейвлет-кодеки (например, ADV6xx фирмы Analog Devices). Такие кодеки базируются на одном из известных методов вейвлет-компрессии изображений, как EZW, SPIHT, EBCOT, JPEG2000 и др. [1—4]. К сожалению, они малоэффективны при заданной степени сжатия зашумленных изображений, которые описываются моделью вида [4]:

$$Y = X + Z, \quad (1)$$

где Y — наблюдаемое изображение, X — неизвестный оригинал, Z — не зависящий от оригинала X аддитивный (гауссов) шум с нулевым средним.

Различные методы компрессии зашумленных изображений могут быть разделены на две группы. Методы первой, например [5, 6], нацелены на достижение максимально возможного качества декодированных искаженных изображений путем применения такой степени сжатия, при которой достигается наибольшее значение пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ). Подобные методы относительно легко реализовать на существующих микрочипах, однако при этом не всегда обеспечивается заданная степень сжатия. Методы второй группы (см. например, [7]) нацелены на поиск оптимального критерия распределения квоты битов. Однако такие методы содержат громоздкие вычислительные процедуры и пока не могут быть реализованы на микрочипах.

В настоящей статье предлагается способ сокращения вычислительных процедур, который может быть реализован на микрочипах благодаря относительной простоте и быстрой сходимости алгоритма.

Постановка задачи. Вейвлет-декомпозиция W зашумленного изображения (1) может быть также представлена в виде аддитивной модели

$$W_Y = W(Y) = W(X + Z) = W(X) + W(Z) = W_X + W_Z, \quad (2)$$

где $W_X = W(X)$, $W_Z = W(Z)$ — центрированные и некоррелированные случайные процессы, причем процесс W_Z условно полагаем нормально распределенным.

Вейвлет-коэффициенты должны быть подвергнуты пороговой обработке и закодированы. С учетом ошибки равномерного квантования $\Delta^2 = 12\sigma_{uq}^2$ [4], где Δ — интервал квантования, значение порога τ может быть приравнено нулевой зоне кодека $\tau = \theta\Delta$, что дает

$$\tau^2 = 12\theta^2\sigma_{uq}^2, \quad (3)$$

где θ — коэффициент, регулирующий отношение между шириной нулевой зоны и интервалом квантования (по умолчанию для многих кодеков $\theta=1$). Значение τ может быть приравнено любому вейвлет-коэффициенту $\tau = |w_{Y_M}|$, $M < I$, I — число точек изображения.

Вейвлет-коэффициенты, попавшие в нулевую зону, считаются незначимыми и обнуляются. Следовательно, можно ожидать некоторого шумоподавления при компрессии зашумленных изображений. Тогда средняя квадратическая ошибка (СКО) восстановления оригинала

$$E \left\{ \|W_X - W_{\hat{X}}\|^2 \right\} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (w_{X_i} - w_{\hat{X}_i})^2 = \sigma^2 - \varepsilon\tilde{\sigma}^2 + \sigma_{W_\xi}^2 + \varepsilon\sigma_{uq}^2, \quad (4)$$

где $\sigma^2 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I w_{Y_i}^2$ — дисперсия всех вейвлет-коэффициентов; $\tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M w_{Y_i}^2$ — дисперсия значимых вейвлет-коэффициентов (оставшихся после пороговой обработки), $M/I = \varepsilon$;

$\sigma_{W_\xi}^2 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I w_{\xi_i}^2$ — дисперсия вейвлет-коэффициентов шума с нулевым средним;

$\sigma_{uq}^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sigma_{uqi}^2$ — дисперсия ошибки квантования для M значимых вейвлет-коэффициентов.

Из уравнения (4) следует, что для достижения наибольшего ПОСШ необходимо получить максимальное значение дисперсии значимых вейвлет-коэффициентов и минимальное — дисперсии ошибки квантования. Данные требования противоречивы, поскольку большое значение M , снижающее ошибку аппроксимации, приводит к увеличению ошибки квантования. Таким образом, необходимо найти оптимальное в смысле минимума СКО (4) значение порога, определяющего число значимых вейвлет-коэффициентов M .

Алгоритм работы кодека. В соответствии с уравнением (4) полученная после компрессии минимальная СКО, записанная в форме $E \left\{ \|W_X - W_{\hat{X}}\|^2 \right\}$, эквивалентна максимуму $\varepsilon(\tilde{\sigma}^2 - \sigma_{uq}^2)$. Метод функционирования кодека, базирующийся на извлечении M когерентных структур из зашумленного изображения, представляется в итеративной форме:

$$f(M) = \varepsilon(\tilde{\sigma}^2 - \sigma_{uq}^2) \rightarrow \max_M, \quad (5)$$

$$\forall |w_{Y_i}|^2 \geq \rho_{I-M}^2 \sum_{i=M+1}^I |w_{Y_i}|^2 = \rho_{I-M}^2 I(\sigma^2 - \varepsilon\tilde{\sigma}^2), \quad (6)$$

где пороговое значение для коэффициента корреляции между нормальным шумом и любым вейвлет-базисом определяется как [8]:

$$\frac{\max_{1 \leq k \leq I} |w_{\xi_k}|}{\|Z\|} \leq \frac{\sqrt{2 \ln I} \sigma_Z}{\sqrt{I} \sigma_Z} = \frac{\sqrt{2 \ln I}}{\sqrt{I}} = \rho_I. \quad (7)$$

Оценка \hat{X} оригинального изображения является суммой M когерентных структур

$$\hat{X} = \sum_{k=1}^M W^{-1} \{w_{Y_k}\}, \quad (8)$$

вычисленных через обратное вейвлет-преобразование, которые формируют псевдоизображения по правилу

$$Y_M = Y - \sum_{k=1}^M W^{-1} \{w_{Y_k}\} = \sum_{k=M+1}^I W^{-1} \{w_{Y_k}\}. \quad (9)$$

Таким образом, поиск когерентных структур схож с грубой пороговой обработкой вейвлет-коэффициентов с величиной порога [8]

$$\tau = \rho_{I-M} \sqrt{\sum_{k=M+1}^I |w_{Y_k}|^2}. \quad (10)$$

Если произведена сортировка всех вейвлет-коэффициентов по амплитуде, предлагаемый алгоритм будет содержать следующую последовательность шагов.

1. Положить $M = I - 1$ (инициализация алгоритма).
2. Вычислить кумулятивную сумму квадратов вейвлет-коэффициентов и в соответствии с (10) вычислить значение порога для данного (текущего) коэффициента корреляции ρ_{I-M} .
3. Вычислить новое (скорректированное) значение M числа значимых вейвлет-коэффициентов, используя неравенство (6).
4. Проверить достижение максимума целевой функции (5).
5. Если максимальное значение целевой функции (5) получено, то закончить вычисления; в противном случае — переход к шагу 2.

Результаты моделирования. К настоящему времени собран достаточно обширный статистический материал, доказывающий эффективность разработанного кодека. В таблице приводятся усредненные численные результаты компрессии четырех тестовых изображений, взятых из библиотеки MatLab [4]. Для сравнения использовались алгоритм компрессии SPIHT и так называемый „идеальный кодер“ Oracle [3, 8].

Кодек (для 0,2 б/пкс)		σ_Z^2		
		10	25	35
ПОСШ, дБ	Oracle	32,24	29,25	25,67
	SPIHT	30,27	25,89	24,68
	Адаптивный вейвлет	31,02	28,39	24,58
SSIM	Oracle	0,89	0,81	0,76
	SPIHT	0,64	0,58	0,47
	Адаптивный вейвлет	0,78	0,74	0,69

Аддитивный шум в соотношении (1) моделировался с использованием генератора случайных чисел, распределенных по нормальному закону с нулевым средним и дисперсией σ_Z^2 , изменяющейся в ходе экспериментов. Для кодека использовалось трехуровневое быстрое вейвлет-преобразование на основе биортогонального банка фильтров CDF 9.7 [4]. Численные результаты для ПОСШ и комплексной оценки структурного сходства SSIM (Structural Similarity) приведены в таблице. На рис. 1 и 2 показаны результаты применения нового кодека для обработки радиолокационного изображения (для 8 и 0,2 б/пкс соответственно). Как видно из таблицы и рисунков, предложенный алгоритм обеспечивает лучшее восстановление зашумленного изображения как визуально, так и численно по критериям ПОСШ и SSIM.

Эксперименты показали, что предложенный алгоритм имеет относительно быструю сходимость. Это означает, что после трех итераций не наблюдается улучшение восстановленного после компрессии зашумленного изображения. Это важное свойство алгоритма позволяет

реализовать его на микрочипах, работающих в реальном масштабе времени. Предлагаемый алгоритм запрограммирован на ПЛИС фирмы Xilinx с помощью программного обеспечения ISE версии 6.3 и апробирован с помощью специально разработанного симулятора.

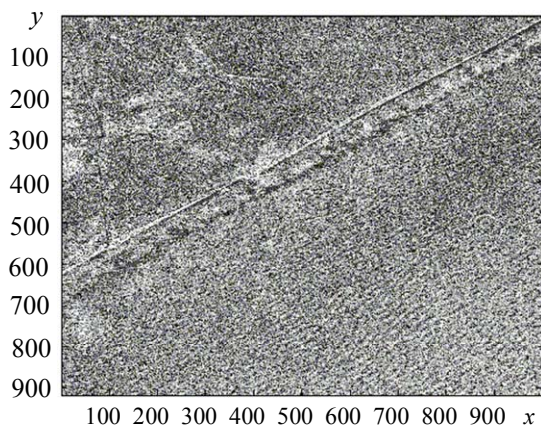


Рис. 1

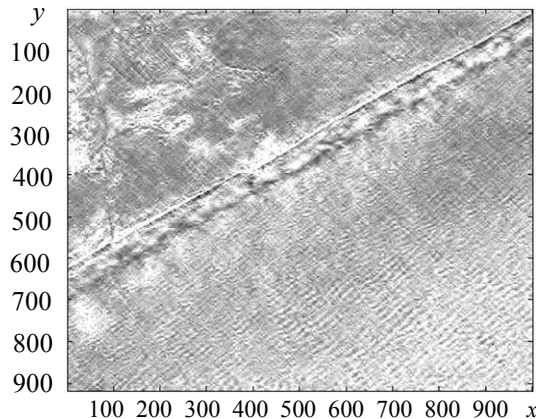


Рис. 2

Данная работа выполнена в рамках реализации ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 гг.“, контракт 16.740.11.0086.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shapiro J. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients // IEEE Trans. on Signal Proc. 1993. Vol. 41. P. 3445—3462.
2. Lewis A. S., Knowles G. Image compression using the 2-D wavelet transform // IEEE Trans. on Image Proc. 1992. Vol. 1, N 2. P. 244—250.
3. Said A., Pearlman W. A. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees // IEEE Trans. on Circ. and Syst. Video Tech. 1996. Vol. 6.
4. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. NY: Addison Wesley, 1992.
5. Ponomarenko N., Lukin V., Zriakhov M., Egiazarian K., Astola J. Estimation of accessible quality in noisy image compression // Proceedings of EUSIPCO. Florence, Italy, 2006. September.
6. Al-Snaykh O.-K., Mercereau R. M. Lossy compression of noisy images // IEEE Trans. on Image Proc. 1998. Vol. 7, N 12. P. 1641—1652.
7. Chang S. G., Yu B., Vetterli M. Adaptive wavelet thresholding for image de-noising and compression // IEEE Trans. on Image Proc. 2000. Vol. 9, N 9. P. 1532—1546.
8. Mallat S., Zhang Z. Matching pursuits with time-frequency dictionaries // IEEE Trans. on Signal Proc. 1993. Vol. 41, N 12. P. 3397—3415.

Сведения об авторах

Юрий Станиславович Бехтин

— д-р техн. наук, профессор; Рязанский государственный радиотехнический университет, кафедра автоматизации и информационных технологий в управлении; E-mail: aitu@rgtu.ryazan.ru

Дмитрий Витальевич Титов

— аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: amazing2004@inbox.ru

Рекомендована Юго-Западным государственным университетом

Поступила в редакцию 24.10.11 г.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

УДК 004.932

Е. В. ГОЛОВЕНКОВ, С. В. ДЕГТЯРЕВ

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ПОКАЗАНИЙ СТРЕЛОЧНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Описана математическая модель распознавания показаний стрелочного индикатора; представлены алгоритмы вычисления показаний стрелочного индикатора и угла отклонения стрелки. Проведены расчет вычислительной сложности описанных алгоритмов и оценка точности разработанного метода.

Ключевые слова: распознавание изображений, контрольно-измерительный прибор, указатель, стрелочный индикатор.

Введение. Результаты исследований Р. Саблатнига [1], Д. Б. Волегова, Д. В. Юрина [2], Ю. Г. Свинолупова [3], М. С. Ройтмана, В. П. Войтко, Д. Л. Удута, Э. Н. Седова, С. К. Киселева [4], посвященные автоматизации контроля производства стрелочных индикаторов с помощью оптико-электронных систем, распознающих показания на передней панели прибора, выявляют высокий уровень развития технических и алгоритмических средств, которые, однако, не удовлетворяют требованиям быстродействия.

Так, в работе [1] рассмотрен метод распознавания показаний стрелочного индикатора, основанный на применении модифицированного преобразования Хафа над бинаризованным изображением указателя. В [2] применяются алгоритмы вычисления контурного изображения указателя, преобразования в полярную систему координат, свертки полученного изображения при помощи преобразования Хартли. Наиболее быстродействующим является метод распознавания показаний стрелочного индикатора [3], основанный на вычислении угла наклона стрелочного указателя с помощью метода наименьших квадратов. Однако перечисленные методы обладают высокой вычислительной сложностью, таким образом, актуальной является задача сокращения времени распознавания показаний стрелочного индикатора.

Математическая модель распознавания показаний стрелочного индикатора содержит:

— бинарное изображение шкалы стрелочного индикатора

$$I(i, j) = \{0, 1\}; i = \overline{0, h-1}, j = \overline{0, w-1}, \quad (1)$$

где h и w — соответственно высота и ширина изображения в пикселах. Массив пикселей черного цвета $I(i, j) = 1$ определяет область на изображении, принадлежащую объекту указателя; массив пикселей белого цвета $I(i, j) = 0$ определяет область на изображении, принадлежащую иным объектам, например, фону, штриховым и числовым отметкам. Алгоритм получения бинарного изображения аналогичен описанному в работе [3], он характеризуется

тем, что в процессе вычитания формируются два изображения $I_0(i, j)$, $I_f(i, j)$, первое из которых соответствует начальному показанию стрелочного индикатора, второе — конечному;

— функцию преобразования $S(I, \varphi)$ массива пикселей $I(i, j) = 1$ в угол отклонения указателя φ ;

— функцию преобразования $P(\varphi, V)$ угла φ в показания индикатора V .

Для определения показаний необходимо распознавать изображения шкалы индикатора. При этом числовое значение показания индикатора определяется на основе двух изображений $I_0(i, j)$, $I_f(i, j)$.

Определение угла отклонения указателя. Следующие ниже операции описывают функцию преобразования $S(I, \varphi)$.

Сначала изображение шкалы стрелочного индикатора $I(i, j)$ сканируется, определяются координаты $O(x_0, y_0)$ центра стрелочного указателя по следующим формулам:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, h-1; j=0, w-1} i}{n}; \\ y_0 = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, h-1; j=0, w-1} j}{n}, \end{cases} \quad (2)$$

где n — число черных пикселей на изображении $I(i, j)$.

Далее изображение шкалы стрелочного индикатора $I(i, j)$ сканируется, определяются координаты x_A, y_A, x_B, y_B центров образованных отрезков по следующим формулам:

$$\begin{cases} x_A = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, y_0; j=0, x_0} i}{k}; \\ y_A = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, y_0; j=0, x_0} j}{k}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_B = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_0, h-1; j=x_0, w-1} i}{s}; \\ y_B = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_0, h-1; j=x_0, w-1} j}{s}, \end{cases} \quad (4)$$

где k и s — число черных пикселей в первом и во втором отрезках изображения указателя, причем

$$k + s = n. \quad (5)$$

Угол наклона указателя вычисляется по координатам двух точек $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ по формуле:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}. \quad (6)$$

Полученные значения $\operatorname{tg}(\varphi_0)$ и $\operatorname{tg}(\varphi_f)$, соответствующие начальному φ_0 и конечному φ_f углу отклонения указателя, запоминаются.

Определение численного значения показаний. По характеру зависимости линейных или угловых расстояний между соседними отметками шкалы от измеряемой величины различают равномерные и неравномерные шкалы. Равномерная шкала характеризуется одинаковым

расстоянием между отметками, в то время как на неравномерной шкале расстояние между отметками изменяется по определенному закону.

Необходимо найти функции преобразования $P(\varphi, V)$ угла φ отклонения указателя в показания индикатора V , т.е. определить вид функции $Z(\varphi) = V$.

Для случая равномерной шкалы имеем:

$$Z(\varphi) = k\varphi;$$

$$k = \frac{Z(\varphi_1)}{\varphi_1} = \frac{Z(\varphi_2)}{\varphi_2} = \dots = \frac{Z(\varphi_q)}{\varphi_q}; \varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_q; q \in N, \quad (7)$$

где k — постоянный коэффициент.

Для случая неравномерной шкалы имеем:

$$Z(\varphi_i) = \{Z(\varphi_1), Z(\varphi_2), \dots, Z(\varphi_d)\}, \varphi_i = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_d\}, i = \overline{1, d},$$

$$\frac{Z(\varphi_1)}{\varphi_1} \neq \frac{Z(\varphi_2)}{\varphi_2} \neq \dots \neq \frac{Z(\varphi_d)}{\varphi_d}; \varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_d; d \in N, \quad (8)$$

где $Z(\varphi_i)$ — дискретная функция, заданная таблично.

Каждому значению $\varphi_i, i = \overline{1, d}$ соответствует показание стрелочного указателя $Z(\varphi_i)$. Значение d зависит от количества делений l на шкале стрелочного указателя; очевидно $d \leq l$. Угол отклонения указателя относительно начального положения рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \varphi_f - \varphi_0, \quad (9)$$

где φ_0 и φ_f — угол начального и конечного отклонения указателя.

Таким образом, в зависимости от типа шкалы стрелочного указателя выбирается функция $Z(\varphi)$, найденное значение $\text{tg}(\varphi_0)$ сравнивается с заранее определенными табличными значениями, запоминается начальный угол φ_0 отклонения указателя, найденное значение $\text{tg}(\varphi_f)$ сравнивается с заранее определенными табличными значениями, запоминается конечный угол φ_f отклонения указателя, вычисляется угол отклонения указателя по формуле (9), выполняется преобразование $P(\varphi, V)$, значение V запоминается.

Расчет вычислительной сложности. Формула для оценки вычислительной сложности будет иметь следующий вид:

$$D = \{d_{(a)}, d_{(m)}, d_{(d)}\}, \quad (10)$$

где $d_{(a)}, d_{(m)}, d_{(d)}$ — соответственно число операций сложения, умножения, деления.

