

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
ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	
Мирошниченко С. Ю., Титов В. С. Метод локализации теней геопространственных объектов на цифровых аэрокосмических изображениях	7
Андрианов Д. Е., Соколов М. С. Использование топологических правил при пространственном анализе картографических объектов	14
Ершов Е. В., Виноградова Л. Н., Шумилова Е. С. Алгоритм фрактальной аппроксимации для сжатия изображений в оптико-электронных системах контроля качества продукции	19
Гальчук И. В., Костевич А. Г., Курячий М. И. Пространственно-временные ранговые алгоритмы выделения малоразмерных объектов на сложном фоне	22
Садыков С. С., Сафиулова И. А., Ткачук М. И. Полная автоматизированная обработка последовательности ультразвуковых снимков сердца	27
Труфанов М. И., Прилуцкий С. В. Способ обнаружения препятствий перед транспортным средством с использованием бинокулярной системы технического зрения.....	33
Кирпиченко Ю. Р., Пустынский И. Н. О влиянии рассеяния света на характеристики изображения, формируемого телевизионным датчиком.....	38
Гальчук И. В., Костевич А. Г., Курячий М. И. Устранение помеховых образований в видеосистемах с высокочувствительными телевизионными датчиками.....	42
Зайцева Е. В. Сравнение различных аппроксимаций кружка рассеяния безаберрационного объектива.....	47

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

- Сизов А. С., Титов Д. В., Труфанов М. И.** Модульная встраиваемая интеллектуальная опτικο-электронная система видеонаблюдения 52
- Панищев В. С., Решетникова В. П., Чернецкая И. Е.** Блок управления автоматизированной системой нанесения этикеток на подвижный объект 57

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- Ватутин Э. И., Зотов И. В., Титов В. С., Аль-Ашвал М. М.** Реализация операции вставки поддерева при аппаратно-ориентированной обработке R -выражений 63

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

- Титов В. С., Бобырь М. В., Милостная Н. А., Беломестная А. Л.** Метод коррекции дрейфа нуля операционных усилителей 72
- Масленников В. Н.** Сравнительный анализ чувствительности транзисторных и ламповых видеоусилителей 75
- Титов Д. В.** Стенд для испытаний опτικο-электронных устройств 80
- Авдоченко Б. И., Коновалов В. Ф.** Блок питания для активно-импульсной телевизионной системы 83
- SUMMARY (перевод Ю. И. Копилевича) 88

THEMATIC ISSUE

METHODS AND MEANS OF IMAGE PROCESSING

By Edition

*of S. G. Emelyanov, Doctor of Technical Science, Professor,
and V. S. Titov, Doctor of Technical Science, Professor*

CONTENTS

PREFACE	5
ALGORITHMIC AND METHODOLOGICAL BASIS OF IMAGE PROCESSING SYSTEMS DEVELOPMENT	
Miroshnichenko S. Yu., Titov V. S. A Method for Geospatial Object Shadow Localization in Digital Aerospace Images.....	7
Andrianov D. E., Sokolov M. S. Algorithm of GIS Objects Selection on the Base of Topological Rules.....	14
Ershov E. V., Vinogradova L. N., Shumilova E. S. Fractal Approximation Algorithm for Image Compression in Opto-Electronic Systems of Production Quality Control	19
Galchuk I. V., Kostevich A. G., Kouryatchy M. I. Spatial-Temporal Rank Algorithms for Selection of Small-Sized Objects against a Complex Background	22
Sadykov S. S., Safiulova I. A., Tkachuk M. I. Complete Computer-Added Processing of Ultrasound Heart Images Sequence.....	27
Truphanov M. I., Prilutskiy S. V. Method of Obstacle Detection Before a Vehicle by Stereo Vision System	33
Kirpichenko Yu. R., Pustynsky I. N. Light Scattering Effect on Television Image	38
Galchuk I. V., Kostevich A. G., Kouryatchy M. I. Elimination of Noise Formations in Video System with High-Sensitive TV Transducer	42
Zaitceva E. V. Comparison of Various Approximations for Diffusion Disk of Non- Aberrational Lens	47
OPTO-ELECTRONIC DEVICES AND SYSTEMS	
Sizov A. S., Titov D. V., Truphanov M. I. Modular Built-In Intelligent Opto-Electronic Video Detection System	52
Panishchev V. S., Reshetnikova V. P., Chernetskaya I. E. Control Block of Automated System for Label Gluing to Mobile Object	57

COMPUTING TECHNIQUE

Vatutin E. I., Zotov I. V., Titov V. S., Al-Ashval M. M. Hardware-Level Implementation of Subtree Insertion in Processing of R -Expressions	63
--	----

ELEMENTARY BASE OF OPTO-ELECTRONIC DEVICES AND SYSTEMS

Titov V. S., Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Belomestnaya A. L. Method of Zero Drift Correction in Operational Amplifier.....	72
Maslennikov V. N. Comparison of Sensitivity of Transistor and Vacuum-Tube Video Amplifiers	75
Titov D. V. Bench for Testing of Opto-Electronic Devices	80
Avdochenko B. I., Konovalov V. F. Power-Supply Unit for Active Pulse Television System.....	83
SUMMARY	88

Editor-in-Chief E. B. Yakovlev

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем тематическом выпуске журнала представлены результаты исследований, проводимых в течение последних лет сотрудниками Курского государственного технического университета в содружестве с учеными других вузов России, в частности Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Череповецкого государственного университета и Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета.

Выпуск содержит четыре раздела в соответствии с тематикой статей.

Первый раздел посвящен алгоритмическим и методическим основам построения систем обработки изображений.

Второй раздел „Опτικο-электронные устройства и системы“ посвящен средствам реализации систем технического зрения, а также устройствам управления автоматизированными системами.

В третьем разделе „Вычислительная техника“ рассмотрен вопрос реализации вставки поддерева при аппаратно-ориентированной обработке R -выражений.

В четвертый раздел включены статьи, отражающие результаты новых исследований по разработке элементной базы опτικο-электронных устройств и систем.

Результаты исследований, представленные в выпуске, обсуждались на различных международных конференциях и симпозиумах и получили положительную оценку.

Коллектив авторов выражает искреннюю признательность редакции журнала за возможность публикации статей и помощь в подготовке данного выпуска.

*Ректор Курского государственного технического университета
доктор технических наук, профессор
С. Г. ЕМЕЛЬЯНОВ*

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

PREFACE

This issue presents results of scientific investigations carried out within the recent years at Kursk State Technical University in cooperation with researchers from other Russian institutions of higher education, in particularly from Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Cherepovets State University, and Murom Institute — branch of Vladimir State University.

The issue contains four sections corresponding to subject matter of included articles.

The first section is devoted to algorithmic and methodological basis of image processing systems development.

The second section “Opto-Electronic Devices and Systems” deals with realization of technical vision systems and control over computer-added systems.

The third section “Computing Technique” covers the problem of subtree insertion in hardware-oriented processing of R -expressions.

The fourth section includes articles describing results of recent investigations on development of basic elements for opto-electronic devices and systems.

Scientific results presented in this issue have been discussed at various international conferences and symposiums and gained general acceptance.

The group of authors is truly thankful to the editorial staff for publication of the articles and assistance in preparation of this issue.

*Rector of Kursk State Technical University
Doctor of Engineering Science, Professor
S. G. EMELYANOV*

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

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 004.93"1, 004.932

С. Ю. МИРОШНИЧЕНКО, В. С. ТИТОВ

МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕНЕЙ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Представлен метод локализации теней геопространственных объектов, позволяющий повысить точность автоматизированного формирования тематических слоев электронных карт геоинформационных систем на основе аэрокосмических изображений. Повышение точности достигается за счет устранения формируемых тенями ложных объектов с использованием методов цифровой обработки изображений.

Ключевые слова: геоинформационные системы, аэрокосмические изображения, автоматическая векторизация, тени объектов, пространственное дифференцирование, функция Гаусса, кластеризация.

Современные геоинформационные системы (ГИС) обеспечивают эффективное решение различных задач, возникающих в разных сферах деятельности человека [1]. Широкое применение ГИС обуславливает необходимость поддержания в актуальном состоянии их информационной основы — банка электронных карт (ЭК). Решение данной задачи предполагает как создание новых ЭК, так и обновление существующих с использованием различных источников информации: географических и топографических карт, кадастровых документов, а также наземных, авиационных и космических снимков [2]. Очевидно, что последние позволяют получить наиболее полную информацию об исследуемом участке местности, достаточную для формирования основных тематических слоев ЭК.

Автоматизированное формирование тематических слоев ЭК по цифровому авиационному или космическому изображению основано на использовании различных методов обработки растровых изображений (контурных, кластерных, частотных), обеспечивающих локализацию и построение контурных представлений геопространственных объектов [3]. Однако применение указанных методов к аэрокосмическим изображениям сопряжено с трудностями, вызванными их излишней информативностью и, в частности, наличием теней объектов местности. При использовании контурных, кластерных или частотных методов обработки изображений тени формируют ложные объекты, что вызвано значительным различием яркостей тени и окружающего фона и, как следствие, резким перепадом яркости на границе тени с фоном и объектом. Следовательно, актуальной является задача локализации теней объектов на аэрокосмическом изображении для устранения их негативного влияния на точность формируемых в результате автоматизированной обработки тематических слоев ЭК.

Тень (s) объекта (S_i) на аэрокосмическом изображении $I = f(x, y)$, $x = \overline{1, M}$, $y = \overline{1, N}$, представляет собой область $S_i^{(s)}$, примыкающую к объекту местности (рис. 1, $a, б$)

и обладающую однородной внутренней структурой (изменения яркости в пределах области незначительны):

$$S_i^{(s)} = s_i^{(s)}(x, y), S_i^{(s)} \in I. \quad (1)$$

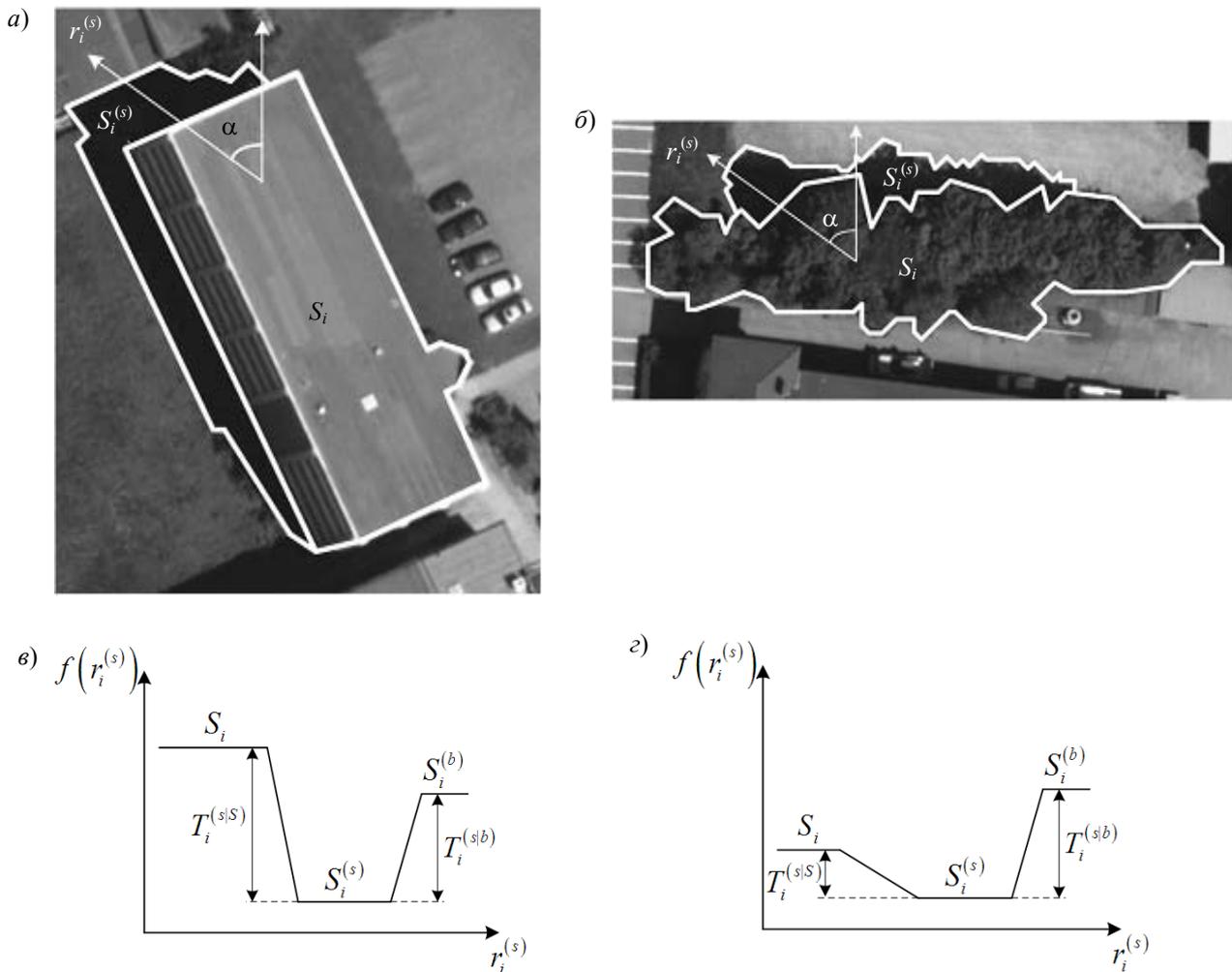


Рис. 1

Как видно из рис. 1, а, область тени $S_i^{(s)}$ искусственного объекта обладает меньшей средней яркостью по сравнению с самим объектом S_i и окружающим фоном:

$$\overline{f(S_i^{(s)})} < \overline{f(S_i)}, \quad \overline{f(S_i^{(s)})} < \overline{f(S_i^{(b)})}, \quad (2)$$

где $S_i^{(b)}$ — область фона, непосредственно примыкающая к области тени $S_i^{(s)}$.

Модули разностей средних яркостей тени и искусственного объекта $T_i^{(s|S)}$, а также тени и фона $T_i^{(s|b)}$ эквивалентны и их соотношение зависит от отражающих свойств объекта и фона:

$$T_i^{(s|S)} \equiv T_i^{(s|b)}, \quad T_i^{(s|S)} = \left| \overline{f(S_i^{(s)})} - \overline{f(S_i)} \right|, \quad T_i^{(s|b)} = \left| \overline{f(S_i^{(s)})} - \overline{f(S_i^{(b)})} \right|. \quad (3)$$

График функции яркости изображения яркости вдоль вектора $r_i^{(s)}$ (см. рис. 1, а), проведенного под углом α к нулевому азимуту и пересекающего границы объекта с тенью и тени с фоном, представлен на рис. 1, в.

Для природных объектов, например группы деревьев (см. рис. 1, б), также выполняется условие (2), однако значения $T_i^{(s|S)}$ и $T_i^{(s|b)}$ не эквивалентны (условие (3) не выполняется), поскольку среднее значение яркости объекта S_i незначительно превосходит яркость области тени $S_i^{(s)}$: см. рис. 1, з, откуда видно, что перепад яркости природного объекта на границе с его тенью является плавным и обладает меньшим значением модуля градиента функции яркости по сравнению с границей тени и фона.

Следовательно, характерным признаком наличия тени объекта любого типа является перепад яркости на границе тени с фоном. На основе данного признака можно произвести оценку положений теней объектов местности с использованием направленной двумерной дифференциальной функции Гаусса $G_\sigma^{(s)}(\bullet)$, повернутой на угол α , равный азимуту Солнца (рис. 2, а):

$$G_\sigma^{(s)}(x, y, \alpha) = \frac{-\left(x \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) - y \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)\right) \left(y \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)\right)^2 - \left(x \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)\right)^2}{2\pi\sigma^4} e^{-\frac{\left(y \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)\right)^2 - \left(x \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)\right)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где σ — полуширина функции Гаусса $G_\sigma^{(s)}(\bullet)$, определяющая протяженность перепада функции яркости, при которой наблюдается наибольший по модулю отклик функции $G_\sigma^{(s)}(\bullet)$.

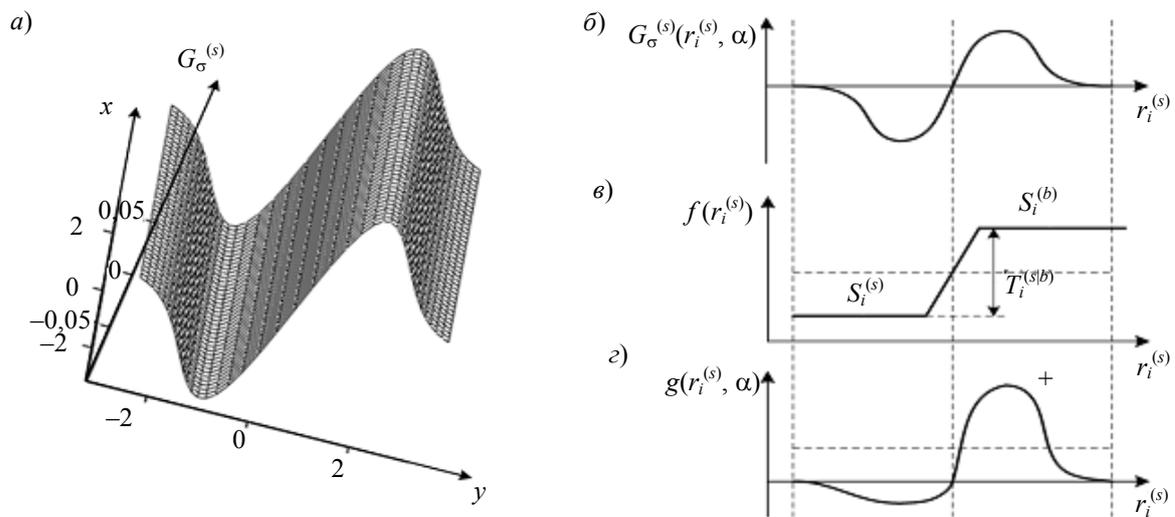


Рис. 2

Для оценки положения теней объектов исходное аэрокосмическое изображение I (рис. 3, а) подвергается свертке с функцией (4), в результате чего формируется дифференциальное изображение $D(\alpha) = d(x, y, \alpha)$ (см. рис. 3, б), на котором локальные максимумы отклика функции $G_\sigma^{(s)}(g)$ в направлении солнечного освещения соответствуют границам теней объектов с фоном:

$$D(\alpha) = \sum_{y^{(i)}=1}^N \sum_{x^{(i)}=1}^M G_\sigma^{(s)}\left(x^{(i)} - x, y^{(i)} - y, \alpha\right) f\left(x^{(i)}, y^{(i)}\right). \quad (5)$$

Применение функции (4) обусловлено тем, что она обеспечивает локальный максимальный положительный отклик (см. рис. 2, *з*) при положении центра оси симметрии $G_{\sigma}^{(s)}(g)$ (одномерный пример приведен на рис. 2, *б*) на границе тени с фоном (см. рис. 2, *в*) за счет свертки более яркой области фона на границе с тенью и положительной частью функции (4).

а)



б)

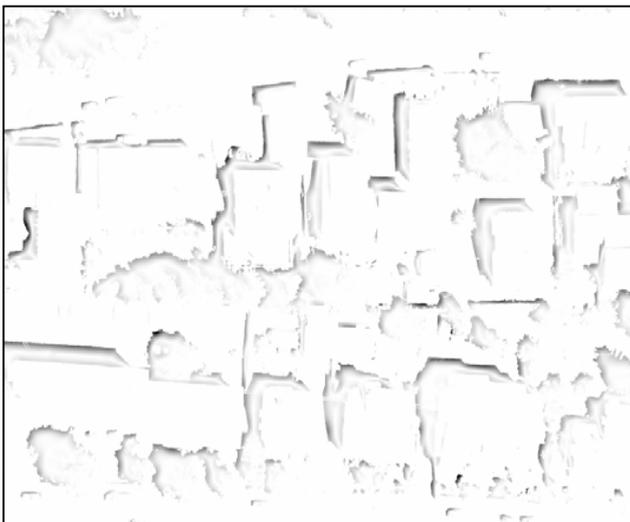


Рис. 3

Если азимут Солнца α неизвестен, его определение осуществляется с помощью преобразования Радона [4], которое заключается в построении фазовой развертки в диапазоне $[0, 2\pi]$ интегральных откликов $\mathfrak{R}^{(s)}(\varphi)$ функции (4) по всему изображению I :

$$\mathfrak{R}^{(s)}(\varphi) = \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M d(x, y, \varphi), \quad \varphi \in [0, 2\pi]. \quad (6)$$

При наличии большого количества теней на аэрокосмическом изображении максимальный интегральный положительный отклик $\mathfrak{R}^{(s)}(\varphi)$ будет получен при $\varphi = \alpha$.

При цифровой обработке изображения функция (4) с помощью аппроксимации заменяется маской свертки, что обеспечивает меньшую вычислительную сложность операции (5) [4, 5]. Маска свертки $\mathbf{G}_{\sigma}^{(\varphi)} = \left\| g_{ij}^{(\varphi)} \right\|, i, j = \overline{1, 2N_{\mathbf{G}} + 1}$, для функции (4) представляет собой фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр) [5], при этом предполагается, что функ-

ция ограничена размерами маски и за ее пределами не существует (равна нулю). В соответствии с функциями (5), (6) маска свертки $\mathbf{G}_\sigma^{(\varphi)}$ должна:

— обеспечивать возможность аппроксимации функции (4) при любом значении угла φ , что необходимо для построения фазовой развертки (6);

— при различных значениях угла φ иметь незначительно различающуюся сумму модулей элементов матрицы $\mathbf{G}_\sigma^{(\varphi)}$ (не более чем на $\varepsilon_G = 0,5\%$) для обеспечения возможности сравнения откликов фильтра при определении максимума функции (6).

В соответствии с рассмотренными свойствами наиболее подходящей является аппроксимация функции (4) внутри окружности с центром в начале координат и радиусом R (задается путем ограничения области определения функции), что позволяет построить КИХ-фильтр требуемой формы внутри классической квадратной маски. При этом элементы маски, лежащие за пределами области определения, принимают нулевые значения.

Значение параметра σ зависит от четкости теней (формы перепада функции яркости в области перехода тень—фон) и определяется эмпирически. Размер маски свертки, а следовательно, и радиус области определения функции (4) рассчитывается на основе средней длины тени на аэрокосмическом изображении, зависящей от пространственного разрешения изображения I .

Определение элементов маски свертки $\mathbf{G}_\sigma^{(\varphi)}$, для соблюдения условия постоянства суммы их модулей, производится таким образом, чтобы минимизировать влияние вращения функции (4) относительно узлов дискретной сетки при изменении угла φ . Для этого расчет каждого элемента $g_{ij}^{(\varphi)}$ на основе значения функции (4) производится не только по соответствующему узлу дискретной сетки, но и по квадратной области $P_{ij}^{(s)}$ с центром в данном узле:

$$g_{ij}^{(\varphi)} = \frac{1}{(2h+1)^2} \sum_{n=-h}^h \sum_{m=-h}^h G_\sigma^{(s)} \left(i + \frac{m}{2h}, j + \frac{n}{2h}, \varphi \right), \quad (7)$$

где $(2h+1)^2$ — количество узлов в пределах области $P_{ij}^{(s)}$, используемых для вычисления значения элемента $g_{ij}^{(\varphi)}$.

Рассчитанная маска свертки $\mathbf{G}_\sigma^{(\varphi)}$ применяется для построения карты откликов $D(\varphi)$ (см. формулу (5)) на исходном аэрокосмическом изображении I при определенном значении угла φ :

$$D(\varphi) = \sum_{i=-R}^R \sum_{j=-R}^R g_{ij}^{(\varphi)} f(x+i, y+j), \quad x = \overline{1, M}, \quad y = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Сформированное дифференциальное изображение $D(\alpha)$ представляет собой карту, отражающую оценку положений теней объектов. Локальный максимум (8) отклика функции свидетельствует о возможном присутствии в некоторой точке карты $D(\alpha)$ границы тени объекта с фоном. Область тени $S_i^{(s)}$ является замкнутой, в ее пределах функция яркости однородна, и, следовательно, для локализации теней наилучшим образом подходит кластерная функция [3]. В качестве признака кластерной функции выбран модуль разности яркости некоторой точки $p_{ij}^{(s)} = (x_{ij}^{(s)}, y_{ij}^{(s)})$, $p_{ij}^{(s)} \in I$, изображения и текущего среднего значения яркости кластера $C_i^{(s)}$:

$$T^{(s)} \left(p_{ij}^{(s)}, C_i^{(s)} \right) = \left| f \left(p_{ij}^{(s)} \right) - \overline{f \left(C_i^{(s)} \right)} \right|.$$

Начальное положение и форма кластера $C_i^{(s)}$, а также среднее значение его яркости определяются линией, проходящей внутри области тени $S_i^{(s)}$ вдоль ее границы с фоном.

Для того чтобы кластер $C_i^{(s)}$ принял форму области тени $S_i^{(s)}$, производится его наращение за счет точек изображения, непосредственно прилегающих к границе кластера. Некоторая точка $p_{ij}^{(s)}$, находящаяся на границе кластера $C_i^{(s)}$, присоединяется к нему в случае, если ее яркость $f(p_{ij}^{(s)})$ незначительно отличается от средней яркости кластера $\overline{f(C_i^{(s)})}$:

$$C_i^{(s)} = C_i^{(s)} \cup \{p_{ij}^{(s)}\} : T^{(s)}(p_{ij}^{(s)}, C_i^{(s)}) < T_i^{(s(b))} / 2.$$

Процесс поэтапного наращивания кластера представлен на рис. 4. Начальное положение кластера (рис. 4, а) определяется линией, смещенной от границы тени объекта с фоном на одну точку внутрь тени. Далее выполняется итеративное наращение кластера за счет присоединения точек изображения, расположенных на текущей границе кластера (см. рис. 4, б, в). Наращение кластера $C_i^{(s)}$ прекращается, если ни одна точка $p_{ij}^{(s)}$, находящаяся на его границе, не может быть присоединена к кластеру (см. рис. 4, г), поскольку не удовлетворяет условию (8).

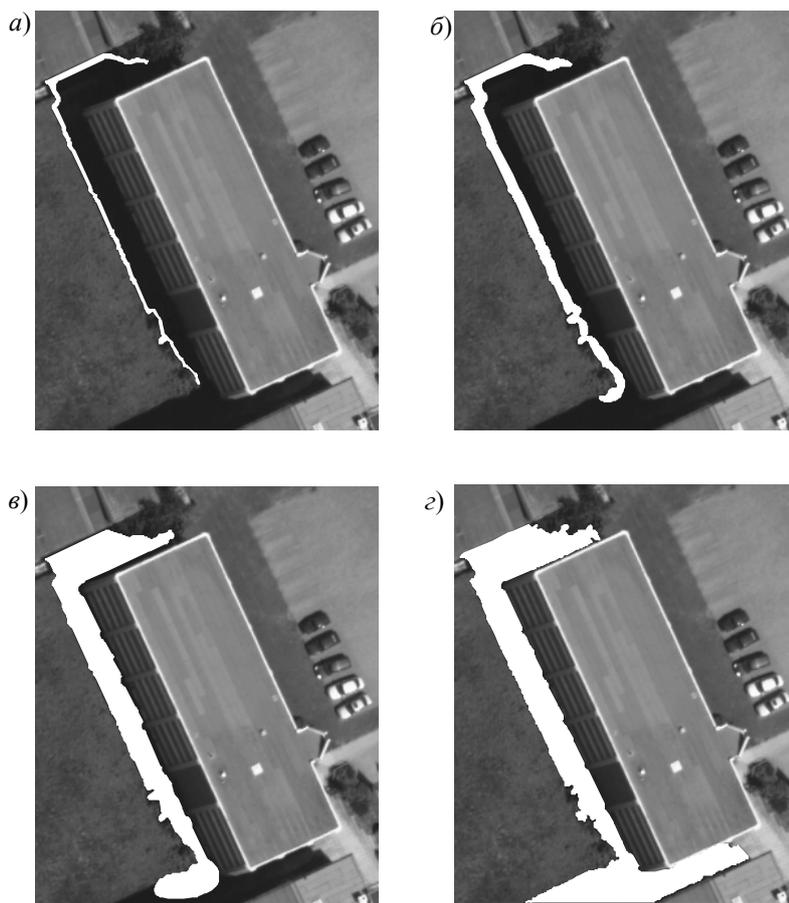


Рис. 4

В результате формируется множество кластеров $C^{(s)} = \{C_i^{(s)}\}, i = \overline{1, N_C}$, однако не все его элементы представляют собой тени объектов, так как кластеры создавались без учета яркостных характеристик теней (различие средних яркостей теней незначительно и им можно пренебречь). Для удаления кластеров, не являющихся тенями объектов местности, из множе-

ства $C^{(s)}$ исключаются элементы $C_i^{(s)}$, средние значения яркости которых лежат вне диапазона допустимых средних значений яркости тени:

$$C^{(s)} = C^{(s)} \setminus \left\{ C_i^{(s)} : f\left(C_i^{(s)}\right) \notin \left[M\left(S^{(s)}\right) \pm \sigma'\left(S^{(s)}\right) \right], i = \overline{1, N_C} \right\},$$

здесь M — операция определения математического ожидания; σ' — СКО.

Поскольку возможна ситуация, когда кластеры множества $C^{(s)}$ частично пересекаются, необходимо выполнить их объединение путем добавления в один из кластеров недостающих точек другого:

$$C_i^{(s)} = C_i^{(s)} \cup C_m^{(s)}, C^{(s)} = C^{(s)} \setminus \left\{ C_m^{(s)} \right\}.$$

Каждый из сформированных кластеров $C_i^{(s)}$ преобразуется в контурное представление путем кодирования векторной последовательностью его границ и используется для исключения ложных объектов при контурной, кластерной или частотной обработке изображений, а также для определения высот соответствующих объектов (при известном угле места Солнца).

Таким образом, предложенный метод, предназначенный для устройств и систем автоматизированной векторизации аэрокосмических изображений [6, 7], позволяет определять положения теней объектов местности при полном отсутствии априорной информации об условиях получения изображения, а также обеспечивает повышение точности локализации и векторизации геопространственных объектов за счет устранения ложных объектов, формируемых тенями.

Работа выполнена при поддержке гранта НК-254П-6(7) в рамках реализации ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов Д. Е. Геоинформационные системы: исследование, анализ и разработка. М.: Гос. науч. центр РФ, ВНИИгеосистем, 2004. 184 с.
2. Мартыненко А. И. Информатика и электронная Земля: фундаментальные научные проблемы // Системы и средства информатики. М.: ИПИ РАН, 2001. Вып. 11. С. 94—112.
3. Miroshnichenko S. Yu. Buildings and structures preliminary identification on aerospace images using edges detection with local scale estimation // Proc. of the 9th Intern. Conf. "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies". Nizhni Novgorod, 2008. Vol. 2. P. 51—52.
4. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
5. Соифер В. А. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Соифера. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
6. Мирошниченко С. Ю., Титов В. С. Параллельно-конвейерное устройство для векторизации аэрокосмических изображений земной поверхности // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 2. С. 45—51.
7. Пат. 2374684 РФ, МПК G06K9/46, G06F15/00. Параллельно-конвейерное устройство для векторизации аэрокосмических изображений земной поверхности / С. Ю. Мирошниченко, В. С. Титов, М. И. Труфанов. Опубл. 27.11.2009. Бюл. № 27.

Сведения об авторах

- Сергей Юрьевич Мирошниченко** — канд. техн. наук; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: oldguy7@rambler.ru
- Виталий Семенович Титов** — д-р техн. наук, профессор; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

Д. Е. АНДРИАНОВ, М. С. СОКОЛОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПРАВИЛ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННОМ АНАЛИЗЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается подход к применению топологических отношений при групповом пространственном анализе картографических объектов. Введено понятие массива из матриц топологических отношений, хранящих взаимосвязи между объектами, что позволяет произвести их выборку в соответствии с заданными правилами.

Ключевые слова: картографический объект, топологическое отношение, геоинформационные системы, матрица топологических отношений, правило отбора.

Основой эффективной работы геоинформационной системы (ГИС) являются топологические отношения, позволяющие структурировать пространственно-распределенные данные.

Анализ топологических отношений позволяет произвести наиболее естественную выборку графических объектов, представленных на карте в векторной форме [1]. На основе пространственных отношений можно сформировать условия соответствия одного объекта или группы объектов некоторому набору правил.

Типичными пространственными запросами в ГИС являются, например, такие, как „найти все города, которые лежат в пределах 5 км от дороги N^c “ или „найти все дороги в городах, смежных с городом X^c “.

Существующие коммерческие языки запросов к базам данных (например, SQL) не обеспечивают достаточную функциональность, так как предлагают лишь средства для определения равенства или порядка простых типов данных (целого числа или строки) [2, 3].

Пространственные запросы могут быть реализованы, если все топологические отношения между исследуемыми объектами явно сохранены. Однако такой сценарий нереалистичен, поскольку требует большого объема оперативной памяти для каждого вида пространственных отношений между объектами [4]. Вместо хранения всех пространственных отношений, на практике они определяются на основе геометрического или пространственного расположения объектов.

Задача алгоритма топологического отбора — быстрое выполнение пространственного запроса пользователя. Это возможно на основе определения пространственных отношений до начала обработки запроса, кроме того информация о них должна быть размещена в оперативной памяти для быстрой обработки [4].

Введем понятие многомерного массива из матриц, хранящих информацию о межобъектных топологических отношениях; каждая из матриц — это кортеж на множестве, представляющем пространственные объекты, для которых определяется конкретная пространственная взаимосвязь.

Таким образом, решение задачи быстрого выполнения пространственных запросов — это построение указанных матриц топологических правил на первоначальном этапе работы алгоритма; дальнейшая работа с матрицами осуществляется с минимальными задержками. Фактически, формируется куб со слоями, представленными в виде топологических двумерных массивов, изображенных на рис. 1.

Элементами матриц являются бинарные значения, указывающие наличие или отсутствие одного из отношений между объектами, определяемыми порядковыми номерами столбца и строки.

Представление матриц в виде слоев куба дает возможность применения технологии OLAP — обработки данных в режиме реального времени. При этом куб, который может храниться на выделенном сервере, представляет собой хранилище фактов (межобъектных топологических отношений), каждому факту ставится в соответствие уникальное сочетание элементов измерений (наличие или отсутствие топологии).

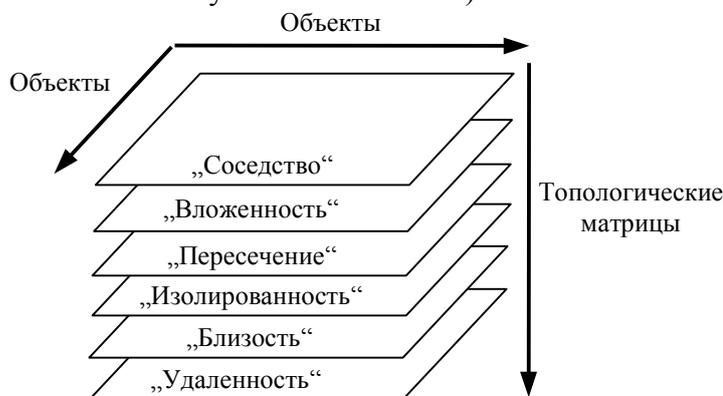


Рис. 1

Основной проблемой при организации пространственных запросов является высокая трудоемкость формирования топологических матриц на первоначальном этапе. Для снижения трудоемкости предлагается использовать возможность конкретного указания слоев и стилей карты, где отражены объекты, подлежащие анализу при отборе. Таким образом значительное уменьшение объема оперативной памяти и временных затрат на обработку данных будет достигнуто благодаря следующим факторам:

- конкретизации класса объектов, подлежащих поиску;
- использованию матриц, содержащих межобъектные топологические отношения и хранящихся в оперативной памяти, при этом сканирование матриц будет осуществляться с высокой скоростью.

