

*На правах рукописи*

**ОХОТНИКОВ СЕРГЕЙ АРКАДЬЕВИЧ**

**РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ  
ЗАДАННОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ КОНТУРОВ**

Специальность 05.12.04 -Радиотехника, в том числе системы и устройства  
телевидения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Владимир – 2014

Работа выполнена на кафедре радиотехнических и медико-биологических систем ФГБОУ ВПО «Поволжского государственного технологического университета»

Научный руководитель: Хафизов Ринат Гафиятуллович  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Медведева Елена Викторовна  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), г. Киров, профессор  
кафедры Радиоэлектронных средств

Аксенов Игорь Борисович  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, профессор кафедры Нанотехнологии в электронике

Ведущая организация: ОАО ФНПЦ Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники, г. Нижний Новгород

Защита диссертации состоится «24» июня 2014 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.04 при ФГБОУ ВПО Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, корп. 3, ФРЭМТ, ауд.301.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых - ВлГУ.

Автореферат разослан «22» апреля 2014 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ.

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.025.04 д.т.н., профессор



А.Г. Самойлов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В общем случае радиотехническая система решает задачи обнаружения, оценки параметров, распознавания и разрешения принятых сигналов. При известной форме входного сигнала в условиях действия координатных и яркостных шумов для решения перечисленных задач принято использовать оптимальные решающие устройства – согласованные фильтры. Как известно, эффективность работы оптимального обнаружителя определяется энергией этого сигнала и не зависит от его внутренней структуры. При решении последующих задач – оценки параметров, распознавания и разрешения свойства используемого сигнала оказывает существенное влияние на получаемый результат.

Для современного этапа развития радиотехнических систем характерно стремительное возрастание объема видеoinформации, что предъявляет повышенные требования к скорости обработки видеоизображений, их компактному представлению для передачи по каналам связи и хранению, к качеству восстановления видеоизображений и т.д. Примером могут служить системы цифрового телевидения, охранные системы, системы мониторинга (системы распознавания номерных знаков, системы распознавания лиц, системы слежения за объектами и т.д.), медицинские диагностические системы. Необходимость выполнения этих требований стимулирует появление новых и совершенствование известных методов обработки видеоизображений.

Применение методов обработки видеоизображений, в которых присутствуют априорно известные объекты (реперные знаки, шероховатости поверхности подложек микросхем и т.д.), в системах видеоконтроля компонентов радиоэлектронной аппаратуры, в медицинских диагностических системах, телеметрии и т.д. дает возможность автоматизировать процессы сбора и обработки видеoinформации и получить более высокую достоверность результатов контроля. Для обнаружения и распознавания видеоизображений объектов с априори известной формой применяют различные методы обработки. Важнейшие результаты в области обработки и распознавания изображений получены отечественными учеными: Сойфером В.А., Журавлевым Ю.И., Бакутом П.А., Фурманом Я.А., а также зарубежными авторами: Pratt W.K., Roberts L.G., Sobel I.E. и др.

Разработка новых методов и алгоритмов обработки видеoinформации в системах телевидения идет в сторону повышения эффективности решения основных задач радиотехники.

Одним из методов обработки видеоизображений объектов априори известной формы является метод анализа контуров. Контуров видеоизображений полностью характеризуют их форму и позволяют создать простые аналитические описания. Рассмотрение контуров видеоизображений как комплекснозначных сигналов и представление их в линейном комплекснозначном пространстве позволяет получить меру

близости двух контуров в виде их скалярного произведения, инвариантную к преобразованиям переноса, поворота и масштабирования. При этом возникает задача оценки эффективности работы радиотехнических устройств распознавания видеоизображений объектов с априори известной формой с применением элементов контурного анализа. Также стоит отметить: синтез и анализ сигналов, наряду с методами их обработки, является одной из важнейших задач радиотехники, применительно к различным областям науки и техники.

Научная проблема, на решение которой направлена диссертационная работа, заключается в том, что на сегодняшний день не исследованы характеристики распознавания видеоизображений объектов с априори известной формой на основе анализа контуров, что затрудняет оценку качества работы и возможность сравнения существующих и вновь создаваемых телевизионных систем.

#### **Цель и задачи работы.**

Целью диссертационной работы является разработка и исследование методики и алгоритма распознавания видеоизображений объектов с априори известной формой и оценки эффективности их распознавания при использовании метода анализа контуров в системах передачи телевизионных изображений. Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать спектральные свойства видеоизображений объектов с априори известной формой заданных в виде непрерывных контуров.