Вычислительная сложность $D^{(1)}$ разработанного метода рассчитывается по следующим формулам:

$$D^{(1)} = d^{(0)} + d^{(1)}, \quad (11)$$

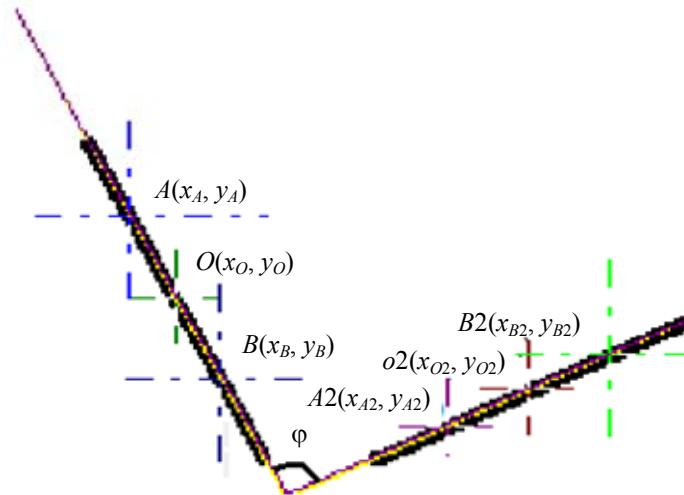
$$d^{(0)} = \{d_{(a)}^{(0)}, d_{(m)}^{(0)}, d_{(d)}^{(0)}\}, \quad (12)$$

$$d^{(1)} = \{d_{(a)}^{(1)}, d_{(m)}^{(1)}, d_{(d)}^{(1)}\}, \quad (13)$$

где $d^{(0)}$ — вычислительная сложность алгоритма бинаризации; $d^{(1)}$ — вычислительная сложность алгоритмов, описанных выше. По сравнению с существующим методом [3] вы-

числительная сложность разработанного метода уменьшена за счет исключения из формул (2)—(6) операций умножения.

Эксперимент. По результатам исследования была написана программа для ЭВМ, моделирующая процесс распознавания показаний стрелочного индикатора предлагаемым и существующим методом [3]. На рисунке проиллюстрировано вычисление угла отклонения указателя; показано окно с результатами распознавания, на котором отображены начальное и конечное положения стрелочного указателя, точки с координатами, вычисленными по формулам (2)—(4), прямые, проходящие через данные точки.



Экспериментально рассчитанная абсолютная погрешность распознавания показаний стрелочного индикатора разработанным методом по сравнению с методом, приведенным в [3], составляет $\Delta \leq 1^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sablatnig R., Kropatsch W.G. Automatic Reading of Analog Display Instruments // Proc. of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition. Jerusalem, 1994. Vol. 1. P. 794—797.
2. Волегов Д. Б., Юрин Д. В. Считывание показаний стрелочного прибора при помощи web-камеры // ГрафиКон2008. М., 2008. С. 242—247.
3. А. с. 1383242 СССР, МКИ 4 G 01 R 35/00. Способ автоматической поверки стрелочных измерительных приборов и устройство для его осуществления / Ю. Г. Свинолунов, В. П. Войтко, Н. М. Степаненко, Д. Л. Удут. Заявл. 21.10.86; опубл. 23.03.88. Бюл. № 11. 5 с.
4. Киселев С. К. Система автоматизации поверки электроизмерительных приборов // Датчики и системы. 2003. № 6. С. 33—37.

Сведения об авторах

- Евгений Владимирович Головенков** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра информационных систем и технологий, Курск;
E-mail: theaswert@yandex.ru
- Сергей Викторович Дегтярев** — д-р техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет, кафедра информационных систем и технологий, Курск;
E-mail: sergeyd12@gmail.com

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

С. Г. ЕМЕЛЬЯНОВ, М. И. ТРУФАНОВ, Д. В. ТИТОВ

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПОИСКА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ

Представлен принцип функционирования, рассмотрена структурно-функциональная организация системы технического зрения для своевременного выявления очага возгорания по первичным признакам пламени контролируемой территории.

Ключевые слова: система технического зрения, возгорание, обнаружение.

Введение. В настоящее время за рубежом активно развиваются оптико-электронные средства дистанционного обнаружения очагов возгорания, предназначенные для предотвращения пожаров. В России подобные средства практически не развиваются в направлении совершенствования принципа функционирования, повышения своевременности обнаружения открытого пламени и снижения вероятности ложных тревог.

Анализ научно-технической литературы, посвященной средствам обнаружения пожаров, показал, что большинство разрабатываемых оптико-электронных устройств пожарной сигнализации работает по принципу обнаружения пламени как источника яркого оптического излучения в инфракрасном диапазоне посредством одного или нескольких одноэлементных приемников излучения [1, 2]. В последнее десятилетие применяют матричные приемники изображения для обнаружения и определения местоположения очага возгорания. Основным недостатком большинства устройств на основе как одноэлементных приемников излучения, так и матричных приемников изображения является возможность обнаружения факта возникновения пламени только после существенного развития возгорания, что практически исключает своевременное выявление пожара. Кроме того, существующим датчикам и системам раннего обнаружения возгорания свойствен достаточно высокий уровень ложных тревог, а системы, характеризующиеся низким уровнем ложных тревог, обладают длительным временем срабатывания. Отдельно следует отметить отсутствие в таких системах средств для определения пространственного положения очага возгорания.

В этой связи актуальной задачей является разработка системы технического зрения (СТЗ), предназначенной для обнаружения пламени в первые секунды после его возникновения, основанной на анализе контролируемого участка пространства с нескольких точек наблюдения для реализации трехмерного восприятия и оценки объемных характеристик пламени на основе характерных признаков изображения открытого огня. В СТЗ используются несколько матричных приемников изображения оптического и ближнего инфракрасного диапазона.

Таким образом, представленный способ обнаружения пламени предполагает

- установку и ориентацию приемников изображения (ПИ),
- калибровку взаимного положения ПИ,
- непрерывное наблюдение области контроля СТЗ,
- анализ яркости и цветности поступающих изображений,
- формирование предположения об обнаружении пламени на изображениях,
- подтверждение обнаружения пламени,
- оценку объема пламени и скорости его распространения,
- определение пространственных координат пламени.

Структурно-функциональная организация системы технического зрения. Предлагаемая СТЗ обнаружения и определения характеристик очага возгорания состоит из анализирующего блока, приемников изображений ПИ1—ПИ4 со встроенными приемопередатчиками, радиоприемного устройства (РПУ), приемопередатчика WiFi для связи [3]. Анализирующий блок содержит следующие блоки: ввода изображения (БВИ), обнаружения, ОЗУ, трехмерного анализа, распознавания (рис. 1).

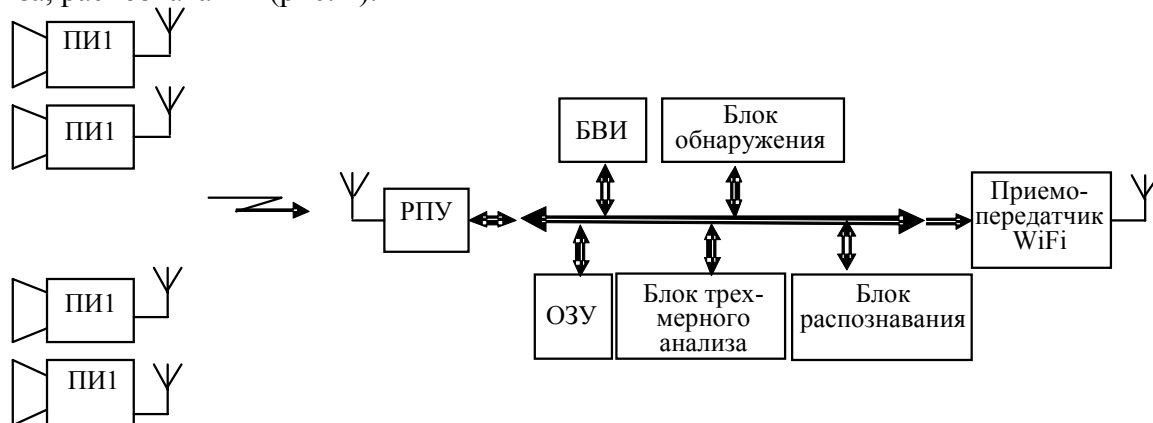


Рис. 1

Приемники изображения устанавливаются следующим образом: ПИ1 и ПИ2 размещают как можно ближе друг к другу, ориентируют их главные оптические оси взаимно параллельно и направляют в центр области контроля; ПИ3 и ПИ4 также размещают как можно ближе друг к другу, но на некотором удалении от ПИ1 и ПИ2. Подобное размещение необходимо для реализации бинокулярной СТЗ с различной чувствительностью видеокамер. Таким образом, с одной стороны, обеспечивается возможность определения трехмерных координат пламени, а с другой — за счет различной чувствительности возможно получать изображения в широком динамическом диапазоне яркостей рабочей сцены.

Изображение рабочей сцены поступает на вход блока, анализирующего изображение на предмет обнаружения периодически или случайно изменяющихся во времени областей яркости и цветности. Блок обнаружения выполняет сравнение двух последовательных кадров изображения по яркости и по цветности изображения. Области с изменяющейся в течение нескольких кадров изображения яркостью и цветностью помечаются для дальнейшего анализа. Блок трехмерного анализа получает координаты (по осям x и y) помеченных областей изображения и рассчитывает их пространственные координаты.

На заключительной стадии обработки изображения выполняется распознавание пламени, анализируются частота изменения яркости, частота и амплитуда изменения цвета, объем и яркость предположительной области пламени и яркость фона. В случае соответствия указанных параметров эталонному описанию признаков пламени блок распознавания принимает решение о возникновении пожара и приемопередатчик WiFi по каналу связи передает данный признак в вышестоящую систему.

Далее блок распознавания анализирует скорость увеличения объема огня. Для этого выполняется анализ динамики изменения объема пламени, и в случае превышения скорости увеличения объема пламени заданной блок формирует дополнительный сигнал тревоги. Входящие в состав анализируемого блока модули реализованы на базе модульной архитектуры [4] с использованием программируемых логических интегральных схем [5].

Для экспериментальной проверки разработанной СТЗ создан макет, состоящий из персонального компьютера и четырех цифровых видеокамер, спектральная чувствительность которых соответствует видимому и ближнему инфракрасному диапазонам. Видеокамеры попарно закреплены в углах помещения размером 3×5 м, в котором расположен очаг возгорания, и ориентированы на центр помещения (рис. 2). Предварительные результаты экспериментальных

исследований позволили установить, что время обнаружения возгорания составляет $0,7 \pm 0,2$ с, время окончательного подтверждения возгорания, определения объема и пространственного положения пламени — $1,2 \pm 0,34$ с, пространственные координаты центра очага возгорания определены с точностью 0,05 м при расстоянии от видеокамер до очага 3,5 м.



Рис. 2

В отличие от аналогов система быстро реагирует на возгорание и обеспечивает определение пространственных координат пламени. Использование полученных трехмерных координат пламени позволяет автоматически включить систему пожаротушения непосредственно в области очага пламени.

Работа поддержана грантом МК-6351.2010.9, грантом ФЦП (Госконтракт П1006 от 27 мая 2010 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2393544 РФ, G08B. Способ и устройство обнаружения пламени / Чар Хао-Тин и др. Заявл. 20.06.09; опубл. 27.06.10. 24 с.
2. Патент № 5720604 США, F23N. Flame detection system / Kelly D. и др. Заявл. 15.10.96; опубл. 24.02.98. 16 с.
3. Гридин В. Н., Титов В. С., Труфанов М. И. Адаптивные системы технического зрения. М.: Наука, 2009. 441 с.
4. Сизов А. С., Титов Д. В., Труфанов М. И. Модульная встраиваемая интеллектуальная оптико-электронная система видеонаблюдения // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 9. С. 52—57.
5. Титов В. С., Труфанов М. И. Аппаратно-ориентированные алгоритмы и устройства обработки изображений на ПЛИС для распознающих систем технического зрения // Датчики и системы. 2009. № 8. С. 72—75.

Сведения об авторах

- Сергей Геннадьевич Емельянов** — д-р техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет, кафедра машиностроительных технологий и оборудования, Курск
- Максим Игоревич Труфанов** — канд. техн. наук, доцент; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск;
E-mail: temp1202@mail.ru
- Дмитрий Витальевич Титов** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: amazing2004@inbox.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

В. С. ПАНИЩЕВ, О. Б. СЛАВКОВА

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАНЕСЕНИЯ ЭТИКЕТКИ НА ПОДВИЖНЫЙ ОБЪЕКТ

Предложена схема управления шаговым двигателем для автоматизированной системы, предназначенной для переноса самоклеящейся этикетки с ленты (подложки) на подвижный объект.

Ключевые слова: микроконтроллер, автоматизированная система управления, самоклеящаяся этикетка.

В организации обслуживания технологического процесса важную роль играют локальные системы, предназначенные для контроля и управления отдельными, не связанными между собой объектами, и в иерархической системе управления образующие нижний уровень (например, автоматизированная система управления автомата для нанесения самоклеящихся этикеток — марок, ценников и т.п. — на подвижный объект). Применение таких систем актуально для пищевой, косметической, фармацевтической промышленности.

В настоящей статье рассмотрена схема управления шаговым двигателем для автоматизированной системы нанесения этикетки на подвижный объект. В системе используются оптический датчик с регулируемой чувствительностью, определяющий наличие объекта в зоне действия, и индуктивный датчик, контролирующий положение этикетки.

Для согласования скорости движения объекта и этикетки в системе применен контроллер. Перед началом работы необходимо записать в память контроллера данные об оптимальном времени прохождения этикетки для определения скорости движения ленты, так как с увеличением диаметра наматываемого рулона (подложки) увеличивается угловая скорость, а следовательно, и линейная. Скорость корректируется благодаря сравнению с зафиксированным в памяти оптимальным временем прохождения этикетки, что приводит к стабильной и бесперебойной работе автомата в целом [см. лит.].

Для реализации автоматического режима управления необходимо на основе показаний датчика выполнять сравнение времени цикла с эталонным (заданным). Началом отсчета времени цикла является команда включения подачи этикетки датчика, окончанием — сигнал остановки, поступающий с датчика. Поскольку в процессе работы радиус барабана с этикетками уменьшается, необходимо изменять скорость его вращения для согласования со скоростью движения объекта, т.е. необходимо рассчитать изменение частоты или текущее значение частоты следования импульсов для шагового двигателя.

Рассмотрим продольное сечение барабана с самоклеящейся этикеткой (рис. 1), где f и f_1 — начальное и текущее значение частоты вращения шагового двигателя; T и T_1 — начальное и текущее время одного цикла; R , α и R_1 , α_1 — начальные и текущие значения радиуса и угла для барабана с самоклеящейся этикеткой; $l=l_1=\text{const}$ — размер этикетки:

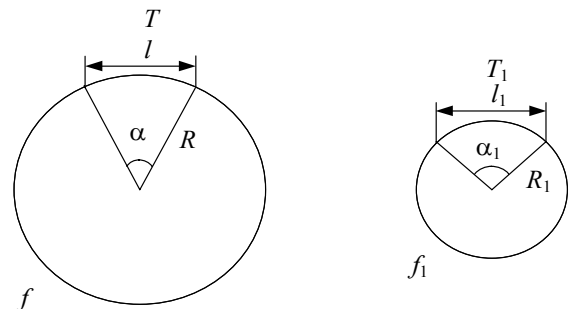


Рис. 1

$$l = \vartheta T, \quad l_1 = \vartheta_1 T_1,$$

ϑ, ϑ_1 — начальная и текущая линейная скорость вращения барабана с этикеткой.

Для того чтобы этикетки подавались непрерывно и с одинаковой скоростью, необходимо обеспечить постоянную скорость линейного вращения барабана с этикетками, т.е. $\vartheta = \vartheta_1 = \text{const}$.

Поскольку необходимо обеспечить прохождение расстояния, равного ширине этикетки, то:

$$\frac{2\pi R}{360} \alpha = \frac{2\pi R_1}{360} \alpha_1, \quad \frac{R}{R_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha}.$$

Таким образом, зная начальные и промежуточные значения R, R_1 и α, α_1 , можно рассчитать необходимую частоту вращения. Однако в реальных условиях введение дополнительных датчиков для измерения этих параметров усложнит систему, в то же время

$$\frac{R}{R_1} = \frac{f_1}{f} = \frac{T_1}{T}, \quad f_1 = \frac{T_1}{T} f.$$

Таким образом, зная T, T_1 и f , можно определить текущее значение частоты вращения двигателя, обеспечивающее постоянную линейную скорость вращения.

Схема устройства управления шаговым двигателем для автоматизированной системы нанесения этикеток на подвижный объект содержит контроллер двигателя, микроконтроллер, устройство индикации, переключатель режима, кнопки, источник питания, датчики [см. лит.].

Оптический датчик 1 (D1) сигнализирует о необходимости включения подачи этикетки, как только объект попадает в зону его действия. Индуктивный датчик 2 (D2) сигнализирует о необходимости остановки подачи этикетки, что позволяет контролировать положение этикетки, а также время прохождения. Микроконтроллер получает и обрабатывает команды от датчиков D1 и D2, устанавливает значение частоты вращения двигателя с помощью кнопок и отображает ее на цифровом индикаторе, переключает режимы работы (автоматический или ручной), подает команду управления на контроллер двигателя. Контроллер управляет работой шагового двигателя, перемещающего ленту с этикетками.

Принципиальная электрическая схема представлена на рис. 2.

В качестве D1 используется реагирующий на рассеянное отражение от предмета датчик объекта ВБО-М18-76У-5111-СА; в качестве D2 — датчик этикетки ВБИ-М08-45У-1121.

Для вращения барабана с этикетками выбран шаговый двигатель FL86STH80-4208А с контроллером SMCD 4503. Управляющий микроконтроллер реализован на базе ATmega32. Цифровой пятиразрядный светодиодный индикатор находится на лицевой панели блока управления и отражает скорость. Он состоит из двух трехразрядных цифровых индикаторов ВА56-12SRWA, установленных последовательно, один разряд которых не используется.

Для разрабатываемой схемы необходим источник питания, обеспечивающий стабильную работу и удовлетворяющий предъявляемым требованиям по напряжению и току.

Шаговый двигатель управляется контроллером SMCD 4503, которому для нормальной работы необходимо постоянное напряжение 12—42 В при токе 7 А. Для работы управляющего контроллера (имеющего собственный стабилизатор напряжения по уровню 5 В) и датчиков (с напряжением питания 10—30 В) необходимо обеспечить ток не более 0,5 А. Охлаждение блоков, находящихся в корпусе, осуществляется с помощью двух вентиляторов, суммарно потребляющих менее 0,5 А. Исходя из вышеизложенного источник питания должен удовлетворять следующим требованиям: $U_{\text{пит}} = -24$ В, $I_{\text{max}} = 8$ А. Такие значения обеспечивает импульсный источник питания PPS-200-24.

В предложенной схеме датчики D1 и D2 подключаются к входам прерывания микроконтроллера INT0 и INT1. Таким образом, время между возникновением прерываний соответствует времени прохождения одной этикетки от D1 до D2.

Кварцевый генератор, задающий частоту работы микроконтроллера (16 МГц), подключается к линиям XTAL1 и XTAL2. Питание подключается к входам VCC и GND.