Для конкретного класса объектов задается бинарная структура отношений, поэтому в основу пространственного запроса заложены бинарные операции сравнения.

Описание алгоритма. Точечные, линейные и полигональные объекты — это пространственные элементы, которые называют примитивами или базовыми элементами [2, 3].

Элементом x_i картографического объекта X назовем примитив, который можно отнести к точечному, линейному или полигональному типу. Картографическим объектом X будем называть объект, который состоит из примитивов. Простым картографическим объектом называется объект, состоящий из множества базовых элементов, так что

$$X = \{x_i\}.$$

Сложным называется картографический объект, который состоит не менее чем из двух базовых элементов:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}.$$

Как показано в работе [3], в зависимости от набора сущностей, участвующих в пространственном взаимодействии, можно выделить три класса топологических отношений (внутриобъектные, межобъектные и концептуальные). Каждый класс определяет большую группу топологических отношений, которые отражают элементы внутренней или внешней топологии. Указанные классы могут перекрываться и дополнять друг друга.

Для эффективной работы средств отбора данных в ГИС необходимо найти сбалансированную схему порядка определения топологических отношений. Таким образом, указанные выше классы могут характеризоваться следующим образом:

1) внутриобъектные — топологические отношения, определяющие целостность объекта как совокупности элементарных геометрических частей и семантического контекста (компонентами топологического отношения являются геометрические примитивы, составляющие объект);

2) концептуальные — топологические отношения, устанавливающие наиболее общие правила расположения объектов, относящихся к разным классам;

3) межобъектные — топологические отношения, устанавливаемые между парой объектов.

Разделение топологических отношений на классы будем производить в соответствии с совокупностью объектов, участвующих в отношении [3].

Согласно постановке задачи по выборке картографических объектов необходимость определения сложных топологических отношений отсутствует — для формирования топологических матриц достаточно определить межобъектную топологию. В этой связи выделим следующие типы межобъектных топологических отношений: изолированность, пересечение, вложенность, соседство, близость, удаленность.

Однако, говоря о межобъектной топологии, необходимо отметить фактор влияния на нее внутренних отношений между составными частями картографического объекта (рис. 2). Фактически каждое установленное межобъектное топологическое отношение основывается на анализе взаимосвязей базовых элементов — точек, линий, полигонов. Важность этих взаимосвязей можно продемонстрировать на следующем примере: при выборке всех строений, расположенных на определенном расстоянии от заданной улицы, необязательно анализировать все примитивы, составляющие строение (обычно это сложные контуры, состоящие из нескольких форм), а целесообразно проводить вычисления только для внешних (по отношению к остальным) примитивов, что позволит сократить время расчета. При анализе любых отношений, кроме изолированности, выполнение правила для одного из примитивов означает, что оно выполняется и для объекта в целом.

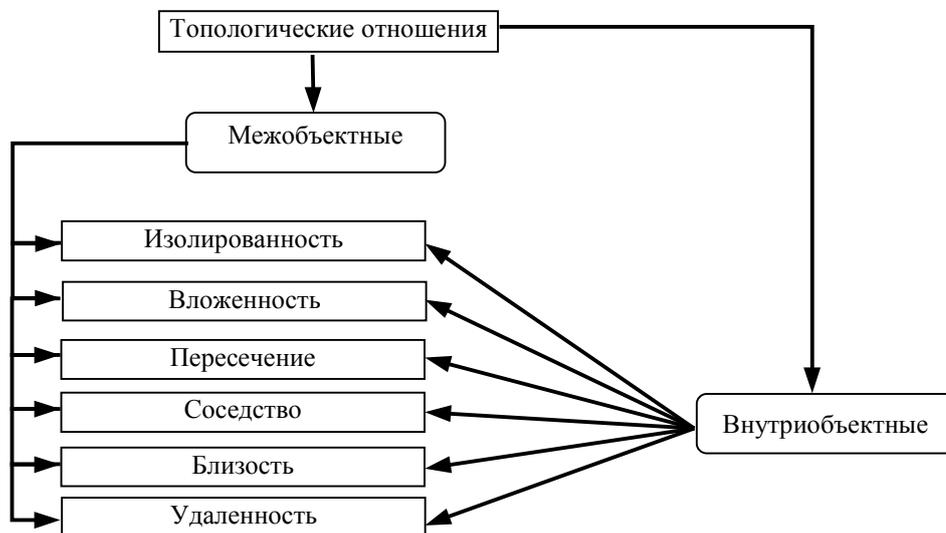


Рис. 2

Пусть имеется совокупность картографических объектов

$$K = \{X_n\},$$

где n — количество объектов, а также совокупность сформированных правил P отбора

$$L = \{P_m\},$$

где m — количество правил.

Тогда задача алгоритма по выборке объектов состоит в проверке множества K на соответствие входящих в него элементов отношениям множества L .

Принцип работы алгоритма. Алгоритм основан на предварительном формировании шести матриц по числу базовых межобъектных топологических отношений. Строки и столбцы матриц соответствуют идентификаторам картографических объектов, на пересечении находится бинарный элемент, показывающий наличие или отсутствие топологического отношения.

Подробная схема работы алгоритма может быть представлена следующим образом.

1. Пользователь указывает объекты каких слоев и стилей карты должны подлежать анализу. Пользователь должен указать также меру близости для расчетов. В инструментальной ГИС стиль и слой определяются идентификаторами, которые обозначим как ID_1 и ID_2 .

2. Осуществляется обработка множества K по следующему правилу:

$$M[i, j] = O(X_i, X_j), (X)_{\text{style}} = ID_1 \text{ и } (X)_{\text{layer}} = ID_2 \quad \forall X \in K, \forall P \in L,$$

где i, j — порядковые номера строки и столбца матрицы, соответствующие картографическим объектам; M — топологическая матрица; O — топологическое отношение; индексы „style“, „layer“ отражают свойства картографического объекта, определяющие его отношение к стилю и слою отображения соответственно.

3. Формируются простые (одно топологическое отношение) или сложные (комбинация топологических отношений) правила выборки объектов (множество L).

4. Выборка осуществляется посредством анализа каждой топологической матрицы, для которой формируется свой список S соответствующих объектов, т.е. для каждого i -го объекта определяются другие (с номерами j), находящиеся с ним в каком-либо пространственном отношении:

$$S \leftarrow \text{Get ID}(j), \text{ если } M[i, j]=1 \text{ и } i \neq j \quad \forall i, j \in (1 \dots n),$$

где n — количество объектов, Get ID — оператор определения идентификатора объекта по его номеру в матрице.

5. Для сложного (составного) правила производится объединение сформированных списков S в соответствии с компоновкой правила (конъюнкция, дизъюнкция, отрицание):

$$Q = S_1 \text{ (и/или/нет) } S_2 \dots S_P,$$

где P — число простых правил в сложном.

6. Результат поиска представляется пользователю в виде списка найденных объектов, возможен просмотр результатов на карте, удаление объектов, модификация.

Для оптимизации алгоритма предпринимаются следующие шаги:

1) при определении отношений „соседство“, „изолированность“, „близость и удаленность“, „пересечение“ возможно сокращение вычислительных затрат по меньшей мере в два раза, т.е. при формировании матрицы можно заполнять лишь ее половину, так как при выполнении этих правил для одного объекта пары они выполняются и для другого; кроме того, можно провести оптимизацию следующего характера: если определены отношения „соседство“ или „пересечение“, то отношения „изолированность/близость/удаленность“ для этих же объектов не выполняются и их определять не нужно, и наоборот; взаимоисключающими для пары объектов являются также отношения „соседство“ и „пересечение“;

2) при определении отношения „вложенность“ возможно некоторое снижение вычислительных затрат за счет исключения повторных проверок на вложенность для пары объектов, а также в случае если все остальные, рассчитанные ранее отношения не выполняются;

3) анализ отношения „изолированность“ возможен не поэлементно, а по столбцам ввиду исключительности данного правила: если в строке, соответствующей картографическому объекту, нет ни одного бинарного элемента со значением „0“, то объект изолирован.

Результаты исследования алгоритма приведены на рис. 3, где представлен график его работы при обычной выборке (кривая 1) и при выборке, произведенной на основе матриц (кривая 2).

Оценим потребность алгоритма в оперативной памяти: для хорошо детализированной карты среднестатистического города число объектов может достигать 1 млн., соответственно объем одной матрицы составит $10^6 \cdot 10^6$ байт или $\sim 0,91$ Тбайт, а для всех матриц — $0,91 \cdot 5 = 4,54$ Тбайт. Число объектов на одной карте может различаться в зависимости от текущих масштабов отображения и активных слоев, но общая тенденция, выражающаяся в экспоненциальном росте загрузки памяти с увеличением числа объектов, неизменна.

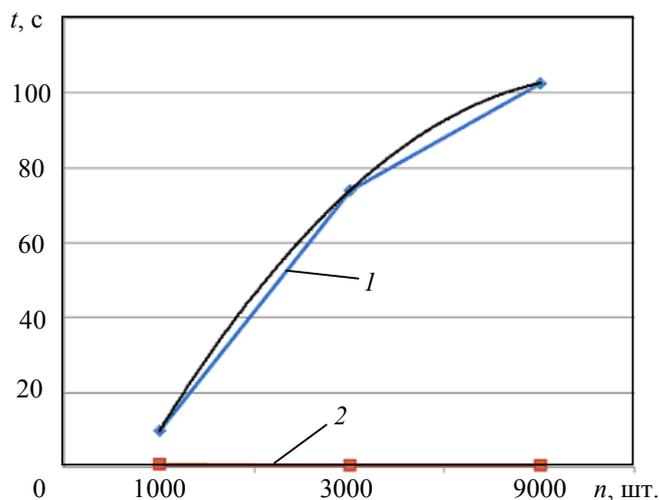


Рис. 3

Заключение. Рассмотренный алгоритм анализа картографических объектов позволяет организовать быструю выборку данных по топологическим правилам и упрощает работу пользователя при поиске объектов. Представленный в виде подсистемы расширения ГИС этот алгоритм может быть составной частью муниципальной геоинформационной системы.

Преимущества использования алгоритма очевидны при выполнении множества процедур отбора данных по различным правилам: используются однажды сформированные и сохраненные топологические матрицы, скорость сканирования которых не сопоставима со временем выборки объектов из ГИС. Несмотря на оптимальность расчетных топологических процедур, первоначальный этап формирования поисковых матриц весьма трудоемок, так как зависимость времени работы от количества объектов является параболической.

Трудоемкость выполнения алгоритма и высокая потребность в оперативной памяти обуславливают необходимость применения технологии, подобной OLAP. При этом можно обеспечить следующие преимущества:

- пользователь сам осуществляет детализацию матриц топологических отношений, выбирая интересующие его классы объектов, которые и формируют итоговые слои куба;
- факты (межобъектные топологические отношения), представленные в многомерном матричном виде, легко обрабатываются в соответствии как с простыми, так и сложными правилами отбора (пространственными запросами на основе бинарных операций сравнения), при этом анализируются бинарные структуры данных;
- учитывая многомерное послойное представление топологической информации, можно говорить о возможности распараллеливания обработки пространственных запросов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыков С. С., Андрианов Д. Е., Еремеев С. В. Формальное определение топологических отношений между картографическими объектами в ГИС // Обработка информации: методы и системы: Сб. науч. статей. М.: Горячая линия — Телеком, 2003.
2. Андрианов Д. Е., Булаев А. В. Алгоритм представления сложных топологических отношений в геоинформационных системах // Тр. Рос. науч.-техн. общества радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Сер. Цифровая обработка сигналов и ее применение. М., 2006. Вып. VIII-2.
3. Egenhofer M. Spatial query languages // Ph. D. Thesis: University of Maine. Orono, ME. 1989.
4. Egenhofer M. A formal definition of binary topological relationships // 3rd Intern. Conf. on Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO), Paris: France Lecture Notes in Computer Science, 367. Berlin & N.Y.: Springer-Verlag, 1989. P. 457—472.

Сведения об авторах

- Дмитрий Евгеньевич Андрианов** — д-р техн. наук, доцент; Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, кафедра информационных систем;
E-mail: AndrianovDE@inbox.ru
- Михаил Сергеевич Соколов** — аспирант; Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, кафедра информационных систем;
E-mail: acp.devel@googlemail.com

Рекомендована кафедрой
информационных систем

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 621.397

Е. В. ЕРШОВ, Л. Н. ВИНОГРАДОВА, Е. С. ШУМИЛОВА

АЛГОРИТМ ФРАКТАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Описывается алгоритм фрактальной аппроксимации для сжатия изображений, полученных с помощью оптико-электронной системы контроля качества продукции. Дается обоснование применения фрактальных распределений для повышения степени архивации данных. Приведены результаты практического использования алгоритма в условиях реального производства.

Ключевые слова: фрактал, изображение, оптико-электронная система, аппроксимация, сжатие.

Наиболее перспективными по быстрдействию системами контроля качества продукции являются оптико-электронные системы, в которых для обработки информации используются различные методы анализа изображений.

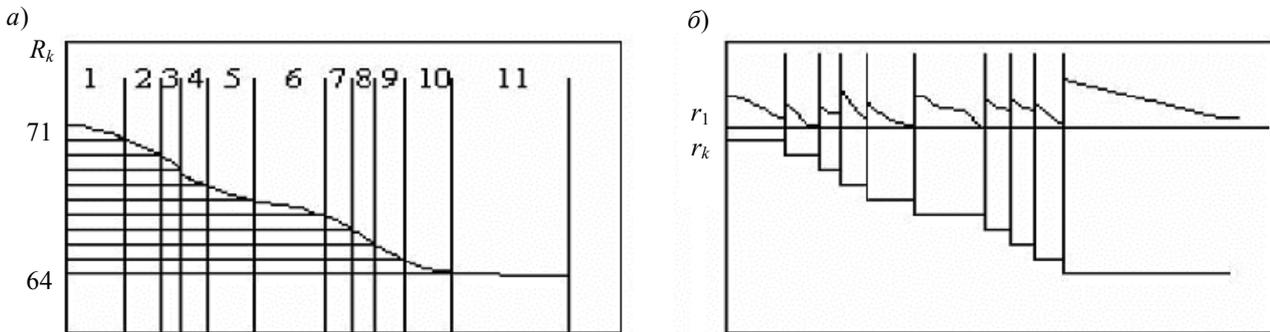
Растровые изображения имеют наибольший размер среди прочих форматов хранения информации, уступая только видеоизображениям. Для записи изображения требуется описать каждый его пиксел, поэтому чем больше пикселов и различных его вариаций, тем больше размер файла. Вследствие этого возрастает трафик и время передачи информации. Поэтому для передачи и хранения данных в формате графических изображений целесообразно использовать методы сжатия.

Процесс сжатия основан на устранении избыточности информации, содержащейся в исходных данных. Существуют различные методы сжатия информации, однако именно фрактальное сжатие максимально устраняет избыточность данных. Фрактальная архивация

основана на представлении изображения в более компактной форме с помощью коэффициентов системы функций, которые являются набором трехмерных аффинных преобразований. Преобразованию подвергаются точки в трехмерном пространстве: координата x , координата y , яркость. Каждое преобразование кодируется несколькими байтами, тогда как изображение, построенное таким образом, может занимать десятки мегабайт [1].

В общем виде процесс изменения какого-либо контролируемого параметра может быть представлен несколькими рядами данных: $R_k, R_1, R_2, \dots, R_n$, где R_k — ключевой вариационный ряд, который строится на основе данных, определяемых с меньшей точностью; R_1, \dots, R_n — множество других рядов, влияющих на результат. Предварительно проводится децимация по уровням, определенным допустимым интервалом изменения значений ряда R_k . Затем ряд R_1 разбивается на участки в соответствии с результатами децимации.

На первом шаге аппроксимации на каждом участке, полученном в результате разбиения ряда R_1 , данные преобразуются в вариационный ряд r_1 . Ряды R_2, \dots, R_n ставятся в соответствие ряду r_1 . Преобразование рядов экспериментальных данных продемонстрировано на рисунке, где a — децимация ключевого ряда, b — построение вариационных рядов на участках децимации.



После обнаружения некоторого отрезка ключевого ряда R_k с одинаковыми значениями членов ряда (r_k) анализируется соответствующий отрезок вариационного ряда r_1 . Аналогичным образом выбираются значения из остальных рядов.

На втором шаге аппроксимация осуществляется границами фрактала. При этом граница фрактала рассматривается как ломаная линия с соответствующими координатами $y_{i,j}=1$, а фрактал — как двумерный бинарный массив y . Тогда координаты аппроксимирующей кривой Y_j могут быть получены из средних значений координаты i границы фрактала:

$$Y_j = Y_{j-1} + \left| Y_{j-1} - \chi \sum_{i=1}^N y_{ij} \right|,$$

где $0 < \chi \leq 1$ — некоторый коэффициент.

На третьем шаге аппроксимации производится масштабирование, т.е. сопоставление значений отрезков распределения с рядом значений элементов аппроксимирующего отрезка.

Аппроксимация рядов экспериментальных данных с помеховой составляющей может быть осуществлена с использованием границ алгебраических фракталов (множество Мандельброта, множество Жулиа, треугольник Серпинского и др.). Известные методы аппроксимации полиномом n -й степени не позволяют точно восстановить картину исходного ряда.

Каждый единичный отрезок распределения может быть представлен большим количеством промежуточных данных. Аппроксимируя такую кривую фракталами, получим довольно большой коэффициент сжатия.

Для получения распределений можно применять не только фрактальные образы, но и любые другие, обладающие изломистой структурой. Преимущество использования именно фракталов заключается в том, что они генерируются простой зависимостью, и, изменяя их

численные характеристики, можно получить множество вариаций. Сравнительные характеристики фрактальных и нефрактальных отображений приведены в таблице.

Число нефрактальных отображений	Объем памяти, байт	Число фрактальных отображений	Объем памяти, занимаемой программой, байт	Число вариантов распределений
1	15 000	1	≈16 250	589
2	30 000	2		1178
4	115 000	4		2356

Очевидно, что в случае с четырьмя отображениями выигрыш составит 98 750 байт, где могут храниться 24 687 значений натуральных данных.

Экспериментальные исследования разработанного алгоритма фрактальной аппроксимации для сжатия изображений, полученных с помощью оптико-электронной системы контроля качества поверхности металлопроката, были осуществлены в условиях реального производства на ОАО „Северсталь“ (Череповец).

Объем выборки для наиболее распространенных дефектов поверхности (мазковая окалина, точечная окалина, излом и др.) составил 1000—1500, для других (менее распространенных) — 300—500. В качестве ключевого ряда R_k были приняты данные о выходе годного металлопроката. По степени значимости выделяются первые четыре параметра: ряд R_1 — длина дефекта, ряд R_2 — ширина дефекта, ряд R_3 — периодичность появления дефекта, ряд R_4 — положение дефекта относительно ширины полосы проката. Затем строятся гистограммы, а кривые законов распределения исследуемых характеристик аппроксимируются с помощью фракталов. Для каждого исследуемого образца в память компьютера записывается сжатое описанным выше способом изображение поверхности с имеющимся дефектом при различных скоростях (в интервале 0,5—1,0 м/с) движения полосы проката.

Предложенный алгоритм сжатия также апробировался в агломерационном производстве для хранения изображений излома агломерационного спека, полученных с помощью оптико-электронной системы контроля качества агломерата [2]. В качестве ключевого ряда R_k были приняты данные о содержании в общем объеме агломерата кусков оптимального класса крупности. По степени значимости выделены первые пять параметров: ряд R_1 — средний диаметр кусков, ряд R_2 — ширина автокорреляционной функции, ряд R_3 — скорость движения палетт, ряд R_4 — коэффициент высокотемпературной зоны излома, ряд R_5 — коэффициент высокотемпературной зоны поверхности. В ходе экспериментов были получены и обработаны данные по 80 000 кадров, контролировались 44 параметра процесса спекания.

Таким образом, по результатам исследований установлено, что алгоритм сжатия данных фрактальными распределениями при обработке информации в оптико-электронных системах позволяет в 1,8—7,0 раз сократить объем оперативной памяти на их хранение. При строго лимитированном объеме накопителей этот алгоритм позволит заложить в систему большее количество данных, а следовательно, повысить достоверность оценки качества продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ — МИФИ, 2002. 384 с.
2. Ершов Е. В. Оценка качества агломерата с использованием оптико-электронного метода // Изв. вузов. Черная металлургия. 2006. № 7. С. 19—22.

Сведения об авторах

Евгений Валентинович Ершов

— д-р техн. наук, доцент; Череповецкий государственный университет, кафедра программного обеспечения ЭВМ; E-mail: eve@chsu.ru

- Людмила Николаевна Виноградова* — Череповецкий государственный университет, кафедра программного обеспечения ЭВМ, ст. преподаватель;
E-mail: lvinogradova@bk.ru
- Елена Сергеевна Шумилова* — Череповецкий государственный университет, кафедра программного обеспечения ЭВМ, ассистент; E-mail: alenka.bunky@gmail.com

Рекомендована кафедрой
программного обеспечения ЭВМ

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 621.397.6:004.94

И. В. ГАЛЬЧУК, А. Г. КОСТЕВИЧ, М. И. КУРЯЧИЙ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ РАНГОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА СЛОЖНОМ ФОНЕ

Рассматриваются ранговые алгоритмы выделения малоразмерных объектов на последовательности телевизионных изображений. Также рассматривается проблема выделения близкорасположенных малоразмерных объектов на сложном фоне.

Ключевые слова: *ранговый алгоритм, малоразмерный объект, цифровая обработка изображений.*

Широкое применение телевизионных средств при сопровождении аэрокосмических, транспортных и других подвижных объектов подразумевает решение задачи выделения изображений объектов, перемещающихся в условиях естественных и искусственных помех. Подобная задача возникает также при анализе изображений различного происхождения (телевизионных, радиолокационных, рентгеновских, тепловизионных и т.п.) в целях выделения малоразмерных объектов (МО) на сложном фоне. Задача усложняется тем, что реальные фоновые образования характеризуются перепадами яркости и плохо описываются нормальным законом распределения яркостей. В этом случае линейные процедуры выделения сигналов объектов (например, двойное дифференцирование, различные аппроксимации лапласианов, оптимальные линейные фильтры) малопригодны и вызывают значительный паразитный сигнал.

В настоящей статье рассматриваются сравнительно новые нелинейные методы выделения объектов, основанные на использовании порядковых статистик отсчетов сигнала, а также первых и вторых разностей сигналов и их модулей в некоторой локальной окрестности объектов [1, 2]. Данные методы можно назвать ранговыми методами выделения объектов.

Ранговой обработкой данных называют преобразование совокупности отсчетов сигнала в вариационный ряд (ВР), в котором отсчеты сигнала ранжированы по значимости — значению амплитуды. Первый (минимальный) ранг в ВР имеет отсчет сигнала с минимальной амплитудой, последний (максимальный) ранг — отсчет сигнала с максимальной амплитудой. Наиболее часто при фильтрации сигналов с импульсными помехами используются медианные фильтры, в которых реализуется процедура построения вариационного ряда и нахождения его срединного значения. Для решения задачи выделения объектов, перемещающихся на сложном фоне (с перепадами яркости), наиболее целесообразно использование экстремальной фильтрации на основе порядковых статистик с минимальным и максимальным рангом. При экстремальной фильтрации текущий отсчет заменяется отсчетом сигнала из его окрестности с максимальной или минимальной амплитудой. Процедуры сортировки, поиска максимума и минимума, используемые в ранговых фильтрах, достаточно просты при реализации в цифровом виде.

Динамическое изображение, получаемое при наблюдении за подвижным объектом, можно представить последовательностью статических изображений. В такой последовательности можно выделить характерные фрагменты, представляющие различные варианты взаимного расположения выделяемого объекта и фоновых образований (ФО): светлый объект на темном фоне (объект с положительным контрастом), темный объект на светлом фоне (объект с отрицательным контрастом), объект на границе фонового образования и объект вблизи его границы. При исследовании ранговой обработки можно реализовать характерные ситуации взаимного расположения объекта и фона в одном изображении, например, как показано на рис. 1, где представлены исходные изображения с резкими и плавными перепадами яркости фона.

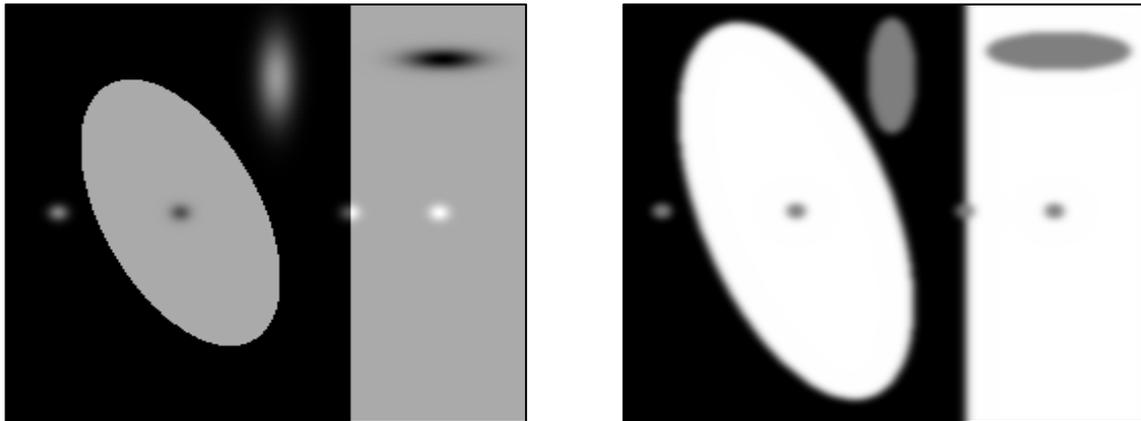


Рис. 1

При генерировании фонообъектовой обстановки использовались две модели: аддитивная модель с наложением объектов на фон и модель с затенением фона объектами круглой формы (аппликативная модель). В последнем случае для получения фонообъектовой обстановки с плавными перепадами яркости дополнительно проводилась операция расфокусировки изображения.

Построение вариационного ряда можно осуществить в соответствии с набором отсчетов, полученных с помощью маски. В частном случае маска и соответствующая ей апертура A могут быть представлены в виде двумерной матрицы, один из возможных вариантов построения которой показан на рис. 2. В этом варианте апертура A имеет симметричную относительно центра маски форму в виде кольца с четным числом элементов. С помощью данной маски выбираются отсчеты входного сигнала путем управления коммутатором, на вход которого подается сигнал от исходного изображения [3, 4].

			A_3			
	A_2				A_4	
A_1			A_0			A_5
	A_8				A_6	
			A_7			

Рис. 2

При выделении малоразмерных объектов лучшие результаты получаются, если для построения ВР используются не сами отсчеты сигнала, а их первые или вторые разности.

Авторами исследованы, аппаратно и программно реализованы около десяти различных ранговых алгоритмов [5—8]. Приведем аналитические записи некоторых из них, считая, что обрабатываемый сигнал представлен набором чисел на квадратной решетке $\{x(i, j)\}$, где (i, j) изменяются на некотором подмножестве Z^2 :

$$y_1(i, j) = f \left[R_{(1, n)} \left\{ d_k(i, j) : k \in \overline{1, n} \right\} \right], (i, j) \in Z^2;$$

$$y_2(i, j) = R_{(1, n)} \left\{ |d_k(i, j)| : k \in \overline{1, n} \right\}, (i, j) \in Z^2;$$

$$y_3(i, j) = \text{med} \left\{ d_k(i, j) : k \in \overline{1, n} \right\}, (i, j) \in Z^2;$$

$$y_4(i, j) = f \left[R_{(1, n/2)} \left\{ g_k(i, j) : k \in \overline{1, n/2} \right\} \right], (i, j) \in Z^2;$$

$$y_5(i, j) = R_{(1, n/2)} \left\{ |g_k(i, j)| : k \in \overline{1, n/2} \right\}, (i, j) \in Z^2;$$

$$y_6(i, j) = \text{med} \left\{ g_k(i, j) : k \in \overline{1, n/2} \right\}, (i, j) \in Z^2;$$

$$y_7(i, j) = f \left[R_{(1, n)} \left\{ d_k(i, j) \right\} \right] + f \left[R_{(1, n)} \left\{ -d_k(i, j) \right\} : k \in \overline{1, n} \right], (i, j) \in Z^2,$$

где $R_{(s,t)} \{ \cdot \}$ — оператор нахождения s -й порядковой статистики из t значений; $y(i, j)$ — отсчет выходного сигнала; $f[\cdot]$ — функция ограничения отрицательных значений; здесь выражения для первой и второй разностей между текущим отсчетом сигнала и k -м отсчетом в его окрестности имеют соответственно следующий вид:

$$d_k(i, j) = x(i, j) - x(i + l_k, j + m_k), (l_k, m_k) \in A, k \in \overline{1, n};$$

$$g_k(i, j) = x(i, j) - 0,5 \left[x(i + l_k, j + m_k) + x(i - l_k, j - m_k) \right], (l_k, m_k) \in A, k \in \overline{1, n/2},$$

где A — скользящая апертура, с помощью которой формируется ВР, при этом должно выполняться условие $(l_k, m_k) \in A \Rightarrow (-l_k, -m_k) \in A, (0, 0) \notin A$; (l_k, m_k) — координаты k -го элемента в апертуре, $(l_{k+0,5n}, m_{k+0,5n}) = (-l_k, -m_k)$; n — число элементов в апертуре, используемых при обработке.

На рис. 3 представлены результаты обработки исходного изображения с резкими перепадами яркости с использованием различных алгоритмов: a — минимума первых разностей или МПР (y_1, y_4); b — модифицированного минимума первых разностей или ММПР (y_2, y_5); $в$ — усовершенствованного минимума первых разностей или УМПР (y_7); результат обработки изображения с плавными перепадами яркости методом ММПР приведен на рис. 3, $г$.

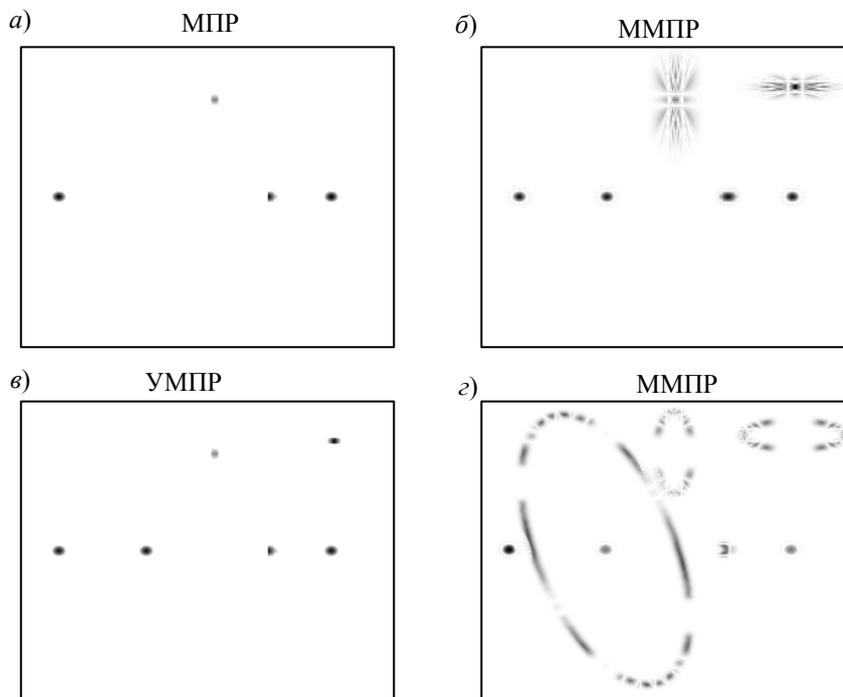


Рис. 3

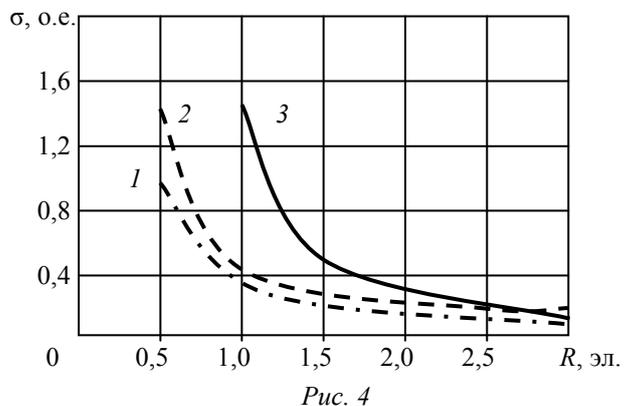
Анализ рис. 3, a — $в$ показывает, что фоновые образования с резкими перепадами яркости полностью устраняются при использовании всех трех алгоритмов. При обработке изображения с плавными перепадами яркости появляются так называемые „ложные“ объекты (см. рис. 3, $г$):

в этом проявляется недостаток алгоритма ММПР, что объясняется наличием операции вычисления модуля первой разности. Алгоритм УМПР свободен от такого недостатка, но имеет другой недостаток, общий с МПР, — эффект „затемнения“ выделяемого малоразмерного объекта соседними объектами или фоновыми образованиями.

При использовании алгоритма скользящей медианы первых и вторых разностей (алгоритмы y_3 и y_6) выделяются сигналы от объектов, имеющих как положительный, так и отрицательный контраст без изменения его полярности. Иными словами, достоинством использования подобного алгоритма является неискаженное выделение сигналов. Однако при этом остаются некомпенсированными угловые участки фонового изображения, что проявляется в виде выбросов выходного сигнала.

Сигналы, поступающие от малоразмерных объектов, отличаются от сигналов других объектов изображений тем, что представляют собой изолированную область взаимосвязанных отсчетов. С учетом признака компактности двумерных областей размер апертуры должен превышать размер этих областей. В результате проведенных исследований было выяснено, что при выделении объекта без искажений его размер должен быть в два и более раза меньше размера апертуры. В противном случае наблюдается полное или частичное подавление МО. Следует отметить, что при этом происходит также выделение фоновых образований, размеры которых удовлетворяют указанному выше условию (два верхних ФО на рис. 1). Однако даже при выполнении этого условия возможна ситуация, когда центр апертуры совпадет с каким-либо элементом выделяемого объекта, и/или один из ее периферийных элементов совпадет с каким-либо элементом соседнего объекта или ФО. В этом случае, если значение амплитуды сигнала соседнего объекта больше значения амплитуды сигнала выделяемого объекта или равно ему, может произойти подавление обрабатываемого элемента выделяемого объекта. Полное подавление объекта или его части и есть так называемый эффект „затемнения“.

В ходе эксперимента было исследовано также использование ранговых алгоритмов в условиях некоррелированных гауссовых шумов при оценке координат объектов на постоянном фоне методом „центра масс“. На рис. 4 приведен график зависимостей среднеквадратической погрешности (σ) измерения координат гауссового объекта от его размера (R) при отношении сигнал/шум равном десяти. Размеры апертуры выбраны таким образом, что объекты с радиусом R , составляющим от 0 до 2,5 элементов, на уровне 0,606 выделяются без искажений.