2. Разработать методику линейной, в том числе согласованной, фильтрации видеоизображений объектов с априори известной формой заданных в виде непрерывных контуров в системах передачи телевизионных изображений.

3. Разработать методику распознавания видеоизображений объектов заданных в виде непрерывных контуров в телевизионных системах передачи изображений.

4. Исследовать вопросы дискретизации непрерывных контуров видеоизображений компонентов радиоэлектронной аппаратуры и медико-биологических объектов.

**Объект исследования:** система передачи, обнаружения и распознавания телевизионных изображений.

**Предмет исследования:** разработка методики и алгоритмов обработки видеоизображений объектов заданной формы, исследование эффективности разработанных алгоритмов.

**Научная задача исследования:** разработка и исследование методов и алгоритмов обработки видеоизображений объектов с априори известной формой на основе контурного анализа в системах передачи телевизионных изображений при наличии помех.

**Методы исследований.** Для решения поставленных в диссертационной работе задач были использованы методы контурного анализа, распозна-

вания образов и цифровой обработки сигналов, оптимального приёма, теории функции комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численные методы и методы математического моделирования.

**Достоверность результатов исследований.** Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов и выводов подтверждается сопоставительным анализом разработанных и существующих методик и алгоритмов, а также итогами вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования.

Теоретические положения, установленные в работе, обосновываются последовательным и корректным применением математического аппарата при получении выводов из исходных посылок, а также аналитической проверкой этих посылок и выводов результатами систематического исследования.

Достоверность результатов экспериментального исследования обеспечена их согласованностью с результатами теоретического исследования и воспроизводимостью на объемах экспериментального материала.

#### **Новизна научных результатов.**

1. Выявлены особенности спектров непрерывных контуров видеоизображений объектов с априори известной формой, связанные с их комплекснозначным характером и замкнутостью. Определено влияние нелинейных искажений изображений объекта с априори известной формой на спектр его контура.

2. Разработана методика линейной, в том числе согласованной, фильтрации непрерывных контуров, заданных в виде замкнутых комплекснозначных функций, обеспечивающая возможность формирования достаточной статистики для распознавания объектов интереса с априори известной формой при неизвестных параметрах линейных преобразований масштабирования и поворота.

3. Получены характеристики распознавания видеоизображений объектов заданных в виде окружности, характеризующие эффективность распознавания и обеспечивающих возможность сравнения существующих и вновь создаваемых радиотехнических систем распознавания видеоизображений компонентов радиоэлектронной аппаратуры и медико-биологических объектов на основе анализа их контуров.

4. Разработаны рекомендации по дискретизации непрерывных контуров видеоизображений объектов с формой в виде окружности. Показано, что минимально допустимое количество элементов контура определяется требуемым качеством распознавания при заданном уровне отношения сигнал/шум.

#### **Практическая ценность работы.**

Рассмотрение контуров в виде непрерывных функций, полученных из непродискретизированных изображений, позволяет снять ограничение на возможность применения методов контурного анализа, связанное с количе-

ством пикселей в составе изображения. Это позволит реализовать радиотехнические системы с потенциально достижимыми характеристиками. Выработана рекомендация по выбору минимально допустимого количества элементов контура видеоизображения заданного в виде окружности исходя из требуемого качества распознавания и уровня отношения сигнал/шум. Использование алгоритма распознавания контуров видеоизображений заданной формы на основе контурного анализа позволяет сократить объем вычислительных затрат в среднем на 2 порядка, по сравнению с корреляционно-экстремальным методом.

**Внедрение результатов работы.** Теоретические и практические результаты диссертационной работы использованы при разработке изделий на ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей» ОАО «Марийский машиностроительный завод» (подтверждено актом о внедрении).

Результаты диссертационной работы использованы в НИР, выполненных по следующим грантам и научным программам (подтверждено актом о внедрении):

1) грант РФФИ, проект №08-01-12000 офи, «Разработка методов и создание информационной технологии визуализации и сравнительного анализа сопряженных пространственных статических и динамических сцен», 2008 – 2009 г;

2) НИР №8.1068.2011 «Разработка теоретических подходов к обработке непрерывных контуров изображений» в рамках государственного задания на 2012 г.

Также внедрены в учебный процесс по специальности 210302.65 – «Радиотехника» при изучении дисциплины «Цифровая обработка радиотехнических сигналов»; по специальности 210405.65 – «Радиосвязь радиовещание и телевидение» при изучении дисциплин «Обработка сигналов на базе сигнальных процессоров»; по специальности 200400.65 – «Инженерное дело в медико-биологической практике» при изучении дисциплин «Обработка изображений медико-биологических объектов» (подтверждено актом о внедрении).