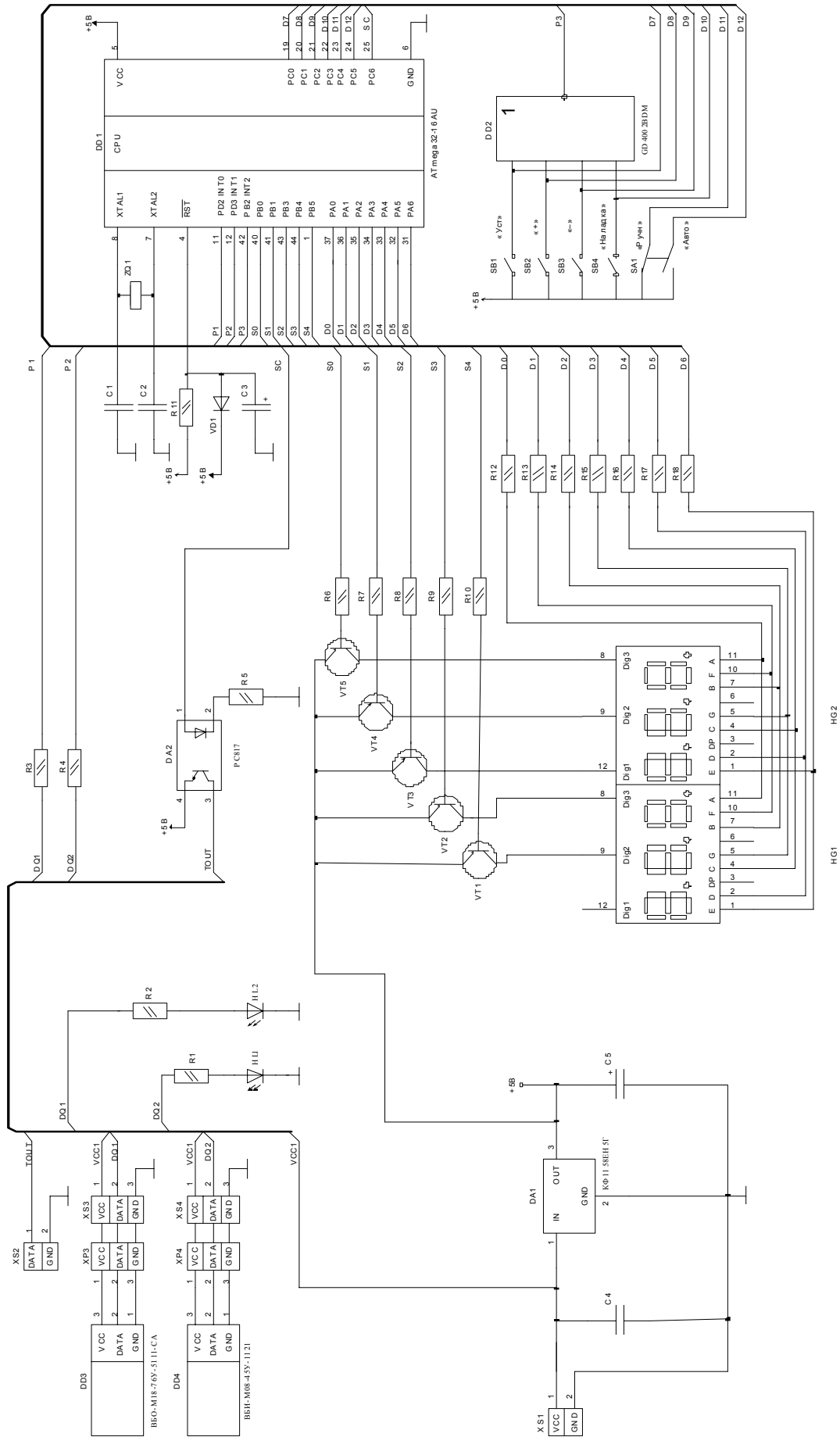


Рис. 2

Начальная установка частоты вращения двигателя, а также установка частоты в ручном режиме работы выполняется с помощью кнопок „Уст“, „+“, „-“, „Наладка“. Выходы кнопок подключены к входам порта С, а также ко входам логического элемента ИЛИ-НЕ, выход которого соединен со входом прерывания INT2. Численные значения частоты вращения двигателя выводятся на линии порта А и отображаются на семисегментных индикаторах. Выбор разряда индикатора выполняется с помощью линий порта В. Линия РС6 является управляющей для контроллера двигателя, импульсный сигнал, задающий частоту вращения, подается на эту линию.

При нажатии на любую кнопку на входе INT2 появляется логический „0“, и микроконтроллер вызывает процедуру обработки прерывания. Идентификация нажатой кнопки выполняется по значению „1“ на входах порта С, причем при обнаружении первой „1“ проверка остальных входов порта не выполняется. Таким образом, обнаружение и обработка нажатий кнопок выполняются в следующем порядке: „Уст“, „+“, „-“, „Наладка“, „Ручн“ и „Авто“ [см. лит.].

В результате испытаний предлагаемой системы управления были выявлены погрешности регулировки скорости вращения барабана с этикетками, вызванные нестабильностью работы механических частей системы и связанными с этим скачками показаний датчиков. Проблема была решена за счет введения ограничений на максимальные скачки (максимально допустимая частота — 20 000 Гц), а также на единичный выброс, т.е. возможно однократно изменить частоту вращения шагового двигателя не более чем на +5 % и на -50 % от предыдущего значения.

Предложенная схема управления шаговым двигателем для автоматизированной системы нанесения этикетки на подвижный объект позволила повысить скорость и увеличить точность нанесения самоклеящихся этикеток на подвижный объект, а также обеспечить режим работы системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

Панищев В. С., Решетникова В. П., Чернецкая И. Е. Блок управления автоматизированной системой нанесения этикеток на подвижный объект // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 9. С. 58—62.

Сведения об авторах

- Владимир Славиевич Панищев** — канд. техн. наук, доцент; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: gskunk@rambler.ru
- Оксана Борисовна Славкова** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: oksana_slavkova@mail.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

Г. Ю. АКУЛЬШИН, М. В. БОБЫРЬ, Т. А. ШИРАБАКИНА

СИСТЕМА ФИКСАЦИИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Модернизация оборудования с ЧПУ возможна за счет усовершенствования средств управления станком путем внедрения оптико-электронных систем контроля производственного процесса. Рассмотрены существующие системы и предложена оптико-электронная система управления электрореологическим эффектом, приведен алгоритм ее работы.

Ключевые слова: оптико-электронные системы, электрореологический эффект, оборудование с ЧПУ, зажимные устройства.

Введение. Современные станки позволяют осуществлять высокоскоростную обработку (ВСО) деталей, тем самым сокращая время обработки и повышая качество выпускаемой продукции. Однако при ВСО в режиме реального времени на оборудовании с ЧПУ снижается точность обработки поверхностей деталей, что, в свою очередь, приводит к браку, который, согласно статистике, достигает 25 % [1].

Внедрение оптико-электронных систем позволяет осуществлять бесконтактный и оперативный контроль положения деталей и состояния обрабатываемых поверхностей.

Анализ существующих методов контроля точности. К основным причинам появления брака (бочкообразности или конусности) при обработке деталей на оборудовании с ЧПУ относятся: пространственные отклонения шпинделя или бабки станка от заданного положения; деформация поверхностей детали, возникающая под действием сил резания; нагрев обрабатываемой поверхности детали или режущего инструмента; погрешности установки заготовки в устройстве крепления и ее деформация при зажиме [2].

На современном этапе развития приборо- и машиностроительных предприятий для закрепления деталей при ВСО на прецизионном оборудовании с ЧПУ используются гидравлические, пневматические и прочие зажимные устройства. Однако существенным недостатком всех способов крепления является контактный метод фиксации заготовки, что приводит к деформации поверхностей детали при ее зажиме. При этом контроль позиционирования закрепленных деталей осуществляется с помощью оптико-электронных видеосистем, имеющих разрешающую способность порядка 50 мкм.

С целью повышения точности фиксации и позиционирования деталей авторы предлагают использовать оптико-электронные лазерные системы, имеющие разрешающую способность порядка 16,7 мкм. Другими важными преимуществами лазерных систем являются простота программирования и невосприимчивость к помехам, которые искажают информацию (например, к пыли или стружке), появляющимся в процессе обработки деталей. В условиях реального производства эти характеристики играют значительную роль. Для повышения надежности электронного оборудования рекомендуется в системах с числовым программным управлением использовать схемы с автокоррекцией дрейфа нуля [3]. На рис. 1 приведена схема управления электрореологическим эффектом, здесь 1 — ПС-микроконтроллер, 2 — корпус устройства зажима, 3 — деталь сложной формы, 4 — электровязкая суспензия, 5 — электроды, 6 — оптико-электронная система (ОЭС), 7 — центрирующее реле, 8 — электродвигатель.

Работа оптико-электронной лазерной системы описывается следующим образом: излучатель лазерного пучка ОЭС 6 сканирует поверхность детали 3. Приемник отраженного

сигнала ОЭС обрабатывает сигнал, отраженный от поверхности детали, и передает его на вход двухкоординатного измерительного устройства [4].

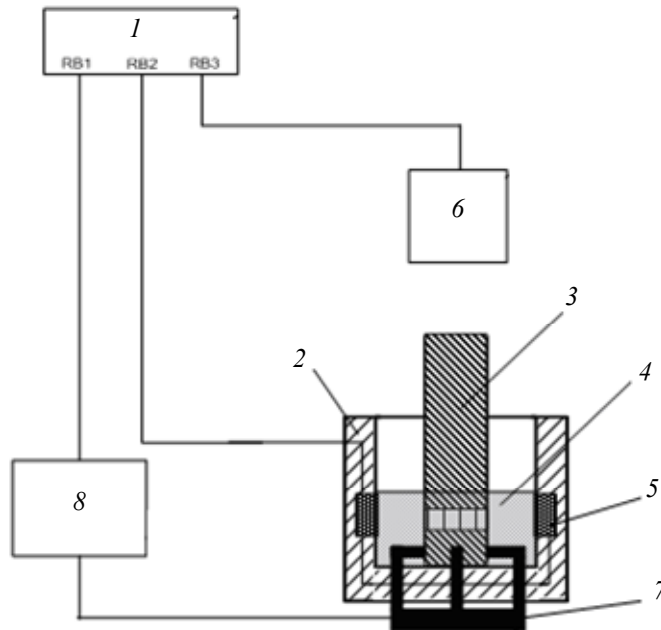


Рис. 1

Расстояние от преобразователя информации до координаты на контролируемом объекте в точке $A(x_a, y_a, z_a)$ (рис. 2) определяется с помощью следующих уравнений:

$$x_a = \frac{x_{fa}(D + y_1 \operatorname{tg}(V_a - W_a))}{x_{fa} + F \operatorname{tg}(V_a - W_a)}, \quad (1)$$

где x_{fa} — размер, зависящий от фокусного расстояния F приемника отраженного сигнала по оси X ; D — расстояние от начала координат O до местоположения O_1 излучателя лазерного пучка по оси X ; y_1 — расстояние от местоположения двухкоординатного измерительного источника до начала координат O по оси Y ; V_a — угол направления лазерного пучка относительно оси Y ; W_a — отрицательный угол лазерного пучка относительно оси Y ;

$$y_a = \frac{(DF - y_1 x_{fa})}{x_{fa} + F \operatorname{tg}(V_a - W_a)}. \quad (2)$$

Координата точки z_a отражения пучка вычисляется как

$$z_a = x_a \frac{z_{fa}}{x_{fa}} = z_{fa} \frac{(D + y_1 \operatorname{tg}(V_a - W_a))}{x_{fa} + F \operatorname{tg}(V_a - W_a)}, \quad (3)$$

где z_{fa} — расстояние, зависящее от фокусного расстояния F приемника отраженного сигнала по оси Z .

Координаты в точке B на поверхности контролируемой детали описываются соотношениями, аналогичными (1)—(3). После расчета координат x_b и y_b находится размер контролируемой детали по формуле

$$l = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}. \quad (4)$$

Определенный по формуле (4) текущий размер обрабатываемой поверхности детали с лазерного излучателя поступает на вход ПИС-микроконтроллера I , где сравнивается с требуемым.

Если размер совпадает, то обработка продолжается. Если не совпадает, то необходимо определить разность между заданным размером и размером, полученным от лазерного излучателя ОЭС.

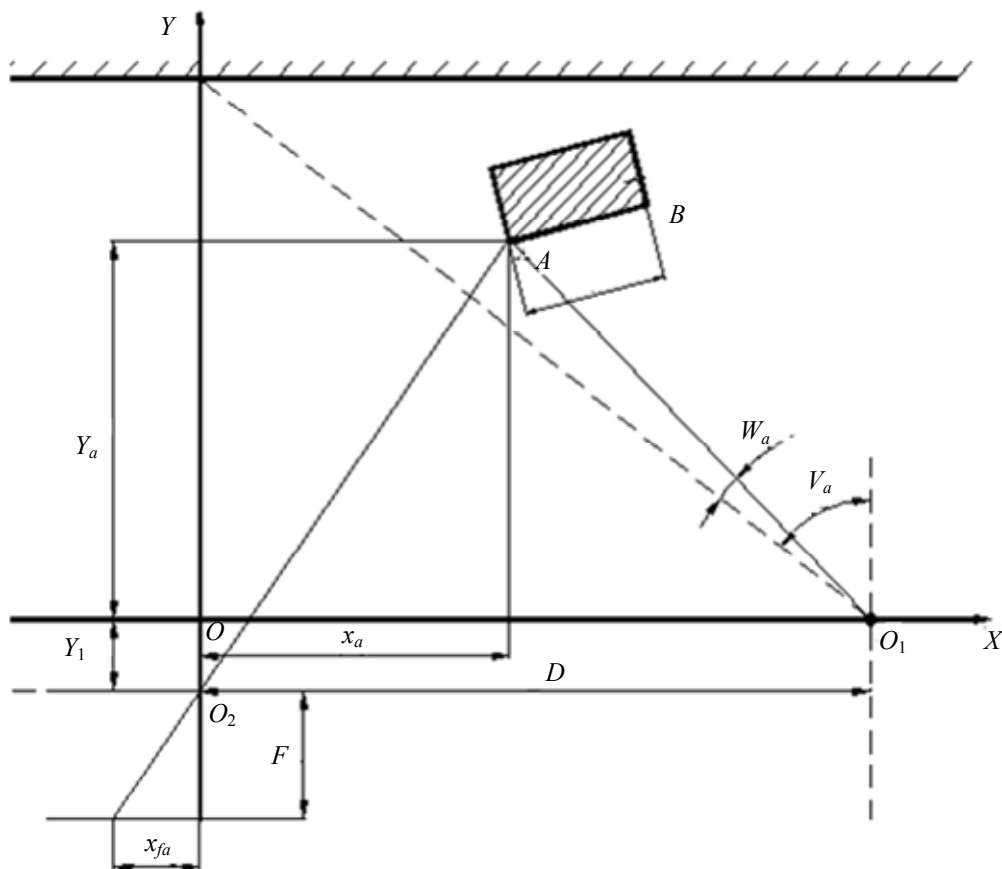


Рис. 2

Авторы предлагают принципиально новый способ фиксации деталей, основанный на использовании электрореологического эффекта. Его особенность заключается в том, что при воздействии электрического тока с помощью электродов 5 на электровязкую суспензию 4 (состав: трансформаторное масло — 45,8 %, диатомит — 50 %, олеиновая кислота — 4,2 %) суспензия переходит из жидкого состояния в твердое. Это свойство позволяет надежно фиксировать детали при ВСО. Другими отличительными особенностями разработки являются возможность зажима детали без ее деформации и возможность фиксации заготовок сложной формы изнутри, так как жидкая суспензия затекает в свободные полости.

Принцип работы оптико-электронной системы. Деталь для ВСО устанавливается в корпус устройства зажима, при этом оптико-электронная лазерная система в реальном времени отслеживает точность установки и центрирования детали относительно устройства и передает данные в ПИС-микроконтроллер, где они обрабатываются.

Если деталь установлена с погрешностями, то производится вычисление новых координат установки, которые затем подаются с выхода RB1 ПИС-микроконтроллера на электродвигатель, приводящий в действие центрирующее реле, перемещающее деталь в необходимое положение. Если деталь установлена без погрешностей, то с выхода RB2 ПИС-микроконтроллера подается сигнал для включения электродов, после этого под действием электрического тока электровязкая суспензия переходит из жидкого состояния в твердое и фиксирует деталь для дальнейшей ВСО. В случае, когда координаты не совпадают с заранее заданными, производится их перерасчет и с ПИС-микроконтроллера подается сигнал на электродвигатель.

Заключение. Таким образом, предлагаемая оптико-электронная система управления электрореологическим эффектом позволяет модернизировать процесс установки деталей и тем самым обеспечить заданный режим ВСО. Положительный эффект достигается за счет использования оптико-электронной лазерной системы с высокой разрешающей способностью, которая позволяет распознавать компоненты детали и помогает точнее ее позиционировать, а использование электрореологического эффекта при зажиме детали исключает возможность появления деформаций обрабатываемых поверхностей.

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете в рамках федеральной целевой программы „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг., государственный контракт № 14.740.11.1003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобырь М. В., Титов В. С. Интеллектуальная система управления температурными деформациями при резании // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 5. С. 3—7.
2. Бобырь М. В., Емельянов С. Г., Титов В. С. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе нечеткой логики. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2009. 232 с.
3. Бобырь М. В., Титов В. С., Милостная Н. А., Беломестная А. Л. Метод коррекции дрейфа нуля операционных усилителей // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 9. С. 72—75.
4. Патент № 2288809 РФ. Устройство управления точностью обработки деталей / М. В. Бобырь, В. С. Титов, Н. А. Милостная. 2006.

Сведения об авторах

- Григорий Юрьевич Акульшин** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: ak.grigoriy@gmail.com
- Максим Владимирович Бобырь** — канд. техн. наук, доцент; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: fregat_mn@rambler.ru
- Тамара Александровна Ширабакина** — канд. техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет, кафедра КиТ ЭВС, Курск; E-mail: tas_06@mail.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

В. И. СЫРЯМКИН, В. С. ШИДЛОВСКИЙ, Г. С. ГЛУШКОВ,
С. О. ЛУНЕВ, С. И. БУРМАНТОВ

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Рассматриваются вопросы проектирования и применения интегрированных структурно-перестраиваемых корреляционно-экстремальных навигационных систем, синтезированных на основе структурно-перестраиваемых вычислительных сред.

Ключевые слова: изображение, навигационные системы, перестраиваемые структуры, корреляционно-экстремальные алгоритмы.

Интегрированные структурно-перестраиваемые корреляционно-экстремальные навигационные системы (ИСПКЭНС), принцип действия которых основан на анализе взаимно корреляционной функции (ВКФ) между текущим и эталонным изображениями (соответственно ТИ и ЭИ), широко используются для управления транспортными роботами, автоматизации судовождения и управления летательными аппаратами [см. лит.].

Задачей ИСПКЭНС является определение положения объекта на основе вычисления оценки

$$\left. \begin{aligned} \hat{v} &= \arg \operatorname{extr} R_i(F_1, F_2(v)), \quad i = \overline{1, 3}; \\ R_1 &= \int (F_1 - F_2(v)) dx dy; \\ R_2 &= \int F_1 \times F_2(v) dx dy; \\ R_3 &= \int (F_1 \times F_2(v))^3 dx dy, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где R_i — мера близости ТИ и ЭИ: R_1 — разностный корреляционный алгоритм (КА), R_2 — классический КА, R_3 — квадратический КА; F_1 — ТИ, $F_2(v)$ — ЭИ [см. лит.].

После получения необходимой информации происходит сопоставление текущих и эталонных изображений следующим образом:

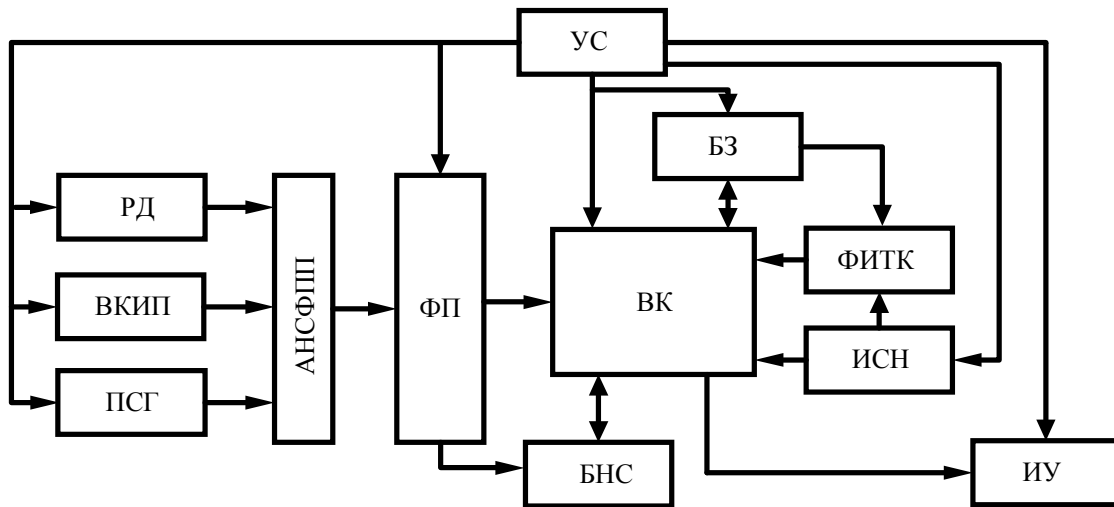
$$\left\{ \begin{array}{ll} M_{\text{ТИ}}^{\text{PЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{PЗ}}, & M_{\text{ТИ}}^{\text{ИЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{ИЗ}} \\ M_{\text{ТИ}}^{\text{TЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{TЗ}}, & M_{\text{ТИ}}^{\text{АЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{АЗ}} \\ M_{\text{ТИ}}^{\text{СЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{СЗ}}, & M_{\text{ТИ}}^{\text{ТПЗ}} \rightarrow M_{\text{ЭИ}}^{\text{ТПЗ}} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $M^{\text{PЗ}}$, $M^{\text{ИЗ}}$, $M^{\text{TЗ}}$, $M^{\text{АЗ}}$, $M^{\text{СЗ}}$, $M^{\text{ТПЗ}}$ — соответственно матрицы информативных признаков (параметров) текущих изображений, формируемых в данный момент времени радиолокационным, инфракрасным, телевизионным, астрономическим, спутниковым и топографическим картографическим указателями истинного (ТИ) и заданного (ЭИ) курса. Эталонные матрицы могут формироваться в виде снимков (фотографий) и математических моделей территорий.