Как видно из рисунка, при выделении объектов с радиусом $0 < R < 2,5$ эл. погрешность определения координат при использовании алгоритма МПР для объектов с положительным контрастом (кривая 1) и алгоритма ММПР для объектов с отрицательным контрастом (кривая 2) меньше, чем при определении координат без предварительного использования этих алгоритмов (кривая 3). Например, при $R = 1$ эл. погрешность определения координат без обработки равна 1,45, а при использовании алгоритмов МПР и ММПР она составляет 0,35 и 0,45 соответственно. Это обстоятельство свидетельствует о достаточно высокой помехоустойчивости использованных в эксперименте алгоритмов.

Таким образом, достоинством предложенных ранговых алгоритмов является более эффективное по сравнению с линейными алгоритмами подавление сигнала от сложного фона при незначительных искажениях выделенных объектов.

Использование ранговых алгоритмов обеспечивает устойчивое выделение малоразмерных объектов, перемещающихся на сложном фоне, имеющем значительные перепады яркости (линия горизонта, кромки облаков, искусственные сооружения и т.д.), что позволяет рекомендовать их для применения в телевизионной аппаратуре сопровождения объектов в условиях естественных и искусственных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курьянович Е. Я. Ранговые алгоритмы выделения объектов // Тез. докл. Всесоюз. конф. „Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов“. Рига: Ин-т электроники и выч. техники АН Латв. ССР, 1986. Т. 2. С. 607—610.
2. А.с. 1702401 СССР. Устройство для обработки изображений объектов / В. Л. Дмитриенко, А. Г. Костевич, М. И. Курячий, В. Н. Ульянов. // Б.И. 1991. № 48.
3. Казанцев Г. Д., Курячий М. И., Пустынский И. Н. Измерительное телевидение. М.: Высш. школа, 1994. 288 с.
4. Литвинчук Л. А., Макаров В. Н. Синтез структуры обработки видеосигнала для систем телевизионной астрономии // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. 1979. Вып. 5. С. 3—11.
5. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курьянович Е. Я., Ульянов В. Н. Сравнительная характеристика алгоритмов выделения малоразмерных объектов на сложном фоне. Томск, 1987. Деп. в ВНИИТР. 24.01.87, № 21.
6. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курячий М. И. Прецизионное измерение координат объектов цифровыми телевизионными следящими системами // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1991. Т. 34, № 4. С. 64—69.
7. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курячий М. И. Алгоритмы выделения малоразмерных объектов и прецизионного измерения их координат в телевизионных следящих системах // Телевизионные измерительные системы и их элементы: Сб. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1993. Вып. 8. С. 138—159.
8. Гальчук И. В., Костевич А. Г. Методы выделения малоразмерных подвижных объектов на сложном фоне // Тр. Юбил. науч.-техн. конф. по радиоэлектронике, посвященной 50-летию РТФ / Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2000. Т. 5. С. 82—86.

Сведения об авторах

- Игорь Владимирович Гальчук** — Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления, науч. сотрудник; E-mail: ingvio@tu.tusur.ru
- Анатолий Геннадьевич Костевич** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: ak@tu.tusur.ru
- Михаил Иванович Курячий** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: kur@tu.tusur.ru

Рекомендована кафедрой
телевидения и управления

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

С. С. САДЬКОВ, И. А. САФИУЛОВА, М. И. ТКАЧУК

ПОЛНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СНИМКОВ СЕРДЦА

Рассматриваются особенности построения системы полной автоматизированной обработки и анализа ультразвуковых снимков. Структура системы построена по модульному принципу. Описаны функции каждого модуля и отмечены особенности, реализованных в них алгоритмов. Приведены результаты работы системы и их сравнительная оценка.

Ключевые слова: ультразвуковой аппарат, ультразвуковые снимки сердца, текстурная сегментация, секторная сегментация, левый желудочек сердца, граница левого желудочка.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смертности в России, в том числе, среди людей трудоспособного возраста [1]. Для своевременной и точной диагностики ССЗ необходимо использовать комплексы аппаратных и программных средств. В последние годы широкое распространение получила стресс-эхокардиография — ультразвуковое (УЗ) обследование сердца, проводимое при различных уровнях нагрузки.

Постановка задачи. При проведении стресс-эхокардиографического обследования одного пациента регистрируются 50—250 снимков (кадров), из которых кардиолог анализирует лишь 2—3 кадра, что зачастую существенно влияет на результат диагностики. Поэтому не вызывает сомнений необходимость обработки и анализа всех регистрируемых кадров. Создание автоматизированной системы обработки и анализа УЗ-снимков сердца позволит покадрово отслеживать изменение его параметров, снизить нагрузку на кардиолога, уменьшить время обследования, повысить точность и объективность диагноза.

Структура системы, функции отдельных подсистем и модулей. УЗ-аппарат, построенный на базе современного персонального компьютера, позволяет с помощью специального программного обеспечения для операционной системы проводить интерактивные обследования, вести архив данных и подготавливать отчеты. В УЗ-аппарате предусмотрен экспорт данных (последовательностей видеоизображений и отдельных кадров) по локальной сети с помощью специального формата DICOM (Digital Image and Communications in Medicine) и через видеоинтерфейс S-Video. Таким образом, можно построить внешнюю по отношению к УЗ-аппарату систему, которая взаимодействует с ним через интерфейс S-Video.

Структурная схема системы автоматизированной обработки и анализа УЗ-снимков сердца (программные и аппаратные средства) представлена на рис. 1.

УЗ-датчик формирует последовательность сигналов, на основе которой УЗ-аппарат визуализирует снимки сердца, передаваемые через S-Video-интерфейс по каналу связи на внешний компьютер (на вход платы захвата Pinnacle). Подсистема формирования и предварительной обработки последовательности УЗ-снимков (П1) обращается к драйверу Pinnacle, получая на входе видеосигнал, который разбивается на кадры. Кадры сохраняются в заданном каталоге. Подсистема основной обработки и анализа УЗ-снимков сердца (П2) обрабатывает полученные изображения сердца, рассчитывает основные для диагностики параметры, сохраняет их в базе данных (БД) и формирует отчет.

В подсистеме П1 реализованы следующие функции:

- скорость разбиения на кадры приближается к режиму реального времени;
- полученные кадры сохраняются как полутоновые 8-битовые изображения;

— моменты начала и окончания захвата кадров задаются пользователем; при захвате кадров подсистема сохраняет их в выбранном каталоге с именем `Название_Номер.bmp`, где `Название` задается пользователем, `Номер` соответствует порядковому номеру кадра последовательности;

— предусмотрена возможность просмотра видеоизображений в режиме захвата;
 — частота захвата определяется количеством кадров и временем регистрации;
 — предусмотрена возможность удаления лишних частей кадра (например, его границ);
 — имеется интерфейс подключения модулей расширения;
 — предусмотрена возможность обработки и постобработки изображений с использованием модулей расширений, в которых реализованы алгоритмы улучшения качества изображений (подавление помех, увеличение контраста и др.), а также функции удаления дублирующих снимков, отбора кадров по яркости, формирования полных циклов сокращения сердца;

— имеется файл конфигурации в формате `xml`.

В состав подсистемы П2 входят:

— модуль обработки — выполняет автоматическое выделение камер сердца, рассчитывает их параметры и сравнивает с нормативными (хранящимися в справочниках БД), оценивает локальную сократимость левого желудочка (ЛЖ);

— модуль ввода информации о пациенте (регистрационных данных, результатов анализа и т. д.);

— модуль работы с БД — осуществляет выборку данных о пациенте и обследованиях и сохраняет информацию в базе данных;

— модуль подготовки отчетов — формирует отчет о проведенном обследовании.

Модуль обработки является базовой частью системы и реализует следующие функции:

— первичный анализ снимка, с помощью которого производится определение позиции (позиция — проекция сердца, полученная при установке УЗ-датчика в определенное положение (позицию) на грудной клетке пациента);

— определение границ камер сердца, аорты и состояния клапанов в основных позициях;

— расчет характеристик сердца и сравнение их с нормой;

— анализ сократимости ЛЖ (в том числе, с использованием методики стресс-эхокардиографии);

— построение трехмерной модели сердца.

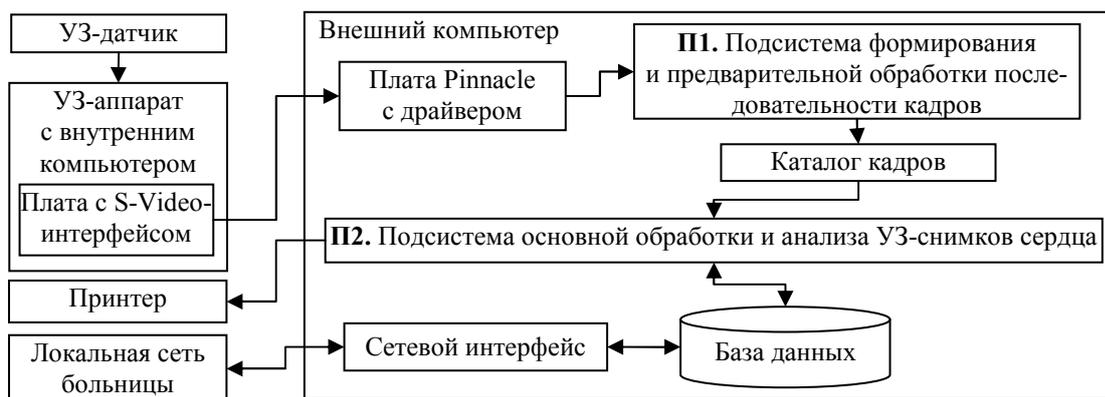


Рис. 1

Алгоритмы обработки и анализа УЗ-снимков сердца. Существуют различные виды снимков, которые можно получить, меняя положение УЗ-датчика. Основными для диагностики ССБ являются следующие позиции: по длинной и короткой осям проекции ЛЖ, двух- и четырехкамерные апикальные [2]. Сначала обработка снимков осуществляется с использованием функций модулей расширений, где удаляются помехи, подавляется шум. Наиболее значимой помехой, влияющей на результат, является полоса М-режима, процесс подавления ко-

торой описан в работе [3]. Затем выделяется полезная (информативная) область снимка (треугольник), внутри которой осуществляется обработка.

Обработка снимков в апикальных позициях (рис. 2). Алгоритм обработки изображений в данных позициях состоит из следующих шагов:

— сегментация изображения на основе текстурных признаков — получение бинарного изображения, (обозначим его через B); данное изображение используется для поиска точек границ ЛЖ;

— получение бинарного изображения на основе контурных преобразований (обозначим его через B_k); данное изображение используется для построения прямоугольника, в который вписан ЛЖ;

— построение описанного вокруг ЛЖ прямоугольника на изображении B_k ;

— выделение ЛЖ;

— вычисление параметров ЛЖ.

Сегментация. В системе при сегментации УЗ-снимков используются семь двумерных и три одномерных текстурных признака изображений [4]. Определение текстурных признаков p_i осуществляется на исходном изображении (обозначим его через A). Каждый признак нормируется в пределах от 0 до 1. Затем подсчитывается число N — сумма модулей отклонений между признаками и точками. Каждая область изображения образуется точками, для которых N минимально или равно нулю:

$$N = \sum_{i=0}^{10} |p_i(j, k) - p_i(l, m)|,$$

где $p_i(j, k)$ — текстурный признак точки с координатами (j, k) ; $p_i(l, m)$ — текстурный признак точки с координатами (l, m) .

После объединения точек в области происходит бинаризация, результатом которой является бинарное изображение B , описываемое функцией $b(x, y)$.

Построение описанного вокруг ЛЖ прямоугольника. После получения бинарного изображения B необходимо определить местоположение ЛЖ на УЗ-снимке, которое задается описанным вокруг ЛЖ прямоугольником. По функции яркости $f(x, y)$ исходного изображения A вычисляется модуль вектора градиента $G(x, y)$ [5]. Для его получения необходимо поочередно выполнить свертку функции $f(x, y)$ с функциями-масками $d_x(x, y)$, $d_y(x, y)$, значения которых рассчитываются следующим образом:

$$d_x(x, y) = -\frac{2x}{\sigma^2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}; \quad d_y(x, y) = -\frac{2y}{\sigma^2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}},$$

где σ — СКО.

На основе полученного модуля градиента $G(x, y)$ формируется бинарное изображение B_k . Пороговое значение вычисляется как удвоенное среднее модуля градиента.

Правая координата прямоугольника определяется следующим образом: производится суммирование по каждому столбцу бинарного изображения B_k , столбец с максимальным значением суммы, расположенный справа от центра изображения, принимается за правую границу ЛЖ. Остальные координаты определяются экспериментально.

Выделение ЛЖ. На изображении B строится прямоугольник по полученным на предыдущем шаге координатам и определяется его центр тяжести (X_T, Y_T) . Из центра тяжести (ЦТ) проводятся отрезки под углом $\alpha \in [0, 359^\circ]$. Координаты концевой точки отрезка определяются как

$$\left. \begin{aligned} x_i &= X_T - k \cos \alpha; \\ y_i &= Y_T - k \sin \alpha, \end{aligned} \right\}$$

где k — длина отрезка, которая устанавливается начиная со значения 1 и увеличивается до тех пор, пока не будет выполнено условие $b(x_i, y_i) = 1$.

В результате получается совокупность точек $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_M, y_M)$ (M устанавливается экспериментально), которые соединяются путем построения выпуклой оболочки, формируя границы ЛЖ.

Вычисление параметров ЛЖ. Основными параметрами ЛЖ являются площадь S , координаты центра тяжести X_T, Y_T , длина L , ширина H и объем V . Длина L — самый длинный отрезок, проведенный через ЦТ под углом β (угол наклона отрезка L к оси OX), ширина H — отрезок, перпендикулярный отрезку L [6].

Для определения объема существуют метод дисков МД) по взаимно-перпендикулярным позициям и метод площадь—длина (МПД) [2]:

$$V_{\text{МД}} = L \sum_{i=1}^{20} a_i^2 \pi / 80; \quad V_{\text{МПД}} = 0,85S^2 / L,$$

где a_i — диаметр i -го диска.

Далее определяются кадр, где ЛЖ имеет минимальный объем (систола), кадр, где ЛЖ имеет максимальный объем (диастола), фракция выброса (ФВ) крови и полный цикл сокращения ЛЖ [2]. Полный цикл сокращения ЛЖ регистрируется последовательностью из 20—25 кадров, которая начинается и заканчивается диастолой. ФВ, являющаяся одной из важных характеристик для оценки состояния сердца, вычисляется по следующей формуле:

$$\text{ФВ} = \frac{V_{\text{ДО}} - V_{\text{СО}}}{V_{\text{ДО}}} 100\%,$$

где $V_{\text{ДО}}$ и $V_{\text{СО}}$ — диастолический и систолический объем ЛЖ соответственно.

Аналогичным образом определяются характеристики правого желудочка (ПЖ), левого и правого предсердий (ЛП и ПП).

Пример обработки снимков в апикальных позициях представлен на рис. 2, где a — кадр, соответствующий систоле, b — диастоле; на рисунках выделен ЛЖ, разделенный на 20 дисков, и построены его оси.

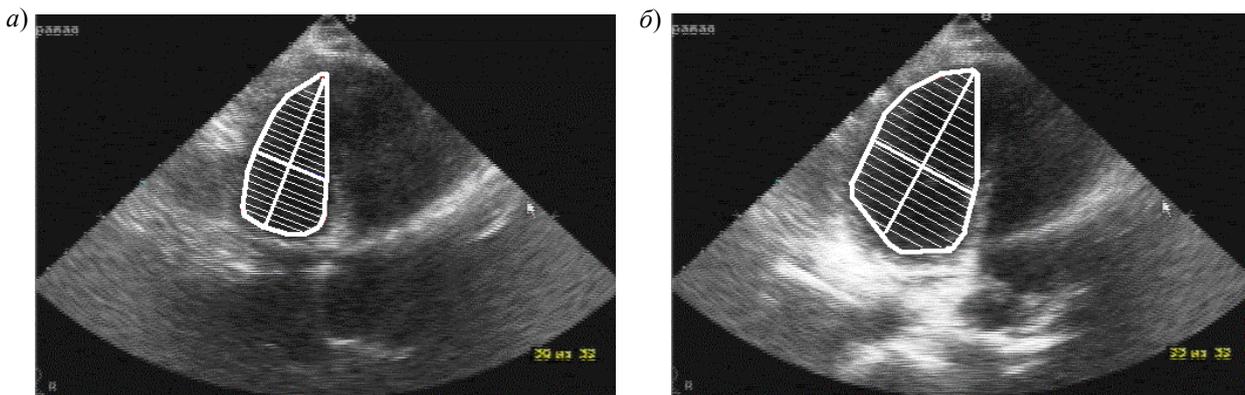


Рис. 2

Обработка снимков в позиции по длинной оси. Алгоритм обработки изображений в позиции по длинной оси, подробно описанный в работе [7], состоит из следующих шагов:

- секторная сегментация;
- выделение сегментов;
- вычисление максимально широкой области в сегменте;
- поиск главных осей и выделение стенок камер сердца и аорты.

Пример обработки снимков в позиции по длинной оси приведен на рис. 3: представлены сегменты (а), в которых располагаются камеры сердца (левый желудочек, правый желудочек, левое предсердие) и аорта (А); на рис. 3, б построены их оси. График изменения длины (l) оси ЛЖ сердца в позиции по длинной оси показан на рис. 4: как видно, длина оси изменяется равномерно (здесь n — номер кадра).

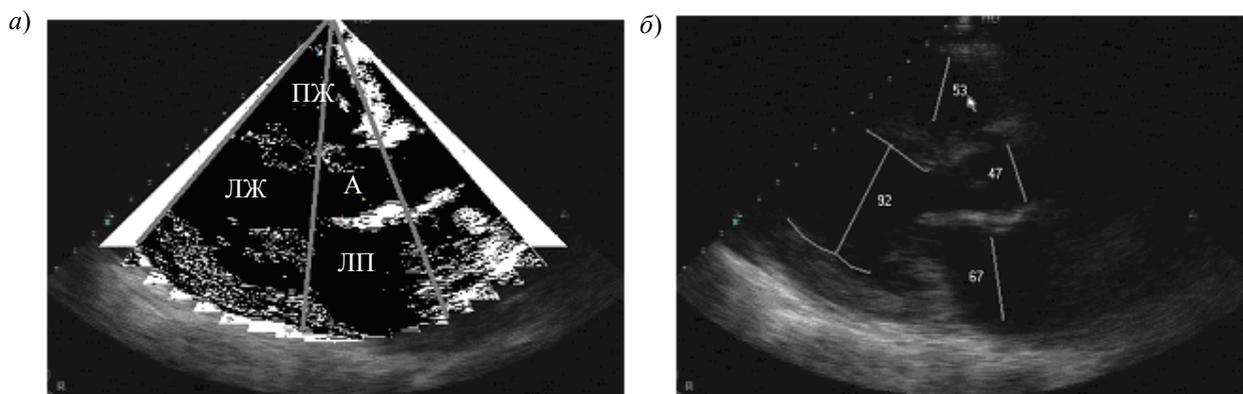


Рис. 3

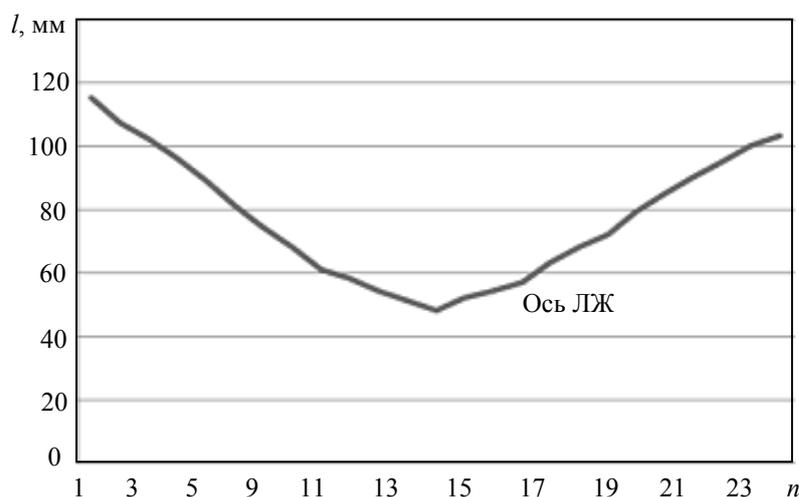


Рис. 4

Обработка снимков в позиции по короткой оси. В позиции по короткой оси ЛЖ аппроксимируется окружностью, для его выделения применяется интегральное преобразование по окружности:

$$h(r, x_0, y_0) = \sum_{x=0}^P \sum_{y=0}^Q b(x, y) \delta[r \cos \Phi(x, y) + x - x_0] \delta[r \sin \Phi(x, y) + y - y_0],$$

где $h(r, x_0, y_0)$ — функция параметрического пространства, описывающая окружность радиусом r с координатами центра (x_0, y_0) ; $\Phi(x, y)$ — функция направления вектора градиента; δ — дельта-функция; P, Q — ширина и высота изображения соответственно.

Параметры (r, x_0, y_0) , при которых функция h принимает максимальное значение, соответствуют радиусу r и координатам центра (x_0, y_0) внутреннего контура ЛЖ [6].

Оценка полученных результатов. Результаты автоматической обработки последовательности УЗ-снимков ЛЖ сердца для апикальной четырехкамерной позиции (см. рис. 2) представлены в таблице. Полученные значения параметров ЛЖ сравниваются с результатами их расчета при тщательной ручной обработке, которые используются как тестовые для

определения отклонений (принятые в таблице сокращения РТ и АТ соответствуют ручной и автоматической технологии обработки; отклонение результатов обозначено символом Δ).

Номер кадра n	L , мм			H , мм			V , мл		
	РТ	АТ	Δ , %	РТ	АТ	Δ , %	РТ	АТ	Δ , %
1	70,65	68,4	-3,1847	44,1	41,85	-5,3020	87,54558	88,103	0,6368
2	71,55	66,6	-6,9182	41,85	40,15	-4,0621	75,786	71,732	-5,3497
3	70,2	68,25	-2,7778	40,95	39,35	-3,9072	70,30157	68,735	-2,2283
...									
654	76,05	72	-6,9182	41,4	40,95	-1,087	75,12589	72,0727	-4,0641

Как показал сравнительный анализ результатов, при автоматической обработке отклонения от результатов, полученных ручным способом, который взят за основу, незначительны: отклонения по длине и ширине составляют в среднем 3,5 %, по объему — 5,2 %, что считается допустимым. При расчете других характеристик (площади, периметра ЛЖ, толщины, массы миокарда и др.), произведенном при обследовании многих пациентов, также было выявлено незначительное отклонение результатов автоматической обработки от ручной, которое в среднем составило от 3 до 6,5 %.

Заключение. Разработанные программные средства позволяют формировать, автоматически обрабатывать и анализировать последовательности УЗ-снимков сердца на компьютере. Система построена по модульному принципу: основным является модуль обработки, в котором реализованы описанные выше алгоритмы; алгоритмы улучшения качества изображения реализованы в виде модулей расширения, что дает возможность создания новых библиотек без переработки всей системы. В системе предусмотрена возможность построения трехмерной модели сердца, что позволяет оценить сокращения камер сердца как визуально, так и по рассчитанным параметрам. Исследования показали достаточно высокую точность системы, отклонение результатов автоматического анализа от ручной технологии в среднем составляет 3,2—4,5 %.

Использование данной системы в отделенческой больнице г. Муром ОАО „Российские железные дороги“ показало, что время обработки 100 кадров составляет от 2 до 5 мин, тогда как при ручной технологии анализ такого объема занимает 2—2,5 ч.

Разработанная система и стандартные программы обработки данных электрокардиограмм могут служить основой для создания автоматизированного рабочего места врача-кардиолога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кардиологические центры в России и СНГ [Электронный ресурс]: <URL: <http://www.cardiosite.ru/cardio-russian>>.
2. Шиллер Н. Б., Осипов М. А. Клиническая эхокардиография. М.: Практика, 2005. 344 с.
3. Ткачук М. И. Определение полосы М-режима на эхокардиографических изображениях // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. „Новейшие научные достижения — 2009“. Днепропетровск: Наука и образование, 2009. С. 40—45.
4. Haralick R. M. Textural features for image classification // IEEE Trans. 1973. Vol. SMC-3. P. 610.
5. Sanny J. A. Computational approach to edge detection // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. N 8. P. 679—714.
6. Садыков С. С., Ткачук М. И. Анализ сократимости левого желудочка сердца на эхокардиографических снимках // Системы и методы обработки и анализа данных: Сб. науч. статей молодых исследователей. Владимир, 2009. Вып. 1. С. 73—77.
7. Ткачук М. И., Сафиулова И. А. Обработка и анализ эхокардиографических снимков в позиции по длинной оси // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. № 5 (57). С. 645—651.

- Сведения об авторах*
- Султан Садыкович Садыков** — д-р техн. наук, профессор; Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, кафедра информационных систем; E-mail: sadykovss@yandex.ru
- Ирина Анатольевна Сафиулова** — канд. мед. наук; Отделенческая больница на станции Муром ОАО „Российские железные дороги“, врач-кардиолог; E-mail: irina120779@yandex.ru
- Максим Игоревич Ткачук** — аспирант; Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, кафедра информационных систем; E-mail: maxim.tkachuk@gmail.com

Рекомендована кафедрой
информационных систем
Муромского института

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 680.5.01:621.384

М. И. ТРУФАНОВ, С. В. ПРИЛУЦКИЙ

**СПОСОБ
ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ПЕРЕД ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БИНОКУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Представлен способ обнаружения препятствий перед движущимся транспортным средством путем анализа изображений, формируемых бинокулярной системой технического зрения. Способ характеризуется большим диапазоном обнаружения препятствий и высокой точностью оценки их координат.

Ключевые слова: предупреждение столкновений, техническое зрение, транспортное средство, траектория движения, обнаружение препятствий.

Важнейшей задачей в условиях постоянного роста количества транспортных средств является обеспечение безопасности дорожного движения. Существенную долю риска среди прочих факторов составляют столкновения транспортного средства (ТС) с неподвижными препятствиями и встречными автомобилями [1]. В этой связи особую значимость приобретает создание автоматических средств достоверной оценки расстояния между ТС и препятствием в процессе движения для своевременного предупреждения водителя о возможном столкновении.

Серийно выпускаемые технические средства обеспечивают лишь частичное решение указанной задачи и характеризуются ограниченными функциональными возможностями. Так, известны ультразвуковые радары и системы предупреждения столкновений, применяемые для оценки расстояния до препятствия при парковке. Недостаток таких средств заключается в возможности обнаружения только объемных препятствий и низкой селективности. Известны также системы технического зрения для предупреждения столкновений, функционирующие лишь в условиях хорошей освещенности и не обеспечивающие своевременного обнаружения встречного подвижного объекта при высокой скорости движения.

Значительное внимание системам предотвращения столкновений уделено зарубежными разработчиками [2—6].

В частности, в работе [2] представлена интеллектуальная система помощи водителю, основанная на анализе показаний радара, установленного в переднем бампере. Кроме того, предусмотрена возможность получения данных от бортовой системы глобальной системы навигации для предупреждения о поворотах и перекрестках. Недостатками системы являются

невозможность селективной (раздельной) обработки данных о различных препятствиях вследствие особенностей работы радара (широкой диаграммы направленности антенны радара, являющейся датчиком информации) и необходимость использования вспомогательных навигационных данных для своевременного предупреждения водителя об особенностях дорожного движения.

В работе [6] представлен типичный способ обнаружения препятствий, к недостаткам которого относится высокая вероятность появления погрешностей измерений, а также сложность практического применения при различной интенсивности дорожного движения вследствие необходимости получения информации о количестве объектов вспомогательными средствами. Еще одним недостатком является небольшой диапазон рабочих расстояний системы, на которых осуществляется достоверное обнаружение объектов.

Анализ доступных разработок и публикаций позволил установить, что на сегодняшний день не существует средств, в полной мере обеспечивающих решение задачи своевременного обнаружения препятствий. Одной из нерешенных проблем является низкая точность вычисления координат возможного препятствия и недостаточная, для своевременного предупреждения водителя, дальность обнаружения встречного объекта.

В настоящей статье представлен способ, позволяющий обеспечить повышение дальности и точности обнаружения препятствий при помощи бинокулярной системы технического зрения, наблюдающей дорожную обстановку по ходу движения транспортного средства.

Предлагаемый способ заключается в следующем. Система технического зрения (СТЗ), состоящая из двух оптико-электронных датчиков (ОЭД), обеспечивающих бинокулярное техническое зрение, устанавливается на транспортном средстве и ориентируется по направлению движения. При помощи ОЭД СТЗ в различные моменты времени формируются стереопары изображений рабочей сцены, на изображениях выделяются одинаковые объекты и измеряются их трехмерные координаты. По этим координатам каждого объекта определяются траектории движения объектов в кадре. В случае если траектория движения какого-либо объекта (объектов) пересекает траекторию движения транспортного средства, формируется предупреждающий сигнал. Траектории ТС и встречных объектов считаются прямолинейными, скорости движения — постоянными на временном участке между моментами измерений.

Рассмотрим перечисленные операции предлагаемого подхода подробнее. Для получения изображения рабочей сцены на транспортном средстве закрепляют два ОЭД и ориентируют относительно друг друга и ТС согласно схеме, представленной на рис. 1: ОЭД располагают на заданном расстоянии $L = 1,1 \dots 1,5$ м, что обусловлено габаритными размерами ТС; главные оптические оси ОЭД ориентируют под равными углами $\alpha/2$ к нормали к прямой, проходящей через ОЭД.

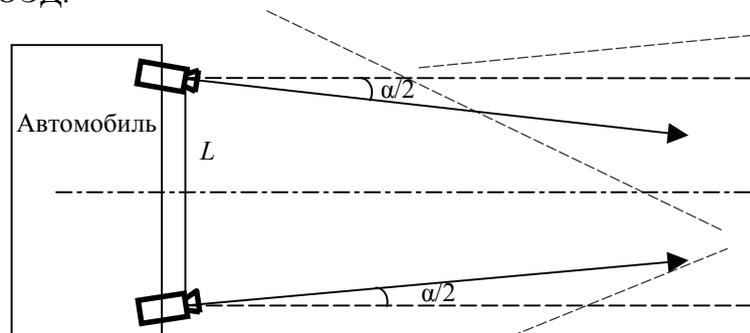


Рис. 1

Данное расположение ОЭД (в отличие от традиционной бинокулярной системы с параллельными главными оптическими осями) обеспечивает повышенную точность измерения пространственных координат объектов за счет увеличенной базы и меньшее минимальное рабочее расстояние за счет ориентации главных оптических осей ОЭД под углом к друг другу.

После получения изображения рабочей сцены каждым из ОЭД производится поиск одних и тех же объектов на разных кадрах изображения. Объект описывается совокупностью контуров, его составляющих. Сопоставление объектов осуществляется на основе расчета функции принадлежности μ для каждой пары объектов Q_{1i}, Q_{2j} [7] на различных кадрах изображений бинокулярной системы технического зрения:

$$\mu_{ij} = \mu_{\text{ид}}(Q_{1i}, Q_{2j}) \wedge \mu_{\text{идвн}}(Q_{1i}, Q_{2j}) \wedge \mu_{\text{идг}}(Q_{1i}, Q_{2j}),$$

где $\mu_{\text{ид}}$, $\mu_{\text{идвн}}$, $\mu_{\text{идг}}$ — функции принадлежности термам „внутренняя идентичность“, „внешняя идентичность“, „идентичность гистограмм“; индексы i, j определяют очередной анализируемый объект кадра изображения.

Далее осуществляется выбор пары для каждого объекта Q_{1i} с максимальным значением функции

$$\mu_{ij} = \max(\mu_{ij}).$$

Для каждого объекта измеряются его двумерные координаты $(x_{Q_1}, y_{Q_1}), (x_{Q_2}, y_{Q_2})$ на каждом из кадров стереопары и затем рассчитываются трехмерные координаты объектов (x_Q, y_Q, z_Q) :

$$\langle x_Q, y_Q, z_Q \rangle = M_{3D}(x_{Q_1}(I_{Q_1}(x, y)), y_{Q_1}(I_{Q_1}(x, y)), x_{Q_2}(I_{Q_2}(x, y)), y_{Q_2}(I_{Q_2}(x, y))),$$

где M_{3D} — функция расчета трехмерных координат объектов по их двумерным координатам; $I_{Q_1}(x, y), I_{Q_2}(x, y)$ — изображения, поступающие с оптико-электронных датчиков СТЗ.

Поясним принцип определения координат объекта (препятствия), для чего вычислим координаты (x, y, z) одной из крайних точек T , определяющих его габариты. Расчет координат осуществляется путем решения системы уравнений, полученной из геометрической схемы, представленной на рис. 2 (мировая система координат совпадает с системой координат правого ОЭД;

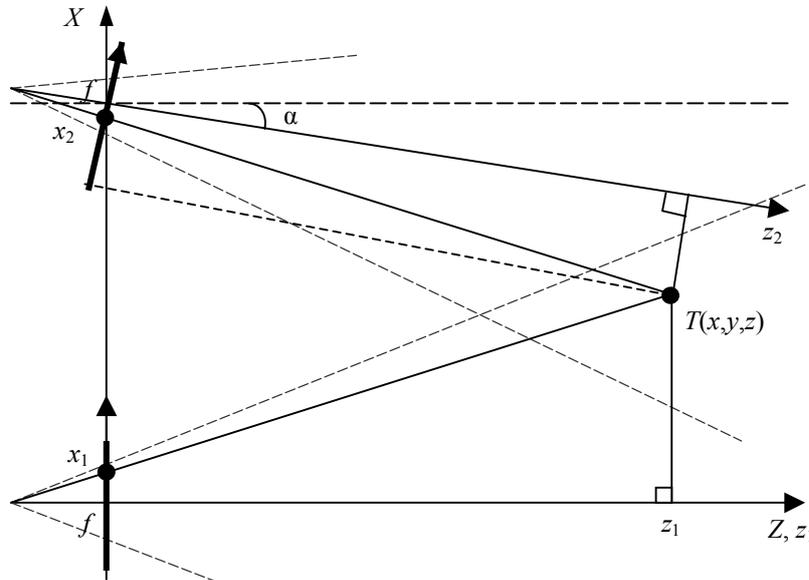


Рис. 2

ось Z совпадает с его главной оптической осью; оси X, Y направлены соответственно влево и вверх, ось Y не показана на рисунке):

$$\left. \begin{aligned} \frac{f}{x_1} &= \frac{z + f}{x}, \\ \frac{f}{x_2} &= \frac{f + (L - z \sin \alpha - x) \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{(L - z \sin \alpha - x) \cos \alpha} \end{aligned} \right\}$$

$$z = -\frac{f(-f \cos \alpha \cdot L + \cos \alpha \cdot x_1 f + x_2 f + x_2 \sin \alpha \cdot L - x_2 \sin^3 \alpha \cdot L - x_2 \sin \alpha \cdot x_1 + x_2 \sin^3 \alpha \cdot x_1)}{f^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot x_1 f - x_2 \sin^2 \alpha \cdot f + x_2 \sin^4 \alpha \cdot f - x_2 \sin \alpha \cdot x_1 + x_2 \sin^3 \alpha \cdot x_1},$$

$$x = \frac{(f \cos \alpha \cdot L - x_2 f - x_2 \sin \alpha \cdot L + x_2 \sin^3 \alpha \cdot L + f^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha - x_2 \sin^2 \alpha \cdot f + x_2 \sin^4 \alpha \cdot f) x_1}{f^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \cdot x_1 f - x_2 \sin^2 \alpha \cdot f + x_2 \sin^4 \alpha \cdot f - x_2 \sin \alpha \cdot x_1 + x_2 \sin^3 \alpha \cdot x_1},$$

$$y = (z + f) / y_1,$$

где f — фокусные расстояния ОЭД, x_1, x_2 — абсциссы объекта на изображениях, формируемых ОЭД; y_1 — ордината объекта на изображении, полученном с первого ОЭД.