#### **Личный вклад автора.**

В работах [1, 5, 11] соискателем предложена методика линейной фильтрации непрерывных контуров видеоизображений; в работах [2, 3, 13, 14] автор исследовал вопросы распознавания непрерывных контуров видеоизображений, а так же получил характеристики помехоустойчивости распознавания; в работах [5, 7, 12] автором предложены средства и программная реализация алгоритмов обработки и распознавания непрерывных контуров видеоизображений; в работах [10, 12, 13, 15] автором исследуются спектральные и корреляционные характеристики непрерывных контуров видеоизображений.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались и обсуждались на Тринадцатой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»,

(Москва, 2007; 8<sup>th</sup> International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-8-2007) (Yoshkar-Ola, 2007); Международной молодежной научной конференции «Туполевские чтения - XVII» (Казань, 2009); Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Биомедсистемы-2010) (Рязань, 2010); 10<sup>th</sup> International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-10-2010) (St. Petersburg, 2010); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе» (Йошкар-Ола, 2011); X и XI международной научно-технической конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации» (Расознавание – 2012, 2013) (Курск, 2012, 2013); на ежегодных научных конференциях по итогам НИР ПГТУ (МарГТУ) и научных семинарах кафедры радиотехнических и медико-биологических систем ПГТУ (МарГТУ) (2009–2013).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 работ. Из них 4 работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 статьи в рецензируемых научно-технических журналах, 7 работ содержатся в сборниках материалов научных конференций, соавтор 1 депонированной монографии.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка и двух приложений. Она изложена на 155 страницах машинописного текста (без приложений), содержит 64 рисунка, 2 таблицы, библиографический список включает 119 наименований.

#### **На защиту выносятся:**

1. Методика оценки нелинейных искажений видеоизображения объекта заданного в виде окружности на основе анализа спектра его контура.

2. Методика распознавания видеоизображений объектов с априори известной формой на основе анализа его контура, заданной в виде комплекснозначной непрерывной замкнутой функции, обеспечивающая инвариантность к преобразованиям масштабирования и вращения изображений, а также к нелинейному преобразованию изменения угла обзора.

3. Характеристики распознавания видеоизображений объектов, характеризующие эффективность распознавания объектов заданных в виде окружности и обеспечивающих возможность сравнения систем распознавания изображений на основе анализа их контуров.

4. Методика выбора минимально допустимого количества элементов контура видеоизображения объектов с формой в виде окружности, обеспечивающая достижение заданной вероятности правильного распознавания при фиксированном отношении сигнал/шум.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, направление исследований, научная новизна и основные научные положения диссертационной работы.

**В первой главе** произведен обзор систем обработки телевизионных изображений. Показано, что стремительный возрастание объема видеoinформации, скорости обработки и т.д., стимулирует появление новых и совершенствование известных методов обработки изображений в системах телевидения. Исследовано состояние вопроса в области обработки видеоизображений априори известных объектов (реперных знаков, шероховатости поверхности подложек микросхем и т.д.). Показано, что для обнаружения и распознавания видеоизображений объектов применяют различные методы - интегральные, контурные и характерных точек. Исследованы их достоинства и недостатки. Предложено для решения задачи обнаружения и распознавания изображений объектов интереса применить метод контурного анализа. При этом использовать комплекснозначное кодирование контуров видеоизображений. Выявлена проблема отсутствия характеристики потенциальной помехоустойчивости, что затрудняет оценку качества работы существующих и вновь разрабатываемых телевизионных систем распознавания априори известных объектов на основе метода контурного анализа.

По результатам анализа состояния вопроса по теме исследования конкретизированы задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** предложено в телевизионных системах изображение объекта задавать в виде непрерывного контура. Решены радиотехнические задачи спектрального и корреляционного анализа непрерывных контуров. Представлена математическая модель непрерывного контура видеоизображения объекта, заданная на комплексной плоскости в виде замкнутой кривой. Контур  $\mathbf{X} = \{\chi(l)\}_{0,L}$  как непрерывная замкнутая кривая на комплексной плоскости в виде  $\chi(l) = \chi_1(l) + i\chi_2(l) = |\chi(l)| \exp\{i\varphi(l)\}$ , где  $l$  – любое в диапазоне от 0 до  $L$ ;  $L$  – длина контура;  $\chi_1(l) = \text{Re } \chi(l)$  и  $\chi_2(l) = \text{Im } \chi(l)$  – действительная и мнимая компоненты функции  $\chi(l)$ ;  $|\chi(l)| = \sqrt{\chi_1^2(l) + \chi_2^2(l)}$  и  $\varphi(l) = \arg \chi(l)$  – амплитудное и фазовое представление функции  $\chi(l)$ . Контурные видеоизображений рассматриваются как векторы в линейном комплексном пространстве.