Обобщенный корреляционный алгоритм сравнения изображений в ИСПКЭНС содержит пять следующих этапов: формирование ТИ, предварительная обработка ТИ, сегментация и кодирование ТИ, формирование корреляционных функций и их анализ.

Достичь высокой производительности возможно благодаря параллельной обработке информации, осуществляемой с помощью многопроцессорных систем. Одним из типов многопроцессорных систем являются однородные вычислительные среды, представляющие собой матрицы, состоящие из одинаковых ячеек, т.е. процессорных элементов (перестраиваемых автоматов), соединенных регулярными связями. Наиболее важными преимуществами таких сред являются: возможность использования вычислительной мощности большого числа процессорных элементов, работающих параллельно; высокая регулярность межпроцессорных связей, которая облегчает разработку топологии многопроцессорных СБИС; слабая зависимость времени проектирования такой системы от числа процессорных элементов в ней; простота практически неограниченного модульного расширения системы; высокая надежность, обеспечиваемая за счет однотипности используемых в среде элементов, которые могут перестраиваться на решение требуемых задач в случае выхода из строя соседних элементов.

Вариант ИСПКЭНС, основанный на параллельных вычислениях и реализованный согласно выражениям (1) и (2), приведен на рисунке. Здесь даны следующие обозначения: РД — радиолокационный датчик, ВКИП — видеокамера с инфракрасной подсветкой, ПСГ — приемник сигналов ГЛОНАСС, АНСФПП — адаптивный нейросетевой фильтр подавления помех, ФП — функциональный преобразователь, УС — устройство синхронизации, БЗ — база знаний, содержащая эталонные изображения, ВК — вычислительный комплекс, БНС — блок настройки структуры вычислительного комплекса, ИУ — исполнительное устройство, ИСН — инерциальная система навигации, ФИТК — формирователь изображений по топологической карте.



Принципиальной особенностью предлагаемых вычислительных сред является повышенная технико-экономическая эффективность цифровой обработки сигналов, достигаемая с переходом на автоматный принцип обработки, включающий в себя достоинства программного и аппаратного подходов; при этом программная составляющая (алгоритмы обработки) реализуется в архитектуре вычислительных сред, а аппаратная — в параметрах и архитектуре перестраиваемых автоматов [см. лит.].

Функциональная схема ИСПКЭНС содержит блок моделей, генерирующих эталонную информацию, блок вычисления (формирования) функционала сравнения (в частности, взаимно корреляционной функции) эталонной и текущей информации от датчиков, блок определения экстремума этого функционала. Общие принципы построения ИСПКЭНС могут быть применены для обработки текущей информации любой физической природы. В настоящее время на основе таких принципов создаются системы обработки данных от измерителей ха-

рактических поверхностных и пространственных физических полей Земли, излучений небесных тел, которые могут быть представлены в виде карты звездного неба или искусственных радиополей.

Скорость обработки предварительной информации с помощью структурно-перестраиваемых адаптивных алгоритмов на основе булевой алгебры в ИСПКЭНС является одной из важнейших ее характеристик, которая влияет на работу всей системы управления. Наибольшую производительность системы можно получить при аппаратной реализации алгоритма функционирования ИСПКЭНС в качестве специализированного логического устройства. Большинство таких устройств построено непосредственно по словесному описанию их работы без использования формализованных методов (автоматных таблиц, графов переходов и т.п.) и применяется лишь в некоторых наиболее сложных случаях, как правило, для построения отдельных подсистем и их минимизации.

Сложность описания при использовании упомянутых формализованных подходов определяется числом входов и состояний синтезируемого автомата и почти не зависит от сложности алгоритма и соответственно от сложности схемной реализации. Так, размер таблицы состояний автомата, имеющего n переменных и содержащего s триггеров, будет $2n \times 2s$, причем он одинаков как для самого простого, так и для самого сложного устройства.

Идеальным представляется случай, когда сложность описания алгоритма пропорциональна сложности его предстоящей реализации.

Высокая себестоимость разработки топологии интегральных схем диктует необходимость применения повторяющихся модульных структур, т.е. небольшого числа простых элементов разного типа. Задача состоит в определении набора элементарных ячеек многофункционального логического модуля, реализуемых наиболее эффективно и позволяющих наилучшим образом использовать потенциальные возможности технологии изготовления новых устройств.

На основании проведенных исследований было установлено, что настраиваемые логические модули для построения логических устройств исходя из специфики булевых формул, описывающих алгоритмы их функционирования, должны быть способны реализовать путем настройки произвольные функции n переменных, и лишь те из них, для которых булевы формулы неповторные или обладают малой повторностью переменных, что обеспечит построение модулей с малой элементной сложностью и малым числом внешних выходов.

При конструировании матричных реконфигурируемых вычислительных сред (РВС) необходимо преодолеть проблемы соединений и модульной организации РВС. Из многофункциональных логических модулей можно организовывать РВС таким образом, чтобы обеспечить выполнение различных видов обработки информации. Возможности и ограничения при организации соединений в РВС определяют быстродействие и оперативную гибкость данного устройства.

Представленные варианты технической реализации использованы в разработанной ИСПКЭНС. Для оценки общей работоспособности и определения точностных характеристик системы проводились испытания по двум методикам.

1. Объект двигался равномерно по прямолинейному, заранее размеченному участку местности. При этом фиксировались координаты, выдаваемые ИСПКЭНС, время выдачи и моменты прохождения контрольных точек.

2. Объект останавливался у каждой контрольной точки и с помощью ИСПКЭНС определялись смещения от точки ЭИ. Отметим, что при оценке точностных характеристик ИСПКЭНС по этой методике не учитываются ошибки, определяемые скоростью движения объекта.

Из таблицы следует, что среднее квадратическое отклонение (СКО) ошибок определения координат составляет 0,23—0,66 % от диапазона радиолокационной станции (РЛС).

Методика	Диапазон РЛС, миля	Среднее значение ошибки, м		СКО, м		Длина пути по кадру, м
		экспериментальное	теоретическое	нижняя граница	верхняя граница	
1	1	33	35	5,2	12,4	350
	3	56	57	14,3	33	750
	6	80	77	30	49,4	2500
	12	91	99	51,6	88	2600
2	1	2	0	6,2	14,8	350
	3	10	0	15,5	28,4	1500

Таким образом, в статье предложен оригинальный вариант ИСПКЭНС и приведены результаты ее экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Сырямкин В. И., Выскуб В. Г., Шидловский В. С. Устройства и системы автоматического управления высокой точности. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2009. 308 с.

Сведения об авторах

- Владимир Иванович Сырямкин** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет, Межвузовский учебно-научно-производственный центр „Технологический менеджмент“ ТГУ; директор
- Виктор Станиславович Шидловский** — канд. техн. наук; Томский университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра электронных систем автоматизации и управления; доцент
- Глеб Сергеевич Глушков** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; инженер-программист; E-mail: gvl@sibmail.com
- Сергей Олегович Лунев** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; техник-программист; E-mail: camel89@mail.ru
- Сергей Игоревич Бурмантов** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; техник-программист; E-mail: fregat007@sibmail.com

Рекомендована Юго-Западным государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

В. Н. НИКОЛАЕВ

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Обоснованы принципы построения инновационной инфраструктуры геоинформационной системы научно-производственного предприятия. Проанализирована возможность структурно-функциональной организации инновационной геоинформационной технологии как сложной автоматизированной системы.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, геоинформационная продукция, геопространственная информация, инновационное обеспечение.

Одним из ключевых подходов к повышению эффективности научно-промышленных предприятий в современных экономических условиях является создание и внедрение инновационных геоинформационных систем ГИС на основе геоинформационных технологий [1, 2].

Технологические процессы ГИС обеспечивают разработку и производство инновационной геоинформационной продукции (ГИП) за счет использования в технологических процессах значительного числа изобретений, моделей, лицензий, процессов „ноу-хау“ и т.д.; а также благодаря тому, что:

— большинство процессов анализа, обработки, управления информацией выполняется в звене „человек—информационные ресурсы“ и обладает значительной долей неопределенности и новизны;

— большая часть разрабатываемой и изготавливаемой ГИП в виде электронных массивов геопространственной информации, геопространственных информационных моделей, геопространственного информационного обеспечения используется в перспективных автоматизированных системах, решающих новые задачи.

Инновационная ГИС формирует качественно новый вид продукции, сочетающий свойства геопространственных и экономических данных [3]. Основная функция инновационной ГИС предприятия — обработка разнородной информации, привязка ее к геопространственным данным и формирование ГИП.

Функционально ГИС (см. рисунок) представляется в виде следующей взаимосвязанной совокупности компонентов (ресурсов) [4]:

1) техническое обеспечение (электронно-вычислительная техника и телекоммуникационная среда), обеспечивающее аппаратную реализацию поиска, хранения, обработки и доставки информации потребителям;

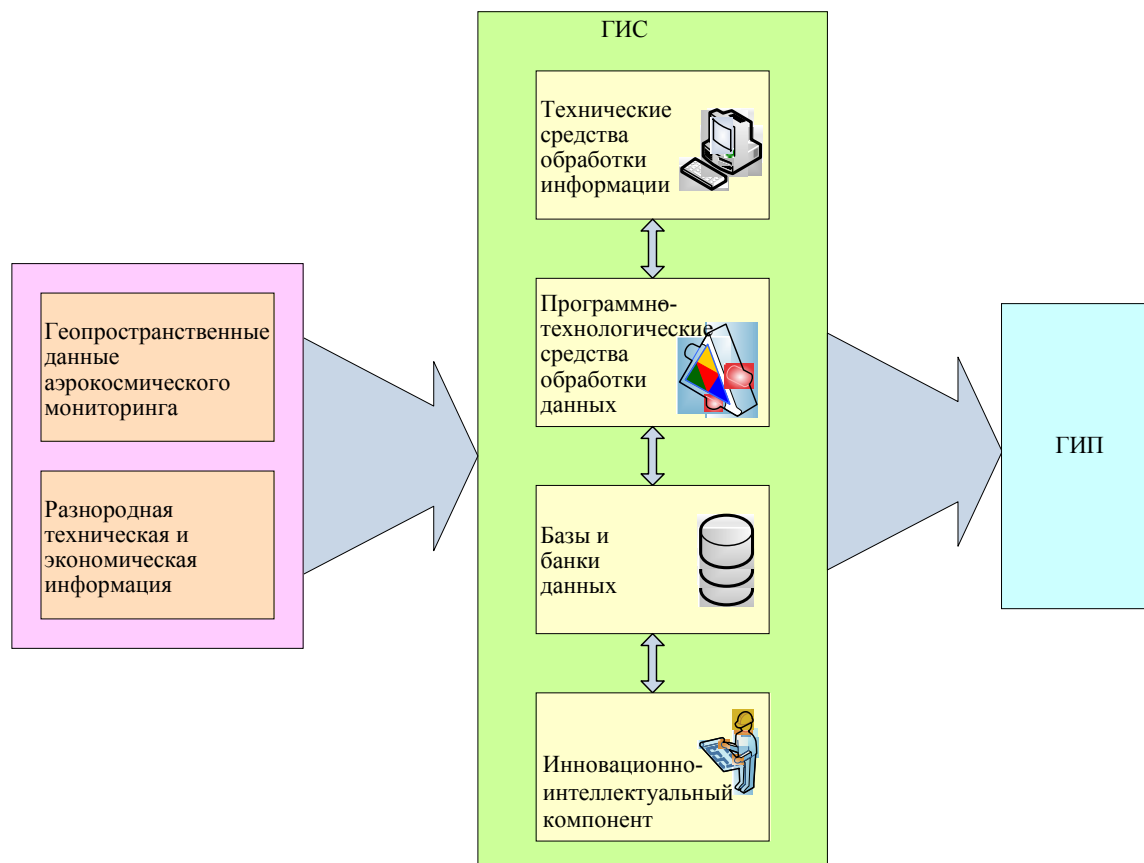
2) информационно-аналитическое обеспечение в составе баз данных, регламентирующее поддержание единого информационного пространства и единые правила обмена данными, является основой развития инновационной ГИС в целом;

3) программно-технологическое обеспечение, включая методы, алгоритмы, решения поисковых, экспертных и расчетно-аналитических задач, задач поддержки процессов принятия решений программных средств ГИС;

4) интеллектуальное (инновационное) обеспечение — квалифицированный персонал, владеющий технологиями экспертиз, аналитической работы для решения прикладных задач.

Анализ литературы показал, что инфраструктура ГИС должна включать системы управления ГИС и защиты ее информации, а также следующие основные подсистемы [4]:

- 1) получения разнородной технико-экономической информации (комплекс средств аэрокосмического мониторинга и средств поиска информации в информационных и коммуникационных средах);
- 2) регистрации и предварительной обработки информации;
- 3) хранения информации (распределенная система и автономные базы данных);
- 4) обработки и формирования ГИП;
- 5) подготовки, тиражирования ГИП и доведения их до потребителей.



Разрабатываемая ГИС, построенная на базе перечисленных подсистем, входящих в структуру автоматизированных систем предприятия, должна обеспечить эффективную поставку на государственный и корпоративный рынки геопространственной инновационной продукции.

Используя ГИС полного информационного состава, т.е. содержащую всю рассмотренную номенклатуру подсистем, возможно решать следующие технико-экономические задачи [4]:

- формировать и поддерживать свой сегмент информационного пространства в РФ на единой научно-технологической основе;
- проводить по заданным времени, месту, целям и задачам формирование ГИП, ориентированной на страны, регионы, объекты, технологии и т.д.;
- формировать и своевременно обновлять геопространственную информацию в распределенной государственной и корпоративной системе баз геоданных;
- предоставлять потребителю необходимую геопространственную информацию в требуемом формате;
- моделировать и прогнозировать развитие техногенных, экономических, социальных ситуаций на территории РФ и за ее пределами;

— анализировать информационную, технологическую и экономическую безопасность объектов и территорий РФ и других стран;

— повышать эффективность информационного взаимодействия всех заинтересованных министерств и ведомств, других государственных органов РФ.

Подсистемы обработки ГИС должны обеспечить:

1) поддержку процессов принятия решений различными должностными лицами государства, корпораций, предприятий по организации сбора, обработки и представления данных;

2) решение прогностических, оптимизационных, информационно-расчетных и аналитических задач с целью обеспечения процессов планирования и контроля технико-экономических проектов и федеральных целевых программ;

3) координацию использования полученного геопространственного информационного обеспечения по зонам ответственности в органах государственного и корпоративного управления в РФ;

4) формирование и поддержание в актуальном состоянии тематических баз данных;

5) распределение и доведение информации по „горизонтали“ и „вертикали“ в структуре государства и корпораций.

При этом ГИС должна соответствовать следующим принципам.

1. Осуществлять комплексную обработку геопространственной информации — поиск, регистрацию, аналитическую обработку, формирование, обновление, хранение и представление.

2. Обеспечивать принятие решений по оптимальному управлению ресурсами корпораций и предприятий.

3. Включать в себя технологии таких систем, как телекоммуникационные, геоинформационные, автоматизированные системы обработки данных и т.д.

4. Характеризоваться широким набором данных, собираемых с помощью разных методов и технологий. При этом следует подчеркнуть, что распределенные базы данных объединяют в себе как базы данных обычной (цифровой) информации, так и мультимедийной.

5. Использовать максимальное количество методов и процессов прогнозирования, применяемых в других автоматизированных системах.

6. Применять методы автоматизированного проектирования и решать ряд специальных проектных задач.

7. Являться развитием автоматизированных систем документационного обеспечения с использованием современных технологий мультимедиа.

8. Иметь потенциал широкого применения в различных автоматизированных системах государственного и корпоративного управления.

9. Позволять применение ГИП на уровне, доступном любому специалисту.

10. Обработка должна осуществляться при взаимодействии эксперта-аналитика с информационно-вычислительными ресурсами.

11. Система должна быть ориентирована на пользовательские модели данных с учетом предметной области и особенностей приложений, определяющихся классами объектов, наборами атрибутов, расширенными возможностями реализации запросов и операций над ними, позволяющих обрабатывать геопространственную информацию по распределенной технологии, с целью повышения гибкости и производительности систем.

12. Модули и приложения ГИС должны образовывать единую пользовательскую среду инструментальных систем. К ее ядру должны подключаться тематически ориентированные модули, дополняемые приложениями для управления моделями данных, построения цифровых моделей, обработки изображений, выполнения расчетов, анализа и проектирования, организации интерфейсов.

В настоящей работе проанализированы возможности структурно-функциональной организации инновационной ГИС как сложной автоматизированной системы. На основе полученных результатов сформулированы принципы построения и функционирования ГИС предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДеМерс М. Н. Геоинформационные системы. Основы. М.: Дата+, 1999.
2. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998.
3. Вендров А. М. Современные методы и средства проектирования информационных систем. М.: Финансы и статистика, 1998.
4. Николаев В. Н. Модель процесса функционирования иерархической многофазной геоинформационной системы // Системы управления и информационные технологии. 2005. № 3. С. 70—74.

Сведения об авторе

Виктор Николаевич Николаев — д-р техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет, кафедра информационных систем и технологий, Курск;
E-mail: nikovic54@yandex.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СРЕДСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 519.711

А. В. ЛЕНЬШИН, А. В. ПЕРОВА

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

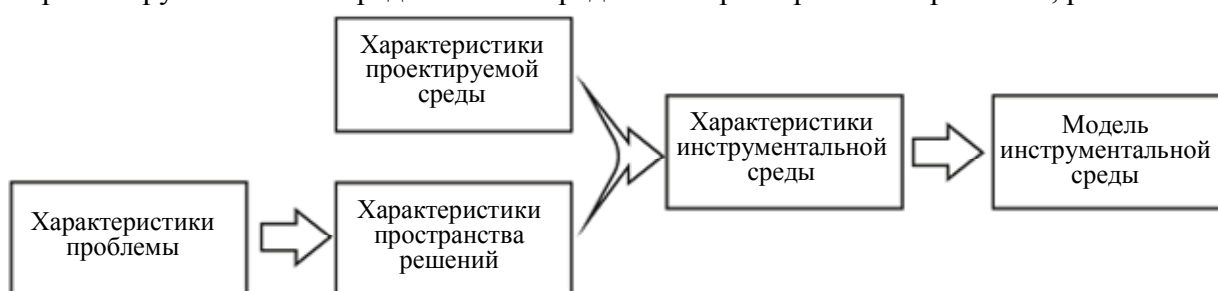
Рассмотрены основные инструментальные среды проектирования экспертных систем, изложены основные принципы выбора оптимальной экспертной системы.