Ордината точки T рассчитывается после вычисления координат z и x .

Обнаружение препятствия заключается в анализе траектории движения каждого объекта Q рабочей сцены и определении, может ли траектория движения объекта пересечь область, соответствующую положению СТЗ транспортного средства на траектории его движения. Если траектория движения ТС и одна или несколько траекторий движения объектов пересекаются, то принимается решение о возможном столкновении.

Для обнаружения препятствия определяются направления движения объектов, текущая скорость их движения и время возможного столкновения.

Пусть транспортное средство с установленной на нем СТЗ находится в центре системы координат (рис. 3) и движется с известной скоростью $v_{ТС}$ по оси Z . Встречный объект движется с неизвестной скоростью v_Q . Получение двух стереопар изображения в различные моменты времени t_1 и t_2 позволяет определить координаты (z_1, x_1) и (z_2, x_2) и затем вычислить проекции скорости v_{Qz}, v_{Qx} на оси Z и X соответственно.

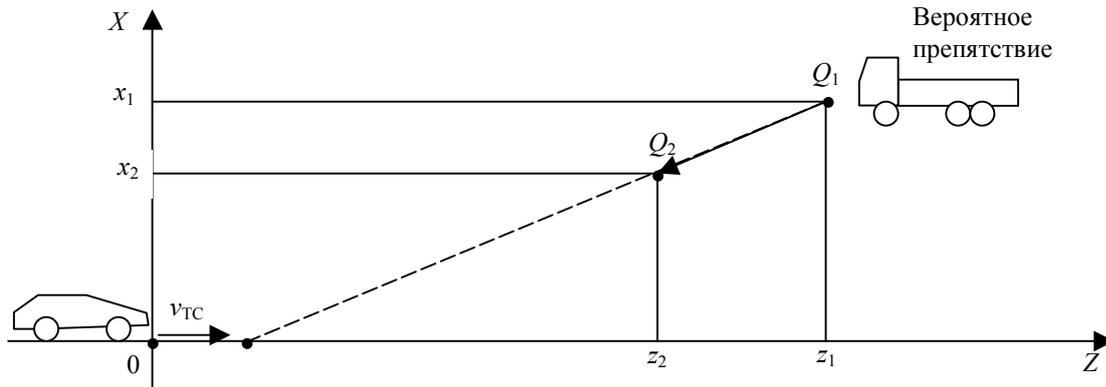


Рис. 3

Приведем выражения для расчета координат ТС и встречного объекта в момент времени t :

$$y_{ТС}(t) = 0,$$

$$z_{ТС}(t) = v_{ТС} t,$$

$$z_Q(t) = z_1 + v_{Qz} t = z_1 + (z_1 - z_2) / (t_1 - t_2) t,$$

$$x_Q(t) = x_1 + v_{Qx} t = x_1 + (x_1 - x_2) / (t_1 - t_2) t.$$

Приравняв правые части уравнений, определяющие соответствующие координаты объектов, определим моменты времени t_x, t_z , в которые координаты совпадают:

$$t_x = -x_1 / ((x_1 - x_2) / (t_1 - t_2)), \quad t_z = -z_1 / ((z_1 - z_2) / (t_1 - t_2) - v_{ТС}).$$

Оба уравнения линейные и имеют один корень. Критерием пересечения траекторий движения ТС и объекта является равенство времен t_x, t_z и их положительные значения, определяющие факт возможного столкновения позднее текущего момента времени: $t_x = t_z > 0$.

Для предотвращения столкновения в расчетных соотношениях должны быть учтены погрешности измерения координат объектов, от которых зависит погрешность расчета вре-

мени столкновения Δt . В результате условие для определения времени возможного столкновения приобретает следующий вид:

$$t_x > 0, \quad t_z > 0, \quad |t_x - t_z| < \Delta t. \quad (1)$$

При определении времени возможного столкновения с неподвижным препятствием выражения упрощаются:

$$x_Q = 0, \quad t_z = z_1 / v_{TC}, \quad t_z > 0. \quad (2)$$

Соотношения (1) и (2) позволяют определить время возможного столкновения с препятствием. В случае если это время меньше предварительно заданного, формируется предупреждающий сигнал.

Рассмотренные операции могут быть реализованы на цифровом вычислительном средстве с подключенными к нему двумя ОЭД. В качестве вычислительного средства могут быть использованы портативный персональный компьютер, а также специально разрабатываемые средства на базе программируемых логических интегральных схем и микроЭВМ или сигнальных процессоров. В качестве ОЭД целесообразно использовать малогабаритные видеокамеры (в частности, экспериментальные исследования проводились с использованием видеокамер Logitech 9000).

Представленный способ позволяет повысить точность определения положения вероятного препятствия в пространстве за счет увеличения базы бинокулярной системы технического зрения и анализа траекторий движения возможных препятствий, а также расширить диапазон рабочих расстояний.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ, № МК-6351.2010.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Московский автомобильно-дорожный институт, школа проф. А. А. Юрчевского [Электронный ресурс]: <<http://auto.madi.ru/index.php?page=school6>>.
2. Nissan to Equip „Fuga“ / Intelligent Pedal, Intelligent Cruise Control [Электронный ресурс]: <http://techon.nikkeibp.co.jp/english/news_en/20071214/144251/ Nissan to Equip 'Fuga' w/ 'Intelligent Pedal,' 'Intelligent Cruise Control'>.
3. Pat. 7436430 USA, H04N 7/18. Obstacle Detection Apparatus and Method / *Takeda, Nobuyuki, Hattori, Hiroshi*. 10/923,048; Publ. 14.10.08.
4. Pat. 7389171 USA, B60K 31/00. Single Vision Sensor Object Detection System / *J. Rupp*. 10/572,542; Publ. 17.07.08.
5. Pat. 7306331 USA, G02C 7/16. Vision Protection Device for Night Driving / *A. Tigert*. 11/244,922; Publ. 11.12.07.
6. Pat. 7248968 USA, G06K9/20. Obstacle Detection Using Stereo Vision / *J. Franklin Reid*. 10/977,675; Publ. 24.07.2007.
7. Нечеткая математическая модель автофокусирующейся системы обработки изображений / *М. И. Труфанов, Т. А. Шибакина* // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. Т. 46, № 11. С. 12—16.

Сведения об авторах

Максим Игоревич Труфанов

— канд. техн. наук, доцент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: temp1202@mail.ru

Сергей Викторович Прилуцкий

— аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: temp1202@mail.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

Ю. Р. КИРПИЧЕНКО, И. Н. ПУСТЫНСКИЙ

О ВЛИЯНИИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ФОРМИРУЕМОГО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ДАТЧИКОМ

Получены уточненные зависимости освещенности оптического изображения от освещенности объекта для случая, когда расстояние от объекта до объектива соизмеримо с расстоянием от объектива до плоскости изображения. Рассмотрено влияние светорассеяния на характеристики изображения в плоскости фоточувствительной поверхности телевизионного датчика.

Ключевые слова: телевизионный датчик, освещенность, электронно-оптический преобразователь, светорассеяние, оптическая обратная связь.

Под телевизионным датчиком подразумевается преобразователь световой энергии, излучаемой объектом или отражаемой от него, в электрический сигнал. Как правило, в состав телевизионного датчика входят объектив и передающая трубка или ее твердотельный аналог (матричные ПЗС или КМОП-фотоприемники), а также предварительный видеоусилитель. В настоящее время в состав телевизионных датчиков для повышения их чувствительности довольно часто включают и электронно-оптические преобразователи (ЭОП).

При использовании между ЭОП и преобразователем „свет—сигнал“ согласующего объектива расстояния между ЭОП и объективом, а также объективом и оптическим изображением, сформированным на передающей трубке, являются соизмеримыми.

Однако известные соотношения по определению зависимости освещенности оптического изображения от освещенности объекта (сцены) [1—3] справедливы в основном для случаев, когда расстояние от объектива до объекта наблюдения значительно больше расстояния от объектива до оптического изображения. Кроме того, не всегда учитывается влияние рассеяния света в объективе и в ЭОП на характеристики изображения.

В данной работе предпринята попытка одновременного учета этих факторов.

Зависимость освещенности оптического изображения $E_{из}$ от освещенности объекта (сцены) обычно определяется по формуле [1, 2]

$$E_{из} = \frac{E_{об} \rho \tau \theta^2}{4(1+\beta)^2}, \quad (1)$$

где ρ — коэффициент отражения; τ — коэффициент прозрачности объектива; $\theta = D/f = 1/F$ — относительное отверстие объектива (здесь D и f — диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива соответственно, F — диафрагменное число объектива); $\beta = a'/a$ — линейный масштаб изображения (здесь a и a' — расстояние от объектива до объекта и от объектива до оптического изображения объекта соответственно).

При диффузном отражении объекта его яркость $L_{об}$ и освещенность $E_{об}$ связаны соотношением

$$L_{об} = \frac{\rho E_{об}}{\pi},$$

и, таким образом, формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$E_{из} = \frac{\rho \tau E_{об}}{\pi \beta^2} \Omega, \quad (2)$$

где Ω — телесный угол, под которым из центра элемента объекта, расположенного параллельно плоскости объектива и перпендикулярно оптической оси, „виден“ входной зрачок объектива.

Основное отличие известных зависимостей освещенности изображения от освещенности или яркости объекта связано с определением телесного угла Ω . Так, формула (1) получена при условии, что телесный угол равен [4]

$$\Omega = \Omega_1 \approx \frac{\pi D^2}{4a^2},$$

что можно считать допустимым при $D \ll a$.

Если в системах вещательного телевидения условие $D \ll a$ практически всегда выполняется, то в системах прикладного (в том числе, измерительного) телевидения это условие выполняется далеко не всегда, и величины D и a часто бывают соизмеримы.

Из уравнения Гаусса следует, что [1]

$$a = \frac{f(1+\beta)}{\beta}. \quad (3)$$

С учетом формулы (3) получим

$$\Omega_1 = \frac{\pi \theta^2 \beta^2}{4(1+\beta)^2} = \pi d^2, \quad (4)$$

где $d = \frac{\theta \beta}{2(1+\beta)} = \frac{D}{2a}$.

В работе [5] значение телесного угла принято равным

$$\Omega_2 \approx \frac{\pi d^2}{1+d^2}. \quad (5)$$

Авторами настоящей статьи предложено использовать „точное“ значение телесного угла, которое, с учетом приведенных в работе [6] данных, для сегмента сферы получается равным

$$\Omega_3 = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right),$$

где α — плоский угол вершины конуса.

Как показывают расчеты [7],

$$\Omega_3 = 2\pi \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+d^2}} \right]. \quad (6)$$

Введем в формулу (2) значения Ω_1 , Ω_2 и Ω_3 из формул (4)—(6), тогда соответственно получим

$$E_{из1} = \frac{\rho \tau E_{об}}{\beta^2} d^2, \quad (7)$$

$$E_{из2} = \frac{\rho \tau E_{об}}{\beta^2} \frac{d^2}{1+d^2}, \quad (8)$$

$$E_{из3} = \frac{\rho \tau E_{об}}{\beta^2} 2 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+d^2}} \right]. \quad (9)$$

Погрешности определения освещенности по приближенным формулам (7) и (8) по сравнению с уточненной формулой (9) могут быть существенными. Например, при $d=0,5$ они составляют соответственно 18,4 и – 5,66 %.

Освещенность на светочувствительном слое преобразователя „свет—сигнал“ в общем случае создается двумя составляющими, одна из которых обусловлена светом, образующим оптическое изображение, а другая — рассеянным светом.

Рассеяние света вызвано примесными частицами внутри самого стекла, пылью и влагой на поверхностях линз, отражениями от поверхностей раздела „стекло — воздух“ и внутренних элементов объектива и ТВ-камеры [8].

Отраженные от поверхностей раздела „стекло — воздух“ лучи создают световые пятна в плоскости изображения. А так как пятна перекрываются, то паразитная освещенность, которую они создают, практически равномерна. Паразитная освещенность накладывается на оптическое изображение, снижая тем самым его контраст.

Количество отражений возрастает по мере усложнения оптической системы и определяется выражением

$$p = \frac{N(N-1)}{2},$$

где N — число поверхностей раздела „стекло — воздух“; поэтому большие потери контраста следует ожидать в сложных оптических системах. Максимальный контраст изображения, формируемого на выходе из системы линз, содержащей различное число свободных поверхностей, согласно данным работы [8], будет равен 625, 108 и 47 при $N=2, 4$ и 6 соответственно.

Как отмечалось выше, общий поток излучения $\Phi_{\text{общ}}$, падающего на светочувствительный слой датчика изображения, формируется потоком $\Phi_{\text{из}}$, образующим оптическое изображение, и потоком $\Phi_{\text{р}}$, образованным рассеянным светом:

$$\Phi_{\text{общ}} = \Phi_{\text{из}} + \Phi_{\text{р}}. \quad (10)$$

Выразим величину $\Phi_{\text{р}}$ через $\Phi_{\text{общ}}$:

$$\Phi_{\text{р}} = \eta_{\text{р}} \Phi_{\text{общ}}, \quad (11)$$

где $\eta_{\text{р}}$ — коэффициент светорассеяния, значение которого при равномерном распределении рассеянного света определяется как [8]

$$\eta_{\text{р}} = \frac{\Phi_{\text{р}}}{\Phi_{\text{общ}}} = r^2 \left\{ 1 + \frac{1}{1-\tau_1^2} \left[2(N-1) - \frac{\tau_1^{4(N-1)}}{1-\tau_1^2} \right] \right\},$$

где $\tau_1 = \frac{4n}{(n+1)^2}$; n — показатель преломления стекла; $r = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$ — френелевский коэффициент отражения.

С учетом выражений (10) и (11) освещенность участка $dS_{\text{из}}$ изображения, сфокусированного объективом, будет равна

$$E'_{\text{из}} = \frac{\Phi_{\text{общ}} - \Phi_{\text{р}}}{dS_{\text{из}}} = (1 - \eta_{\text{общ}}) \frac{\Phi_{\text{общ}}}{dS_{\text{из}}} = (1 - \eta_{\text{общ}}) E_{\text{из}}. \quad (12)$$

Отраженные от поверхностей раздела „стекло — воздух“ составляющие рассеянного потока излучения суммируются на участках фоточувствительной поверхности ТВ-датчика. Освещенность, создаваемая рассеянным потоком излучения, описывается выражением

$$E_{\text{р}} = \eta_{\text{р}} E_{\text{ср}}, \quad (13)$$

где $E_{\text{ср}}$ — средняя освещенность фоточувствительной поверхности ТВ-датчика.

При строгом подходе освещенность, обусловленная рассеянным светом, является функцией координат участков $dS_{\text{из}}$ в плоскости изображения.

Согласно выражениям (12) и (13) общая освещенность изображения на фоточувствительной поверхности ТВ-датчика определяется как

$$E_{\text{общ}} = (1 - \eta_p) E_{\text{из}} + \eta_p E_{\text{ср}}. \quad (14)$$

С учетом формулы (9) выражение (14) примет следующий вид:

$$E_{\text{общ}} = (1 - \eta_p) E_{\text{об}} \frac{\rho\tau}{\beta^2} 2 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+d^2}} \right] + \eta_p E_{\text{ср}}. \quad (15)$$

Из выражения (15) следует, что при отсутствии рассеяния света зависимость освещенности изображения от яркости объекта линейная. При наличии рассеяния энергия излучения перераспределяется между участками изображения. Уменьшение освещенности на светлых участках изображения сопровождается ее увеличением на темных участках.

Освещенность участка изображения зависит от распределения яркости объекта, расстояния от центра объектива, максимальной яркости и контраста сцены: т.е. освещенность, обусловленная рассеянным светом, в различных точках плоскости изображения будет иметь различные значения. Из этого следует, что при строгом подходе к рассмотрению явлений в оптической системе, каждой точке плоскости проекции будет соответствовать своя характеристика передачи освещенности, определяемая выражением (15).

Не менее важной причиной снижения контраста изображения, формируемого телевизионным датчиком, является яркость темного свечения экрана ЭОП, которая характеризуется термоэлектронной эмиссией и побочными процессами (автоэлектронной и автоионной эмиссией; ионизацией и возбуждением атомов остаточных газов, оптической обратной связью „экран—фотокатод“ и др.) [9].

Механизмы образования темного свечения экрана ЭОП по-разному влияют на распределение яркости по площади экрана. Так, например, если автоэлектронная эмиссия и ионизация атомов остаточных газов приводят к появлению характерной составляющей яркости темного фона, проявляющейся в виде сцинтилляций [10], то влияние оптической обратной связи аналогично влиянию рассеянного света в оптической системе.

Основное отличие характеристики передачи освещенности ЭОП от характеристики передачи освещенности оптической системы состоит в наличии участка насыщения. Освещенность фотокатода, при которой наступает насыщение, определяется током микроканальной пластины, составляющим примерно 10 мкА.

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, могут быть полезны при проектировании телевизионных датчиков, к которым предъявляются повышенные требования по точности преобразования оптического излучения в электрический сигнал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быков Р. Е.* Основы телевидения и видеотехники: Учеб. для вузов. М.: Горячая линия—Телеком, 2006. 399 с.
2. Телевидение: Учеб. для вузов / *В. Е. Джакония, А. А. Гоголь, Я. В. Друзин* и др.: Под ред. *В. Е. Джаконии*. М.: Радио и связь, 2004. 616 с.
3. *Казанцев Г. Д., Курячий М. И., Пустынский И. Н.* Измерительное телевидение: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1994. 288 с.
4. *Бабенко В. С.* Оптика телевизионных устройств. М. — Л.: Энергия, 1964. 256 с.
5. *Мирошников М. М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов. Л.: Машиностроение, 1977. 600 с.
6. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Гостехтеориздат, 1955. 608 с.

7. Пустынский И. Н. Уточнение зависимости освещенности оптического изображения от освещенности объекта в телевизионных датчиках // Докл. Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2009. С. 36—39.
8. Богатов Г. В. Контрастные искажения в телевидении. М. — Л.: Энергия, 1965. 284 с.
9. Архипова Т. А. и др. Оценка вклада эмиссионных процессов в яркость темного фона электронно-оптического преобразователя // ОМП. 1983. № 2. С. 42—44.
10. Бутслов М. М., Степанов Б. М., Фанченко С. Д. Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях. М.: Наука, 1978. 432 с.

Сведения об авторах

- Юрий Романович Кирпиченко** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: kirp@tu.tusur.ru
- Иван Николаевич Пустынский** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; заведующий кафедрой; E-mail: in@tu.tusur.ru

Рекомендована кафедрой
телевидения и управления

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 621.397.6:004.94

И. В. ГАЛЬЧУК, А. Г. КОСТЕВИЧ, М. И. КУРЯЧИЙ

УСТРАНЕНИЕ ПОМЕХОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ВИДЕОСИСТЕМАХ С ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ ДАТЧИКАМИ

Предложен алгоритм для эффективного устранения сцинтилляций, наблюдаемых в видеосистемах при использовании высокочувствительных телевизионных датчиков с электронно-оптическим преобразователем.

Ключевые слова: телевизионный датчик, видеосистема, ранговый алгоритм, сцинтилляция.

При использовании высокочувствительных телевизионных датчиков с электронно-оптическим преобразователем можно наблюдать помеховые световые образования — „вспышки“ или сцинтилляции — даже в отсутствие сигнала [1]. Сцинтилляции — это кратковременные малоразмерные световые образования, которые нужно устранить. Из теории цифровой обработки сигналов и изображений известно, что для эффективного устранения кратковременных явлений следует применять ранговый медианный фильтр с достаточно длинным вариационным рядом (длину которого можно увеличить за счет использования маски со взвешенными коэффициентами, превышающими единицу, и за счет увеличения размеров маски или количества используемых элементов) [2]. Однако при обработке изображений подвижных объектов использование масок большого размера (т.е. использование большого числа соседних кадров) может нарушить динамику движения объекта или исказить его. В этом случае целесообразно применять „короткие“ вариационные ряды.

Следует напомнить, что ранговой обработкой называется преобразование совокупности отсчетов сигнала в вариационный ряд (ВР), в котором отсчеты сигнала ранжируются по возрастанию значений амплитуды (яркости пикселей) и из элементов которого определенным способом формируется результат обработки [3]. Таким образом, процесс ранговой обработки состоит из следующих этапов:

— формирование выборки значений элементов ряда по опорной области; опорную область называют также апертурой или локальной окрестностью (относительно обрабатываемого элемента, который является центральным элементом окрестности, а его „соседи“ — периферийными элементами);

— построение вариационного ряда из элементов выборки;

— выбор элементов вариационного ряда и формирование результата обработки;

— выполнение дополнительных операций для приведения результата обработки к заданному виду (например, обнуление отрицательных значений).

В общем виде процесс ранговой обработки может быть записан следующим образом:

$$y_0(n_1, \dots, n_N) = F\{x_k(n_1, \dots, n_N)\}, k \in [0; K],$$

где (n_1, \dots, n_N) означает обработку по N степеням свободы; $x_k(n_1, \dots, n_N)$ — пиксели локальной окрестности входного изображения; $y_0(n_1, \dots, n_N)$ — текущий пиксел выходного изображения; $F\{\dots\}$ — функциональное представление третьего и четвертого этапов обработки; K — количество ненулевых элементов маски рангового фильтра.

Вариационный ряд строится для каждого нового положения опорной области при развертке изображения.

Учитывая, что скинтилляции имеют положительный контраст, покажем, что применение алгоритма межкадрового рангового минимума эффективнее алгоритма медианы и сходного с ним алгоритма „скользящего среднего“.

По своей сути ранговые алгоритмы являются существенно нелинейными, поэтому для оценки их эффективности следует провести численный эксперимент по моделированию ряда исходных изображений, их обработке ранговыми алгоритмами с последующим сравнением результатов обработки по величине пикового отношения сигнал/шум.

Оценим предложенные алгоритмы. Для обработки используем точечную маску, т.е. $n_1 = n_2 = 1$, а n_3 принимает множество значений на интервале $[1; M]$, где M — количество используемых для обработки кадров. В соответствии с приведенной выше формулой в аналитическом виде указанные алгоритмы медианы, минимума и скользящего среднего можно представить следующим образом:

$$y_{\text{med}}(n_1, n_2, n_3) = \text{med}\{x(n_1, n_2, n_3)\},$$

$$y_{\text{min}}(n_1, n_2, n_3) = \min\{x(n_1, n_2, n_3)\},$$

$$y_{\text{adv}}(n_1, n_2, n_3) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i(n_1, n_2, n_3).$$

Следует отметить, что при нечетном M медиана равна среднему элементу вариационного ряда, а при четном M — полусумме двух средних элементов ряда.

Для проведения эксперимента по устранению малоразмерных помеховых образований используем последовательности синтезированных исходных изображений, представляющих собой неоднородные случайные поля скинтилляций, количество которых соответствует распределению Пуассона [1, 4—6]. На рис. 1 приведена используемая для формирования полей схема моделирования количества скинтилляций в единицу времени для отдельной точки, где α — равномерно распределенная на интервале $(0; 1)$ случайная величина, а $P = \lambda(x, y)$ — параметр Пуассона. Если $M < 0$, то скинтилляция в данной точке отсутствует. Если $M \geq 0$, то на заданном фоне аддитивно формируется скинтилляция в виде двумерной гауссоиды, имитирующей функцию рассеяния точки. В данном случае синтезированные исходные изображения имеют нулевой фон, но содержат фоновые образования, которые необходимо сохранить в результате фильтрации. В ходе эксперимента формируется выборка из 100 изображений для

обработки, а также локальные выборки (последовательности тестовых изображений), по которым оценивается пиковое отношение сигнал/шум (PSNR). Доверительная вероятность выбирается равной 0,98, а коэффициент Стьюдента — равным 3,7.

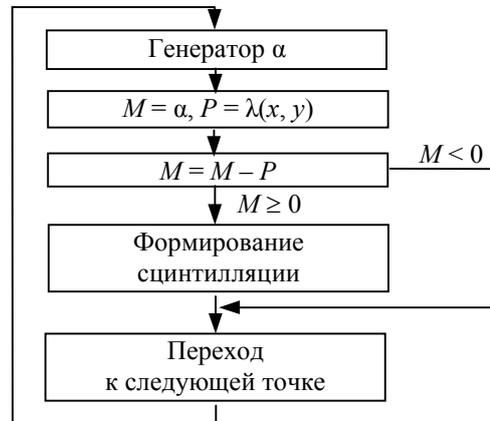


Рис. 1

На рис. 2, а приведен пример исходного изображения в виде поля сцинтилляций, имеющих вид двумерных гауссоид, а на рис. 2, б — результат обработки с использованием алгоритма скользящего среднего. Изображение инвертировано для удобства его восприятия. Интенсивность сцинтилляций задана равной 500. Поле содержит два объекта в виде наклонных эллипсов, амплитуда сигнала от которых достигает значения 120.

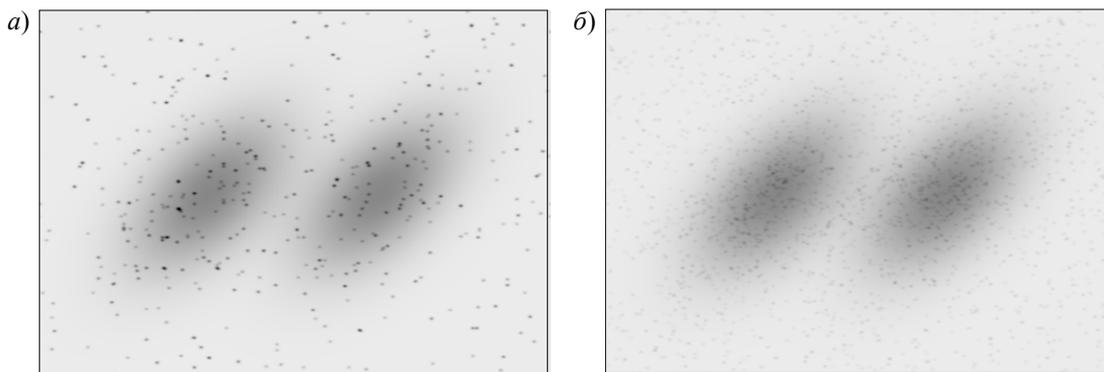


Рис. 2

Результаты эксперимента по оценке пикового отношения сигнал/шум с указанием доверительных интервалов приведены в таблице. Для сравнения представлены также результаты устранения сцинтилляций с использованием алгоритма скользящего среднего, усредняющего информацию по нескольким соседним кадрам.

M	PSNR, дБ		
	Ранговый минимум	Медиана	Скользящее среднее
2	48,5 ± 0,7	33,99 ± 0,13	33,99 ± 0,13
3	62,3 ± 3,4	43,8 ± 0,5	35,7 ± 0,06
4	73,5 ± 6,6	46,23 ± 0,34	36,74 ± 0,11
5	82,9 ± 8,4	53,2 ± 0,8	37,62 ± 0,11
6	91,2 ± 10,4	54,9 ± 0,6	38,21 ± 0,1
7	99,8 ± 0	59,55 ± 1,3	38,82 ± 0,09
8	99,8 ± 0	60,3 ± 0,7	39,19 ± 0,06
9	99,8 ± 0	64,5 ± 1,4	39,62 ± 0,06
10	99,8 ± 0	64,96 ± 1,13	39,89 ± 0,05
11	99,8 ± 0	68,78 ± 1,04	40,27 ± 0,05
12	99,8 ± 0	68,6 ± 0,7	40,36 ± 0,05
13	99,8 ± 0	71,99 ± 1,03	40,63 ± 0,03

Результаты эксперимента представлены и в виде графической зависимости: см. рис. 3, где кривая 1 соответствует алгоритму рангового минимума, кривая 2 — медиане, кривая 3 — скользящему среднему. Результаты обработки изображений полей сцинтилляций с использованием алгоритмов рангового минимума и медианы приведены на рис. 4, а, б соответственно.

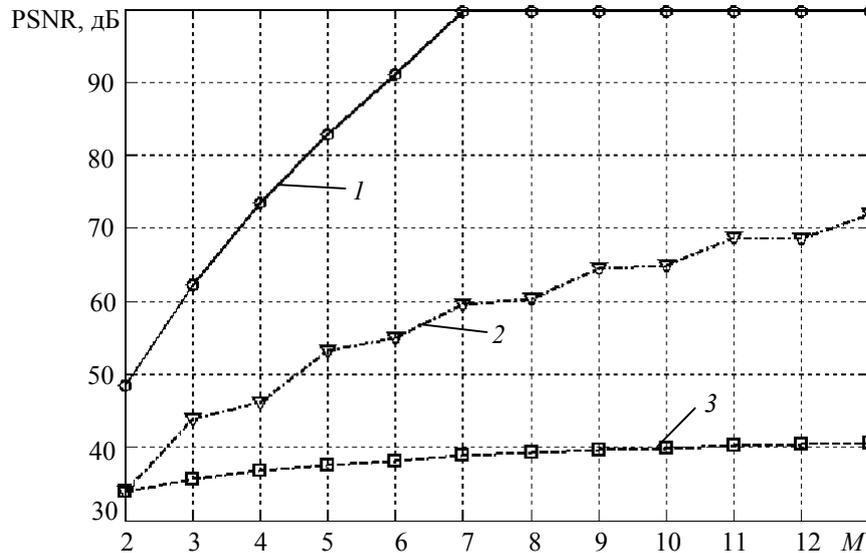


Рис. 3

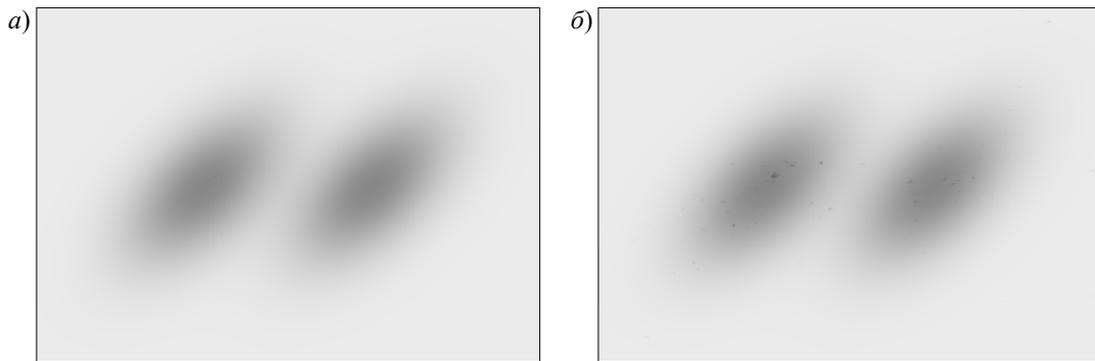


Рис. 4

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что медианный фильтр удаляет сцинтилляции хуже, чем фильтр, использующий минимальный ранг. С увеличением числа кадров, подвергаемых обработке, качество фильтрации значительно улучшается. Такое поведение медианного фильтра связано с тем, что при малой длине вариационного ряда, например в 3 элемента (кадра), достаточно лишь двух пространственно совпадающих сцинтилляций, чтобы их подавление не произошло. С другой стороны, при длине вариационного ряда в 11 элементов (кадров) для достижения того же эффекта необходимо уже шесть пространственно совпадающих сцинтилляций. Следовательно, при прочих равных условиях, с ростом числа кадров, используемых для обработки изображений (т.е. с увеличением длины вариационного ряда), увеличивается вероятность подавления сцинтилляций медианным фильтром, однако использование фильтра межкадрового минимума будет более эффективным.

Таким образом, можно рекомендовать применять ранговый алгоритм межкадрового минимума для устранения малоразмерных помеховых образований в видеосистемах на базе высокочувствительных телевизионных датчиков с электронно-оптическим преобразователем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений / Под ред. Б. Кейзана. М.: Мир, 1978. Т. 1. 336 с.
2. Яне Б. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. М.: Техносфера, 2007. 584 с.
3. Гальчук И. В., Костевич А. Г. Методы выделения малоразмерных подвижных объектов на сложном фоне // Тр. Юбил. науч.-техн. конф. по радиоэлектронике, посвященной 50-летию РТФ / Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2000. Т. 5. С. 82—86.
4. Бакрунов А. О., Щукин И. В. Методы проверки статистических свойств псевдослучайных точечных изображений при испытании алгоритмов анализа структуры // Автометрия. 1984. № 6. С. 53—57.
5. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1976. Т. 3. 288 с.
6. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Статистическое моделирование. М.: Наука, 1982. 296 с.

Сведения об авторах**Игорь Владимирович Гальчук**

— Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления, науч. сотрудник;
E-mail: ingvio@tu.tusur.ru

Анатолий Геннадьевич Костевич

— канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: ak@tu.tusur.ru

Михаил Иванович Курячий

— канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: kur@tu.tusur.ru

Рекомендована кафедрой
телевидения и управления

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

Е. В. ЗАЙЦЕВА

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АППРОКСИМАЦИЙ КРУЖКА РАССЕЯНИЯ БЕЗАБЕРРАЦИОННОГО ОБЪЕКТИВА

Рассматриваются различные виды аппроксимации выражения распределения яркости в кружке рассеяния безабберационного объектива, а также определены контраст и контрастность для каждого вида. Построены зависимости абсолютной погрешности аппроксимации.

Ключевые слова: объектив, кружок рассеяния, яркость, контрастность.

Теоретически предельное разрешаемое расстояние между двумя точками для идеально-го (безабберационного) объектива определяется по закону Рэлея диаметром D входного зрачка объектива, его фокусным расстоянием f' и длиной волны излучения λ [1]. Это расстояние определяется из аналитического выражения радиального (r) распределения яркости в кружке рассеяния такого объектива [2—4]:

$$h(x) = \left[\frac{2J_1(\pi x)}{\pi x} \right]^2, \quad (1)$$

где $J_1(x)$ — функция Бесселя 1-го порядка, $x = r/r_0$, $r_0 = \lambda f' / D = \lambda F$ (здесь $F = D / f'$ — диафрагменное число объектива), и получается равным $r_{01} \approx 1,22r_0 = 1,22\lambda F$. При таком расстоянии максимальная яркость излучения одной точки совпадает с первым минимумом распределения яркости второй (соседней) точки.

Зависимость (1) графически изображена на рис. 1. Следует отметить, что первый минимум имеет место при $x = x_{\min 1} = 1,220$, второй — при $x = x_{\min 2} = 2,233$, третий — при $x = x_{\min 3} = 3,238$; первый максимум — при $x = x_{\max 1} = 1,635$, второй — при $x = x_{\max 2} = 2,679$, третий — при $x = x_{\max 3} = 3,699$.