Задано линейное пространство вектор-контуров и получены основные аналитические соотношения. Рассмотрено влияние линейных преобразований непрерывного контура  $\mathbf{X}$  на величину расстояния и скалярного произведения в комплексном пространстве. Показано, что изменение как масштаба, так и угловой ориентации не влияет на меру схожести двух непрерывных контуров.

Исследованы вопросы спектрального анализа непрерывных контуров. Определен ортогональный базис, по которому раскладывается произвольный непрерывный контур, в виде  $\mathbf{X}_m = \{\chi_m(t)\}_{0,L} = \left\{ \left| \chi \right| \exp \left\{ i \frac{2\pi}{L} ml \right\} \right\}_{0,L}$ .

Совокупность  $\mathbf{X}_m$ , при  $m = -\infty, \infty$ , задает семейство замкнутых непрерывных элементарных контуров. Элементарные непрерывные контуры, образующие ортонормированный базис, периодичны с периодом  $L$  и представляют собой окружности радиусом  $1/\sqrt{L}$ .

Выявлены особенности спектров, связанные с комплекснозначным характером и замкнутостью непрерывных контуров. Показано, что  $\rho(m) = \rho^*(-m)$  и спектр вещественного сигнала характеризуется симметрично расположенными относительно отсчета  $m=0$  комплексносопряженными парами, и при оперировании с амплитудным спектром вещественного сигнала ограничиваются половиной отсчетов, взятых правее точки  $m=0$  (рис. 1, а).

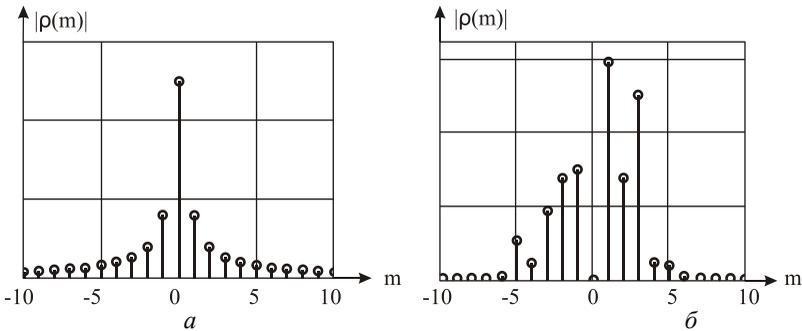


Рисунок 1 – Амплитудно-частотные спектры:  
 а – периодической последовательности пилообразных импульсов;  
 б – комплекснозначного непрерывного контура

Когда величина  $\chi(t)$  становится комплексным числом, то для замены члена  $\chi(t) \exp \left\{ -i \frac{2\pi}{k} ml \right\}$  на комплексно-сопряженное, значение знака изменится не только в показателе экспоненты, но и в аргументе  $\chi(t)$ . Поэтому комплекснозначные сигналы не обладают свойством сопряженной симметрии и в их амплитудном спектре следует учитывать все отсчеты спектра (как для положительных, так и для отрицательных частот) (рис. 1, б).

Исследовано влияние нелинейных искажений на вид спектра контуров

на примере элементарного контура порядка  $m=1$ :

$$\mathbf{X} = \{\chi(l)\}_{0,L} = \{\exp\{il\}\}_{0,L} = a \cos(l) + ib \sin(l),$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты сжатия круга по горизонтали и вертикали соответственно. При изменении одного из коэффициентов  $a$  или  $b$ , окружность сжимается по одной из осей. На рис. 2 показан вид контура и его спектр при сжатии с коэффициентом 1, 0,7, 0,4 и 0,2.

Получено, что при сжатии контура в спектрограмме появляется ярко выраженная вторая гармоника, причем, чем больше коэффициент сжатия, тем больше ее уровень.

Исследованы вопросы корреляционного анализа непрерывных контуров. Показано, что комплекснозначный характер сигнала по сравнению с вещественным сигналом определяет иной вид АКФ и ВКФ, так как один из множителей под знаком интеграла является комплексно-сопряженным.