Ключевые слова: экспертная система, инструментальная среда проектирования, язык программирования.

Выбор инструментальных средств построения экспертных систем (ЭС) определяется кругом задач, которые должна решать проектируемая ЭС, и функциональными возможностями инструментального комплекса.

Если успех проекта зависит от срока разработки, следует выбирать инструментальную среду со встроенными средствами формирования пояснений и развитым пользовательским интерфейсом, поскольку разработка интерфейса — один из наиболее трудоемких этапов проектирования системы. Необходимо как можно быстрее провести испытания новой инструментальной среды [1].

На рисунке приведена схема выбора инструментальной среды проектирования ЭС. При выборе инструментальной среды важно определить характеристики проблемы, решаемой ЭС.



Выяснив характеристики проблемы, можно определиться со свойствами пространства поиска решений (размеры, достоверность и надежность данных и знаний, факторизуемость). Затем характеристики рассматриваются совместно с предполагаемыми характеристиками порождающих правил, прямой цепочкой вывода или возможностями формирования пояснений и вырабатываются желаемые характеристики инструментальной среды.

При выборе инструментальной среды немаловажное значение имеет и то, насколько проста среда в обращении и как быстро проектировщики ЭС могут освоить ее, какую поддержку в этом готова оказать им фирма-изготовитель среды и какова стоимость этого программного продукта.

При выборе области применения следует учитывать, что если знание, необходимое для решения задач, постоянное, четко формулируемое и связано с вычислительной обработкой, то обычные алгоритмические программы будут целесообразным способом решения проблем в этой области.

Современная ЭС ни в коем случае не устранил потребность в реляционных базах данных, статистическом программном обеспечении, электронных таблицах и системах текстовой обработки. Но если результативность задачи зависит от знания, которое является субъективным, изменяющимся, символьным или вытекающим частично из соображений здравого смысла, тогда область может обоснованно выступать претендентом на ЭС [2].

Обычно при разработке ЭС полученные от эксперта специфические знания вводятся в систему. Некоторые системы могут содержать стратегии одного индивида. Ключевой шаг в создании ЭС — найти эксперта. В процессе разработки и последующего расширения системы обычно вместе работают инженер по знаниям и эксперт. Инженер помогает эксперту структурировать знания, определять и формализовать понятия и правила, необходимые для решения проблемы [3].

Разработчики ЭС COMPASS следующим образом аргументировали свое решение выбрать для выполнения проекта инструментальную среду КЕЕ: среда оснащена лучшими средствами интерфейса и более развитыми средствами редактирования; поддержка этой среды со стороны фирмы-производителя организована лучше, чем у ее конкурентов [2].

Большинство рекомендаций, относящихся к методике проектирования систем, основанных на правилах, сохраняют свою силу и при использовании в качестве основного инструмента проектирования языка CLIPS. В частности, работая с CLIPS, нужно стараться так организовать систему правил, чтобы каждое из них было как можно проще. Эта программа относительно проста и включает всего 35 правил, тогда как в реальных ЭС их может быть значительно больше. В прототипе системы R1/XCON, который был разработан в 1980 г., содержалось около 750 правил, причем по мере совершенствования системы их число росло и к 1984 г. достигло 3300. В среднем каждое правило в R1 анализирует шесть условий и выполняет три действия [3].

Одной из первых многофункциональных сред искусственного интеллекта является LOOPS, в которой в рамках единой архитектуры обмена сообщениями были объединены четыре парадигмы программирования. Процедурно-ориентированное программирование было представлено языком LISP, в котором активным компонентом являются процедуры, а пассивным — данные (несмотря на то что в LISP процедуры сами по себе также являются данными). В системах КЕЕ и LOOPS поведение объектов описывается в терминах множества порождающих правил, как это сделала фирма „Aikins“ в системе CENTAUR. В средах КЕЕ и Knowledge Craft к перечисленным выше парадигмам добавлено логическое программирование на языке PROLOG. Новая версия КЕЕ (KAPPA-PC) предоставляет в распоряжение программиста более широкий набор стилей для комбинирования правил, объектов и процедур. Дедуктивную порождающую систему довольно просто эмулировать на языке PROLOG.

Успешный опыт применения идей логического программирования, в частности создание программы МЕСНО, продемонстрировал ряд явных отклонений от синтаксиса исчисления предикатов первого порядка и его процедурной интерпретации в стандартной версии PROLOG. Некоторые семантические и синтаксические ограничения в программах МЕСНО и PLANNER до сих пор не преодолены в системах, базирующихся на языках логического программирования [2].

Встроенный в PROLOG режим управления соответствует стратегии обратного логического вывода, используемой в системах, подобных MYCIN. Рекурсивные структуры данных можно организовать с помощью фраз языка PROLOG, которые содержат комплексные термы. Языковые средства PROLOG позволяют программисту разработать собственный механизм

обработки неопределенности, причем не исключается и использование коэффициентов уверенности. Пользуясь языком PROLOG, программист в качестве „бесплатного приложения“ получает в свое распоряжение следующие возможности:

- индексированную базу данных фраз, которые можно использовать для представления правил, процедур или данных;
- универсальный механизм сопоставления, который позволяет выполнять сопоставление данных и шаблонов;
- стратегию управления, основанную на правилах нисходящего поиска и вычислении слева направо [3].

На основании рассмотрения некоторых инструментальных сред проектирования экспертных систем можно сказать, что фактор эффективности и удобства их применения может сыграть решающую роль при выборе непосредственно структуры и стратегии ЭС для соответствующего применения, также допускается использование смешанных стратегий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М.: Издательский дом „Вильямс“, 2006. 1152 с.
2. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. М.: Горячая линия-Телеком, 2010. 520 с.
3. Частиков А. П., Гаврилова Т. А., Белов Д. Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 608 с.

Сведения об авторах

- Андрей Валентинович Леншин** — д-р техн. наук, профессор; Военный авиационный инженерный университет, кафедра авиационных радиоэлектронных комплексов, Воронеж; E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru
- Алена Викторовна Перова** — Военный авиационный инженерный университет, кафедра авиационных радиоэлектронных комплексов, Воронеж; инженер; E-mail: perovalyena@mail.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

УДК 004.42

В. И. СЫРЯМКИН, Д. С. ЖДАНОВ, А. Ш. БУРЕЕВ, А. В. ОСИПОВ, А. Ю. ОСИПОВА

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКАЯ СИСТЕМА

Рассмотрены принципы функционирования разработанной авторским коллективом телемедицинской системы; описываются медицинские диагностические приборы, интегрируемые в ее состав.

Ключевые слова: телемедицинская система, неинвазивная диагностика, программно-аппаратный комплекс, интегрированные системы.

Телемедицина, по определению ВОЗ, — метод предоставления услуг по медицинскому обслуживанию там, где расстояние является критическим фактором.

Одно из главных достоинств данного метода — возможность предоставить проживающим в отдаленных районах пациентам высококвалифицированную помощь специалистов ведущих медицинских центров. Поэтому в России, территория которой охватывает более десятка часовых поясов, развития телемедицинских систем требует сама география страны.

Возможность консультирования с коллегами из крупных медицинских центров снимает проблему профессиональной изолированности медработников небольших населенных пунктов. Врачи в процессе регулярного консультирования получают дополнительный опыт и знания.

В настоящей статье описан разработанный авторами программно-аппаратный комплекс „Интеллектуальная телемедицина“, позволяющий объединить систему медицинского документооборота и обеспечить конфиденциальность персональной информации; обеспечивать проведение дистанционных консультаций; интегрировать в телемедицинскую сеть специализированные медицинские приборы: оптико-телевизионный кольпоскоп „ВИКОМЕД“ (рис. 1) (визуализирующее устройство телемедицины) и интеллектуальную автоматизированную систему контроля состояния капельниц (рис. 2).

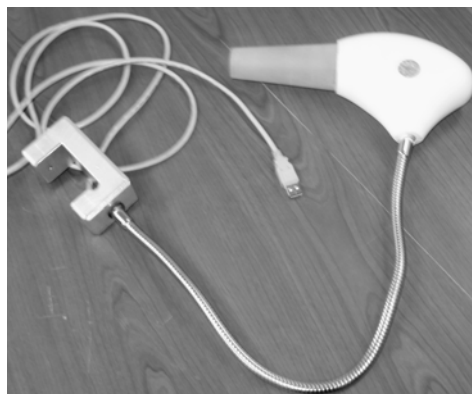


Рис. 1

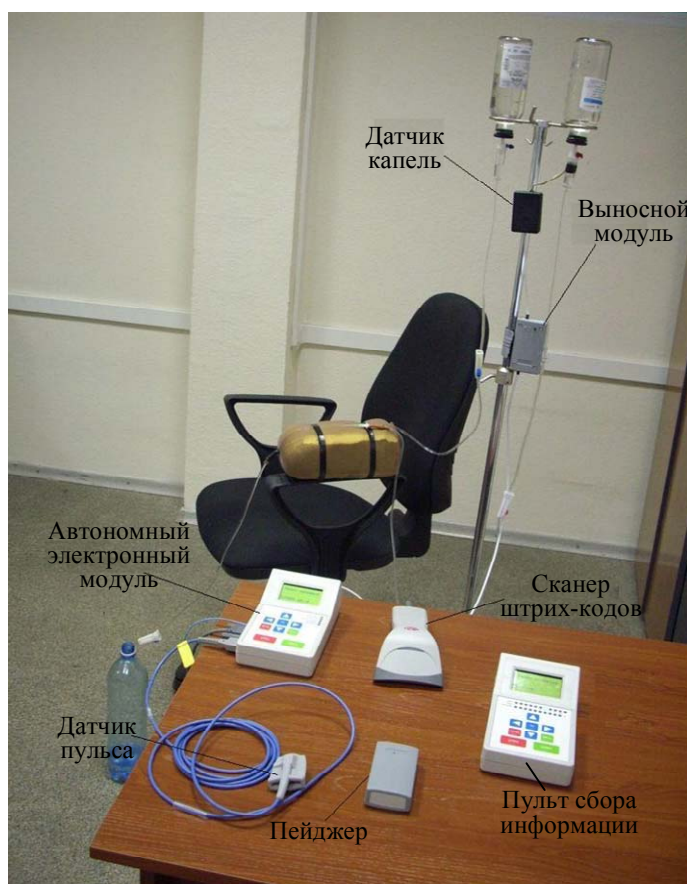


Рис. 2

Разработанный комплекс позволяет решать следующие задачи:

— автоматизация деятельности медицинского учреждения, входящего в состав телемедицинской сети;

- ведение электронных историй болезней пациентов;
- ведение электронного архива консультаций;
- разграничение прав доступа к системе и защита всей хранящейся, а также циркулирующей в ней информации;
- генерация отчетной информации для пациентов (выписок из истории болезни, результатов осмотра и специализированных исследований и т. д.);
- защита конфиденциальной информации о пациенте (шифрование данных, передача по зашифрованным протоколам и т. д.);
- интеграция программно-алгоритмического обеспечения сети с медицинскими приборами, используемыми для диагностических целей;
- обработка и хранение результатов (изображений), полученных при проведении специализированных исследований с помощью аппаратных комплексов;
- проведение дистанционных консультаций, в частности, в режиме реального времени (передача текстовой, аудио- и видеоинформации);
- повышение квалификации узких специалистов (гинекологов, дерматологов и т. д.);
- ведение базы контрольно-демонстрационных задач, с помощью которой специалисты смогут проверить (повысить) свою квалификацию.

Входящий в состав комплекса оптико-телевизионный кольпоскоп „ВИКОМЕД“, представленный на рис. 1, состоит из корпуса, USB-кабеля, универсального крепления и сменной насадки. Обследование производится с помощью встроенной в корпус прибора цветной видеокамеры, позволяющей получать четкое изображение исследуемого органа и передавать его по телемедицинской сети. Он дает врачу возможность проводить диагностику (детальную и экспресс) патологий, например, в области шейки матки и сводов влагалища. Видеокольпоскоп позволяет визуализировать незначительные дефекты ткани, не всегда заметные при обычном осмотре: полипы, небольшие кисты, эрозии, папилломы, кондиломы и т.д.

Также в состав интеллектуальной телемедицинской сети может включаться интеллектуальная автоматизированная система контроля состояния капельниц (см. рис. 2), которая обеспечивает контроль процедуры внутривенной инфузии жидкого лекарственного средства. Основные функции системы:

- контроль номенклатуры вводимого жидкого лекарственного средства;
- контроль объема и скорости подачи жидкого лекарственного средства;
- оповещение среднего медицинского персонала о возникновении нестандартных ситуаций;
- экстренное приостановление проведения процедуры инфузии в случае возникновения нестандартной ситуации (выпадение иглы из вены пациента, нарушение целостности инфузионного тракта и т. д.).

Сведения об авторах

- Владимир Иванович Сырякин** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет, Межвузовский учебно-научно-производственный центр „Технологический менеджмент“ ТГУ; директор
- Дмитрий Сергеевич Жданов** — аспирант; Томский государственный университет, кафедра исследования операций; E-mail: D_S_Zhdanov@mail.ru
- Артём Шамильевич Буреев** — ООО „Диагностика +“, Томск; директор; E-mail: artem_bureev@mail.ru
- Артём Владимирович Осипов** — аспирант; Томский государственный университет, кафедра исследования операций; E-mail: avopiso@mail.ru
- Анастасия Юрьевна Осипова** — ООО „Диагностика +“, Томск; инженер-программист; E-mail: nastj1tom@yandex.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

С. С. САДЫКОВ, А. С. БЕЛЯКОВА, О. И. ЕВСТИГНЕЕВА, С. А. ЖОЛОБОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ОКРАСКИ УЧАСТКОВ ПОРТРЕТА СЕРДЦА С ПАРАМЕТРАМИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

Определена взаимосвязь между окраской участков портрета сердца и изменением зубцов и сегментов электрокардиограммы.

Ключевые слова: портрет сердца, электрокардиограмма, „КардиоВизор“, взаимосвязь, сегментация.

Патологии сердечно-сосудистой системы необходимо выявлять на ранних стадиях, поскольку, по данным „Российского статистического ежегодника“, смертность от таких заболеваний составляет 57,6 % [1]. Одним из методов ранней диагностики является дисперсионное картирование биопотенциалов сердца, которое реализуется с помощью прибора „КардиоВизор-06С“. В основе его работы заложен принцип анализа низкоамплитудных дисперсионных изменений электрокардиограммы (ЭКГ) с формированием визуального портрета сердца [2, 3]. Дисперсионные характеристики при возникновении патологии миокарда начинают изменяться раньше, чем зубцы ЭКГ. Поэтому по окраске участков портрета сердца можно судить о локализации и степени тяжести изменений [4].

Целью настоящей статьи является выявление зависимости между элементами ЭКГ и окраской участков портрета сердца, что позволит повысить точность диагноза и помочь врачу при интерпретации окраски портрета сердца.

При проведении обследований врач с помощью аппарата „КардиоВизор-06С“ визуально оценивает площадь, локализацию окрашенных участков, а также интенсивность окраски и на основе своего опыта ставит диагноз, так как не располагает численными характеристиками участков патологии портрета сердца. Это уменьшает объективность при постановке диагноза.

Портрет сердца — это цветное изображение в двух видах: правое предсердие—правый желудочек и левое предсердие—левый желудочек. Каждый участок портрета отражает определенные процессы, происходящие в сердце. Визуальная схема портрета представлена на рис. 1 [4]. Здесь *a* — схема правого, *б* — схема левого портрета; *В* — вертикальная ось, *П* — продольная ось сердца, *1* — верхняя полая вена, *2* — аорта, *3* — интегральный индикатор ритма, *4* — индикатор состояния миокарда правого предсердия, *5* — индикатор аномалий интервала *P—Q*, *6* — индикатор стабильности АВ-проведения, *7* — интегральный индикатор состояния двух предсердий (общие свойства, обусловленные общим источником возбуждения), *8* — индикатор завершающей фазы деполяризации правого желудочка (проекция в области межжелудочковой перегородки), *9* — индикатор длительности реполяризации желудочков (коррелирует с *Q—T*), *10* — индикатор состояния миокарда правого желудочка, *11* — индикатор длительности деполяризации желудочков (длительность *QRS*), *12* — индикатор состояния миокарда левого предсердия, *13* — индикатор завершающей фазы деполяризации левого желудочка, *14* — индикатор состояния миокарда левого желудочка, *15* — индикатор завершающей фазы деполяризации правого желудочка (проекция на заднюю стенку).

Выраженность изменений состояния сердца определяется по изменению цвета участков сердца, которые в норме имеют ровный зеленый цвет. При различных отклонениях от нормы цвет в области изменений меняется до желтого или красного. Чем больше площадь, окрашенная красным цветом, тем выше степень отклонения от нормы [5].

Для выявления участков патологии сравнивается эталонный портрет сердца здорового человека, имеющий ровную зеленую окраску (рис. 2, а — правый, б — левый), и соответствующая ему эталонная ЭКГ (рис. 3) с портретом сердца и ЭКГ пациента.

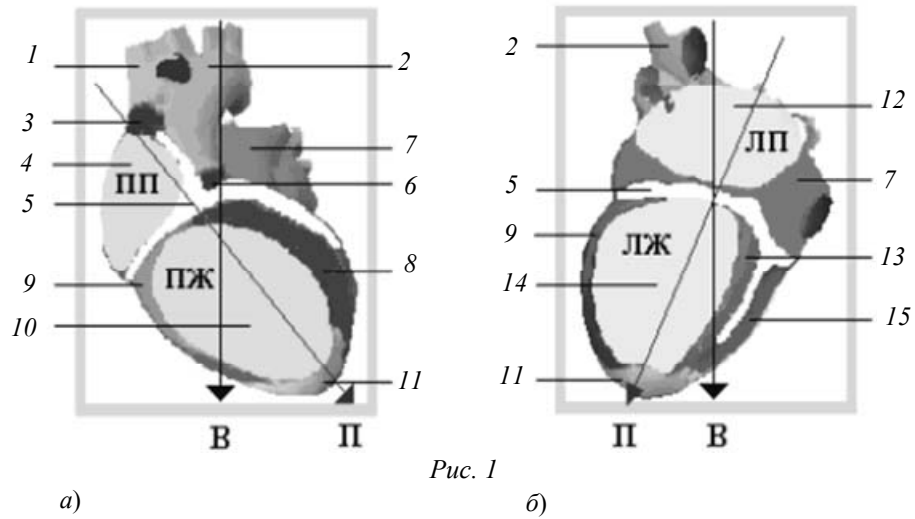


Рис. 1

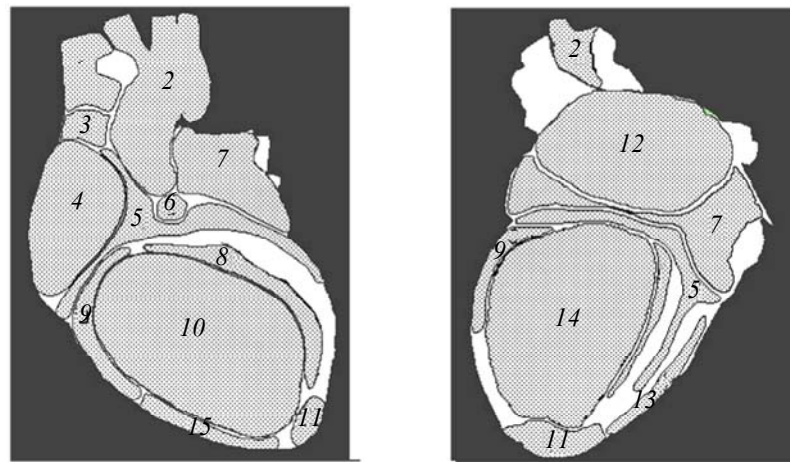


Рис. 2

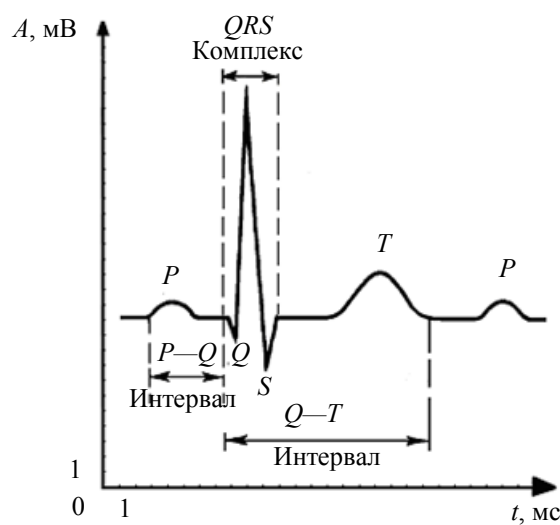


Рис. 3

Алгоритм выявления участков патологии

1. Эталонный портрет сердца и портрет сердца пациента раскладываются на три составляющие цвета: R_a, G_a, B_a и R_b, G_b, B_b соответственно.