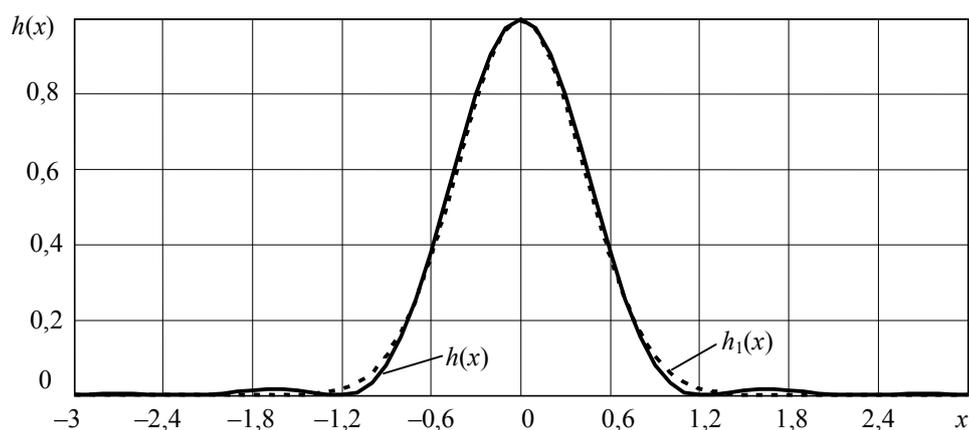


Рис. 1

При $r_{01} \approx 1,22r_0$ суммарная яркость (H) излучения двух точек с учетом выражения (1) характеризуется графиком, приведенным на рис. 2, а; их контрастность (разностный контраст) $K_0 = (L_1 - L_2) / L_1 \approx 0,265$, где L_1, L_2 — максимальное и минимальное значение суммарной яркости соответственно; контраст (определяемый в соответствии с рекомендациями

Международной комиссии по освещенности как глубина модуляции яркости) равен $K = (L_1 - L_2) / (L_1 + L_2) \approx 0,153$, поскольку $K = K_0 / (2 - K_0)$.

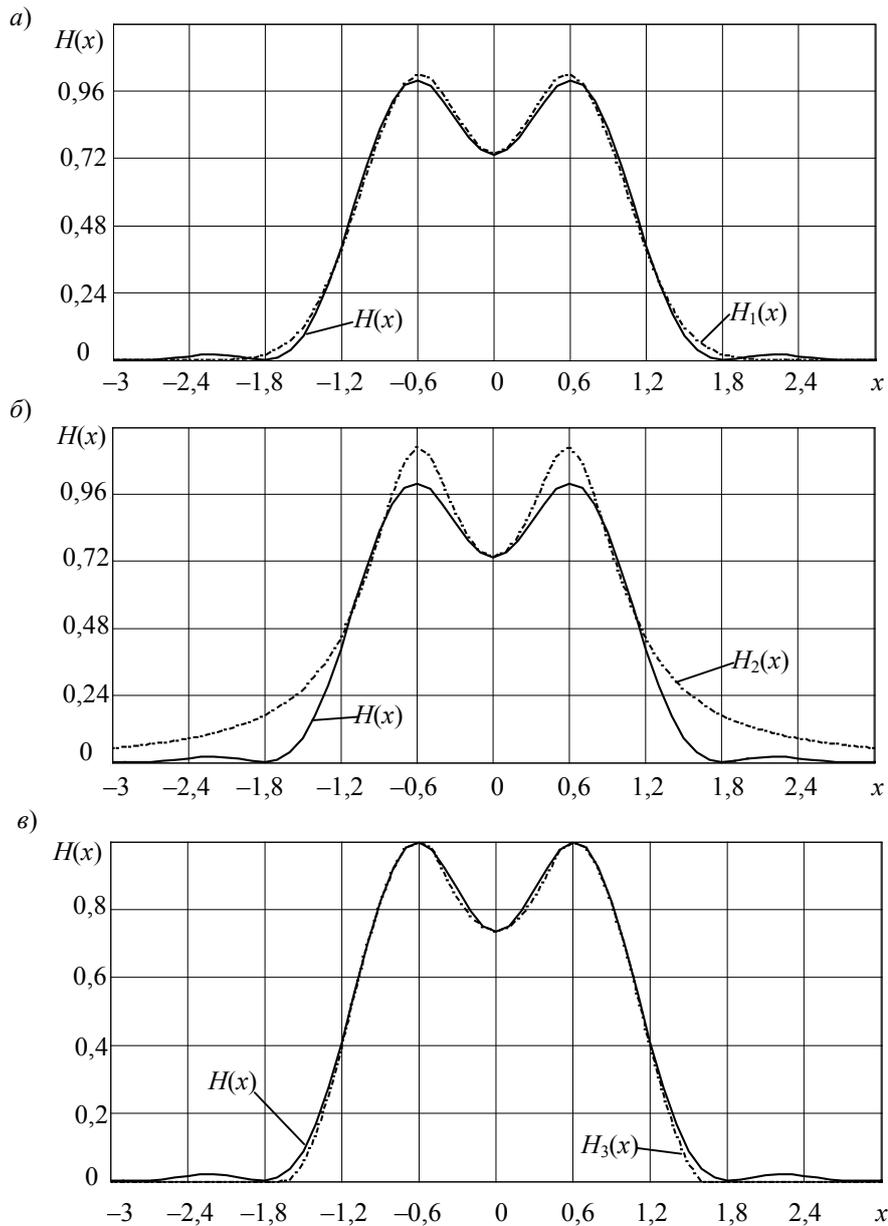


Рис. 2

Для упрощения расчетов в работе [5] (с учетом [3, 4]) было предложено выражение (1) аппроксимировать гауссоидой (см. рис. 1 — пунктирная кривая)

$$h_1(x) = \exp \left[- \left(\frac{x}{0,61} \right)^2 \right], \quad (2)$$

радиус которой на уровне $1/e$ составляет $x_e = 0,61$, т.е. $r_e = 0,61r_0 = 0,5r_{01}$. Выражение (2) получено при условии равенства радиусов и условии пересечения гауссоиды и кривой на уровне $1/e$.

Определим значение отношения $x_e = r_e / r_0$ из условия равенства площадей под кривыми, описываемыми выражениями (1) и (2), т.е. из условия

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp \left[- \left(\frac{x}{x_e} \right)^2 \right] dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{2J_1(\pi x)}{\pi x} \right)^2 dx.$$

При пределах интегрирования, отличных от бесконечности, величина отношения $x_e = r_e/r_0$ несколько изменяется (см. табл. 1).

Таблица 1

Пределы интегрирования	x_e	K_0	K
(-1,22; +1,22)	0,598	0,305	0,180
(-2,233; +2,233)	0,605	0,289	0,169
(-3,238; +3,238)	0,608	0,283	0,165
($-\infty$; $+\infty$)	0,610	0,279	0,162

Рассчитаем относительную погрешность определения контраста δK по следующей формуле:

$$\delta K = \frac{K_B - K_a}{K_B},$$

где K_B — контраст, определенный с помощью функции Бесселя; K_a — контраст, определенный с помощью аппроксимирующей функции.

Как следует из табл. 1, чем больше пределы интегрирования, тем меньше относительная погрешность определения контраста: при пределах $(-q; +q)$ она составляет $-22,2\%$, а при пределах $(-\infty; +\infty)$ равна $-5,9\%$.

Два других способа аппроксимации выражения (1) рассмотрены в работе [6]. Так, выражение (1) можно аппроксимировать и „колокольной“ функцией [1]

$$h_2(x) = \frac{1}{1+(bx)^2}. \quad (3)$$

Расчеты показывают, что при $x = -1,22 \dots +1,22$ и равенстве условных радиусов эта функция имеет вид, представленный пунктирной линией на рис. 3, а, коэффициент $b = 2,150$.

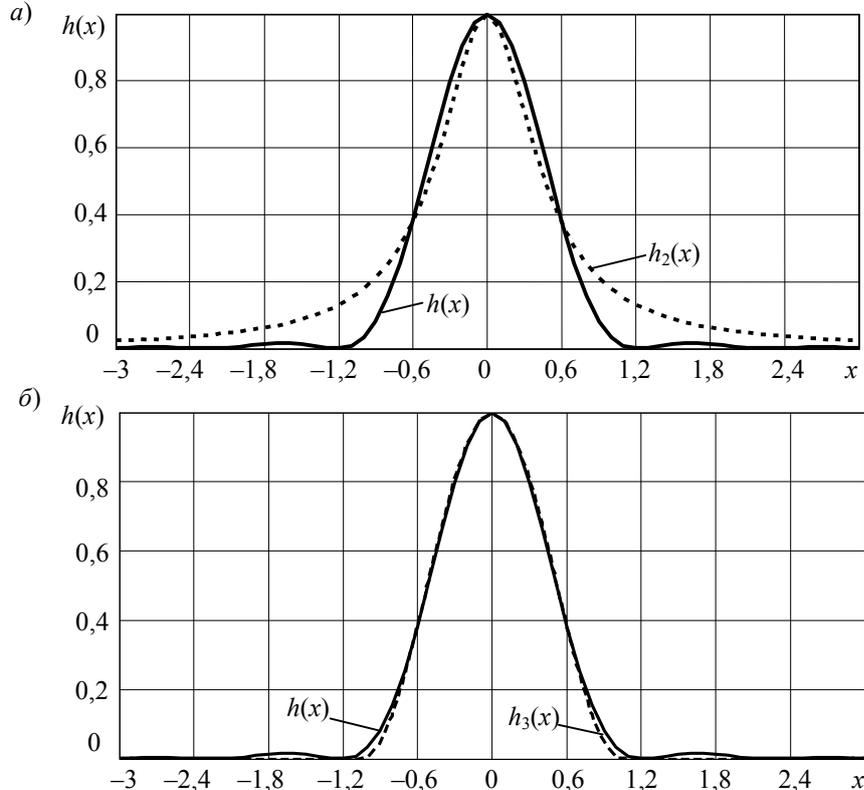


Рис. 3

Из условия равенства площадей под кривыми, описываемыми выражениями (1) и (3), т.е. из условия

$$\int_{-1,22}^{1,22} \frac{1}{1+(bx)^2} dx = \int_{-1,22}^{1,22} \left(\frac{2J_1(\pi x)}{\pi x} \right)^2 dx$$

коэффициент b получается равным 2,338.

Для аппроксимации выражения (1) в пределах $x=-1,22\dots+1,22$ можно использовать и „косинус-квадратную“ функцию [1] (рис. 3, б)

$$h_3(x) = \cos^2\left(\frac{\pi}{2a}x\right), \quad (4)$$

откуда при выполнении условия $x_e = r_e/r_0 = 0,61$ получаем коэффициент $a=1,042$, а при выполнении условия равенства площадей под кривыми, описываемыми выражениями (1) и (4), — коэффициент $-a=1,047$.

Функция $h_3(x)$ имеет периодический характер, поэтому при ее расчете следует ограничиться пределами $(-1,22; 1,22)$.

Зависимость значений K_0 и K от видов аппроксимации представлена в табл. 2.

Таблица 2

Вид аппроксимации	K_0	K
„Колокольная“:		
равенство радиусов	0,315	0,187
равенство площадей	0,348	0,210
„Косинус-квадратная“:		
равенство радиусов	0,265	0,153
равенство площадей	0,309	0,183

Анализ таблицы показывает, что контраст при „косинус-квадратной“ аппроксимации при равенстве условных радиусов имеет наилучшее совпадение с контрастом, полученным из выражения (1). Максимальная относительная погрешность наблюдается при „колокольной“ аппроксимации при равенстве площадей и составляет 37,3 %.

Для сравнения рассмотренных видов аппроксимации построены зависимости абсолютной погрешности аппроксимации от x (рис. 4).

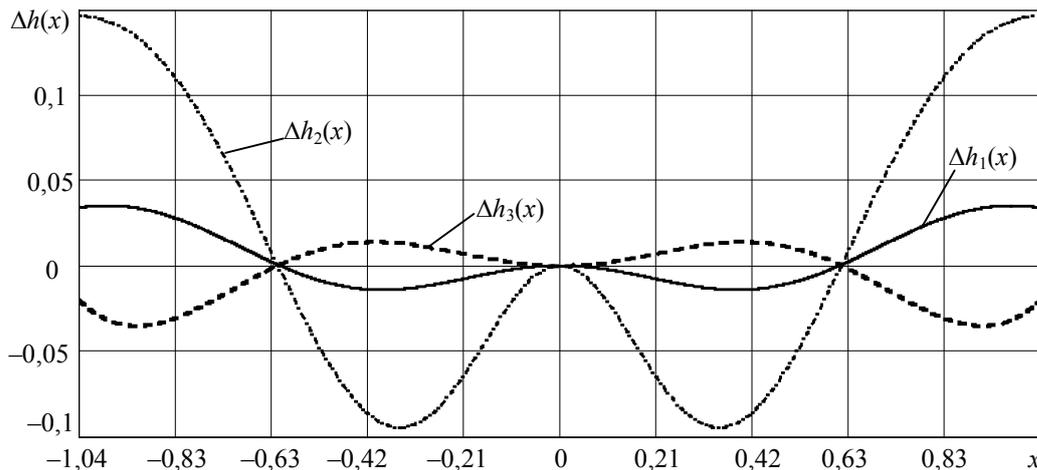


Рис. 4

При аппроксимации выражения (1) контраст и контрастность имеют важное значение, поэтому целесообразно вычислить коэффициенты для аппроксимации гауссоидальной и „колокольной“ функциями при условии равенства контрастности и контраста. Выражения (2) и (3) в этом случае соответственно приобретают вид

$$h_1(x) = \exp \left[- \left(\frac{x}{0,616} \right)^2 \right], \quad h_2(x) = \frac{1}{1 + (1,908x)^2}.$$

Коэффициент a в выражении (4) одинаков при равенстве контраста и равенстве условных радиусов.

На рис. 2, a — $в$ приведены графики рассмотренных кривых.

Три представленных способа аппроксимации могут быть использованы для упрощения расчетов. Вид аппроксимации необходимо выбирать в зависимости от поставленной задачи, допустимых абсолютной и относительной погрешностей, параметров телевизионной системы. Исходя из этих же критериев следует рассчитывать и коэффициенты каждой аппроксимирующей функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыфтин Я. А. Телевизионная система. М.: Сов. радио, 1967. 271 с.
2. Castelman K. R. Digital Image Processing. New Jersey: Prentice, 1996. P. 368
3. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1977. 592 с.
4. Порфирьев Л. Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах. Л.: Машиностроение, 1989. 383 с.
5. Пустынский И. Н., Кирпиченко Ю. Р. К оценке чувствительности и разрешающей способности телевизионных датчиков // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, № 11. С. 5—9.
6. Зайцева Е. В. Оценка погрешности аппроксимации гауссоидой распределения яркости в кружке рассеяния объектива // Докл. (материалы) 14-й Междунар. науч.-практ. конф. „Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири“, 6—8 окт. 2008. Томск, 2008 г. С. 93—96.

Сведения об авторе

Екатерина Викторовна Зайцева — аспирант; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления;
E-mail: katya@tu.tusur.ru

Рекомендована кафедрой
телевидения и управления

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

А. С. Сизов, Д. В. Титов, М. И. Труфанов

МОДУЛЬНАЯ ВСТРАИВАЕМАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Представлена встраиваемая оптико-электронная система, обеспечивающая анализ видеоданных, расширение и изменение ее функциональных возможностей, которая может быть применена для решения различных задач автоматизированного наблюдения и контроля заданной территории и объектов.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, распознавание, схема, модуль, видеокамера.

Современный этап развития методов автоматизированного управления техническими и организационно-техническими системами характеризуется тенденцией алгоритмической, схемотехнической и конструктивно-технологической интеграции средств и объектов управления, что объективно обуславливает создание так называемых встраиваемых систем. Эта тенденция характерна и для развития робототехнических систем (РТС).

Создание автоматизированных РТС базируется на проектировании элементов, с одной стороны, отличающихся относительной простотой аппаратно-программной реализации, высокой надежностью функционирования, минимальными массогабаритными, энергетическими, стоимостными и другими показателями, а с другой — способных к конструктивному объединению и обладающих возможностью адаптации к управлению в условиях неопределенности. Таким образом, можно констатировать, что создание автоматизированных РТС согласуется с проблемной областью синтеза встраиваемых интеллектуальных систем управления. В связи с этим не вызывает сомнений актуальность разработки встраиваемой оптико-электронной системы видеонаблюдения.

Основными функциями интеллектуальных систем видеонаблюдения, как правило, являются запись всей поступающей видеоинформации без какой-либо компьютерной обработки или запись только кадров, соответствующих движению объекта заданного размера. Существенные недостатки систем видеонаблюдения заключаются в сложности поиска конкретного объекта (события) в общем объеме записанных видеоданных и использования хранилищ данных большого объема, необходимости постоянного наблюдения за обстановкой на видеодисплее, сложности (а иногда и невозможности) перестройки системы для решения другой задачи.

Развитие современной элементной базы, средств и методов обработки видеоинформации позволяет значительно повысить эффективность систем видеонаблюдения за счет распознавания предварительно заданных объектов и событий, адаптивного повышения качества поступающего изображения, получения детализированных изображений заданных объектов (например, номерных знаков автомобилей, въезжающих на стоянку).

Встраиваемые интеллектуальные системы управления просты в использовании, дешевы, надежны и пригодны для реализации сложных алгоритмов интеллектуального управления [1].

В настоящей статье представлена опто-электронная система, построенная по модульному принципу на основе архитектуры „Евромеханика 19“, системной шины CompactPCI и модулей в форм-факторе 3U, что обеспечивает быстрое реконфигурирование системы для решения различных задач путем замены или добавления необходимого аппаратного или программного модуля. Предлагаемая система отличается от известных возможностью интеллектуального анализа поступающих видеоданных, под которым понимается адаптивная коррекция помех и погрешностей изображения при различных условиях работы системы, возможность обнаружения (распознавания) заданных объектов (событий) и получение их детализированных изображений.

В состав системы входят корпус „Крэйт“, специальный вычислитель SP308 на базе процессора Intel Pentium Core 2 Duo, четырехканальная плата ввода аналогового видеосигнала SP-444a-cPCI, две портативные видеокамеры (аналоговые или цифровые в зависимости от конфигурации) — обзорная и длиннофокусная, модуль предварительной обработки изображения на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), интеллектуальный модуль обработки изображения на базе цифрового сигнального процессора (ЦСП) и ПЛИС, система ориентации длиннофокусной видеокамеры (рис. 1).

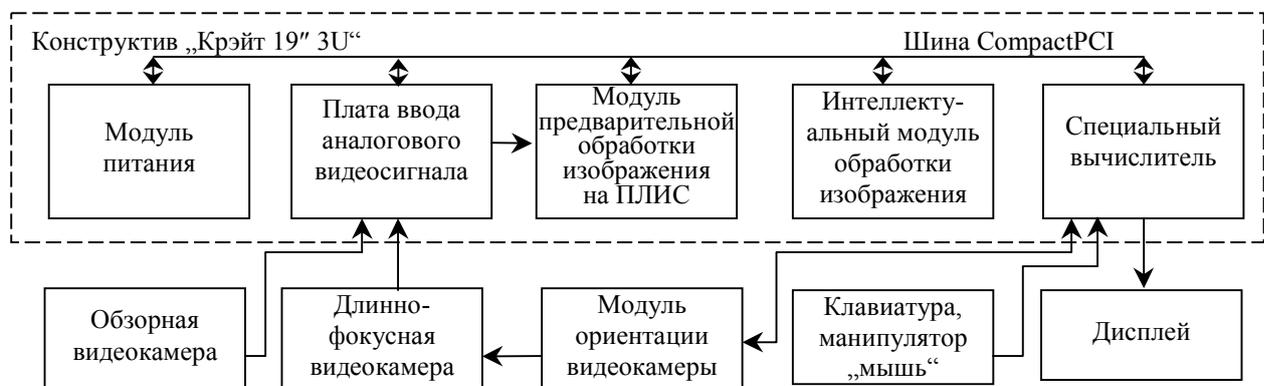


Рис. 1

В базовой версии система выполняет следующие функции: ввод изображения и адаптивная коррекция его искажений; обнаружение на изображении объекта заданного класса; получение детализированного изображения обнаруженного объекта путем ориентации длиннофокусной видеокамеры на объект; обнаружение заданного события (например, въезд автомобиля в заданную область); ведение базы данных; контекстный поиск событий или объектов.

Дополнительно система может быть оснащена модулями распознавания объектов по их изображениям, измерения геометрических параметров обнаруженных объектов, повышения четкости изображения движущихся объектов.

Рассмотрим более подробно модули обработки изображения, входящие в состав системы и обеспечивающие реализацию вышеперечисленных функций.

Структурная схема устройства ввода изображения и коррекции радиальной дисторсии представлена на рис. 2 [2]. Этот модуль реализует ввод изображения и коррекцию его искажений, вызванных радиальной дисторсией оптической системы видеокамеры, непосредственно в процессе получения изображения, что позволяет снизить загрузку специального вычислителя опто-электронной системы.

Коррекция радиальной дисторсии осуществляется путем переноса точек изображения в их истинные позиции (x' , y') в соответствии с выражениями

$$x' = x + \Delta x, y' = y + \Delta y,$$

где величины Δx , Δy рассчитываются на основе представленного в работе [3] метода с последующим уточнением яркости текущего пиксела I путем интерполяции по соседним пикселям:

$$I = kI + (1 - k) \sum_{i=1}^4 k_i I_i,$$

где k — весовой коэффициент, определяющий степень коррекции яркости текущего пиксела; k_i — весовой коэффициент, определяющий степень влияния яркости смежного пиксела на яркость текущего пиксела; I_i — яркость смежного пиксела.

Этот модуль позволяет обеспечивать коррекцию как аналогового изображения, так и цифрового. При поступлении аналогового изображения модуль коррекции дополнительно выполняет функции аналого-цифрового преобразования (АЦП).

Рассмотрим работу модуля. В процессе его настройки из специального вычислителя в контроллер модуля подаются необходимые для коррекции дисторсии данные о размерах (X, Y) обрабатываемых кадров изображения. Контроллер осуществляет расчет исправленных координат (x', y') позиции для каждого пиксела изображения с координатами (x, y) и заносит их в ОЗУ таблицы коррекции по адресу A , равному $A = x + yX$.

При вводе изображения в оптико-электронную систему формирователь адреса I определяет адрес в ОЗУ таблицы коррекции, где ранее записаны исправленные координаты текущего пиксела. На выходе ОЗУ таблицы коррекции формируются значения (x', y'), которые формирователем адреса 2 преобразуются в адрес $A' = x' + y'X$. По адресу A' в ОЗУ видеоданных записывается значение яркости текущего пиксела. В результате после поступления всех пикселов очередного кадра в ОЗУ видеоданных записывается изображение, не искаженное влиянием радиальной дисторсии. Записанное изображение передается по системной шине в специальный вычислитель. При соответствующей модификации (добавлении двух дополнительных каналов) модуль может обеспечивать коррекцию хроматической аберрации. Структура подобного модуля представлена в работе [4].

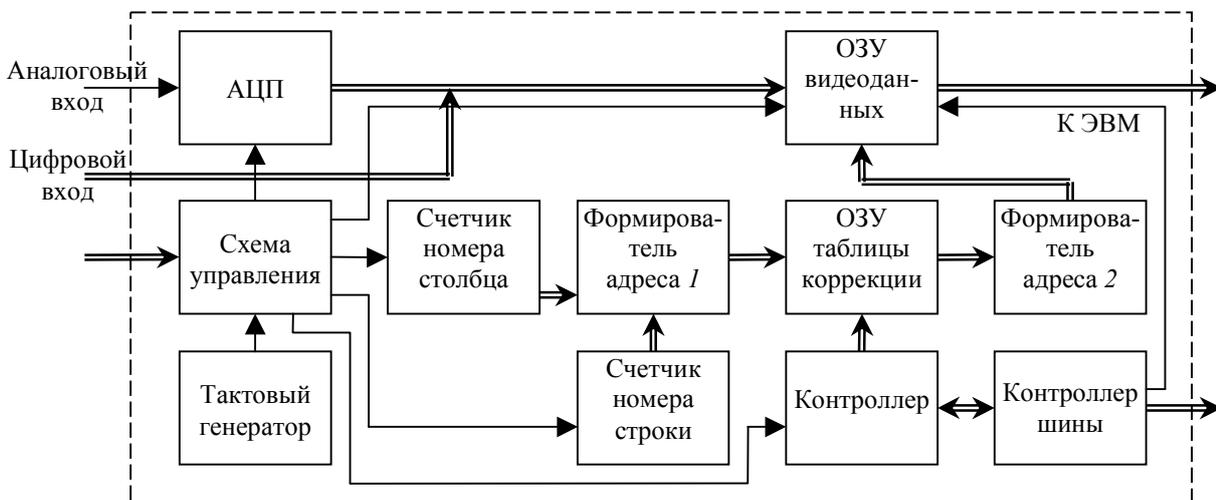


Рис. 2

В системе предусмотрен также интеллектуальный модуль обработки изображения, который предназначен для распознавания трехмерных объектов заданного класса. Метод распознавания объектов, реализованный в данном модуле, представлен в работе [5]. Вспомогательной функцией модуля является адаптивное изменение яркости изображения в зависимости от уровня внешней освещенности с учетом требований к выдержке (времени получения одного кадра). Метод распознавания включает несколько этапов: ввод изображения, вычисление признаков (кода и соотношения сторон габаритного контейнера) изображения, определение проекции эталонного изображения, имеющей соответствующие признаки, вычисление матрицы входных параметров и матрицы весовых коэффициентов, определение на основе имеющихся данных класса эталона, к которому принадлежит объект.

Для изображения объекта, поступившего на вход, производится выделение габаритного контейнера и кодирование (под габаритным контейнером понимается описанный вокруг изображения прямоугольник). Затем выбирается массив с параметрами эталонного изображения, сравниваются коды распознаваемого и эталонного изображений, вычисляется отношение сторон габаритных контейнеров изображений. Если указанные условия выполнены, то производится сравнение проекция эталона с изображением, поступившим на вход. Для этого проекция эталона строится таким образом, чтобы размеры габаритного контейнера распознаваемого изображения и проекция эталонного совпадали.

Далее производится сравнение изображения объекта с проекцией эталона. Для этого используется нейроразличная структура типа перцептрон. При превышении порога решающей функции принимается решение о принадлежности изображения объекта к классу текущего эталона, в противном случае производится очередная итерация, и процесс распознавания повторяется для очередной проекции эталона, удовлетворяющей предварительным условиям. По завершении перебора базы эталонов по мажоритарному принципу определяется класс объекта.

На рис. 3 представлена структурная схема интеллектуального модуля.

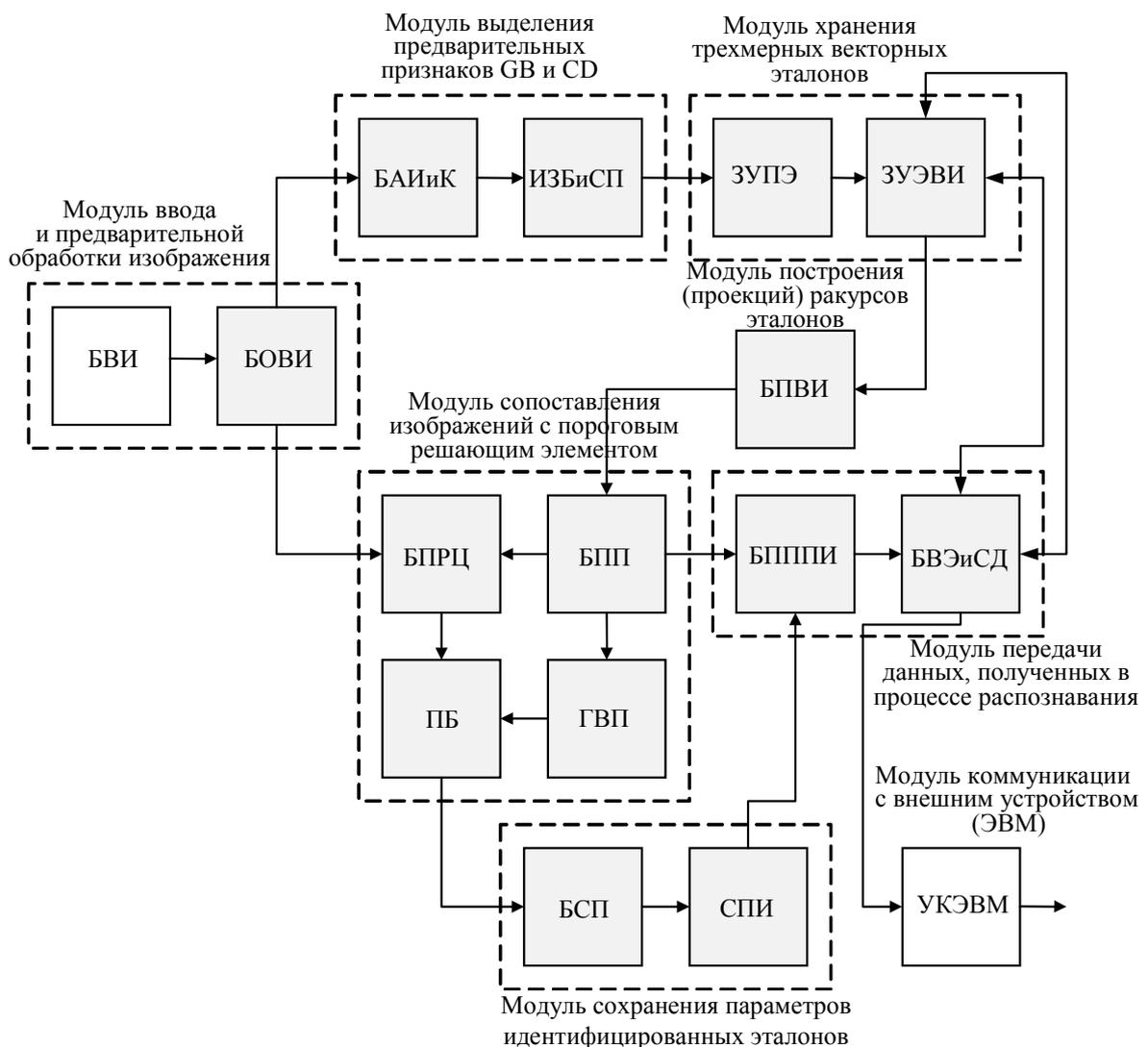


Рис. 3

Входное изображение подается на блок ввода изображения (БВИ), выделяющий яркостную составляющую и передающий полученные данные в блок обработки входного изображения (БОВИ), который обеспечивает выделение габаритного контейнера и осуществляет расчет вектора признаков входного изображения. Блок анализа изображения и

кодирования (БАИиК) производит вычисление величин, необходимых для распознавания объекта. Далее посредством блока, обеспечивающего извлечение данных из запоминающего устройства и производящего сравнение параметров (ИЗБиСП), осуществляется сравнение параметров имеющихся эталонов, находящихся в запоминающем устройстве (ЗУПЭ), и параметров, полученных с использованием блока БАИиК. При наличии соответствия из запоминающего устройства, содержащего эталонные изображения в векторном формате (ЗУЭВИ), считывается соответствующая векторная модель эталонного объекта. Посредством блока, обеспечивающего преобразование векторного изображения (БПВИ), выполняется его поворот, масштабирование и передача данных в блок расчета проекции (БПП), где векторное изображение преобразуется в соответствующую плоскую проекцию.

На основе данных, полученных блоком расчета проекции, генератор весов персептрона (ГВП) формирует веса для персептронного блока (ПБ). Далее, с помощью блока, пересылающего параметры „похожих“ изображений (БПППИ), выполняется сравнение исходного изображения и проекции эталона. В качестве входных данных для персептронного блока используется количество пикселей. Решающий элемент персептронного блока обеспечивает идентификацию изображения. Параметры всех идентифицированных изображений заносятся в стек для накопления полученных изображений (СПИ), откуда впоследствии извлекаются с помощью блока выборки трехмерного эталона по переданным параметрам и сохранения необходимых данных (БВЭиСД) для передачи в устройство коммуникации со специальным вычислителем (УКЭВМ). Блок подсчета разности цвета пикселей (БПРЦ) определяет численное значение различия исходного и эталонного изображений. Блок сохранения параметров (БСП) обеспечивает хранение информации об идентифицированном объекте.

Итак, рассмотрены процессы предварительной обработки и распознавания изображений и реализующие их специализированные модули.

Обобщенный алгоритм функционирования модульной встраиваемой интеллектуальной оптико-электронной системы видеонаблюдения определяется целью ее использования и может быть изменен в зависимости от решаемой задачи.

В рассматриваемой системе обзорная видеокамера устанавливается так, чтобы область пространства, в которую входит объект, полностью попадала в кадр. Изображение с обзорной видеокамеры поступает через плату ввода аналогового сигнала (см. рис. 1) и далее передается в модуль предварительной обработки изображения, затем в интеллектуальный модуль и специальный вычислитель. Специальный вычислитель определяет параметры, необходимые для ориентации длиннофокусной видеокамеры на объект, и подает команды модулю ориентации видеокамеры. Полученное с длиннофокусной видеокамеры изображение объекта во весь размер кадра передается в специальный вычислитель и сохраняется в базе данных. Затем процесс обнаружения объектов, пересекающих заданную область пространства, повторяется.

Вместо длиннофокусной видеокамеры в системе также может быть использован цифровой зеркальный фотоаппарат, подключаемый к специальному вычислителю через устройство управления, схема которого представлена на рис. 4.

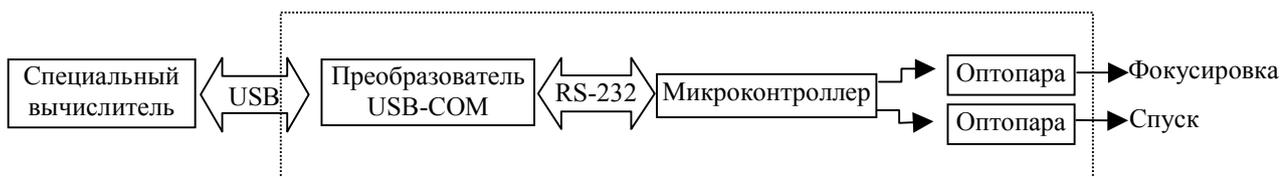


Рис. 4

Цифровой фотоаппарат обеспечивает значительно бóльшую по сравнению с видеокамерой разрешающую способность, что может быть необходимо для дальнейшего извлечения информации из полученных изображений, однако его применение возможно только внутри помещений.

Представленная структурно-функциональная организация модульной встраиваемой оптико-электронной системы видеонаблюдения обеспечивает интеллектуальный анализ поступающих видеоданных, расширение и изменение ее функциональных возможностей, что позволяет использовать эту систему для решения различных задач автоматизированного наблюдения и контроля заданной территории и объектов.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию, грант НК-425П-5(59).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. Е., Криушов А. В., Шилов М. М. Инструментальные средства и методология подготовки специалистов в области встраиваемых интеллектуальных систем управления // Информационно-управляющие системы. 2009. № 4. С. 43—52.
2. Пат. 2351983 РФ, МКИ G06K9/32. Устройство ввода изображения в ЭВМ и коррекции дисторсии / Д. В. Титов, М. И. Труфанов // Оpubл. 10.04.09. Бюл. № 10.
3. Оптико-электронные устройства обработки и распознавания изображений / В. С. Титов, М. И. Труфанов., Е. А. Макарецкий, А. Я. Паринский. Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. 121 с.
4. Пат. 2352987 РФ, МКИ G06K9/20. Устройство получения изображения с коррекцией хроматической аберрации / А. С. Козлов, В. С. Титов, М. И. Труфанов // Оpubл. 20.04.09. Бюл. № 11.
5. Vision system for image recognition based on three-dimensional vector patterns / V. Gridin, V. Titov, M. Truphanov, S. Korostelev // Machine Graphics and Vision. 2009. Vol. 18, N 2. P. 175—186.

Сведения об авторах

- Александр Семенович Сизов** — д-р техн. наук, профессор; Курский государственный технический университет, кафедра информационных технологий;
E-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru
- Максим Игоревич Труфанов** — канд. техн. наук, доцент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: temp1202@mail.ru
- Дмитрий Витальевич Титов** — студент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: amazing2004@inbox.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

В. С. ПАНИЩЕВ, В. П. РЕШЕТНИКОВА, И. Е. ЧЕРНЕЦКАЯ

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ НАНЕСЕНИЯ ЭТИКЕТОК НА ПОДВИЖНЫЙ ОБЪЕКТ

Представлен функционирующий на основе оптического и индуктивного датчиков блок управления автоматизированной системой нанесения самоклеющейся этикетки с ленты (подложки) на подвижный объект.

Ключевые слова: микроконтроллер, автоматизированная система управления, самоклеющаяся этикетка, оптический датчик, индуктивный датчик.

Одним из направлений повышения эффективности производства является внедрение вычислительной техники в автоматизированные системы управления технологическими процессами. В настоящей статье рассматривается блок управления автоматизированной системой нанесения самоклеющихся этикеток (марок, ценников и т.п.) на подвижный объект. Разработка такого блока весьма актуальна, что обусловлено широким применением способов автоматического нанесения этикеток в различных отраслях промышленности (например, пищевой, косметической, фармацевтической и др.). Для качественного, быстрого и точного нанесения этикетки на подвижный объект необходимо осуществлять автоматический перенос этикеток с ленты (подложки) на объект, особенно в массовых и серийных производствах.

По сравнению с ранее применявшимися устройствами использование автоматизированной системы нанесения этикеток является предпочтительным, так как клеевая основа заранее наносится на этикетку. Предлагаемый блок управления автоматизированной системой предусматривает работу с мощным шаговым двигателем, способным увеличить производительность системы; кроме того, в системе обеспечивается плавная регулировка скорости подачи этикетки; система может работать в ручном и автоматическом режимах.

Для управления автоматизированной системой применяются два датчика разных типов: оптический датчик с регулируемой чувствительностью, определяющий наличие объекта в зоне действия, и индуктивный датчик в специальном корпусе, контролирующий состояние этикетки. Датчики должны обеспечивать полный контроль положения объекта и этикетки для точной работы блока управления.

Скорости движения объекта и ленты с этикетками должны быть в любой момент времени согласованы, для чего в системе автоматизированного управления предусмотрен контроллер.

Перед началом автоматической работы необходимо записать в память контроллера данные об оптимальном времени прохождения этикетки для определения последующей скорости движения ленты, так как с увеличением диаметра наматываемого рулона (подложки) увеличивается угловая, а следовательно, и линейная скорость. Так, при сравнении с зафиксированным в памяти оптимальным временем прохождения этикетки происходит постоянная коррекция скорости, что обуславливает стабильную и бесперебойную работу автомата в целом.

Основными составляющими блока управления автоматизированной системой (рис. 1) являются: контроллер двигателя, блок управления приводом, управляющий контроллер, устройство индикации, переключатель режимов, клавиатура, источник питания, датчики.

Блок управления должен обеспечивать стабильную работу привода при различных нагрузках и скорости вращения.

Импульсный источник питания обеспечивает подачу необходимого напряжения на датчики, управляющий контроллер и контроллер двигателя.

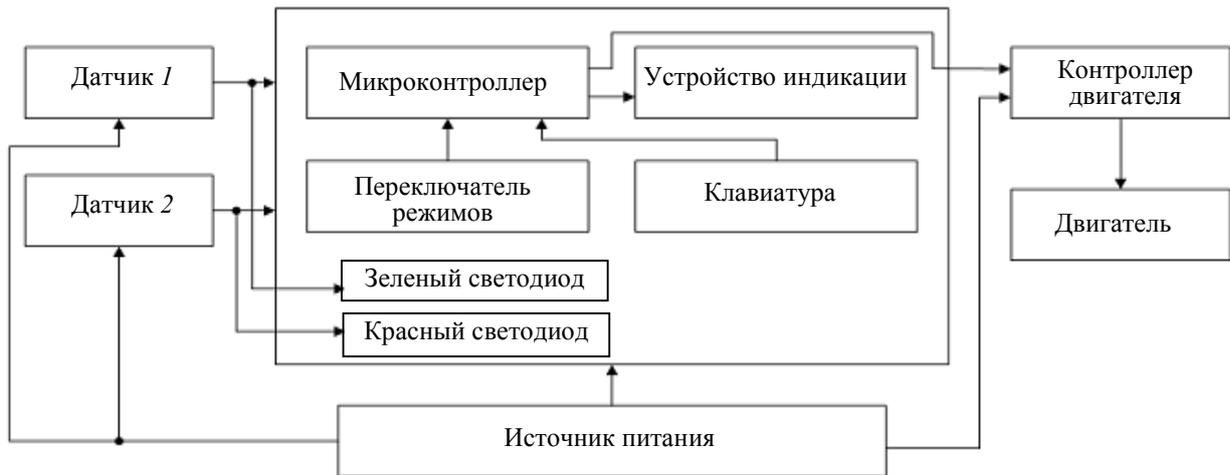


Рис. 1

Датчик 1 (D_1) — оптический — сигнализирует о необходимости включения подачи этикетки, как только объект попадает в зону его действия, датчик 2 (D_2) — индуктивный — сигнализирует о необходимости остановки подачи этикетки, что позволяет контролировать ее состояние и время прохождения.

Управляющий контроллер представляет собой микроконтроллер, к которому подключены устройство индикации, переключатель режимов и кнопки установки режимов (клавиатура). Управляющий контроллер получает и обрабатывает команды от датчиков, позволяет устанавливать значение частоты вращения двигателя с помощью кнопок „УСТ“, „+“, „-“, отображая его на цифровом индикаторе, переключать режимы работы (автоматический или ручной), подавать команду управления на контроллер двигателя.

Контроллер двигателя управляет работой шагового двигателя, который осуществляет перемещение ленты с этикетками с помощью сигналов от управляющего контроллера. Угловая скорость двигателя изменяется в зависимости от частоты прямоугольных импульсов, поступающих на вход его контроллера.

Кнопки установки режимов работы, светодиоды и индикация выведены на переднюю панель корпуса блока управления (рис. 2). Цифровая индикация обеспечивается пятиразрядным семисегментным индикатором. Номера устанавливаемых разрядов сменяются циклически в следующем порядке: 4—3—2—1—0—4 (0 — младший разряд). Индикатор показывает установленное значение частоты вращения вала шагового двигателя. Пределы регулирования частоты вращения ограничены: от 20 до 40 000 Гц. При начальном включении блока управления, а также при нарушении питания автоматически устанавливается скорость „1000“. Если изменение скорости происходит во время работы в режиме „Ручной“, то ранее зафиксированное значение скорости сохраняется до момента запоминания нового.

Для регулировки датчиков и контроля их работы предусмотрены светодиоды „Работа“: красный светодиод дублирует выходной сигнал датчика 2, а зеленый — выходной сигнал датчика 1.

На передней панели блока управления находится также кнопка ручного управления „Наладка“, необходимая для включения двигателя с текущим значением скорости без коррекции в автоматическом режиме и при смене рулона с этикеткой.

В режиме „Ручной“ автомат работает с постоянной скоростью, которая установлена на цифровом индикаторе (скорость не изменяется, время цикла не контролируется). В режиме „Авто“ контроллер запоминает первое после переключения время цикла ($t_{ц}$) и в зависимости

от его изменения автоматически изменяет выходной сигнал контроллера в целях поддержания первоначально установленного скоростного режима.

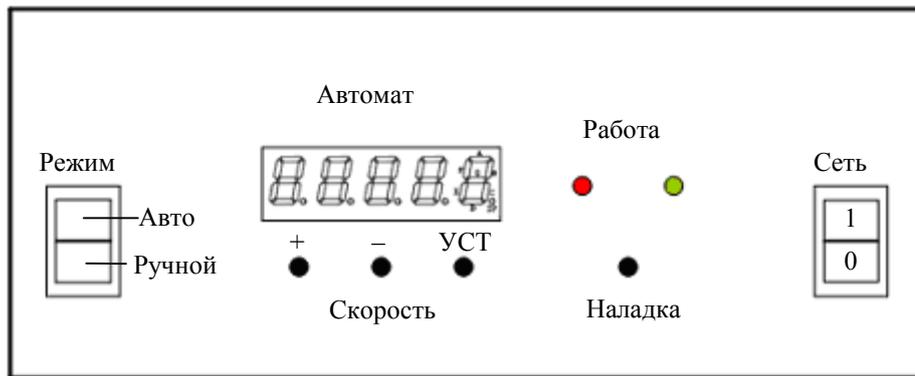


Рис. 2

Контроль положения объекта и этикетки обеспечивается датчиками. При получении сигнала от датчика 1 выдается команда включения подачи этикетки (включается двигатель). Двигатель начинает движение, только если датчик 2 находится в исходном состоянии — логической „1“. Исходное состояние датчика 1 — логический „0“. При повторном срабатывании датчика 1 во время цикла команда включения двигателя игнорируется до установления датчика 2 в исходное состояние. Для определения момента остановки подачи этикетки сигнал датчика 2 (после начала движения) не изменяется до тех пор, пока датчиком не будет зарегистрирован интервал между этикетками на рулоне. Как только датчик 2 фиксирует начало следующей этикетки, двигатель останавливается.

В автоматическом режиме датчик 2 позволяет сравнивать время цикла с эталонным (заданным). Началом отсчета времени цикла является команда включения подачи этикетки, поступающая с датчика 1, окончанием цикла является сигнал остановки, поступающий с датчика 2. Временная диаграмма работы одного полного цикла показана на рис. 3. Эталонным считается время цикла, установленное после включения клавиши „Авто — Ручной“ в положение „Авто“. Время первого (после включения в режиме „Авто“) цикла запоминается для сравнения с последующими циклами и коррекции частоты выходного сигнала шагового двигателя.

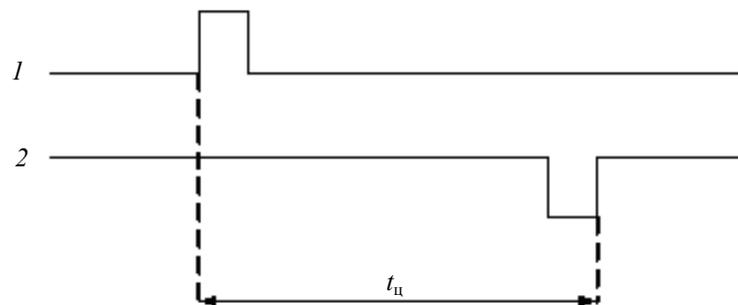


Рис. 3

Для начала работы автомата необходимо включить его переключателем „Сеть“, находящимся на передней панели блока управления. Далее устанавливается рулон с этикетками. Начало рулона вручную протягивается и крепится на намоточном узле, с помощью которого осуществляется движение ленты. Датчик 2 устанавливается в рабочее положение и, при необходимости, производится регулировка чувствительности. Установка рулона, необходимой скорости и все требуемые регулировки производятся в режиме „Ручной“, после чего автомат переводится в режим „Авто“. При поступлении питания на управляющий контроллер начинается бесконечный цикл ожидания сигнала внешнего прерывания, который может поступить от датчиков или от кнопок установки режимов.

При прохождении предмета перед датчиком 1, независимо от состояния переключателя „Режим“, включается привод и осуществляется перенос этикетки на объект. Автомат останавливается в исходном состоянии до прохождения следующего объекта перед датчиком и т.д.

Схема алгоритма работы установки данных представлена на рис. 4, а, общий алгоритм работы системы в ручном режиме — на рис. 4, б.

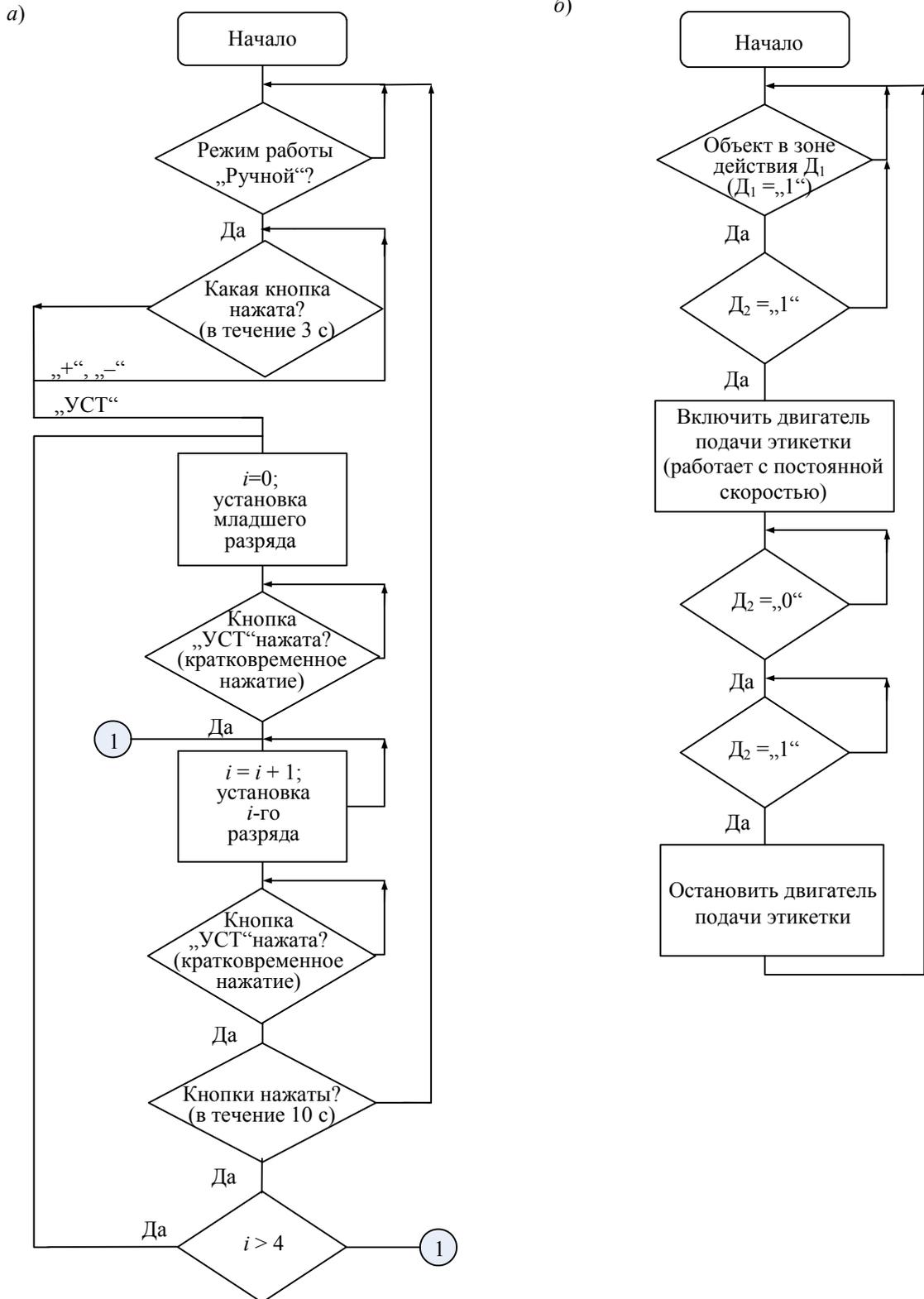


Рис. 4

Рассмотренный блок управления автоматизированной системой нанесения этикеток на подвижный объект является функционально законченным изделием, способным работать автономно в составе комплекса.

Сведения об авторах

- Владимир Славиевич Панищев** — канд. техн. наук, доцент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники;
E-mail: gskunk@rambler.ru
- Вероника Петровна Решетникова** — аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: anikina_veronika@mail.ru
- Ирина Евгеньевна Чернецкая** — канд. техн. наук, доцент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники;
E-mail: white731@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

Э. И. ВАТУТИН, И. В. ЗОТОВ, В. С. ТИТОВ, М. М. АЛЬ-АШВАЛ

РЕАЛИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИИ ВСТАВКИ ПОДДЕРЕВА ПРИ АППАРАТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ R -ВЫРАЖЕНИЙ

Рассматривается устройство, позволяющее реализовать операцию вставки поддерева в дерево при аппаратно-ориентированной обработке R -выражений, возникающей при выполнении эквивалентных преобразований параллельных алгоритмов.

Ключевые слова: логический мультиконтроллер, параллельный алгоритм логического управления, разбиение, оптимизация, R -выражение, ориентированное дерево, специпроцессор.

Построение систем логического управления, ориентированных на реализацию параллельных управляющих алгоритмов в базе логических мультиконтроллеров (ЛМК), требует декомпозиции комплексных параллельных алгоритмов теоретически неограниченной сложности на множество частных алгоритмов ограниченной сложности [1]. Получение оптимального набора частных алгоритмов (разбиения) представляет собой сложную комбинаторную задачу, решение которой возможно лишь с помощью эвристических алгоритмов. Качество решения этой задачи существенно влияет на аппаратную сложность ЛМК и определяет, в конечном счете, время выполнения алгоритма. Эффективным путем решения данной задачи является параллельно-последовательный метод декомпозиции [2—5].

Один из ключевых этапов параллельно-последовательной декомпозиции — построение множества сечений, покрывающего все вершины исходного алгоритма. Формирование сечений осуществляется посредством выполнения трудоемких операций подстановки над множеством так называемых R -выражений, описывающих алгоритм управления. Как показывают исследования, упрощение и ускорение этих операций возможно путем их сведения к действиям над деревьями. Такие действия, в свою очередь, допускают разбиение на ряд более простых (элементарных) операций [6]. Схематично операции подстановки могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{cases} i: X^R \rightarrow B^R \\ j: A^R \rightarrow C^R \end{cases} \Rightarrow i: X^R \rightarrow B^{R'} \text{ (} u\text{-подстановка);}$$
$$\begin{cases} i: C^R \rightarrow A^R \\ j: B^R \rightarrow X^R \end{cases} \Rightarrow j: B^{R'} \rightarrow X^R \text{ (} d\text{-подстановка),}$$

где X^R — некоторое R -выражение, не участвующее в подстановке; $B^{R'}$ — R -выражение, получаемое из R -выражения B^R после удаления поддерева A^R и вставки вместо него дерева C^R .

Методика практической реализации операций над R -выражениями, а также представление их в виде деревьев, допускающее преобразование в табличный вид, приведены в работах [7, с. 38; 8]. Здесь напомним следующее: каждый элемент a дерева X , представленного совокупностью наборов листьев $L_1^X, L_2^X, \dots, L_{N_L(X)}^X$, узлов $T_1^X, T_2^X, \dots, T_{N_T(X)}^X$ и связей между ними, кодируется набором полей. С учетом ряда особенностей обработки, наборы листьев и узлы дерева кодируются отдельно. Узлы дерева представлены следующими полями: тип узла (ТУ) — параллельный или альтернативный ($t(T_i^X)$); ссылка на предка (СП) — номер узла-предка ($u(T_i^X)$); номер соответствия (НС) — номер изоморфного эквивалента в соседнем дереве ($n_r(T_i^X)$); тип соответствия (ТС) — отсутствующее, полное или частичное соответствие ($\Delta(T_i^X)$); наборам листьев дерева при этом соответствуют поля множества вершин (МВ) — двоичный вектор с единичными битами в позициях, соответствующих номерам присутствующих в наборе вершин, а также перечисленные выше поля СП, НС и ТС.

Табличное представление R -выражений подчиняется ряду следующих требований [8].

1. Корень дерева хранится в позиции с номером 0. Значение поля СП корня указывает на заведомо несуществующий элемент дерева.
2. Для каждого узла дерева его потомки хранятся в позициях с номерами, превосходящими номер позиции самого узла (при этом порядок хранения потомков не важен).
3. Все узлы и наборы листьев дерева хранятся в смежных позициях (без „пропусков“).
4. Каждому узлу дерева соответствует не более одного дочернего набора листьев, в дереве не может быть „пустых“ наборов листьев, не содержащих вершин.
5. Если дерево представлено единственным набором листьев (без узлов), то в составе этого набора может быть всего один элемент (одна вершина алгоритма управления).
6. В составе корректного дерева не может быть совпадения типа узлов у любой пары смежных узлов.
7. Дерево содержит, по меньшей мере, один набор листьев. Число узлов дерева может быть нулевым.

В настоящей статье предложена аппаратная реализация операции вставки поддеревя. Она выполняется непосредственно после операции удаления поддеревя, r -изоморфного [7, 8] дереву A^R , в результате которого может быть нарушено требование № 3. Рассматриваемая операция состоит из двух стадий: на первой производится копирование элементов дерева, на второй — настройка связей для скопированных элементов. В результате выполнения операции копирования элементов дерева C^R должны быть учтены требования № 2 и 4. При этом в общем случае требования № 3 и 6 в результате выполнения операции вставки поддеревя не выполняются, что обуславливает необходимость удаления „пропусков“ непосредственно после рассматриваемой операции.

Общие принципы выполнения первой стадии продемонстрированы на рис. 1 (белые квадраты — свободные позиции, темные квадраты — занятые позиции, крестами помечены удаленные элементы, стрелками обозначены операции копирования элементов дерева).

На первой стадии при копировании узлов дерева (см. рис. 1, а) необходимо соблюдение требования № 2 корректности дерева. Наиболее простой способ обеспечить выполнение этого требования — последовательная вставка „новых“ узлов, начиная с позиции с номером, превосходящим номера уже имеющихся узлов дерева B^R , с сохранением порядка их следования. Номер такой позиции может быть определен как $N_{\chi}^T = g_0^{\uparrow}(\mathbf{X}_T) + 1$, где

$\mathbf{X}_T(B) = (\chi(T_0^B), \chi(T_1^B), \dots, \chi(T_{n-1}^B))$ — вектор двоичных признаков $\chi(T_i^X)$ свободных позиций среди узлов дерева B^R , $g_0^\uparrow(\mathbf{X})$ — функция выделения позиции старшего нуля в двоичном векторе \mathbf{X} [9]. Копирование наборов листьев (см. рис. 1, б) не нарушает требований корректности дерева и поэтому может быть осуществлено непосредственно в первую свободную ячейку с младшим номером, который определяется как $g_1^\downarrow(\mathbf{X}_L)$, где $\mathbf{X}_L(B) = (\chi(L_0^B), \chi(L_1^B), \dots, \chi(L_{m-1}^B))$ — вектор двоичных признаков $\chi(L_i^X)$ свободных позиций среди наборов листьев дерева B^R , $g_1^\downarrow(\mathbf{X})$ — функция выделения позиции младшей единицы в двоичном векторе \mathbf{X} [9]. Подобный способ копирования наборов листьев уменьшает число действий, затрачиваемых впоследствии на ликвидацию пустых позиций.

При добавлении каждого нового элемента в дерево B^R также необходимо инкрементировать значение $N_T(B^R)$ (при добавлении узла) или $N_L(B^R)$ (при добавлении набора листьев).

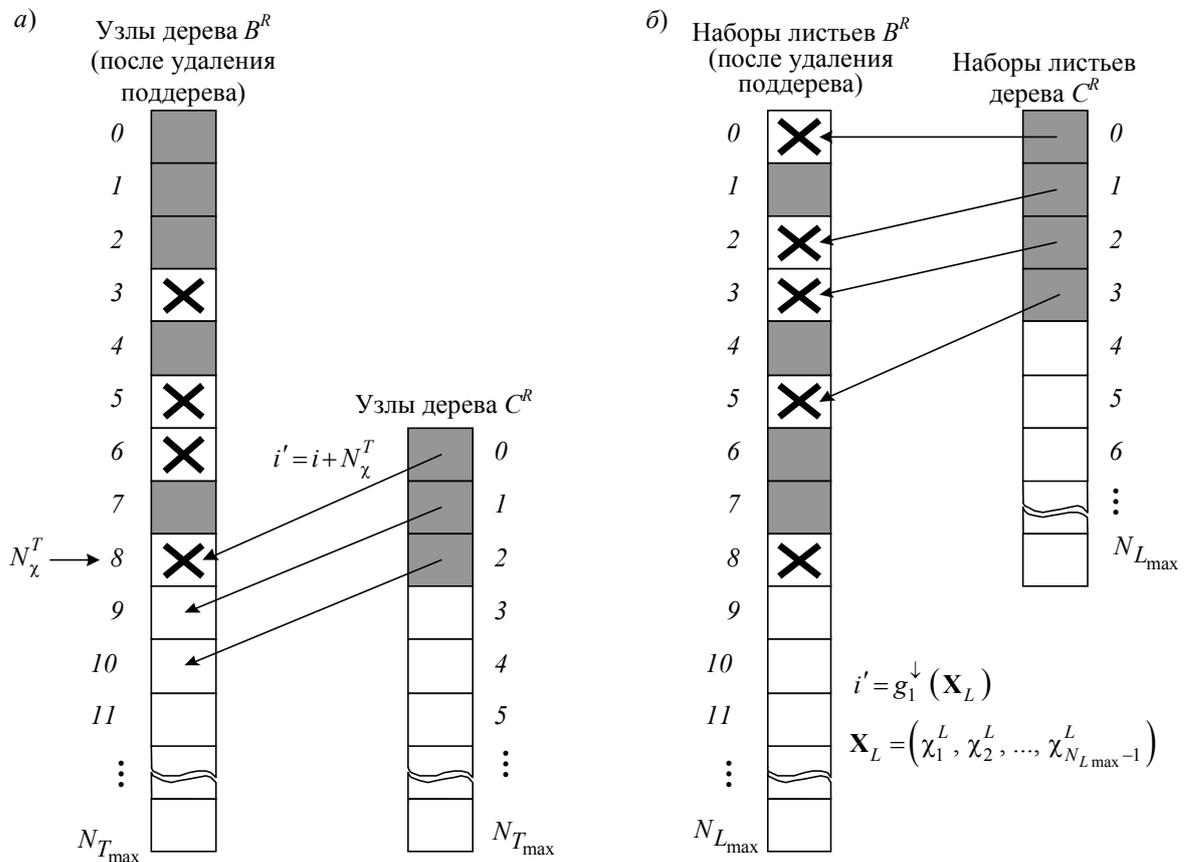


Рис. 1

Вторая стадия начинается с корректировки значений полей СП „новых“ элементов дерева B^R , скопированных в него из дерева C^R . Прежде всего корректировке подвергаются значения полей СП, обозначаемые как $u(\cdot)$, „новых“ элементов: $u(L_i^B) := u(L_i^C) + N_\chi^T$, $u(T_j^B) := u(T_j^C) + N_\chi^T$. Подобные формулы корректировки объясняются достаточно просто: нулевой узел (корень) дерева C^R попадает в дереве B^R в позицию с номером N_χ^T , первый — в позицию $N_\chi^T + 1$ и т.д.

После выполнения указанных корректировок необходимо настроить связь скопированного поддерева из „новых“ элементов с уже присутствующими элементами дерева B^R (точнее, с узлом, r -изоморфным корню дерева A^R , при частичном соответствии, или его предком при полном соответствии). Детали реализации настройки связи между деревьями представлены в табл. 1 и проиллюстрированы на рис. 2, где a , b , c соответствуют трем различным случаям выполнения операции подстановки, приведенным в таблице.

Таблица 1

Наличие в дереве A^R узлов (σ_A)	ТС корня дерева A^R ($\Delta(T_0^A)$)	Формула обновленного значения поля СП корневого элемента скопированного дерева
1	Полное: $\Delta=11$	$x = u \left(T_{n_r(T_0^A)}^B \right)$
	Частичное: $\Delta=10$	$x = n_r \left(T_0^A \right)$
0	Полное, частичное: $\Delta=1^*$	$x = u \left(L_{n_r(L_0^A)}^B \right)$

Особым случаем, не указанным в табл. 1, является ситуация, когда дерево C^R не содержит узлов, что обозначим нулевым значением двоичного признака σ_C . В этом случае при выполнении описанных выше действий возможно нарушение требования № 4, если у элемента дерева B^R , на который производится настройка поля СП добавляемого набора листьев L_0^C дерева C^R , уже есть дочерний набор листьев L_k^B . Правильным действием в подобной ситуации является добавление элементов вектора L_0^C к элементам вектора L_k^B : $L_k^B := L_k^B \cup L_0^C$ вместо добавления еще одного набора листьев.

Алгоритм преобразования выполняется следующим образом.

1. Если дерево C^R не содержит узлов ($\sigma_C = 0$) и узел дерева B^R с номером x , определяемым согласно табл. 1, имеет дочерний набор листьев L_k^B (что в дальнейшем будем обозначать с использованием двоичного признака $\kappa(T_i^X)$, равного в данном случае единице), перейти к п. 7.

2. Определить значение $N_\chi^T := g_0^\uparrow(\mathbf{X}_T) + 1$. Если $\mathbf{X}_T = 00\dots 0$ (все элементы в табличном представлении заняты), установить признак ошибки $\varepsilon_1 := 1$ и перейти к п. 8, в противном случае установить признак $\varepsilon_1 := 0$.

3. Копирование узлов: скопировать узлы T_i^C дерева C^R , $i = 0, \overline{N_T(C^R) - 1}$, в смежные позиции дерева B^R , начиная с позиции N_χ^T . При недостаточном количестве свободных позиций сформировать признак ошибки $\varepsilon_T := 1$ и перейти к п. 8, в противном случае положить $\varepsilon_T := 0$.

4. Копирование наборов листьев: скопировать наборы листьев L_i^C дерева C^R , $i = 0, \overline{N_L(C^R) - 1}$, в дерево B^R , причем i -й набор листьев дерева C^R копируется в позицию $k = g_1^\downarrow(\mathbf{X}_L)$, а сама позиция помечается как используемая: $\chi(L_k^B) := 0$. В случае если на ка-

ком-либо из шагов $\mathbf{X}_L = 00\dots 0$ (свободной позиции нет), установить признак ошибки $\varepsilon_L := 1$ и перейти к п. 8, в противном случае положить $\varepsilon_L := 0$.

5. Увеличить значения текущего количества узлов и текущего количества листьев дерева B^R : $N_T(B^R) := N_T(B^R) + N_T(C^R)$, $N_L(B^R) := N_L(B^R) + N_L(C^R)$.

6. Модифицировать значения полей СП „новых“ элементов дерева B^R , скопированных из дерева C^R , за исключением корневого, как $u(L_i^B) := u(L_i^C) + N_\chi^T$, $u(T_j^B) := u(T_j^C) + N_\chi^T$.

Для „нового“ элемента дерева B^R , соответствующего корневному элементу дерева C^R , установить значение поля СП согласно табл. 1. Перейти к п. 8.

7. Осуществить объединение наборов листьев: $L_k^B := L_k^C \cup L_0^C$.

8. Конец алгоритма.

Схема, реализующая предложенный алгоритм, приведена на рис. 3 (сокращения, использованные в схеме, аналогичны принятым в работе [7]). Регистр 1 хранит текущее количество узлов дерева B^R и инкрементируется по мере добавления в дерево B^R новых узлов. Коммутатор 2 используется для выбора значения вектора, подаваемого на вход элемента В.УЭ(у) [7, 10] в качестве адреса записи. Элементы 3 и 4 используются при инициализации значений вектора В.УЭ(у). Шифратор 5 предназначен для преобразования значения номера свободной позиции с выхода схемы выделения старшего нуля (СВСН) из унитарного в двоичное представление, сохраняющегося в регистре 6. Элемент задержки 7 обеспечивает запись значения в регистр 6 только по окончании его формирования на выходе схемы СВСН. Элемент ИЛИ—НЕ 8 используется для формирования сигнала ошибки ε_1 . Регистры 9 и 27 предназначены для хранения числа узлов и наборов листьев дерева C^R соответственно. Коммутатор 10 в совокупности с дешифратором 11 обеспечивают запись в сдвиговый регистр 12 значения текущего числа элементов (наборов листьев или узлов) в унитарном коде в зависимости от этапа обработки. Элемент И 13 запрещает прохождение синхросигнала c_1 при инициализации значения В.УЭ(нл) на входы элемента В.УЭ(у) и регистра 6. Регистр 14 хранит текущее количество наборов листьев дерева B^R , инкрементируемое по мере добавления новых наборов листьев. Коммутатор 15 в совокупности с элементами 16 и 17 обеспечивает инициализацию значения вектора УЭ наборов листьев дерева B^R (в ходе дальнейшей обработки значения вектора УЭ изменяются согласно алгоритму обработки с использованием перечисленных элементов). Шифратор 18 используется для преобразования значения текущего рассматриваемого элемента из унитарного кода в двоичный. Сумматор 19 обеспечивает формирование на его выходе значения $N_T^\chi + i$ очередной свободной позиции и признака ошибки ε_T . Дешифратор 20 преобразует значение $N_T^\chi + i$ в унитарный код для его дальнейшего использования в качестве адреса записи. Коммутаторы 21, 23, 28, 31, 46 и 47 используются для выбора значения элемента дерева B^R модифицируемого элемента в зависимости от этапа алгоритма и особенностей обработки. Сумматор 22 обеспечивает формирование обновленного значения поля СП копируемого элемента. Элемент ИЛИ 24 служит для прохождения синхросигнала записи на вход элемента В.СП(у). Элементы 25 и 26 обеспечивают прохождение синхросигналов c_2 и c_3 на вход регистра 12. Элемент ИЛИ—НЕ 29 служит для формирования признака ошибки ε_L . Сумматор 30 используется для корректировки значения поля СП копируемого набора листьев. Элемент ИЛИ 32 обеспечивает прохождение синхросигнала на вход элемента В.МВ, активирующего модификацию поля МВ в зависимости от ситуации.