2. Сравнение портретов осуществляется с учетом минимального T_{\min} и максимального T_{\max} значений порога путем анализа каждой из трех составляющих цветов R, G, B для левого и правого портрета сердца [6]. Точки портрета сердца, принадлежащие патологическим участкам, выявляются по следующему выражению:

$$\begin{aligned} p_{Ri,j} &= \begin{cases} 255 - |a_{Rij} - b_{Rij}|, & \text{если } T_{\min} < |a_{Rij} - b_{Rij}| < T_{\max}, \\ 255 & \end{cases}, \\ p_{Gi,j} &= \begin{cases} 255 - |a_{Gij} - b_{Gij}|, & \text{если } T_{\min} < |a_{Gij} - b_{Gij}| < T_{\max}, \\ 255 & \end{cases}, \\ p_{Bi,j} &= \begin{cases} 255 - |a_{Bij} - b_{Bij}|, & \text{если } T_{\min} < |a_{Bij} - b_{Bij}| < T_{\max}, \\ 255 & \end{cases}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $a_{Rij}, a_{Gij}, a_{Bij}$ — составляющие R, G, B цвета пиксела эталонного портрета; $b_{Rij}, b_{Gij}, b_{Bij}$ — составляющие R, G, B цвета пиксела портрета пациента; $p_{Rij}, p_{Gij}, p_{Bij}$ — составляющие R, G, B цвета пиксела результирующего разностного портрета.

3. Сравнение эталонной ЭКГ и ЭКГ пациента:

а) фильтрация ЭКГ: результирующая кривая формируется из точек $k_{i-g} < k_i < k_{i+g}$, которые в своей окрестности имеют восходящую динамику (для левой окрестности) и нисходящую (для правой) или нисходящую (для левой) и восходящую (для правой), также учитывается разность соседних точек в окрестности больше g ;

б) выделение составляющих ЭКГ осуществляется путем поиска локальных максимума и минимума на определенном участке ЭКГ.

Первым на ЭКГ выделяется зубец R , так как он характеризуется большой разницей значений соседних точек. После его определения вычисляются зубцы Q и S , так как они являются точками определения начала и окончания зубца R . Для определения составляющих P и T выявляются локальные максимум и минимум на отрезках от начала участка до начала зубца Q и от S до конца участка — для составляющих P и T соответственно. Затем на установленной окрестности для найденных точек вычисляются значения амплитуды и продолжительности элементов ЭКГ;

в) по вычисленным характеристикам эталонная ЭКГ сравнивается с ЭКГ пациента. Определяется разница амплитуд зубцов A и продолжительностей сегментов Y :

$$\begin{aligned} A_i &= \begin{cases} |A_{b_i} - A_{a_i}|, & \text{если } |A_{b_i} - A_{a_i}| > d_{A_i}, \\ 0 & \end{cases}, \\ Y_i &= \begin{cases} |Y_{b_i} - Y_{a_i}|, & \text{если } |Y_{b_i} - Y_{a_i}| > d_{Y_i}, \\ 0 & \end{cases}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $i = P_j, Q_j, R_j, S_j, T_j, QRS_i, ST, j = 1, \dots, N$, N — число кардиоциклов на ЭКГ, $d_{A_i} = \hat{A}_i \cdot 20\%$ — порог сравнения амплитуды зубцов, \hat{A}_i — значение нормы амплитуды для зубца i , $d_{Y_i} = \hat{Y}_i \cdot 20\%$ — порог сравнения продолжительности зубцов, \hat{Y}_i — значение нормы продолжительности для зубца i .

4. Формирование базы данных результатов обследований и накопление статистической информации о соответствии изменений участков ЭКГ и портрета сердца [7].

Исследования проводились в кардиологическом отделении больницы г. Муром Владимирской области. Рассмотрим портрет сердца пациента (рис. 4, *а* — правый, *б* — левый). Чем интенсивнее окрашен участок, тем значительней патология.

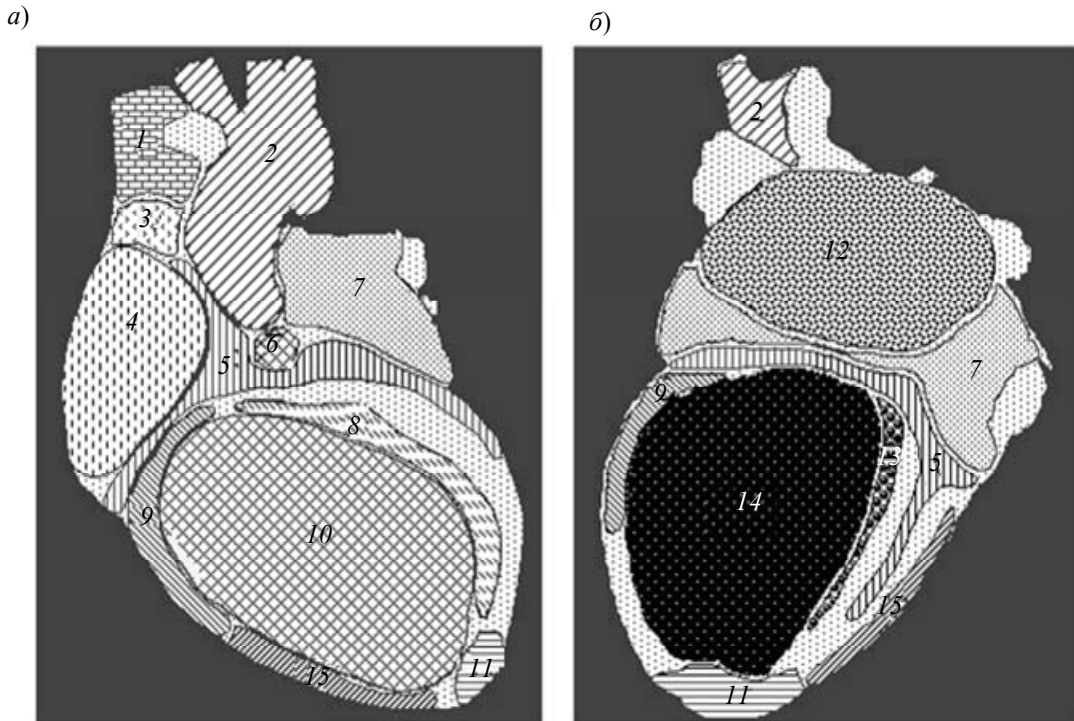


Рис. 4

Эталонный портрет и портрет сердца раскладываются на составляющие *R*, *G* и *B*. Согласно (1) определяются участки, имеющие отклонения (рис. 5, *а* — правый, *б* — левый портрет).

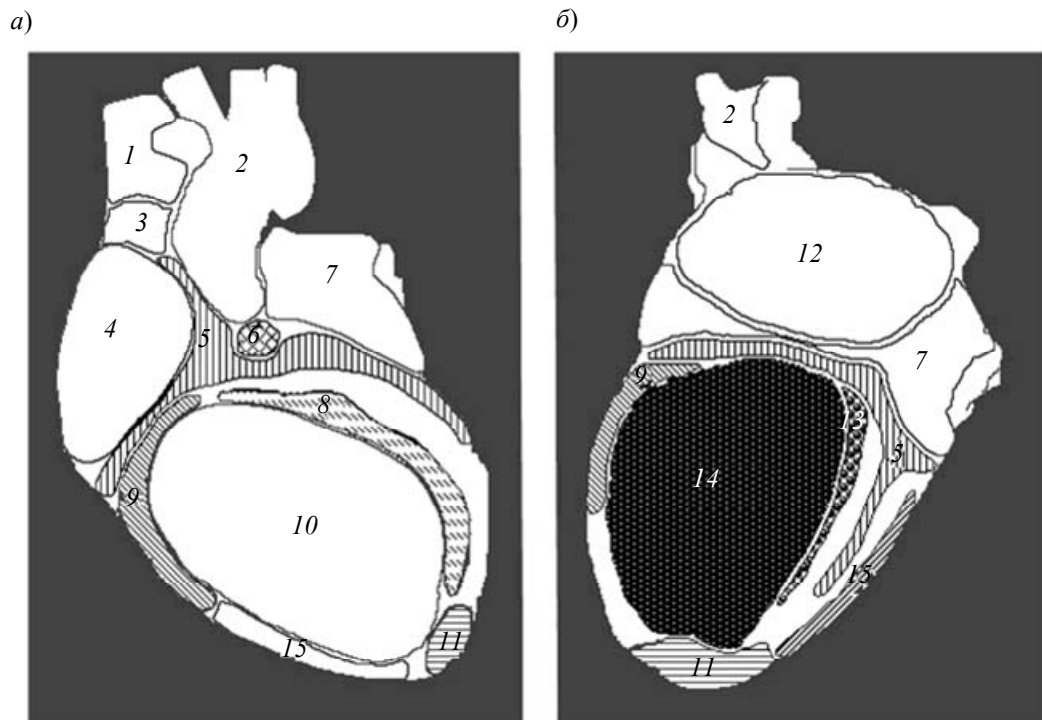


Рис. 5

Эталонная ЭКГ (рис. 6) сравнивается с ЭКГ пациента (рис. 7) по характеристикам, рассчитанным по соотношениям (2). В результате определяются зубцы, имеющие отклонение от нормы.

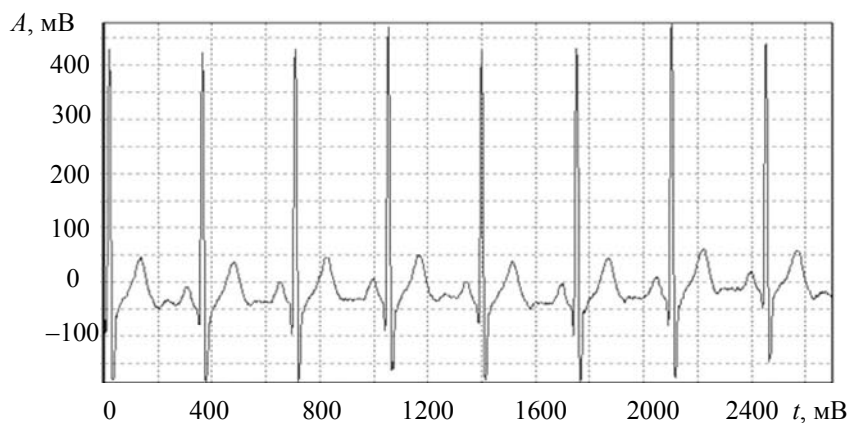


Рис. 6

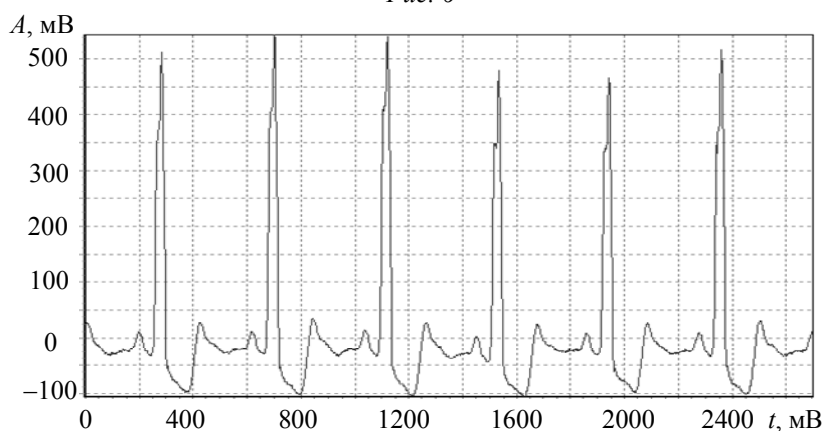


Рис. 7

Для выявления взаимосвязи между изменениями ЭКГ и окраской портрета сердца были проанализированы результаты обследований 110 пациентов. Результаты представлены в таблице.

Элемент ЭКГ	Номер участка														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>P</i>	0	5	31	92	76	25	54	54	91	65	76	53	38	63	13
<i>Q</i>	0	2	21	68	51	19	31	42	68	68	61	38	38	68	6
<i>R</i>	0	3	22	63	55	17	41	49	73	68	62	38	45	61	17
<i>S</i>	0	4	21	63	54	19	38	45	72	67	59	38	46	60	13
<i>T</i>	0	5	20	61	59	21	38	47	73	69	58	41	49	67	25
<i>QRS</i>	0	3	22	63	54	17	40	46	73	66	60	38	44	63	12
<i>ST</i>	0	4	19	59	56	17	38	44	73	68	58	40	48	63	14

Анализ таблицы позволяет прийти к следующим выводам.

1. Отклонения зубца амплитуды *P* с большей степенью коррелируют с изменениями цвета участков 4, 5, 9, 11.
2. Отклонения амплитуды зубца *Q* взаимосвязаны с изменениями цвета участков 4, 9, 10, 11.
3. Отклонения амплитуд зубцов *R* и *S* коррелируют с изменениями на участках 9 и 10, а зубца *T* — с 4, 9, 10, 14.
4. Комплекс *QRS* коррелирует с участками 4, 5, 8, 9, 11.
5. Сегмент *ST* определяет цвет участков 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14.
6. Зависимость цвета участков 3, 6, 15 от отклонений зубцов является слабовыраженной.
7. В формировании цвета участка 7 задействованы все элементы ЭКГ.

8. Зависимость изменения окраски участков 1 и 2 от изменения каких-либо зубцов ЭКГ не была выявлена. Это обусловлено малым различием окраски этих участков у различных портретов вне зависимости от степени патологии остальных участков. Следовательно, участки 1 и 2 малоинформативны при интерпретации портрета сердца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский статистический ежегодник 2010: Сб. статей. М.: Росстат, 2010. 789 с.
2. *Рябыкина Г. В., Сула Ф. С.* Использование прибора КардиоВизор-06С для скрининговых обследований: Пособие для врачей. М., 2004. 34 с.
3. Программное обеспечение для скрининговых исследований сердца КардиоВизор-06С: Руководство пользователя. Медицинские компьютерные системы, 2006. 80 с.
4. *Евстигнеева О. И., Сафиулова И. А.* Опыт использования дисперсионного картирования ЭКГ с помощью прибора „КардиоВизор-06С“ в амбулаторных условиях // Терапевтический архив. 2011. № 1. С. 29—32.
5. *Иванов Г. Г., Сула А. С.* Дисперсионное ЭКГ картирование: теоретические основы и клиническая практика. М.: Техносфера, 2009. 190 с.
6. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. *В. А. Сойфера*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
7. *Садыков С. С. Белякова А. С.* Система поддержки принятия решений при диагностике и оценке состояния сердечно-сосудистой системы // Интеллектуальные системы: Тр. 9-го Междунар. симп. / Под ред. *К. А. Пупкова*. М.: РУСАКИ, 2010. С. 488—490.

Сведения об авторах

- Султан Сидыкович Садыков** — д-р техн. наук, профессор; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Анна Сергеевна Белякова** — аспирант; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: asbelyakova@rambler.ru
- Ольга Ивановна Евстигнеева** — Городская больница, отделение функциональной диагностики, Муром; врач функциональной диагностики
- Сергей Александрович Жолобов** — студент; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра информационных систем; E-mail: sergey@f5f5.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

УДК 681.518.3

Ю. П. МУХА, Р. В. ЛИТОВКИН, К. К. УГАРОВ

ПОСТРОЕНИЕ СЛОЖНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ПРОЦЕССОРА TMS320DSK6455

Описан алгоритм построения сложных фильтров информационно-измерительных систем на базе специальных процессоров tms320. Рассмотрен пример построения измерительного комплекса с использованием полученного алгоритма.

Ключевые слова: спецпроцессор, информационно-измерительная система, аппаратно-программный комплекс, цифровая фильтрация.

Актуальным направлением в современных технологиях диагностики является получение технологических сигналов и их цифровая предобработка, включающая в себя задачи не только очистки от шумов, но также оценки различных характеристик сигнала, создания базы данных сигнала, накопления результатов измерений и т.д.

Для решения перечисленных задач целесообразно в измерительном комплексе реализовать цифровую предобработку исследуемого входного сигнала на базе вычислительной системы TMS320DSK6455 с использованием программирования. Измерительный комплекс, выполненный на базе этой вычислительной системы, позволяет производить:

- обработку большого количества параллельных измерительных каналов;
- построение встроенного программного цифрового фильтра;
- анализ сигнала в режиме реального времени.

Следует отметить, что данная СБИС выбрана неслучайно. Цифровые сигнальные процессоры могут параллельно в режиме реального времени обрабатывать большое число информационных потоков, что позволяет построить гибкую измерительную систему с широким набором измеряемых сигналов. В измерительный комплекс (ИК) входят два обязательных компонента: DSP-процессор с установленным на него блоком АЦП и первичный преобразователь, а также дополнительный — персональный компьютер.

Приведем пример реализации системы цифровой фильтрации входного сигнала на базе цифровых сигнальных процессоров. Для процессорных систем типа TMS320DSK6455 имеется программный пакет Code Composer Studio (CCS), позволяющий разрабатывать программное обеспечение для них на языке C++ [1].

На сегодняшний день существуют некоторые программные пакеты, способные переводить блочные модели в программы на языках высокого уровня. Одним из таких программных пакетов является Simulink (часть MatLab2010a). Отличительная особенность данного пакета — в нем реализована функция экспорта блочной модели цифровой предобработки сигнала

(в рассматриваемом случае — цифрового фильтра) в проект для CCStudio v3.3, в котором происходит компиляция алгоритма, заложенного разработчиком в блочную модель [2].

Однако следует отметить, что при проектировании цифрового фильтра высокого порядка блочная модель сильно разрастается и число блоков может достигать 1000. Процесс создания фильтра можно ускорить, воспользовавшись утилитой Filter Design and Analysis Tool, которая позволяет собирать блочную модель по заданным характеристикам. После проведенного моделирования возможно внести нужные изменения в полученную модель с помощью Simulink.

Для реализации комплекса предобработки электрического (например, медицинского) сигнала использованы DSP-система (TMS320DSK6455), среда разработки Code Composer Studio v3.3 и ПК с ОС Windows XP SP2 и USB2.0 [1, 3, 4].

Проект на CCStudio состоит примерно из 30 файлов. Составление подобного кода — очень трудоемкий процесс, поэтому его необходимо автоматизировать, что возможно с помощью разработанных для этого программных пакетов [4].

Рассмотрим этапы реализации программы цифровой предобработки электрических сигналов на базе одноплатной ЭВМ (рис. 1). Выполнение этапов гарантирует качественное достижение поставленных целей и задач любого начатого проекта и поэтому является универсальным инструментом.