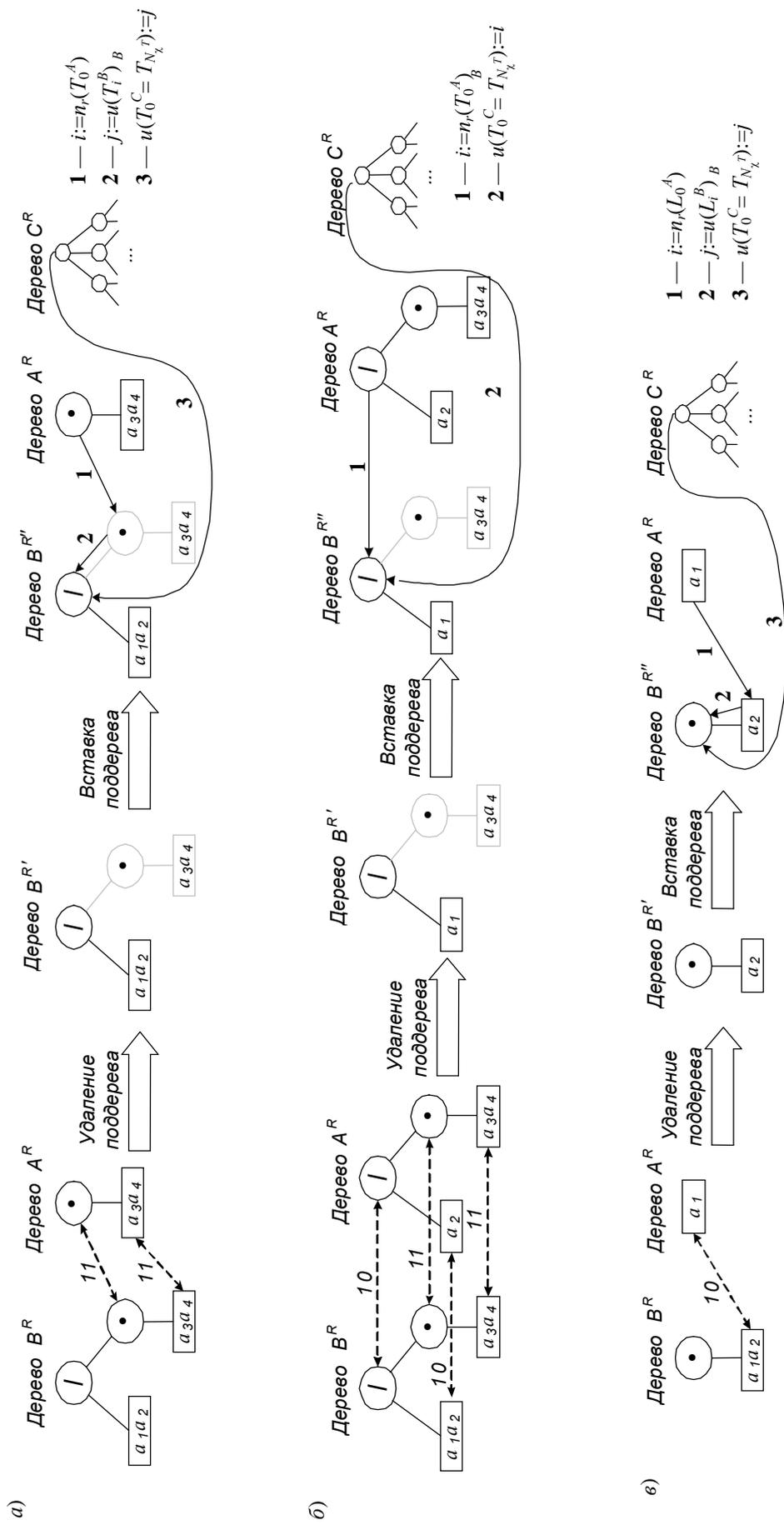


Рис. 2

Коммутатор 33 обеспечивает формирование на своем выходе значения предка корня подставляемого дерева в зависимости от типа соответствия. Дешифратор 34 обеспечивает преобразование номера узла, r -изоморфного корневному узлу дерева A^R , из двоичного кода в унитарный. Дешифратор 35 обеспечивает преобразование номера набора листьев, r -изоморфного нулевому набору листьев дерева A^R , из двоичного кода в унитарный. Коммутатор 36 обеспечивает формирование на своем выходе значения номера узла-предка для корня подставляемого дерева. Регистр 37 хранит значение текущего числа узлов дерева A^R , используемое для формирования значения признака σ_A на выходе элемента ИЛИ 38, подаваемого на вход коммутатора 36. Элемент ИЛИ 39 используется для формирования признака σ_C . Элемент ИЛИ 43 обеспечивает формирование признака κ , используемого в совокупности с элементами 40—42, 44 и 45 для управления прохождением синхросигнала c_4 . Регистр-зашелка 48 используется для хранения значения первой свободной позиции, формируемого на выходе схемы выделения младшей единицы (СВМЕ). Элемент ИЛИ 49 обеспечивает прохождение синхросигнала записи к элементу В.СП(нл) в зависимости от обрабатываемой ситуации. Блок элементов ИЛИ 50 используется при объединении уже имеющегося набора листьев с единственным набором листьев, входящим в состав подставляемого дерева C^R .

Вычислительные затраты на выполнение отдельных элементарных операций рассмотренного выше алгоритма приведены в табл. 2.

Таблица 2

Действие	Программная реализация, шаг, не более	Аппаратная реализация, шаг, не более
Определение значений вектора \mathbf{X}_T	N_T	1
Определения значения N_χ^T	N_T	1
Копирование узлов	N_T	N_T
Определение значений вектора \mathbf{X}_L	N_L	1
Определение младшей свободной позиции в \mathbf{X}_L	N_L	1
Копирование наборов листьев	N_L	N_L
Корректировка СП	N_L	1
Итого	$3N_T + 2N_L + N_L^2$	$N_T + N_L + 4$

Анализ показывает, что при использовании предлагаемого устройства, по сравнению с программной реализацией, преимущество по времени обработки составляет

$$\frac{3N_T + 2N_L + N_L^2}{N_T + N_L + 4} \approx N_R \text{ раз,}$$

где $N_R = N_L + N_T$, что достигается благодаря использованию схем маскировки неиспользуемых позиций (СМНП 1 и 2) и схемы выделения старшего нуля (СВСН), а также возможности ассоциативного поиска информации в памяти акселератора [7, 10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Организация и синтез микропрограммных мультимикроконтроллеров / И. В. Зотов, В. А. Колосков, В. С. Титов и др. Курск: КурскГТУ, 1999. 368 с.
2. Зотов И. В., Колосков В. А., Титов В. С. Выбор оптимальных разбиений алгоритмов при проектировании микроконтроллерных сетей // Автоматика и вычислительная техника. 1997. № 5. С. 51—62.

3. Ватутин Э. И., Зотов И. В. Метод формирования субоптимальных разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'04). М.: ИПУ РАН, 2004. С. 884—917.
4. Ватутин Э. И., Зотов И. В. Параллельно-последовательный метод формирования субоптимальных разбиений параллельных управляющих алгоритмов // Свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2005613091 от 28.11.05.
5. Ватутин Э. И., Волобуев С. В., Зотов И. В. Комплексный сравнительный анализ качества разбиений при синтезе логических мультиконтроллеров в условиях присутствия технологических ограничений // Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'08). М.: ИПУ РАН, 2008. С. 643—685.
6. Ватутин Э. И., Зотов И. В. Поиск базового сечения в задаче разбиения параллельных алгоритмов / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2003. 30 с. Деп. в ВИНТИ. 24.11.03, № 2036-B2003.
7. Ватутин Э. И., Зотов И. В., Титов В. С. Выявление изоморфных вхождений R -выражений при построении параллельных алгоритмов логического управления // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 2. С. 37—45.
8. Ватутин Э. И., Зотов И. В., Титов В. С. Выявление изоморфных вхождений R -выражений при построении множества сечений параллельных алгоритмов логического управления // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 11. С. 49—56.
9. Ватутин Э. И., Зотов И. В., Титов В. С. Использование схемных формирователей и преобразователей двоичных последовательностей при построении комбинаторно-логических акселераторов // Изв. КурскГТУ. 2008. № 4 (25). С. 32—39.
10. Ватутин Э. И. Однородная среда электронной модели дерева для аппаратно-ориентированной обработки R -выражений // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Расознавание — 2008). Курск: КурскГТУ, 2008. Ч. 1. С. 90—92.

Сведения об авторах

- | | |
|---------------------------------------|--|
| Эдуард Игоревич Ватутин | — канд. техн. наук; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники;
E-mail: evatutin@rambler.ru |
| Игорь Валерьевич Зотов | — д-р техн. наук, профессор; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники;
E-mail: zotovigor@yandex.ru |
| Виталий Семенович Титов | — д-р техн. наук, профессор; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники;
E-mail: titov-kstu@rambler.ru |
| Муджиб Мохаммед Ахья Аль-Ашвал | — аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: mogibm2007@yandex.ru |

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

УДК 621:658.011.56

В. С. ТИТОВ, М. В. БОБЫРЬ, Н. А. МИЛОСТНАЯ, А. Л. БЕЛОМЕСТНАЯ

МЕТОД КОРРЕКЦИИ ДРЕЙФА НУЛЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Рассматривается оптико-электронная система, использующая операционные усилители для сравнения медленно изменяющихся сигналов, поступающих от датчиков. Описаны методы коррекции дрейфа нуля в существующих схемах. Предложен метод, позволяющий в режиме реального времени компенсировать напряжение смещения выходного сигнала.

Ключевые слова: операционный усилитель, дрейф нуля, коррекция нуля, оптико-электронная система.

В управляющих схемах различного оборудования для усиления медленно изменяющихся сигналов наиболее часто применяется схема неинвертирующего усилителя. При этом если интегральная схема построена на биполярных транзисторах, то напряжение смещения нуля достигает 15 мВ, если на полевых, — то до 30 мВ, кроме того, в выходном сигнале операционного усилителя (ОУ) присутствует аддитивная погрешность, обусловленная некоторой разбалансировкой во входном каскаде. Схемотехническое решение указанной проблемы позволяет устранить как временной, так и температурный дрейфы выходного сигнала.

Сбор и обработка информации, поступающей от датчиков, — одна из наиболее важных функций оптико-электронной системы. При этом для обработки и анализа аналоговых сигналов практически во всех схемах используются ОУ, недостатком которых является дрейф уровня выходного напряжения или тока. К физическим причинам, вызывающим дрейф нуля, относятся такие факторы, как старение (нестабильность) источников питания и различных элементов схем, например транзисторов, низкочастотные шумы и помехи. Наиболее распространенный метод коррекции — использование глубоких отрицательных обратных связей и термокомпенсирующих элементов.

В традиционных методах коррекции дрейфа нуля используется периодическая коррекция начального уровня выходного сигнала путем формирования напряжения коррекции $U_{\text{кор}}$ и последующего вычитания этого напряжения из входного напряжения усилителя за счет цепи обратной связи [1]. При этом для полной компенсации напряжения смещения ОУ необходимо, чтобы напряжение коррекции

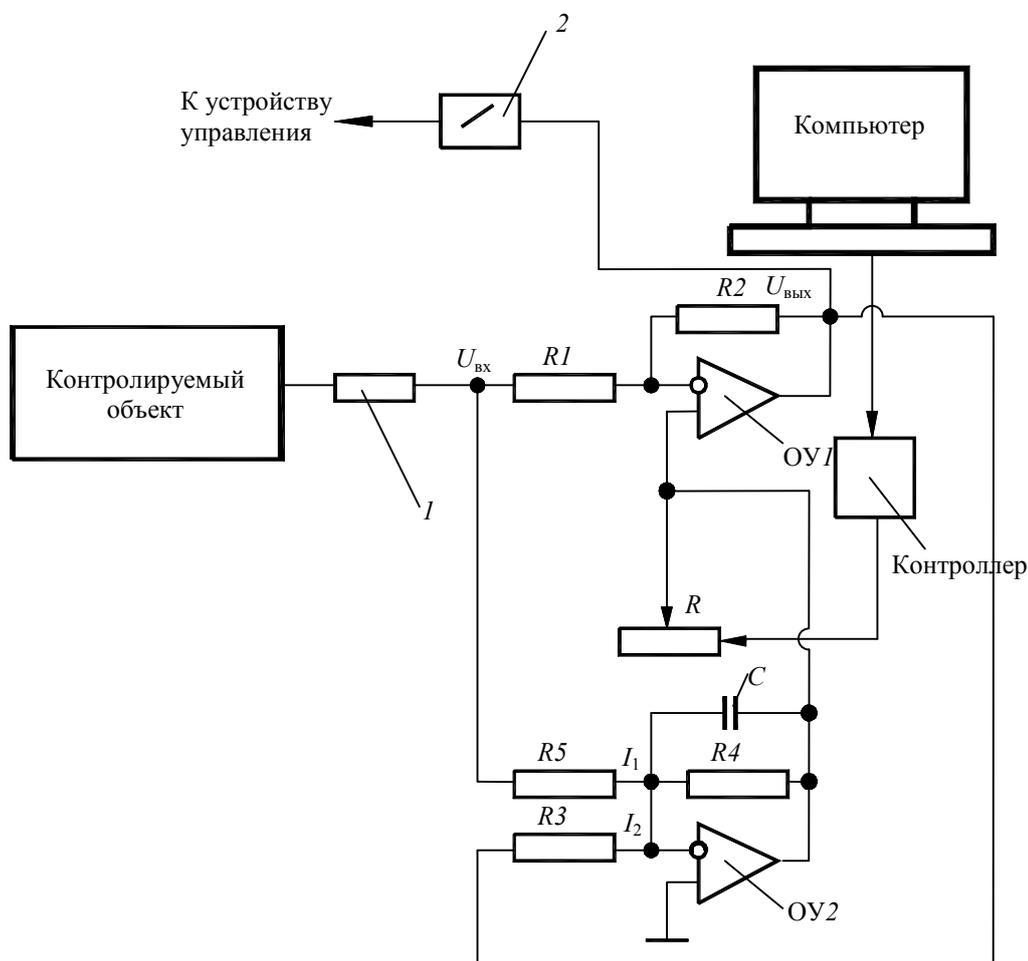
$$U_{\text{кор}} = \frac{K_u}{K_u - 1} U_{\text{см}},$$

где K_u — коэффициент усиления ОУ; $U_{\text{см}}$ — напряжение смещения ОУ.

Недостаток данного решения заключается в том, что для хранения значения напряжения коррекции используется „запоминающий“ конденсатор, заряд которого изменяется под действием тока утечки и входного тока ОУ. Поэтому приходится период повторения импульсов

устанавливать исходя из допустимой аддитивной погрешности, обусловленной неточностью хранения запомненного напряжения. При этом цепь коррекции содержит ключи, которые также влияют на остаточную погрешность. Если ключ выполнен на МОП-транзисторах, то погрешность цепи коррекции составляет 100 мкВ с учетом того, что паразитная емкость (емкость между затвором и каналом) МОП-транзистора порядка 10 пФ, емкость запоминающего конденсатора 1 мкФ, а изменение уровня запирающего импульса на затворе транзистора составляет 10 В. Применение микросхем выборки-хранения вместо конденсатора не позволяет устранить в полной мере указанные недостатки схемы компенсации дрейфа нуля на выходе ОУ.

Структурная схема опико-электронной системы, позволяющей в режиме реального времени компенсировать дрейф нуля ОУ, приведена на рисунке [2, 3]. Данная система работает следующим образом. Импульсы напряжения $U_{вх}$ от оптического датчика 1 поступают на первый операционный усилитель ОУ₁, где полученный сигнал сравнивается с эталонным значением напряжения, заданным на резисторе R . Однако если не ограничить большое петлевое усиление операционного усилителя ОУ₂, то появится дрейф нуля и произойдет непроизвольное включение коммутатора 2.



Разработанная опико-электронная система может использоваться для широкого спектра систем управления различными объектами. Например, оптический датчик 1 контролирует размер обрабатываемой детали, и если ее параметры превышают заданное поле допуска, то с помощью коммутатора 2 можно включить в работу исполнительные механизмы в целях пространственного изменения положения шпинделей.

Для коррекции дрейфа нуля предлагается использовать обратный преобразователь, выполненный на резисторе R_3 , и преобразующий выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ с ОУ₁ в ток $I_2 = U_{\text{вых}}/R_3$. Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ преобразуется в ток $I_1 = U_{\text{вх}}/R_5$ на резисторе R_5 [4].

Разность токов $\Delta I = I_1 - I_2$ преобразуется в сигнал выходного напряжения ОУ₂. Иными словами, резисторы R_3 и R_5 выполняют функцию сравнения входного напряжения $U_{\text{вх}}$ и выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ обратного преобразователя, а ОУ₂ и резистор R_4 выполняют функцию усилителя сигнала, пропорционального погрешности преобразования. При этом коэффициент усиления ОУ₁ равен

$$K_1 = R_2/R_1.$$

Для предотвращения режима самовозбуждения необходимо, чтобы $I_1 = I_2$. В противном случае, если $U_{\text{вых}} \neq 0$, данное равенство выполняться не будет, следовательно, ОУ₁ перейдет в режим самовозбуждения. Для исключения этой ситуации выходное напряжение ОУ₂ должно быть равным нулю. Поэтому резисторы R_3 и R_5 следует выбирать исходя из соотношения

$$I_1 + I_2 = \frac{U_{\text{вх}}}{R_5} + \frac{U_{\text{вых}}}{R_3} = 0. \quad (1)$$

Выходное напряжение $U_{\text{вых}} = K_1 U_{\text{вх}}$, тогда уравнение (1) примет вид

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_5} = \frac{K_1 U_{\text{вх}}}{R_3}. \quad (2)$$

Подставим значение коэффициента K_1 в выражение (2):

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_5} = \frac{R_1/R_2 U_{\text{вх}}}{R_3},$$

откуда

$$R_3 = \frac{R_2 R_5}{R_1}. \quad (3)$$

Условие (3) необходимо выполнить для устранения режима самовозбуждения ОУ₁.

Таким образом, если первый операционный усилитель ОУ₁ переходит в режим самовозбуждения, то второй операционный усилитель ОУ₂ вырабатывает сигнал обратной связи, пропорциональный погрешности усиления ОУ₁ (см. рисунок). При этом коэффициент усиления ОУ₂ рассчитывается как $K_2 = R_4/R_3$.

Для использования второго операционного усилителя в диапазоне низких частот конденсатор C подключается параллельно резистору R_4 .

Рассмотренный в статье пример показывает, что цепь обратной связи, сигнал которой пропорционален погрешности преобразования, позволяет исключить режим самовозбуждения ОУ, т.е. дрейф нуля, и улучшить в целом характеристики опико-электронной системы.

Как показали результаты исследований, разработанный метод коррекции дрейфа нуля операционных усилителей в опико-электронных системах характеризуется малыми значениями временного и температурного дрейфа выходного сигнала. Предложенный метод может быть применен к различным системам управления широкого назначения, использующим для сравнения медленно изменяющихся сигналов операционные усилители.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ, № МК-470.2009.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nolan E. Demystifying auto-zero amplifiers // Analog Dialogue. 2000. N 34-1. Part 1 & 2.
2. Пат. 2379169 РФ. Кл. В 23Q15/00. Способ и устройство управления точностью обработки деталей / В. С. Титов, М. В. Бобырь, Е. С. Яхонтова // Изобретения. 2010. № 2.

3. Титов В. С., Бобырь М. В., Милостная Н. А. АСУ прогнозированием точности обработки деталей // Автоматизация в промышленности. 2008. № 4. С. 3—4.
4. Пат. 2371295 РФ. Кл. В23Q11/02. Устройство обработки деталей на оборудовании с ЧПУ / В. С. Титов, М. В. Бобырь, Н. А. Милостная // Изобретения. 2009. № 30.

	<i>Сведения об авторах</i>
Виталий Семенович Титов	— д-р техн. наук, профессор; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: titov-kstu@rambler.ru
Максим Владимирович Бобырь	— канд. техн. наук, доцент; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: fregat_mn@rambler.ru
Наталья Анатольевна Милостная	— канд. техн. наук; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: nat_mil@mail.ru
Анна Леонидовна Беломестная	— аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: sonya84anna@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 621.391.822:621.375,121

В. Н. МАСЛЕННИКОВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРАНЗИСТОРНЫХ И ЛАМПОВЫХ ВИДЕОУСИЛИТЕЛЕЙ

Рассматриваются шумовые характеристики ламп и транзисторов в видеоусилителях, работающих от электровакуумной передающей телевизионной трубки (источника тока). Получены соотношения, позволяющие выбрать активный элемент, наиболее подходящий по шумовым характеристикам для видеоусилителя.

Ключевые слова: чувствительность, шумы, видеоусилитель, активный элемент, телевизионный датчик.

В телевизионных датчиках в качестве преобразователей свет—сигнал чаще всего в настоящее время используются твердотельные матрицы, а видеоусилители выполняются на транзисторах. Однако существуют специфические области применения телевизионных устройств и систем (например, в радиационной среде), где приходится использовать электровакуумные приборы, в том числе электронные лампы и передающие трубки.

Чувствительность ТВ-датчиков в значительной степени определяется шумами предварительного видеоусилителя. Особенностью таких усилителей является то, что они работают от источника тока, зашунтированного выходной паразитной емкостью.

В настоящей статье сравниваются шумы видеоусилителей, выполненных на электронных лампах и транзисторах.

В видеоусилителях, используемых в ТВ-датчиках, основными являются дробовые, тепловые и фликкер-шумы. На рис. 1 и 2 соответственно представлены шумовые эквивалентные схемы электронной лампы [1] и биполярного транзистора [2], где приняты следующие обозначения:

— для электронной лампы: $C_{вх}$, $C_{пр}$ и $C_{вых}$ — соответственно входная, проходная и выходная паразитные емкости активного элемента; S — крутизна статической входной характеристики; R_i — внутреннее сопротивление;

— для биполярного транзистора: $C_{вх}$ и $C_{пр}$ — соответственно емкости эмиттерного и коллекторного переходов, включающие барьерные и диффузионные составляющие; S — крутизна транзистора; r — низкочастотное сопротивление эмиттерного перехода в схеме с общим эмиттером; r_B — сопротивление базы.

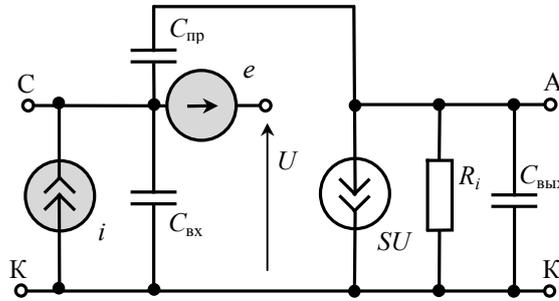


Рис. 1

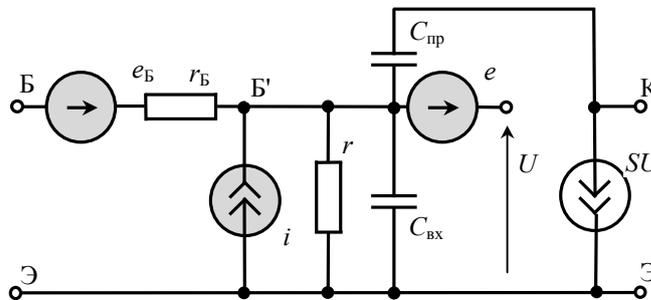


Рис. 2

На рис. 1: e — источник дробовых шумов лампы или, соответственно, тепловых шумов канала полевого транзистора, в том числе и фликкер-шумов; i — источник шумов токов утечки сетки или затвора. Параметры источников шума определяются следующими соотношениями:

$$\overline{de^2} = 4kTr_{ш}df + \frac{\Phi}{f}df; \quad \overline{di^2} = 2qI_{ут. экв}df,$$

где k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура; $r_{ш}$ — эквивалентное сопротивление шумов; Φ — эмпирическая константа фликкер-шумов (например, для транзистора КП307А $\Phi \leq 2 \cdot 10^{-14} \text{ В}^{-2}$); f — частота; q — заряд электрона; $I_{ут. экв}$ — эквивалентный ток утечки; для ламп и полевых транзисторов с p — n -переходом этот ток равен сумме всех составляющих тока утечки, а для транзисторов с изолированным затвором

$$I_{ут. экв} = 2\phi_T g_{ут},$$

где $\phi_T = kT/q$ — температурный потенциал, $g_{ут}$ — проводимость тока утечки затвора.

На рис. 2 источники характеризуют: e — дробовые шумы тока коллектора, i — дробовые шумы тока базы, e_B — тепловые шумы сопротивления базы:

$$\overline{de^2} = 4kTr_{ш}df; \quad \overline{di^2} = 2q[I_{Э}(1-\alpha) + I_{к0}]df + \frac{\Phi' I_{Э}}{f}df; \quad \overline{de_B^2} = 4kTr_B df,$$

где $I_{Э}$ — постоянная составляющая тока эмиттера; $I_{к0}$ — обратный ток коллекторного перехода; α — статический коэффициент передачи тока в схеме с общей базой; Φ' — константа, составляющая для некоторых транзисторов $(3,5 \dots 18) \cdot 10^{-17} \text{ А}$ [3].

Здесь рассматриваются усилители, выполненные на лампах и транзисторах, включенных по основной схеме (с общим катодом, эмиттером или истоком). При сравнении учитываются только основные шумы усилителя — шумы первого каскада.

На рис. 3 приведена эквивалентная схема первого каскада на лампе или полевом транзисторе: здесь показаны источник сигнала (передающая трубка) с током I_c и выходной емкостью C ; R и i_R — сопротивление нагрузки источника сигнала и его тепловые шумы, $di_R^2 = 4kTdf/R$; Z_H — эквивалентная нагрузка каскада.

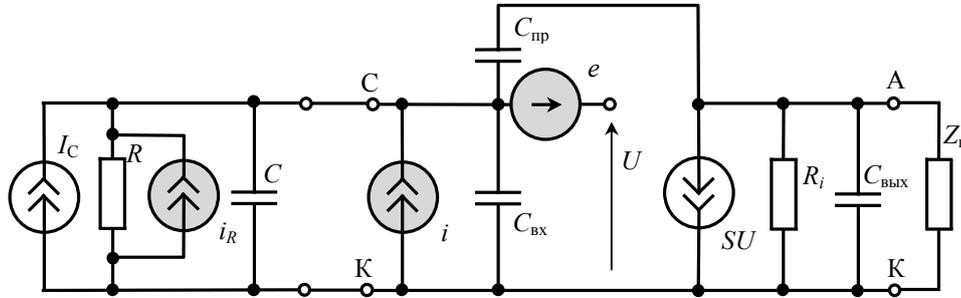


Рис. 3

Шумы таких видеоусилителей целесообразно характеризовать отношением сигнал/шум или приведенным ко входу усилителя (к полюсам сигнала) эквивалентным шумовым током, что практически равноценно. Приведенный ток шума лампы или полевого транзистора (обозначенных индексами „л“ и „пт“), усредненный в полосе Δf , символически может быть представлен выражением

$$i_{\text{вх. л,пт}} = \int_{\Delta f} d \left\{ i_R + i + e\kappa \left| 1/R + j\omega C_{\Sigma} \right| \right\}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$, $\kappa = 1/|1 - j\omega C_{\text{пр}}/S|$, $C_{\Sigma} = C + C_0$, $C_0 = C_{\text{вх}} + C_{\text{пр}}$.

Приведенный шум усилителя, выполненного на биполярном транзисторе (индекс „бт“), определяется как

$$i_{\text{вх. бт}} = \int_{\Delta f} d \left\{ i_R + i \left| \frac{Z + r_B}{Z} \right| + e\kappa \left| \frac{Z + r_B + Z_0}{ZZ_0} \right| + \frac{e_B}{|Z|} \right\}, \quad (2)$$

где $Z_0 = r/(1 + j\omega C_0 r)$, $Z = R/(1 + j\omega CR)$.

Коэффициент κ в приведенных выражениях практически близок к единице и в дальнейшем не учитывается.

При сравнении активных элементов по шумовым характеристикам выделить какую-либо составляющую как главную нельзя, что обусловлено зависимостью от области усиливаемых частот. Поэтому целесообразно сравнить активные элементы по аналогичным составляющим шума с помощью выражений (1) и (2).

Сравним шумовые характеристики лампы и полевого транзистора. Так как выражение (1) является для них общим, то сравнение сведется к анализу параметров $r_{\text{ш}}$, C_0 , $I_{\text{ут. экв}}$ и Φ .

Дробовые шумы ламп и тепловые шумы канала полевых транзисторов в среднем одного порядка, так как одного порядка величины $\sqrt{r_{\text{ш}}} \cdot C_{\Sigma}$ [4]. При этом шумы транзисторов меньше, чем шумы ламп: так, полевые транзисторы (например, КП307, КП302) лучше таких „малозумящих“ ламп, как 6С3П, 6С15П, 6Ж11П (в триодном режиме). Следует заметить, что в настоящее время транзисторы КП303, КП307, КП341 являются одними из лучших отечественных полевых транзисторов ($C_{\text{вх}} \approx 5$ пФ, $C_{\text{пр}} \approx 2$ пФ, $S \approx 5$ мА/В, малые фликкер-шумы).

И лампы, и полевые транзисторы имеют большой разброс как по уровню шумов тока утечки, так и по самим токам утечки. Ток затвора различных полевых транзисторов составляет $10^{-8} \dots 10^{-17}$ А [5], а сеточный ток ламп — $10^{-7} \dots 10^{-15}$ А [6]. При этом эквивалентный ток утечки, а значит, и шумы полевых транзисторов с p — n -переходом меньше, чем приемно-усилительных, а транзисторов с изолированным затвором — меньше, чем электрометрических ламп.

По уровню фликкер-шумов, которые иногда называют непрогнозируемыми, лампы и полевые транзисторы также имеют большой разброс, однако некоторые (лучшие) типы ламп и полевых транзисторов с p — n -переходом имеют практически одинаковую ЭДС фликкер-шумов. Так, спектральная составляющая шумов нувистора 6С51Н на частоте 20 Гц, согласно работе [7], составляет примерно $15 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$, а полевого транзистора КП303А (по паспорту) — не более $30 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$.

Таким образом, по всем составляющим полевые транзисторы либо сравнимы с лампами, либо лучше их.

При сравнении биполярного транзистора с рассмотренными активными элементами предполагается, что $r_B \ll Z$ и коэффициент β не зависит от тока эмиттера.

Сравнив шумы обратного тока коллекторного перехода с шумами тока утечки, получим соотношение

$$A_{\text{ут}}^2 = I_{\text{к0}} / I_{\text{ут. экв}},$$

где $A_{\text{ут}}^2 = \overline{i_{\text{вх. бт}}^2} / \overline{i_{\text{вх. л, пт}}^2}$; обратный ток коллектора, особенно германиевых транзисторов, обычно больше токов утечки ламп и полевых транзисторов.

При сравнении активных элементов по уровню фликкер-шумов следует учитывать, что в биполярном транзисторе они сложным образом и по-разному, в зависимости от технологии, зависят от тока эмиттера. Для некоторых транзисторов зависимость мощности фликкер-шумов от тока эмиттера можно аппроксимировать первой степенью [3]. В этом случае при оптимальном токе эмиттера

$$I_{\text{э. опт}} = \Phi_T \omega_B C_{\Sigma} \sqrt{\frac{1/3 + 1/\omega_B^2 C_{\Sigma}^2 R^2}{1 - \alpha + \frac{\Phi' \ln(f_B / f_H)}{2q \Delta f}}} \quad (3)$$

соотношение фликкер-шумов активных элементов будет следующим:

$$A_{\text{фл}}^2 = \frac{\overline{i_{\text{ш. фл. бт}}^2}}{\overline{i_{\text{ш. фл. л, пт}}^2}} = \frac{\Phi' I_{\text{э. опт}}}{\Phi} \frac{R^2}{1 + \omega_B^2 C_{\Sigma}^2 \text{бт} R^2 / [2 \ln(f_B / f_H)]}, \quad (4)$$

где индексы „в“ и „н“ соответствуют верхней и нижней граничным частотам полосы пропускания.

Из выражения (4) нетрудно найти значение критической полосы пропускания усилителя:

$$\Delta f_{\text{кр}} = \frac{1}{2\pi R C_{\Sigma}} \sqrt{2 \ln(f_B / f_H) \left[\frac{\Phi' I_{\text{э. опт}} R^2}{\Phi} - 1 \right]}.$$

Отсюда следует, что при $R \geq 100$ кОм лампы и полевые транзисторы с p — n -переходом по уровню фликкер-шумов лучше биполярных транзисторов в усилителях с полосой пропускания до десятков мегагерц. Уровень фликкер-шумов транзисторов с изолированным затвором при современной технологии изготовления очень велик.

Дробовые шумы биполярного транзистора зависят от режима работы по постоянному току. Приведенный ток дробовых шумов определяется из выражения (2) при оптимальном токе эмиттера (3): без учета фликкер-шумов получим

$$\overline{i_{др}^2} = 2 \cdot 2qI_{Э. опт} (1 - \alpha) \Delta f. \quad (5)$$

Используя выражения (1), (2) и (5), можно сравнить дробовые шумы биполярного транзистора с соответствующими шумами лампы и полевого транзистора:

$$A_{др}^2 = \frac{I_{Э. опт} (1 - \alpha)}{\Phi_T r_{ш} \left(1/R^2 + \omega_B^2 C_{\Sigma}^2 / 3 \right)_{л, пт}}.$$

Отсюда при $\omega_B^2 C_{\Sigma}^2 \gg 3/R$ можно найти значение критической полосы пропускания усилителя, при которой приведенные токи сравниваемых шумов равны. Пренебрегая влиянием фликкер-шумов, что оказалось допустимым, получаем

$$\Delta f_{кр} = C_{\Sigma \text{ бт}} \sqrt{3(1 - \alpha)} / 2\pi \left(r_{ш} C_{\Sigma}^2 \right)_{л, пт}. \quad (6)$$

Чем меньше полоса пропускания усилителя по сравнению с $\Delta f_{кр}$, тем значительно биполярный транзистор уступает остальным активным элементам по уровню дробовых шумов.

Как видно из формулы (6), критическая полоса пропускания тем шире, чем меньше емкость источника сигнала и коэффициент передачи биполярного транзистора. Например, сравнение полевого (КП307) и биполярного (ГТ311) транзисторов показывает, что в усилителе для сигнала видеоконны при $C_{\Sigma} \approx 15$ пФ выгоднее применять полевой транзистор, работающий на частотах до 15—20 МГц.

С увеличением емкости источника сигнала, как следует из выражения (6), использование биполярного транзистора предпочтительнее. Так, в диапазоне вещательного телевизионного стандарта шумовые свойства транзисторов КП307 и ГТ311 одинаковы при $C_{\Sigma} = 40—60$ пФ. Однако такая большая емкость не характерна для передающих трубок.

Шумы, вызванные сопротивлением базы, ухудшают позиции биполярных транзисторов, особенно в области высоких частот. Эти шумы грубо можно учесть совместно с дробовыми, увеличив $r_{ш}$ на величину $r_B C^2 / C_{\Sigma}^2$.

Для учета всех рассмотренных шумов выражения (1) и (2) можно преобразовать в соответствии с принятыми допущениями следующим образом:

$$\overline{i_{ш.л, пт}^2} = 4kT \Delta f \left(\frac{I_{ут. экв}}{2\Phi_T} + \frac{1}{R} + \frac{r_{ш}}{R^2} + \frac{\omega_B^2 C_{\Sigma}^2 r_{ш}}{3} \right) + \Phi \left(\frac{\ln(f_B / f_H)}{R^2} + \frac{\omega_B^2 C_{\Sigma}^2}{2} \right);$$

$$\overline{i_{ш.бт}^2} = 4kT \Delta f \left\{ \frac{I_{к0}}{2\Phi_T} + \frac{1}{R} + (r_B + r_{Э. опт}) \left(\frac{1}{R^2} + \frac{\omega_B^2 C_{\Sigma}^2}{3} \right) \right\},$$

где $r_{Э. опт} = \Phi_T / I_{Э. опт}$ (см. (3)).

Сложная противозумовая коррекция улучшает отношение сигнал/шум по сравнению с простой на 30—70 %, что практически не меняет соотношения шумовых свойств рассмотренных активных элементов.

Итак, полученные оригинальные соотношения (для критических значений полос пропускания) позволяют сравнить шумовые характеристики активных элементов при выборе наиболее подходящего для видеоусилителя. Показано, что в малозумящих видеоусилителях, используемых в телевизионных датчиках, биполярный транзистор — самый неподходящий активный элемент для первого каскада (по сравнению с лампой и полевым транзистором).

Лампы и полевые транзисторы по шумовым свойствам в среднем одинаковы, но лучшие типы полевых транзисторов превосходят лампы.

В заключение стоит отметить, что исходные шумовые эквивалентные схемы и расчеты с их использованием довольно широко применялись в теоретических и экспериментальных исследованиях, в том числе при разработке малошумящего видеосузителя для телевизионного канала аппаратуры оптико-электронного комплекса „Окно“ [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пустынский И. Н., Масленников В. Н. Видеоусилители на полевых транзисторах: Учеб. пособие. Томск: В-Спектр, 2007. 64 с.
2. Масленников В. Н. Представление шумов биполярного транзистора. М., 1973. Деп. в ЦНИИ „Электроника“. № 1867/73.
3. Пустынский И. Н. Транзисторные видеоусилители. М.: Сов. радио, 1973. 176 с.
4. Масленников В. Н. Чувствительность камерного видеоусилителя с несколькими активными элементами на входе // Тез. докл. науч.-техн. семинара молодых ученых по приемно-усилительной технике. М.: НТОРЭиС им. А. С. Попова, 1972. С. 30—33.
5. Полевые транзисторы. Физика, технология и применение / Пер. с англ.; Под ред. С. А. Майорова. М.: Сов. радио, 1971. 376 с.
6. Электровакуумные приборы. Приемно-усилительные лампы: Справочник. М., 1967. Т. II—V.
7. Александров В. С., Прянишников В. А. Приборы для измерения малых напряжений и токов. М.: Энергия, 1971. 184 с.
8. Верешкин А. Е. Телевизионная аппаратура оптико-электронного комплекса „Окно“ // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2006. Вып. 1. С. 93—102.

Сведения об авторе

Виктор Николаевич Масленников — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: vnmas@main.tusur.ru

Рекомендована кафедрой
телевидения и управления

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 680.5.01:621.384

Д. В. ТИТОВ

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Представлен стенд для испытаний электронных изделий, позволяющий повысить надежность испытаний путем поддержания нормированных характеристик воздуха за счет осуществления контроля его давления на готовые приборы в термокамере.

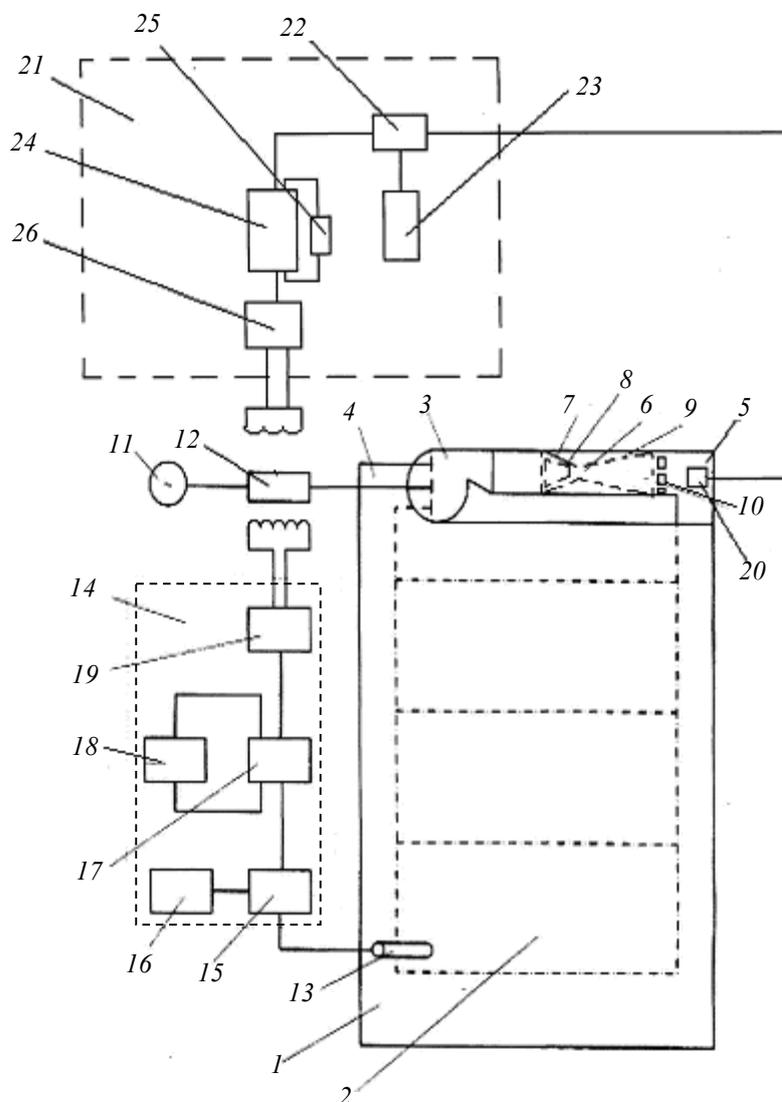
Ключевые слова: *стенд, оптико-электронное устройство, термокамера.*

Важнейшей характеристикой оптико-электронных устройств является точность формирования изображения, которая зависит от абберационных погрешностей оптической системы [1]. Таким образом, качество изображения непосредственно зависит от качества оптико-электронных устройств, что, в свою очередь, связано с проблемами их контроля и испытаний. Качество годных изделий определяется на завершающей стадии контроля климатическими

испытаниями при одновременном измерении электрических параметров устройств. Слабой стороной известных автоматизированных систем для климатических испытаний опико-электронных изделий является недостаток информации о параметрах рециркуляционного воздуха, так как контролируются лишь его температура и расход. Однако, как показывает практика испытаний, рециркуляционный воздух, контактирующий с изделием, насыщается загрязнениями непосредственно в объеме рабочей камеры системы, а также при движении по воздухопроводам.

Для обеспечения качественных климатических испытаний электронных изделий необходима защита автоматизированной системы путем введения дополнительного контроля степени очистки рециркуляционного воздуха от загрязнений. Такая защита была реализована в устройстве, обеспечивающем повышение надежности испытаний электронных изделий путем поддержания нормированных климатических характеристик рециркуляционного воздуха за счет осуществления контроля за его давлением при длительном воздействии на готовые полупроводниковые приборы, находящиеся в термокамере.

Схема термокамеры представлена на рисунке.



Термокамера для испытания электронных изделий [2] состоит из кожуха 1, в котором размещены рабочая камера 2, где между вытяжным 4 и нагнетательным 5 патрубками установлен вентилятор 3, узел очистки рециркуляционного воздуха 6, установленный в нагнетательном патрубке и выполненный в виде соосно соединенных суживающегося диффузора 7

с внутренними канавками 8 и расширяющегося сопла 9 с устройством осушения 10, которое занимает всю площадь выходного сечения сопла и представляет собой емкость, предназначенную для заполнения адсорбирующим веществом.

Вентилятор снабжен приводом с регулятором скорости 12 в виде блока порошковых электромагнитных муфт 11. В рабочей камере установлен датчик температуры 13, подключенный к регулятору температуры 14, который содержит блок сравнения 15 и блок задания 16 значений температуры. Блок сравнения соединен с входом электронного усилителя 17, оборудованного блоком 18 нелинейной обратной связи. При этом выход электронного усилителя соединен с входом магнитного усилителя 19 с выпрямителем на выходе, подключенным к регулятору скорости.

В нагнетательном патрубке перед выходным сечением устройства осушения установлен датчик давления 20, подключенный к регулятору давления 21, который содержит блок сравнения 22 и блок задания 23 значений давления, при этом блок сравнения соединен с входом электронного усилителя 24 с нелинейной обратной связью 25. Выход электронного усилителя соединен с входом магнитного усилителя 26 с выпрямителем на выходе, подключенным к регулятору скорости.

Термокамера для испытания электронных изделий работает следующим образом. По мере прохождения рециркуляционного воздуха, загрязненного парообразной влагой, через емкость устройства осушения наблюдается насыщение адсорбирующего вещества влагой с последующим увеличением перепада давления на входе и выходе узла очистки воздуха, и соответственно падает давление в рабочей камере, что регистрируется датчиком давления. На выходе блока сравнения формируется сигнал положительной полярности, поступающий на вход электронного усилителя, куда поступает и сигнал с блока нелинейной обратной связи. За счет этого компенсируется нелинейность характеристики вентилятора.

Положительная полярность сигнала вызывает увеличение тока возбуждения магнитного усилителя, что приводит к увеличению момента привода, передаваемого регулятором скорости. Благодаря этому достигается увеличение подачи воздуха до тех пор, пока давление в рабочей камере не станет равным заданной величине.

Рециркуляционный воздух с загрязнениями в виде мелкой пыли и водомасляной эмульсии через вытяжной патрубок поступает в вентилятор для закрутки воздушного потока. Загрязненный воздух направляется по нагнетательному патрубку в диффузор узла очистки, перемещаясь по внутренним канавкам, где наблюдается винтообразное движение потока.

Взвешенные частицы загрязнений воздуха под действием центробежной силы поступают к внутренней стенке диффузора и перемещаются по внутренним канавкам, где сталкиваются с другими частицами и становятся ядрами конденсации водомасляного пара. Данная смесь собирается во внутренней канавке и под действием гравитационных сил поступает в накопитель загрязнений.

Частично очищенный от загрязнений воздух поступает в расширяющееся сопло, в результате чего скорость движения воздуха резко уменьшается. Через устройство осушения воздух с заданными климатическими характеристиками по влажности, температуре и давлению поступает в рабочую камеру для обеспечения испытаний готовых полупроводниковых приборов при одновременном измерении их электрических параметров.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (контракт № 7463/р, 2009 г., проект №10265).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. Кн. 1, 2.
2. Пат. 51787 РФ. Термокамера для испытаний электронных изделий / В. Н. Кобелев, Н. С. Кобелев, А. А. Родионов, Д. В. Титов. Оpubл. 27.02.2006. Бюл. № 6.

Сведения об авторе**Дмитрий Витальевич Титов**

— аспирант; Курский государственный технический университет, кафедра вычислительной техники; E-mail: amazing2004@inbox.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техникиПоступила в редакцию
14.04.10 г.

УДК 621.373.54; 621.314.1

Б. И. Авдоченко, В. Ф. Коновалов

**БЛОК ПИТАНИЯ
ДЛЯ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Представлен универсальный блок питания для проведения экспериментальных исследований активно-импульсной телевизионной системы. Блок питания используется для накачки лазерного инфракрасного прожектора и быстрого синхронного заряда емкостей микроканальной пластины и фотокатода электронного оптического преобразователя.

Ключевые слова: телевизионная система, активный импульсный режим, инфракрасный прожектор, большие импульсные токи, короткие импульсы, структурная схема, технические характеристики.

В настоящее время всепогодные приборы видеонаблюдения и распознавания объектов находят широкое применение в науке и технике. Благодаря развитию микроэлектроники появились малогабаритные электронно-оптические преобразователи (ЭОП) с коэффициентом усиления в несколько десятков тысяч, а также твердотельные преобразователи „свет—сигнал“ (ПСС), имеющие высокую чувствительность и разрешающую способность. Стало возможным использование телевизионных систем в условиях недостаточной освещенности объекта, воздействия интенсивных световых помех и ограниченной видимости из-за тумана, дождя, снегопада и т.д. В этих условиях необходимо обеспечить повышенную точность преобразования оптического изображения в видеосигнал, несущий информацию о координатах, размерах и яркостных характеристиках объектов.

Одним из наиболее перспективных вариантов, позволяющих обеспечить повышение точности работы телевизионных систем в сложных условиях наблюдения, является использование активно-импульсного режима работы [1]. В таком режиме благодаря методу пространственной селекции устраняются фоновая составляющая видеоизображения и оптические фоновые помехи, появляется возможность накопления данных и использования других способов обработки сигнала.

Для обеспечения импульсного режима работы телевизионной системы необходимо наличие мощного импульсного источника подсветки, работающего, как правило, в инфракрасном (ИК) диапазоне [2], и установление импульсного синхронного режима считывания информации, поступающей от ЭОП и преобразователя „свет—сигнал“. Запуск источника подсветки синхронизируется строчными синхроимпульсами телевизионной камеры, а импульсы управления ЭОП задерживаются относительно импульсов подсветки на время распространения

излучения до зоны наблюдения и обратно. Длительность оптических импульсов подсветки и электрических импульсов, подаваемых на ЭОП и ПСС, определяется размерами объектов или зон наблюдения и может составлять от единиц до десятков наносекунд.

Для повышения точности измерений характеристик объектов и уменьшения потребляемой мощности требуется быстрое установление необходимого уровня напряжений, обеспечивающих оптимальные режимы работы активно-импульсной телевизионной системы (АИТВС). При известной зависимости тока заряда от времени время заряда t_1 емкости C до напряжения U определяется выражением

$$\int_0^{t_1} I(t) dt = CU,$$

откуда следует, что источник питания АИТВС за единицы—десятки наносекунд должен передавать в нагрузку импульсные токи в десятки—сотни ампер.

Особенностями разработанного источника питания, предназначенного для исследования точности преобразования оптического изображения в видеосигнал в сложных условиях наблюдения, являются широкий диапазон изменения временных и энергетических параметров импульсов и большие (до 100 А) импульсные токи, необходимые для накачки ИК-источника подсветки, быстрого заряда емкостей микроканальной пластины (МКП) и фотокаатода (ФК) ЭОП.

Диаграмма взаимного расположения импульса подсветки, отраженного от объекта наблюдения, импульса, подаваемого на МКП, и импульса стробирования ФК приведена на рис. 1, где t_1 — момент начала излучения импульса подсветки; t_1 — t_2 — время прохождения импульса подсветки до зоны наблюдения и обратно; t_2 — t_7 — время подсветки зоны наблюдения; t_3 — t_6 — длительность импульса МКП; t_4 — t_5 — длительность импульса ФК.

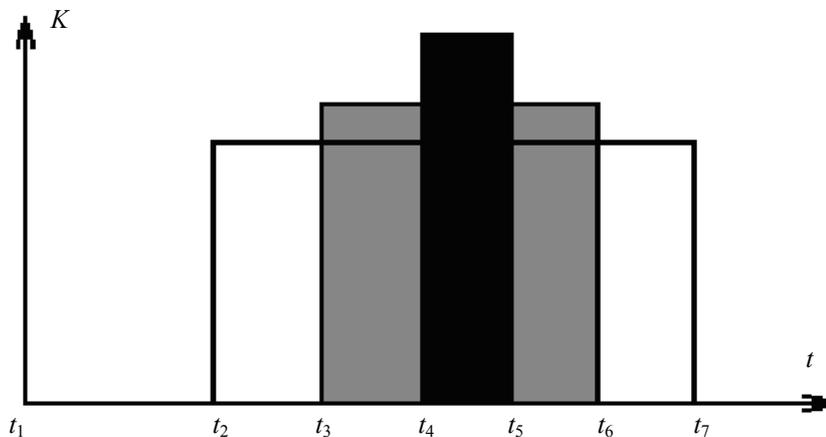


Рис. 1

Временное положение импульса запуска источников питания МКП и ФК, поступающего с управляемой задержкой с устройства синхронизации, соответствует дальности до зоны наблюдения. Два импульса, поступающие с этих источников питания, жестко связаны во времени. Для сдвига импульса питания ФК относительно импульса питания МКП предусмотрена плавная регулируемая задержка до 100 нс. Импульс питания МКП предназначен для получения ускоряющего напряжения питания ЭОП. В целях оптимизации коэффициента преобразования ЭОП при передаче изображения темных предметов в сложных условиях наблюдения предусмотрена регулировка длительности и амплитуды импульса. Импульс питания ФК используется для его стробирования, что позволяет производить выборку зоны наблюдения и устранять фоновую составляющую видеоизображения и оптические помехи.

Структурная схема источника питания активной импульсной телевизионной системы приведена на рис. 2.

Запуск импульсного источника подсветки (ИК-прожектора) производится положительным фронтом входного импульса ТТЛ-уровня, поступающего с устройства синхронизации. В состав импульсного источника подсветки входят: регулируемый блок питания БПР (преобразователь напряжения), формирователь длительности оптического ИК-импульса, драйвер транзистора коммутатора, коммутатор импульсов тока накачки и импульсный лазерный ИК-прожектор на основе инжекционной многомодовой решетки Л-13 со встроенным оптическим интегратором.

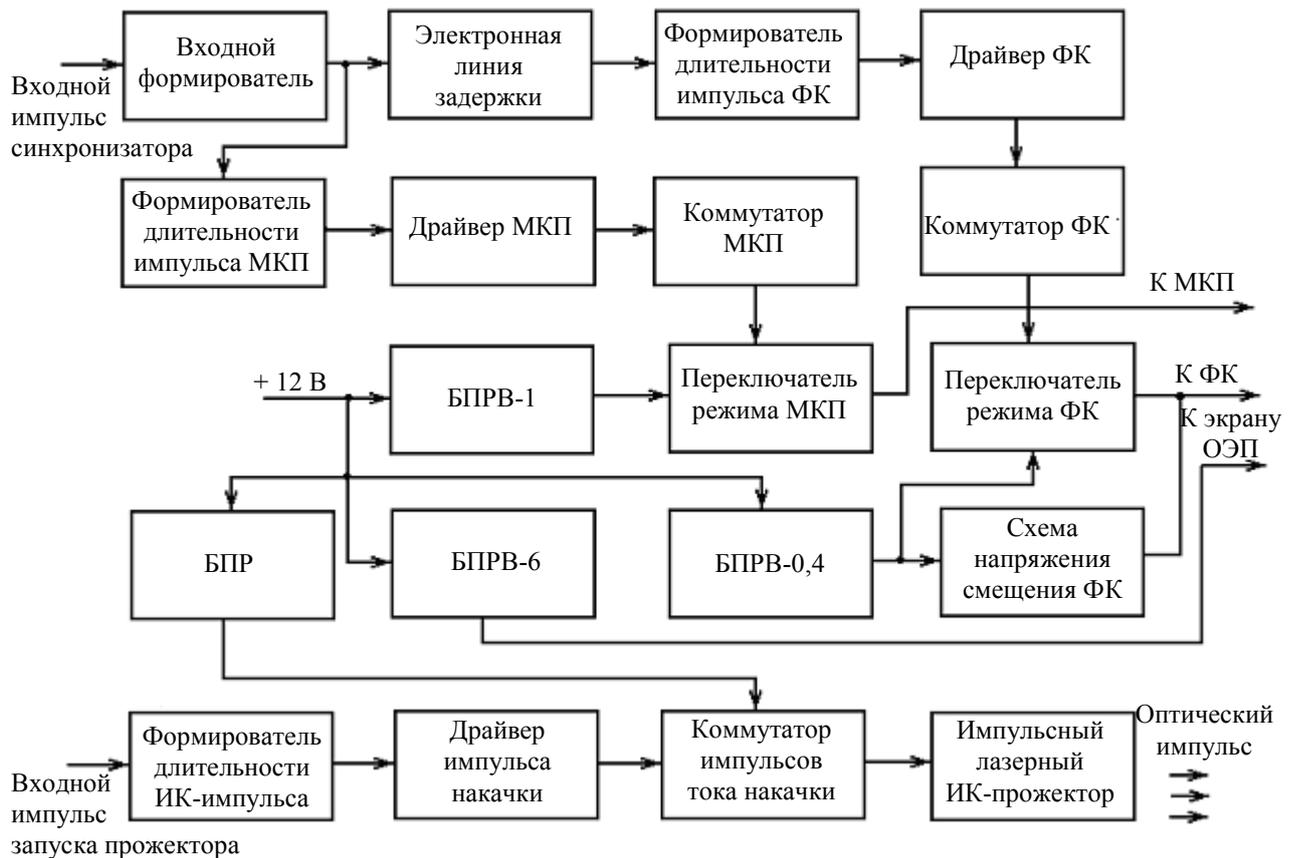


Рис. 2

Преобразователь напряжения предназначен для получения необходимого напряжения питания для коммутатора импульсов тока накачки и представляет собой двухтактную схему, управляемую интегральным ШИМ-контроллером. Изменение коэффициента передачи цепи обратной связи позволяет изменять выходное напряжение преобразователя от 50 до 160 В и управлять оптической мощностью лазерного прожектора в широких пределах.

Схема коммутатора импульсов тока накачки лазерной решетки выполнена на основе мощного MOSFET транзистора. Такой транзистор имеет большую входную емкость, поэтому для быстрого включения транзистора использован 9-амперный быстродействующий драйвер, который обеспечивает время включения/выключения коммутатора не более 20 нс.

Технические характеристики лазерного прожектора

Импульсная оптическая мощность, Вт, не менее	320
Длина волны излучения, нм.....	800—860
Амплитуда импульса тока накачки, А, не более	45
Длительность импульса тока накачки по уровню 0,5, нс.....	120
Неравномерность освещенности по горизонтали и вертикали при угле подсветки 6°, %, не выше	5

Для питания экрана ЭОП используется регулируемый высоковольтный блок питания (БПРВ-6) напряжением 6000 В.

Для оценки эффективности использования активно-импульсного режима работы телевизионной системы предусмотрен переход к обычному режиму работы, при котором к МКП подключается постоянное напряжение 1000 В, поступающее с блока питания регулируемого высоковольтного БПРВ-1, а к ФК — постоянное напряжение 400 В с БПРВ-0,4. В целях установки оптимальных режимов работы ЭОП предусмотрена регулировка напряжений БПРВ-1 и БПРВ-0,4 в широких пределах. Регулируемые высоковольтные источники питания содержат регулируемый стабилизатор напряжения, импульсный преобразователь напряжения, умножитель напряжения и выходной фильтр.

Основные характеристики блоков питания

Диапазон изменения выходных напряжений, В:	
БПРВ-1	200—1000
БПРВ-0,4	±(100...400)
Максимальный выходной ток, мА	15
Напряжение питания, В.....	12

Для перехода в активно-импульсный режим используются переключатели режимов МКП и ФК. Запуск телевизионной системы в импульсном режиме работы производится импульсом ТТЛ-уровня, поступающим с устройства синхронизации с задержкой, соответствующей времени прохождения импульса подсветки до зоны наблюдения и обратно.

Для исключения влияния формы и амплитуды импульса запуска на импульсы напряжения питания используется входной формирователь. Импульсом с выхода формирователя запускаются два независимых источника питания. Импульсный источник питания МКП состоит из выполненного на логических элементах формирователя импульса регулируемой длительности, драйвера импульса управления высоковольтным коммутатором, выполненного на специализированной микросхеме, и высоковольтного коммутатора на мощном MOSFET транзисторе, который кратковременно подключает блок питания БПРВ-1 к микроканальным пластинам.

Импульсный источник питания ФК включается через электронную линию задержки, выполненную на логических элементах, что необходимо для определения момента окончания переходных процессов при записи информации, а также точного определения времени считывания информации относительно времени поступления импульса питания МКП. Схемы формирователей длительности импульса и драйверов источника питания ФК и МКП идентичны. Для подачи постоянного положительного напряжения смещения на фотокатод, позволяющего увеличить чувствительность ЭОП, используется формирователь с регулируемым уровнем выходного напряжения.

Основные технические характеристики импульсного источника питания МКП

Напряжение питания формирователей, электронной схемы задержки и драйверов, В	12
Диапазон изменения длительности выходного импульса, нс	100—500
Диапазон изменения выходного напряжения, В.....	200—1000

Основные технические характеристики импульсного источника питания ФК

Диапазон изменения длительности выходного импульса, нс	50—300
Диапазон изменения фронта и спада выходного импульса, нс	10—100
Диапазон изменения выходного напряжения, В.....	-(100...400)
Напряжение смещения ФК положительной полярности, В.....	0—80

Нестабильность амплитуды выходных напряжений и тока накачки источника подсветки не более 1 % при изменении температуры среды от 20 до 30 °С.

Разработанный импульсный источник питания используется для проведения экспериментальных исследований АИТВС по повышению чувствительности и точности преобразования оптического изображения в видеосигнал в сложных условиях наблюдения. Возможность изменения в широком диапазоне временных и энергетических параметров импульсов позволила разработать универсальную исследовательскую телевизионную систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов В. В., Белоусов В. С., Борисов Б. Д. и др. Активно-импульсные телевизионные системы „Зонд“ и „Обзор“ // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, № 11. С. 51—53.
2. Креопалов В. И. Устройства лазерного подсвета для активно-импульсных приборов ночного видения // Специальная техника. 2006. № 6. С. 6—11.

Сведения об авторах

- Борис Иванович Авдоченко** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра радиоэлектроники и защиты информации; E-mail: AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru
- Владимир Федорович Коновалов** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления

Рекомендована кафедрой
телевидения и управления

Поступила в редакцию
14.04.10 г.

SUMMARY

P. 7—13.

A METHOD FOR GEOSPATIAL OBJECT SHADOW LOCALIZATION IN DIGITAL AEROSPACE IMAGES

A method is proposed for localization of a geospatial object shadow in aerospace image. The method makes it possible to increase the accuracy of thematic layers formation in electronic charts of geoinformation system on the base of aerospace images. The improvement is obtained through elimination of false objects caused by the shadows with the use of digital image processing methods.

Keywords: geoinformation system, aerospace image, automatic vectorization, object shadow, spatial differentiation, Gauss function, clusterization.

Data on authors

- Sergey Yu. Miroshnichenko* — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: oldguy7@rambler.ru
- Vitaly S. Titov* — Dr. Techn. Sci., Professor; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru

P. 14—19.

ALGORITHM OF GIS OBJECTS SELECTION ON THE BASE OF TOPOLOGICAL RULES

An approach is considered to group analysis of cartographic objects based on topological relations. A concept of array of topological relations matrices is introduced, the matrices containing information on correlation between the objects. The approach makes it possible to perform objects selection in accordance with given rules.

Keywords: cartographic object, topological relation, geoinformation system, rule of selection.

Data on authors

- Dmitry E. Andrianov* — Dr. Techn. Sci., Associate Professor; Murom Institute — branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: AndrianovDE@inbox.ru
- Mikhail S. Sokolov* — Post-Graduate Student; Murom Institute — branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: acp.devel@googlemail.com

P. 19—22.

FRACTAL APPROXIMATION ALGORITHM FOR IMAGE COMPRESSION IN OPTO-ELECTRONIC SYSTEMS OF PRODUCTION QUALITY CONTROL

An algorithm is described of fractal approximation for compression of images obtained with opto-electronic system of production quality control. Application of fractal distribution for increased data archivation rate is substantiated. Results of practical application of the algorithm in real manufacturing work conditions are presented.

Keywords: fractal, image, opto-electronic system, approximation, compression.

Data on authors

- Evgeny V. Ershov* — Dr. Techn. Sci., Associate Professor; Cherepovets State University, Department of Computer Software; E-mail: eve@chsu.ru

- Lyudmila N. Vinogradova* — Cherepovets State University, Department of Computer Software; Senior Lecturer; E-mail: lvinogradova@bk.ru
- Elena S. Shumilova* — Cherepovets State University, Department of Computer Software; Assistant Lecturer; E-mail: alenka.bunky@gmail.com

P. 22—26.

SPATIAL-TEMPORAL RANK ALGORITHMS FOR SELECTION OF SMALL-SIZED OBJECTS AGAINST A COMPLEX BACKGROUND

Rank algorithms for small-sized object selection from a sequence of TV images are analyzed. The problem of resolution of closely set small-sized objects against a complex background is considered.

Keywords: rank algorithm, small-sized object, digital image processing.

Data on authors

- Igor V. Galchuk* — Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; Scientist; E-mail: ingvio@tu.tusur.ru
- Anatoly G. Kostevich* — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: ak@tu.tusur.ru
- Mikhail I. Kouryatchy* — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: kur@tu.tusur.ru

P. 27—33.

COMPLETE COMPUTER-ADDED PROCESSING OF ULTRASOUND HEART IMAGES SEQUENCE

Development of computer-added system for complete processing and analysis of ultrasound images is discussed. The proposed system has a modular structure. Each of the modules performance is described and peculiarities of realized algorithms are observed. Several results obtained with the system are presented and comparative analysis of the data is given.

Keywords: ultrasound instrument, ultrasound heart image, texture segmentation, sectional segmentation, left ventricle of heart, left ventricle boundary.

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
- Irina A. Safiulova* — Cand. Med. Sci.; Russian Railways Public Corporation, Murom Station Hospital; Cardiologist; E-mail: irina120779@yandex.ru
- Maxim I. Tkachuk* — Post-Graduate Student; Murom Institute — branch of Vladimir State University, Department of Information Systems; E-mail: maxim.tkachuk@gmail.com

P. 33—37.

METHOD OF OBSTACLE DETECTION BEFORE A VEHICLE BY STEREO VISION SYSTEM

A method is proposed for detection of obstacles before a moving vehicle. The method is based on analysis of images obtained with a binocular system of technical vision. A wide range of detected obstacle and accuracy of obstacle coordinates estimates with the use of the method are reported.

Keywords: anticollision measures, technical vision, transport facility, motion path, obstacle detection.

Data on authors

- Maxim I. Truphanov* — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: temp1202@mail.ru
- Sergey V. Prilutskiy* — Post-Graduate Student; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: temp1202@mail.ru

P. 38—42.

LIGHT SCATTERING EFFECT ON TELEVISION IMAGE

Improved relations between irradiance distributions across optical image and initial object are obtained for the case when object-to-lens distance and spacing between the lens and image plane are commensurable. Effect of light scattering on image properties at sensitive plane of TV transducer is studied.

Keywords: TV sensor, irradiance, electro-optical transducer, light scattering, optical feedback.

Data on authors

- Yury R. Kirpichenko* — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: kirp@tu.tusur.ru
Ivan N. Pustynsky — Dr. Techn. Sci., Professor; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: in@tu.tusur.ru

P. 42—46.

ELIMINATION OF NOISE FORMATIONS IN VIDEO SYSTEM WITH HIGH-SENSITIVE TV TRANSDUCER

An algorithm is proposed for effective elimination of scintillations observed in video system on the base of high-sensitive TV receiver with electro-optical transducer.

Keywords: TV sensor, video system, rank algorithm, scintillation.

Data on author

- Igor V. Galchuk* — Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; Scientist; E-mail: ingvio@tu.tusur.ru
Anatoly G. Kostevich — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: ak@tu.tusur.ru
Mikhail I. Kouryatchy — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: kur@tu.tusur.ru

P. 47—51.

COMPARISON OF VARIOUS APPROXIMATIONS FOR DIFFUSION DISK OF NON-ABERRATIONAL LENS

Various approximations for irradiance distribution across diffusion disk of non-aberrational lens are considered. Contrast in the image of two point sources at minimal resolved separation is calculated and accuracy of results for each of the approximations under examination is analyzed.

Keywords: lens, diffusion disk, radiance, contrast.

Data on author

- Ekaterina V. Zaitceva* — Post-Graduate Student; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: katya@tu.tusur.ru

P. 52—57.

MODULAR BUILT-IN INTELLIGENT OPTO-ELECTRONIC VIDEO DETECTION SYSTEM

A built-in optical-electronic system is presented which affords data analysis, widening and variation of the system functional capabilities. The system can be applied in computer-added observation systems for control over a given territory and object detection.

Keywords: intelligent control system, pattern recognition, structure flowchart, module, video camera.

Data on authors

- Alexander S. Sizov* — Dr. Techn. Sci., Professor; Kursk State Technical University, Department of Information Technologies; E-mail: titov@vt.kstu.kursk.ru
- Dmitry V. Titov* — Post-Graduate Student; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: amazing2004@inbox.ru
- Maxim I. Truphanov* — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: temp1202@mail.ru

P. 57—62.**CONTROL BLOCK OF AUTOMATED SYSTEM FOR LABEL GLUING TO MOBILE OBJECT**

An operating control block of automated system for self-adhesive label installation to moving object from a tape is presented.

Keywords: microcontroller, computer-added control system, self-adhesive label, optical sensor, inductive sensor.

Data on authors

- Vladimir S. Panishchev* — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: gskunk@rambler.ru
- Veronica P. Reshetnikova* — Post-Graduate Student; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: anikina_veronika@mail.ru
- Irina E. Chernetskaya* — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: white731@yandex.ru

P. 63—71.**HARDWARE-LEVEL IMPLEMENTATION OF SUBTREE INSERTION IN PROCESSING OF R-EXPRESSIONS**

A device is described which allows for implementation of procedure of subtree insertion into a tree when hardware-level processing of R-expression is carried out. The procedure is reported to appear in execution of equivalent transformation of parallel algorithms.

Keywords: logical multicontroller, parallel algorithm of logical control, partition, optimization, R-expression, oriented tree, special processor.

Data on authors

- Eduard I. Vatutin* — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: evatutin@rambler.ru
- Igor V. Zotov* — Dr. Techn. Sci., Professor; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: zotovigor@yandex.ru
- Vitaly S. Titov* — Dr. Techn. Sci., Professor; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: titov-kstu@rambler.ru
- Mudjib M. Al-Ashval* — Post-Graduate Student; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: mogibm2007@yandex.ru

P. 72—75.**METHOD OF ZERO DRIFT CORRECTION IN OPERATIONAL AMPLIFIER**

Optical-electronic system with operational amplifiers used for comparison of slowly varying sensor signals is considered. Methods of zero drift correction employed in such systems are analyzed. A new method is proposed which ensures compensation of output signal bias voltage.

Keywords: operational amplifier, zero drift, zero correction, optical-electronic system.

Data on authors

- Vitaly S. Titov** — Dr. Techn. Sci., Professor; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: titov-kstu@rambler.ru
- Maxim V. Bobyr** — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: fregat_mn@rambler.ru
- Natalia A. Milostnaya** — Cand. Techn. Sci.; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: nat_mil@mail.ru
- Anna L. Belomestnaya** — Post-Graduate Student; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: sonya84anna@yandex.ru

P. 75—80.**COMPARISON OF SENSITIVITY OF TRANSISTOR AND VACUUM-TUBE VIDEO AMPLIFIERS**

Noise characteristics are compared of transistors and vacuum tubes in video amplifiers connected to TV tube (source of current). Relations are derived which allow for optimal choice of active elements for video amplifier.

Keywords: sensitivity, noise, video amplifier, active element, TV transducer.

Data on author

- Viktor N. Maslennikov** — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control; E-mail: vnmas@main.tusur.ru

P. 80—83.**BENCH FOR TESTING OF OPTO-ELECTRONIC DEVICES**

A bench for testing of optical-electronic devices is presented. The bench makes it possible to improve reliability of test results due to standard air characteristics maintained by pressure control in heat chamber.

Keywords: testing bench, optical-electronic device, heat chamber.

Data on author

- Dmitry V. Titov** — Post-Graduate Student; Kursk State Technical University, Department of Computer Technique; E-mail: amazing2004@inbox.ru

P. 83—87.**POWER-SUPPLY UNIT FOR ACTIVE PULSE TELEVISION SYSTEM**

A universal power-supply unit for experimental study of active pulse TV system is developed. The unit is used for laser IR searchlight pumping and quick synchronous charging of capacitors of microchannel plate and electro-optical transducer photocathode.

Keywords: TV system, active pulse mode, IR searchlight, high pulse current, short pulse, block diagram, technical characteristics.

Data on authors

- Boris I. Avdochenko** — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Radioelectronics and Computer Security; E-mail: AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru
- Vladimir F. Kononov** — Cand. Techn. Sci.; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Television and Control