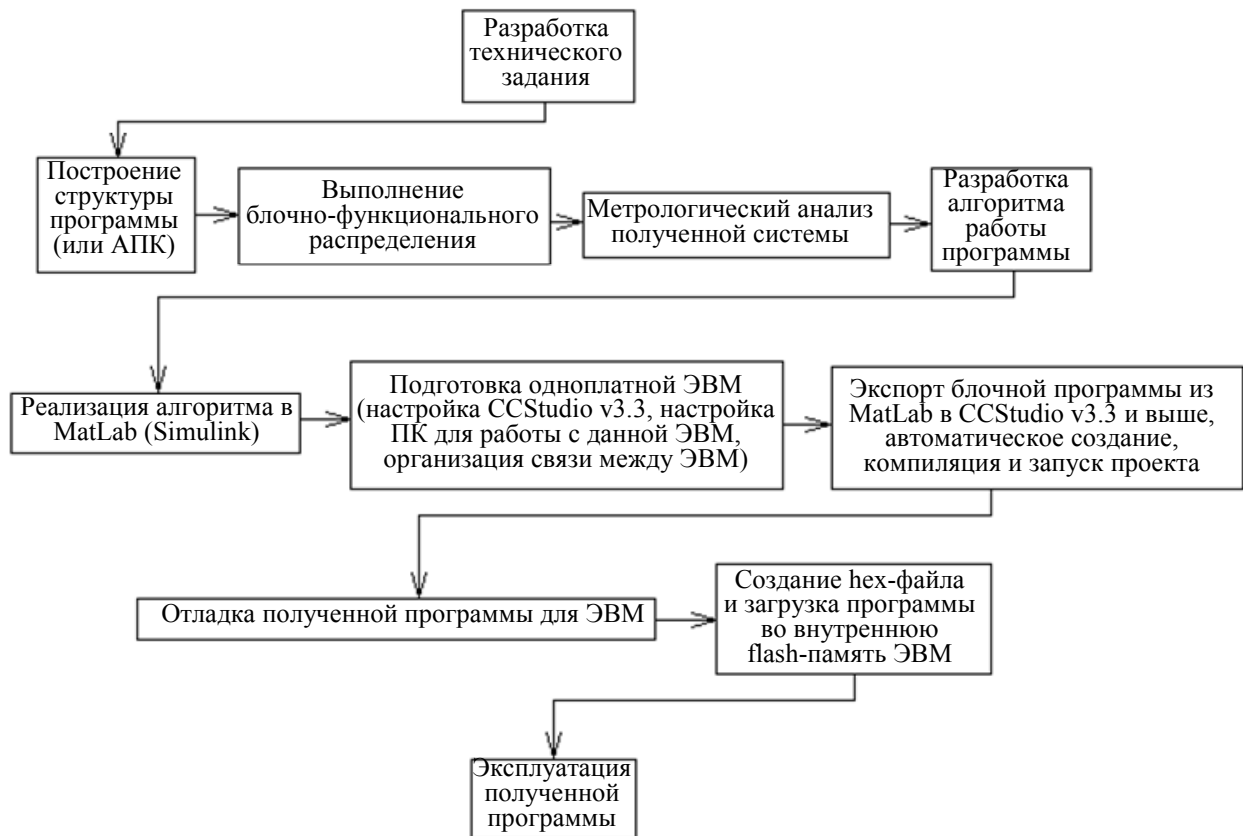


Рис. 1

Техническое задание — первый этап любого проектирования, здесь описывается желаемый результат и указываются методы его достижения.

Проектирование. На данном этапе выполняется структурное проектирование ИК, разрабатываемый проект приобретает первичные очертания. Далее выполняются блочно-функциональное распределение [3] и метрологический анализ [5, 6]. Такая последовательность действий позволяет выявить логические ошибки проектирования еще до начала фактической реализации аппаратно-программного комплекса (АПК) или написания программы.

После завершения последней итерации структурного проектирования и метрологического анализа (при условии, что разработчик удовлетворен полученными результатами моделирования) выполняется окончательная разработка алгоритма.

Программная реализация. При наличии готового алгоритма (конкретно — для случая реализации цифровой фильтрации сигнала на DSK6455) можно пойти двумя путями: разработать программу на языке программирования C++, используя возможности среды CCStudio, или воспользоваться возможностями среды MatLab2010a, позволяющей выполнить разработку блочной модели программы в Simulink, и автоматически экспортировать ее в CCStudio. При реализации программы непосредственно на C++ необходимо определить модель памяти конкретной DSK-платы, особенности работы портов, кодеков, режимов работы процессора и т.д. Эти задачи необходимо решать для каждой модели в отдельности, а после этого писать большой объем исходного кода и отлаживать его.

Подготовка к эксплуатации — отладка ПО и прошивка ЭВМ. Во время отладки происходит заключительное тестирование программы, при отсутствии недочетов — следует прошивка. Перед записью разработанного ПО во flash-память описанной выше ЭВМ, подготавливается исполняемый hex-файл и производится прошивка.

После успешного выполнения всех предыдущих пунктов можно приступить к эксплуатации АПК.

При необходимости использования ПК в расчетных задачах, реализуемых на описанных процессорных системах, для упрощения и автоматизации процесса обмена данными можно также воспользоваться средой MatLab2010a. Схема взаимодействия одноплатной ЭВМ и ПК представлена на рис. 2. Здесь показано, как разрабатывается программный пакет и встраивается в аппаратуру, а также как осуществляется последующий процесс эксплуатации. С помощью MatLab2010a можно управлять вычислительным процессом на DSK6455, осуществлять прием/передачу данных.

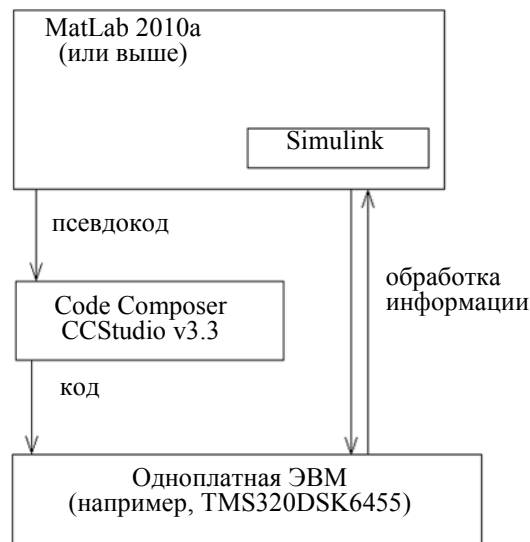


Рис. 2

В заключение следует отметить, что возможность блочного проектирования была реализована в среде MatLab2010a, однако в данной среде довольно размыта концепция синтеза сложных систем. Однако, используя метод, описанный в работе [3], MatLab2010a и разрабатываемый программный пакет для реализации данного метода, возможно полностью автоматизировать концептуальное проектирование сложных систем с программированием готовыми блоками, что позволит разработчику не отвлекаться на детали языка программирования, а всецело посвятить себя разработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс]: <<http://www.ti.com/>>.
2. [Электронный ресурс]: <http://www.ndparking.com/serve.php?lg=ru&dn=mathwork.com&ps=a532d7e0b8f67396e12ea540ad67e5f8&le=2010120914000139520&aq=Matlab%20Instruments&tk=stzV096RMnwKEwitwprp8t-lAhWE m98KHThRZ30QAhgAIAAwuKaoDjgwQLaPxoHfy_TkTIC4pqqOUOWblQ9QrpSxEVC5uLURULSGxRFQhZ3nElCz-JwhUIHSwCdQzPrtmwM>.
3. Муха Ю. П., Авдюк О. А., Королева И. Ю. Алгебраическая теория синтеза сложных систем. Волгоград: ВолгГТУ, 2003. 320 с.
4. [Электронный ресурс]: <<http://www.mathworks.com/>>.
5. Цветков Э. И. Метрология. СПб: „КопиСервис“, 2010. 121 с.
6. Цветков Э. И. Основы математической метрологии. Т. 2. СПб: „КопиСервис“, 2011. 110 с.

Сведения об авторах

Юрий Петрович Муха

— д-р техн. наук, профессор; Волгоградский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; заведующий кафедрой; E-mail: vt@vstu.ru

Роман Васильевич Литовкин

— канд. техн. наук, доцент; Волгоградский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: vt@vstu.ru

Константин Константинович Узаров

— Волгоградский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; ведущий инженер; E-mail: knopnarix@ya.ru

Рекомендована Юго-Западным государственным университетом

Поступила в редакцию 24.10.11 г.

УДК 681.586.76

В. И. ИВАНОВ, В. С. ТИТОВ, Д. А. ГОЛУБОВ

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ
МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ
С УРАВНОВЕШИВАНИЕМ ТОКОВ**

Рассмотрены способ и устройство преобразования параметров многоэлементного двухполюсника при воздействии импульсов напряжения, изменяющегося по закону степенной функции времени, и компенсации составляющих тока многоэлементного двухполюсника. По условиям уравнивания токов определяют обобщенные параметры объекта измерения, после чего вычисляют электрические параметры его элементов.

Ключевые слова: многоэлементные двухполюсники, обобщенные параметры, уравнивание токов.

Преобразователи параметров комплексного сопротивления многоэлементного двухполюсника (МДП) предназначены для решения задачи получения информации о каждом из его элементов отдельно. В устройствах, построенных по принципу уравнивающего преобразования, приводится к нулю разность двух активных величин, одна из них формируется измерительной схемой, в которую включен МДП, а вторая — вспомогательной цепью, которая строится таким образом, чтобы значение каждой составляющей компенсирующей величины регулировалось одним пассивным элементом. Параметры уравнивающего сигнала, как

правило, преобразуют в унифицированные величины, функционально связанные с искомыми параметрами объекта измерения [1].

Для выделения из выходного сигнала преобразователя информации только об одном параметре МДП (независимо от остальных) необходимо, чтобы в момент считывания сигнала в нем присутствовала хотя бы одна составляющая, по которой можно получить информацию о параметре, а сумма остальных составляющих стремилась к нулю.

В настоящей статье рассматриваются устройства измерения параметров многоэлементных двухполюсников, в которых для возбуждения измерительной схемы используются импульсы напряжения, форма которых соответствует степенной функции времени вида

$$u_{\text{вх}}(t) = U_m t^n / t_n^n, \quad (1)$$

где t_n — длительность импульса, U_m — амплитуда, n — целочисленный показатель степени. Реакция линейной пассивной двухполюсной цепи на импульсы n -й степени по окончании переходного процесса содержит импульсы, имеющие форму степенных функций с показателями от n до нуля. Таким образом, для уравнивания выходного сигнала можно сформировать компенсирующие импульсы известной формы, довольно просто реализуется избирательность обработки импульсов с одной степенной зависимостью времени, измерительная схема обладает свойством отдельного уравнивания токов.

На рис. 1 представлена схема измерительного преобразователя с уравниванием импульсов тока четырехэлементного двухполюсника компенсирующими импульсами со степенным изменением тока. В данной схеме используются кубические импульсы с $n = 3$. Генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) вырабатывает импульсы постоянного напряжения длительностью t_n и амплитудой U_0 . Для формирования импульсов вида (1) применяется цепь из трех последовательно включенных интеграторов. Импульсы напряжения на выходах первого, второго и третьего интегратора имеют форму линейно изменяющегося напряжения, квадратичной и кубической параболы соответственно:

$$u_1(t) = U_1 t / t_n, \quad u_2(t) = U_2 t^2 / t_n^2, \quad u_3(t) = U_3 t^3 / t_n^3. \quad (2)$$

Амплитуды этих импульсов равны

$$U_1 = U_0 t_n / T_1; \quad U_2 = U_0 t_n^2 / 2 T_1 T_2; \quad U_3 = U_0 t_n^3 / 6 T_1 T_2 T_3, \quad (3)$$

где T_1 , T_2 и T_3 — постоянная времени первого, второго и третьего интегратора.

Импульс напряжения $u_3(t)$ создает в многоэлементном двухполюснике объекта измерения, включенном во входную цепь операционного усилителя ОУ1, импульс тока, который содержит свободную и принужденную составляющие. После завершения переходного процесса и до окончания питающего импульса остается только вынужденная составляющая тока двухполюсника, которая состоит из импульсов тока кубической, квадратичной, линейной и плоской (прямоугольной) формы:

$$i_{\text{дп}}(t) = Y_0 U_3 t^3 / t_n^3 + 3 Y_1 U_3 t^2 / t_n^3 + 6 Y_2 U_3 t / t_n^3 + 6 Y_3 U_3 / t_n^3. \quad (4)$$

Амплитуды этих составляющих зависят от обобщенных параметров проводимости Y_0 , Y_1 , Y_2 , Y_3 объекта измерения:

$$I_3 = Y_0 U_3; \quad I_2 = 3 Y_1 U_3 / t_n; \quad I_1 = 6 Y_2 U_3 / t_n^2; \quad I_0 = 6 Y_3 U_3 / t_n^3. \quad (5)$$

Обобщенные параметры Y_0 , Y_1 , Y_2 , Y_3 определяются операторным изображением проводимости двухполюсника $Y(p)$. Если в общем виде выражение $Y(p)$ представить в виде

$$Y(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots}, \quad (6)$$

то при ненулевых значениях a_0 и b_0 , что имеет место для большой группы реальных двухполюсников, величина Y_0 , Y_1 , Y_2 , и Y_3 определяется значениями электрических параметров элементов двухполюсника [2]:

$$Y_0 = \frac{b_0}{a_0}; Y_1 = \frac{b_1 - a_1 Y_0}{a_0}; Y_2 = \frac{b_2 - a_2 Y_0 - a_1 Y_1}{a_0}; Y_3 = \frac{b_3 - a_3 Y_0 - a_2 Y_1 - a_1 Y_2}{a_0}; \dots \quad (7)$$

На операционных усилителях ОУ1 и ОУ2 построен дискриминатор токов. При равных значениях сопротивлений $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ напряжение на выходе ОУ2 пропорционально разности входных токов: $U_{\text{ВЫХ}} = (I_{\text{ВХ1}} - I_{\text{ВХ2}}) R_0$.

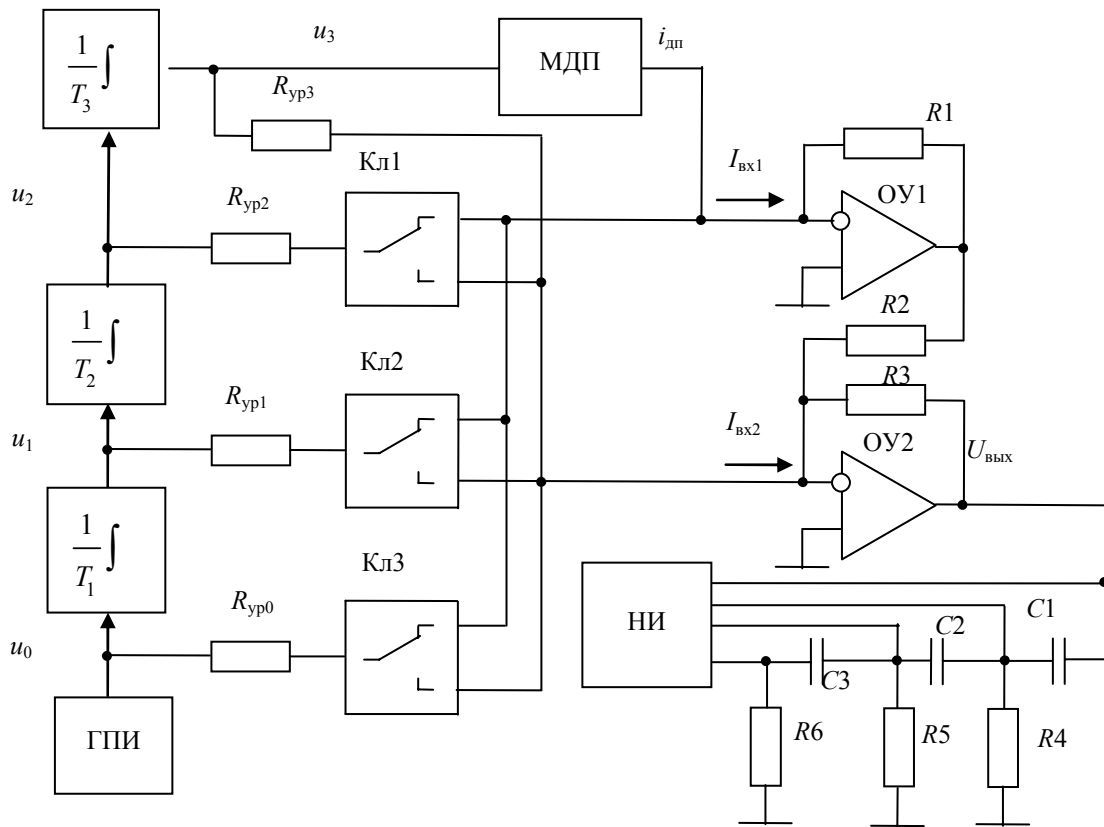


Рис. 1

Оба входа дискриминатора имеют низкое сопротивление $R_{\text{ВХ1}} = R_{\text{ВХ2}} = R_0 / K_{\text{иОУ}}$, где $K_{\text{иОУ}}$ — коэффициент усиления ОУ, поэтому входные токи определяются источниками напряжений и проводимостью соответствующих цепей. Для компенсации всех составляющих тока через МДП используются выходные напряжения интеграторов и генератора прямоугольных импульсов. Уравнивание токов осуществляется регулируемыми резисторами R_{yp3} , R_{yp2} , R_{yp1} , R_{yp0} . Амплитуды импульсов компенсирующего тока кубической, квадратичной, линейной и прямоугольной формы равны соответственно

$$I_{\text{к3}} = U_3 / R_{\text{yp3}}; I_{\text{к2}} = U_2 / R_{\text{yp2}}; I_{\text{к1}} = U_1 / R_{\text{yp1}}; I_{\text{к0}} = U_0 / R_{\text{yp0}}. \quad (8)$$

После уравнивания составляющих тока двухполюсника МДП (5) и составляющих компенсирующего тока (8) по окончании переходного процесса можно, с учетом связей между амплитудами U_3 , U_2 , U_1 и U_0 , найти значения обобщенных параметров проводимости объекта измерения:

$$Y_0 = 1/R_{\text{yp3}}; Y_1 = T_3/R_{\text{yp2}}; Y_2 = T_2 T_3/R_{\text{yp1}}; Y_3 = T_1 T_2 T_3/R_{\text{yp0}}. \quad (9)$$

Заметим, что значения параметра проводимости Y_0 всегда положительны, а остальных обобщенных параметров, в зависимости от схемы двухполюсника, — могут быть и положительными, и отрицательными. Более того, у двухполюсников с разнородными реактивными элементами знак этого параметра зависит от соотношения между значениями параметров элементов схемы. Поэтому в схеме предусмотрена возможность выбора направления отдельных составляющих компенсирующего тока для уравнивания их с током двухполюсника $i_{дп}(t)$ либо в первую (инвертирующий вход ОУ1), либо во вторую входную цепь (инвертирующий вход ОУ2). Уравнивание следует производить в указанной в (9) последовательности, так как величина Y_0 входит в выражение для Y_1 , значения Y_0 и Y_1 — в формулу для Y_2 , Y_0 , Y_1 и Y_2 — для Y_3 . Из формул (9) видно, насколько важно поддерживать точные и стабильные значения параметров интеграторов.

Для того чтобы избирательно регулировать амплитуду каждой составляющей компенсирующего тока, выходное напряжение дискриминатора подается на трехкаскадный дифференциатор, который содержит три последовательно включенных дифференцирующих RC -звена. Для уменьшения длительности переходного процесса в дифференциаторе целесообразно при одинаковых значениях постоянной времени всех трех RC -звеньев установить значения емкостей конденсаторов и сопротивлений резисторов в каждом каскаде различными: $C_1 = C/m$, $R_4 = mR$, $C_2 = C$, $R_5 = R$, $C_3 = mC$, $R_6 = R/m$, где $m < 1$.

На выходе третьего каскада дифференциатора формируется импульс постоянного напряжения $u_{3RC}(t)$, пропорционального разности амплитуд кубических составляющих тока двухполюсника и компенсирующего сигнала:

$$u_{3RC}(t) = 6(RC)^3 R_0 U_3 (Y_0 - 1/R_{yp3}) / t_{и}^3. \quad (10)$$

Компенсация кубической составляющей осуществляется приведением к нулю напряжения $u_{3RC}(t)$ с помощью регулируемого сопротивления R_{yp3} .

После уравнивания кубических составляющих токов на выходе второго RC -звена формируется импульс постоянного напряжения $u_{2RC}(t)$, пропорционального разности амплитуд квадратичных составляющих тока двухполюсника и компенсирующего сигнала:

$$u_{2RC}(t) = 2(RC)^2 R_0 (3Y_1 U_3 / t_{и}^3 - U_2 / R_{yp2} t_{и}^2). \quad (11)$$

Компенсация квадратичной составляющей осуществляется приведением к нулю напряжения $u_{2RC}(t)$ с помощью сопротивления R_{yp2} . При этом нуль-индикатор (НИ) определяет полярность квадратичной составляющей компенсирующего тока и переключает ключ Кл1 в требуемое положение.

Затем с помощью НИ на выходе первого дифференцирующего RC -звена анализируется импульс постоянного напряжения $u_{1RC}(t)$, которое пропорционально разности амплитуд линейных составляющих тока двухполюсника и компенсирующего сигнала:

$$u_{1RC}(t) = (RC) R_0 (6Y_2 U_3 / t_{и}^3 - U_1 / R_{yp1} t_{и}). \quad (12)$$

Компенсация линейной составляющей осуществляется приведением к нулю напряжения путем регулирования сопротивления R_{yp1} . Нуль-индикатор определяет знак линейной составляющей компенсирующего тока и управляет переключением второго аналогового ключа Кл2.

И, наконец, для компенсации постоянной составляющей импульса тока измеряемого двухполюсника определяется полярность и приводится к нулю регулировкой сопротивления $R_{\text{уп}0}$ выходное напряжение ОУ2, которое подается на четвертый вход НИ,

$$u_{\text{ОУ}2}(t) = R_0 \left(6Y_3 U_3 / t_{\text{и}}^3 - U_0 / R_{\text{уп}0} \right), \quad (13)$$

при этом НИ определяет знак постоянной составляющей компенсирующего тока и управляет переключением третьего аналогового ключа КЛ3.

После четырех этапов уравнивания тока двухполюсника $i_{\text{дп}}(t)$ и компенсирующего тока с помощью формул (9) вычисляются обобщенные параметры проводимости двухполюсника Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 . На этом завершается унифицированная часть алгоритма измерителя, единая для любого двухполюсника с пассивными элементами типа $R-C$, $R-L$ или $R-L-C$.

Далее с использованием полученных значений Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 и выражений для обобщенных параметров проводимости конкретного МДП вычисляются электрические параметры элементов этого двухполюсника.

На рис. 2 приведены примеры четырехэлементных двухполюсников: резистивно-емкостного ($R-C$) типа (рис. 2, а), резистивно-индуктивного ($R-L$) типа (рис. 2, б) и двухполюсников с разнородными ($R-L-C$) реактивными элементами (рис. 2, в и г). У $R-C$ -двухполюсника и $R-C-L$ -двухполюсника три обобщенных параметра проводимости Y_0, Y_1 и Y_2 определяются одинаковыми выражениями: $Y_0 = 1/R_1$; $Y_1 = C_1$; $Y_2 = -R_2 C_1^2$. Четвертый параметр $R-C$ -двухполюсника равен $Y_3 = R_2^2 C_1^2 (C_1 + C_2)$, а у $R-C-L$ -двухполюсника $Y_3 = C_1^2 (R_2^2 C_1 - L_1)$. Три обобщенных параметра проводимости Y_0, Y_1 и Y_2 $R-L$ -двухполюсника (рис. 2, б) и $R-L-C$ -двухполюсника (г) тоже описываются одинаковыми выражениями $Y_0 = 1/R_1$; $Y_1 = -L_1/R_1^2$; $Y_2 = L_1^2 (R_1 + R_2)/R_1^3 R_2$. Четвертый параметр определяется для двухполюсников $R-L$ и $R-L-C$ формулами $Y_3 = -(L_1^2/R_1^2 R_2^2) (L_1 (R_1 + R_2)^2 / R_1^2 + L_2)$ и $Y_3 = (L_1^2/R_1^2) (C_1 - L_1 (R_1 + R_2)^2 / R_1^2 R_2^2)$ соответственно. Подставив в эти уравнения полученные значения Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 , можно вычислить электрические параметры элементов МДП.

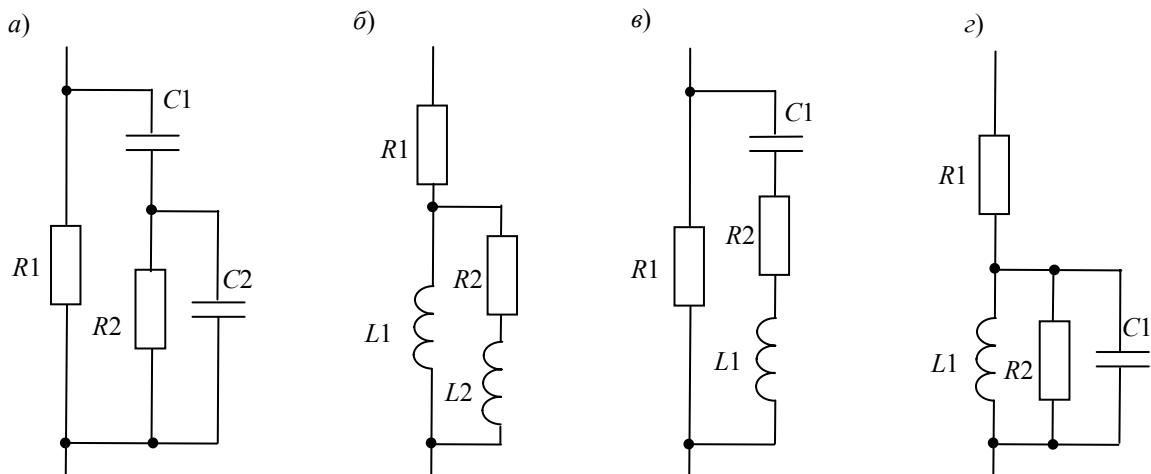


Рис. 2

Таким образом, рассмотренный способ и устройство пригодны для определения параметров широкого класса многоэлементных пассивных двухполюсных цепей RC -, RL - и RLC -типа. Представление измеряемых параметров МДП с помощью его обобщенных параметров обеспечивает универсальность алгоритма преобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мартяшин А. И., Куликовский К. Л., Куроедов С. К., Орлова Л. В.* Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей. М.: Энергоатомиздат, 1990. 214 с.
2. *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.

Сведения об авторах

- Владимир Ильич Иванов** — канд. техн. наук, доцент; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: viva37@mail.ru
- Виталий Семенович Титов** — д-р техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; заведующий кафедрой
- Дмитрий Александрович Голубов** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.

SUMMARY

P. 7—10.

ANALYSIS OF IMAGES IN X-RAY MICROTOMOGRAPHY

Principles of restoration and analysis of image in x-ray microtomography of organic and non-organic objects are discussed. Application of microtomography in material diagnostics is considered.

Keywords: image, technical diagnostics, microtomography.

Data on authors

- Vladimir I. Syryamkin* — Dr. Techn. Sci., Professor; Tomsk State University, Interuniversity Training and Scientific Production Center “Technological Management”; Director of the Center
- Vladimir A. Borodin* — Post-Graduate Student; Tomsk State University, Department of Operation Research; E-mail: vborodin@yandex.ru
- Artem V. Osipov* — Post-Graduate Student; Tomsk State University, Department of Operation Research; E-mail: avopiso@mail.ru
- Alexander V. Vasiliev* — Public Corporation “Federal Research Institute of Semiconductor Devices”, Tomsk; Chief of Group
- Gleb S. Glushkov* — Public Corporation “Federal Research Institute of Semiconductor Devices”, Tomsk; Engineer-Programmer; E-mail: gvl@sibmail.com

P. 10—14.

METHODS FOR ANALYSIS OF STRUCTURES IN IMAGES OF INDUSTRIAL PRODUCTS

Urgency of the problem of efficiency and reliability of image processing is discussed. A system of image analysis methods based on the integral transformation in linear segments of line structure is described.

Keywords: automated analysis of product images, flaw detection, image processing.

Data on author

- Alexey A. Orlov* — Dr. Techn. Sci.; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Physics and Applied Mathematics; E-mail: AlexeyAlexOrlov@rambler.ru

P. 14—18.

INVESTIGATION OF FLAT OBJECTS SUPERPOSITION IN TECHNICAL VISION SYSTEM FIELD OF VIEW

The problem of determination of superposition of real plane objects in the field of view of the technical vision system under changes of the objects shape and sizes is considered.

Keywords: flat object, superposition, system of technical vision, imitating modeling.

Data on authors

- Sultan S. Sadykov* — Dr. Techn. Sci., Professor; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Svetlana V. Savicheva* — Post-Graduate Student; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru

P. 19—23.**PRE-PROCESSING OF FLAT OBJECT IMAGE IN TECHNICAL VISION SYSTEM**

A method of preliminary image processing in technical vision system is proposed. Realization of the method is shown to allow for real time identification of industrial elements.

Keywords: pre-processing, flat object, noise smoothing, the circuit selection, object length, marking, binarization, object rotation.

Data on authors

- Sultan S. Sadykov** — Dr. Techn. Sci., Professor; Murom Institute – Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Svetlana V. Savicheva** — Post-Graduate Student; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru

P. 24—27.**AUTOMATED SYNTHESIS OF EXTENDED 3-D SCENES WITH THE USE OF COMPUTER VISION SYSTEM**

A method for automated synthesis of 3-D scenes in video, based on point correspondence search, is presented. Examples of reconstructions carried out with the use of the method are presented.

Keywords: automated synthesis, 3-D reconstruction, video sequence.

Data on author

- Alexey A. Zakharov** — Cand. Techn. Sci.; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: aa-zaharov@ya.ru

P. 27—32.**DISTRIBUTION OF SELF-SIMILARITY THROUGHOUT THE DIGITAL IMAGE**

New digital image features, characterizing inner self-similarity distribution, are calculated with the use of proposed algorithms.

Keywords: image processing, fractal sings of images, fractal image processing.

Data on authors

- Arkady L. Zhiznyakov** — Dr. Techn. Sci., Professor; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Computer-aided Designing System of Electronic Devices; Head of Department; E-mail: lvovich@newmail.ru
- Denis G. Privezencev** — Post-Graduate Student; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Computer-aided Designing System of Electronic Devices; E-mail: dgprivezencev@mail.ru

P. 32—35.

COMPRESSION OF NOISY IMAGES WITH ADAPTIVE WAVELET-CODEC

A new method for adaptive wavelet-codec construction based on iterative extraction of coherent structures is presented. The wavelet-codec created with the use of the method is designed for compression of noisy images when static qualities are unknown.

Keywords: wavelet, algorithm, factor, image.

Data on authors

- Yury S. Bekhtin* — Dr. Techn. Sci., Professor; Ryazan State Radiotechnical University, Department of Informatics and Information Technologies in Administration; E-mail: aitu@rgrtu.ryazan.ru
- Dmitry V. Titov* — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Computer Engineering, Kursk; E-mail: amazing2004@inbox.ru

P. 36—39.

RECOGNITION OF POINTER-TYPE INSTRUMENT READINGS

A mathematical model of pointer-type instrument readings recognition is described. Algorithms for calculation of dancer reading and hand deviation angle are presented. The algorithms calculation complexity and accuracy of the method are estimated.

Keywords: image recognition, metering apparatus, indicator, pointer-type instrument.

Data on authors

- Evgeny V. Golovenkov* — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Information Systems and Technologies, Kursk; E-mail: theaswert@yandex.ru
- Sergey V. Degtyarev* — Dr. Techn. Sci., Professor; Southwest State University, Department of Information Systems and Technologies, Kursk; E-mail: sergeyd12@gmail.com

P. 40—42.

HIGHT-SPEED VISION SYSTEM FOR FLAME DETECTION AND RECOGNITION

Principle of operation and functional structure of vision system for open flame detection are described. The system reveals primary signs of a flame at the territory under control.

Keywords: technical vision system, fire, detection.

Data on authors

- Sergey G. Emelianov* — Dr. Techn. Sci., Professor; Southwest State University, Department of Machine Building and Equipment, Kursk
- Maxim I. Truphanov* — Cand. Techn. Sci.; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: temp1202@mail.ru
- Dmitry V. Titov* — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: amazing2004@inbox.ru

P. 43—46.

CONTROL CIRCUIT OF STEPPER MOTOR FOR AUTOMATED SYSTEM OF MOVING OBJECTS LABELING

A control circuit of a stepper motor for automated labeling systems is proposed. The system is designed for transfer of adhesive label tape on movable object.

Keywords: microcontroller, automated control system, self-adhesive label.

Data on authors

- Vladimir S. Panishchev* — Cand. Techn. Sci.; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: gskunk@rambler.ru
Oksana B. Slavkova — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: oksana_slavkova@mail.ru

P. 47—50.

SYSTEM OF WORKPIECE FIXING ON THE BASE OF THE ELECTORRHEOLOGICAL EFFECT

An optical-electronic automated system of workpiece fixing with the use of the electrorheological effect is proposed. The system operation algorithm is described.

Keywords: optical-electronic systems, electrorheological effect, CNC equipment, clamping devices.

Data on authors

- Grigory Yu. Akulshin* — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: ak.grigoriy@gmail.com
Maxim V. Bobyr — Cand. Techn. Sci.; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: fregat_mn@rambler.ru
Tamara A. Shirabakina — Cand. Techn. Sci., Professor; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: tas_06@mail.ru

P. 51—54.

INTEGRATED STRUCTURALLY RECONFIGURABLE EXTREME-CORRELLATION NAVIGATION SYSTEMS

The problems of design and application of integrated structurally reconfigurable extreme-correlation algorithms in navigating systems capable of adaptation to changing conditions are considered. Two approaches to estimation of efficiency and accuracy characteristics of integrated structurally reconfigurable extreme-correlation navigation systems are described.

Keywords: image, navigation systems, reconfigurable structures, extreme-correlation algorithm.

Data on authors

- Vladimir I. Syryamkin* — Dr. Techn. Sci., Professor; Tomsk State University, Interuniversity Training and Scientific Production Center “Technological Management”; Director of the Center
Viktor S. Shidlovskiy — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radio-Electronics, Department of Automation and Electronic Control Systems
Gleb S. Glushkov — Public Corporation “Federal Research Institute of Semiconductor Devices”, Tomsk; Engineer-Programmer; E-mail: gvl@sibmail.com
Sergey O. Lunev — Public Corporation “Federal Research Institute of Semiconductor Devices”, Tomsk; Technician-Programmer; E-mail: camel89@mail.ru
Sergey I. Burmantov — Public Corporation “Federal Research Institute of Semiconductor Devices”, Tomsk; Technician-Programmer; E-mail: fregat007@sibmail.com

P. 55—58.

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF AN INNOVATIVE GEOINFORMATION SYSTEM OF RESEARCH AND PRODUCTION ENTERPRISE

Principles of construction of an innovative geoinformation system of research and production enterprise are formulated. Possible structure and functional organization of the innovative geoinformation system as a complex automated system are analyzed.

Keywords: geoinformation technologies, geoinformation production, geospatial information, innovative support.

Data on author

Viktor N. Nikolaev — Dr. Techn. Sci., Professor; Southwest State University, Department of Information Systems and Technologies, Kursk; E-mail: nikovic54@yandex.ru

P. 59—61.

TOOLS ENVIRONMENT FOR EXPERT SYSTEMS DESIGN

Main instrumental environments for design of expert planning systems are analyzed. Principles of choice of optimal expert system are described.

Keywords: expert system, tool environment of design, programming language.

Data on authors

Andrey V. Lenshin — Dr. Techn. Sci., Professor; Military Aviation Engineering University, Department of Aviation Radio-Electronic Complexes, Voronezh; E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru

Alyona V. Perova — Military Aviation Engineering University, Department of Aviation Radio-Electronic Complexes, Voronezh; Engineer; E-mail: perovalyena@mail.ru

P. 61—63.

INTELLECTUAL TELEMEDICAL SYSTEM

A telemedicine system developed by the authors is presented. Principles of operation and medical diagnostic devices integrated into the system are described.

Keywords: telemedical system, noninvasive diagnostics, hardware-software complex, integrated system.

Data on authors

Vladimir I. Syryamkin — Dr. Techn. Sci., Professor; Tomsk State University, Interuniversity Training and Scientific Production Center “Technological Management”; Director of the Center

Dmitry S. Zhdanov — Post-Graduate Student; Tomsk State University, Department of Operation Research; E-mail: D_S_Zhdanov@mail.ru

Artem Sh. Bureev — Diagnostics+ Ltd., Tomsk; Director; E-mail: artem_bureev@mail.ru

Artem V. Osipov — Post-Graduate Student; Tomsk State University, Department of Operation Research; E-mail: avopiso@mail.ru

Anastasiya Yu. Osipova — Diagnostics+ Ltd., Tomsk; Engineer-Programmer; E-mail: nastj1tom@yandex.ru

P. 64—69.

INVESTIGATION ON CORRELATION BETWEEN COLOR OF HEART PORTRAIT AREAS AND ELECTROCARDIOGRAM FEATURES

Relation between coloring of separate areas in heart portrait and changes in specific waves and segments of electrocardiogram is investigated. A healthy human heart and corresponding standard electrocardiogram is applied for detection of pathologies with the use of KardioVizor-06C device.

Keywords: heart portrait, electrocardiogram, KardioVizor, segmentation.

Data on authors

- Sultan S. Sadykov** — Dr. Techn. Sci., Professor; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Anna S. Belyakova** — Post-Graduate Student; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: asbelyakova@rambler.ru
- Olga I. Evstigneeva** — Murom Station Hospital, Department of Functional Diagnostics; Physician
- Sergey A. Zholobov** — Student; Murom Institute — Branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: sergey@f5f5.ru

P. 70—73.

CONSTRUCTION OF A COMPLEX FILTER FOR MEASURING COMPLEX BASED ON TMS320DSK6455 PROCESSOR

An algorithm of design of complex filters for information-measuring systems based on specific processors tms320 is described. An example of the algorithm application to a measuring system design is presented.

Keywords: special processor, information-measuring system, the hardware-software complex, digital filtering.

Data on authors

- Yury P. Mukha** — Dr. Techn. Sci., Professor; Volgograd State Technical University, Department of Computer Science; Head of Department; E-mail: vt@vstu.ru
- Roman V. Litovkin** — Cand. Techn. Sci.; Volgograd State Technical University, Department of Computer Science; E-mail: vt@vstu.ru
- Konstantin K. Ugarov** — Volgograd State Technical University, Department of Computer Science; Leading Engineer; E-mail: knopnarix@ya.ru

P. 73—78.

MEASURING CONVERTER OF PARAMETERS OF MULTIPLE-UNIT ONE-PORT NETWORKS WITH BALANCING OF CURRENTS

A method and device are described, which are used for direct transformation of parameters of multiple-unit one-port networks under pulses of control voltage varying as an exponential function in time, and for compensation of currents through the one-port network. The compensation conditions are applied for determination of generalized parameters of the object under measurement and consequent calculation of electric parameters of its elements.

Keywords: multiple-unit one-port networks, generalized parameters, balancing of currents.

Data on authors

- Vladimir I. Ivanov** — Cand. Techn. Sci.; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; E-mail: viva37@mail.ru
- Vitaly S. Titov** — Dr. Techn. Sci., Professor; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk; Head of Department
- Dmitry A. Golubov** — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Computer Science, Kursk