ВКФ в пространстве  $C$  позволяет обнаружить высокую степень близости контуров  $\mathbf{X}$  и  $\mathbf{Y}$  инвариантную к углу их взаимного поворота, сдвигу начальной точки и масштабу.

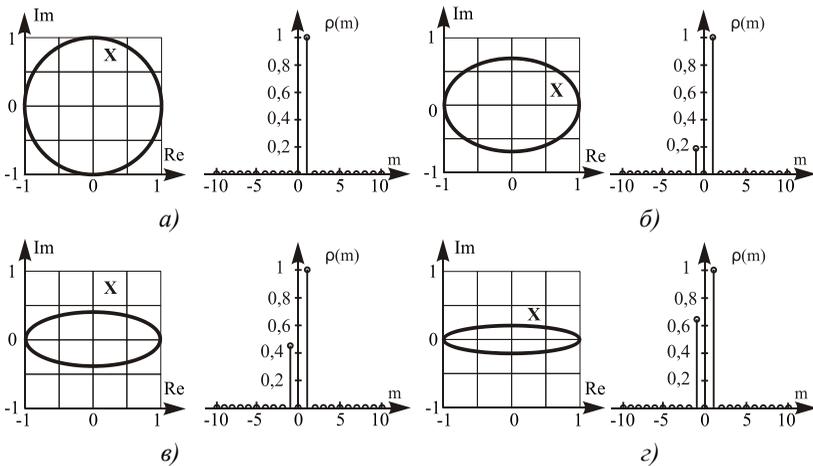


Рисунок 2 – Вид контура и его нормированный спектр с коэффициентом сжатия: а – 1, б – 0,7, в – 0,4 и г – 0,2

**В третьей главе** представлена методика линейной фильтрации непрерывных контуров видеозображений объектов в системах передачи телевизионных изображений при наличии помех. Контурный линейный фильтр представлен в виде линейного четырехполюсника с импульсной характеристикой  $\Lambda = \{\lambda(l)\}_{0,L}$  и частотным коэффициентом передачи  $\Omega = \{\omega(l)\}_{-\infty,\infty}$ .

На вход фильтра поступает контур  $\mathbf{X} = \{\chi(l)\}_{0,L}$ , формирующий на своем

выходе непрерывный контур  $\mathbf{H} = \{\eta(l)\}_{0,L}$ . Отчет выходного контура

$\mathbf{H} = \{\eta(l)\}_{0,L}$ , представлен в виде свертки контуров импульсной характеристики  $\mathbf{\Lambda} = \{\lambda(l)\}_{0,L}$  и входного контура  $\mathbf{X} = \{\chi(l)\}_{0,L}$ , и имеет вид

$$\eta(s) = \int_0^L \lambda(l) \chi(s-l) dl.$$

С учетом обратного преобразования Фурье вектора

$$\chi(l) \text{ получаем, что выходной контур } \mathbf{H} \text{ равен взвешенной сумме непрерывных элементарных контуров (НЭК) } \mathbf{X}_m = \left\{ \exp\left\{i \frac{2\pi}{L} ml\right\} \right\}_{0,L},$$

$m = -\infty, \infty$ , весами в которой служат элементарные векторы  $\rho_{\text{вых}}(m)$  контура спектра на выходе фильтра. Таким образом, для получения  $s$ -го отсчета фильтра, каждый  $s$ -й элементарный вектор НЭК порядка  $m$ , взятый с весом соответствующей спектральной составляющей  $\rho(m)$ , умножается на комплексное число  $\omega(m)$  и полученные произведения суммируются. С геометрических позиций вектор  $\mathbf{H}$  комплекснозначного линейного пространства связан с вектором  $\mathbf{X}$  правилом перехода, называемым системным оператором. В самом общем случае, системный оператор изменяет норму вектора  $\mathbf{X}$  и поворачивает на некоторый угол.

Контурный линейный фильтр обладает всеми свойствами, характерными для линейных фильтров вещественных сигналов. Учитывая комплекснозначный характер и свойства замкнутости контура, контурный линейный фильтр обладает также дополнительными свойствами.

Исследованы вопросы согласованной фильтрации непрерывных контуров. Формирование меры схожести сигналов является основной задачей решаемой в радиотехнических устройствах, связанных в первую очередь, с обнаружением, распознаванием, разрешением, измерением параметров сигналов. Показано, что контурный согласованный фильтр производит вычисление ВКФ эталонного и фильтруемого контуров и позволяет определить количественную меру схожести двух плоских форм.

Показано, что в пространственной области линейный фильтр с импульсной характеристикой  $v^*(L-t)$ , вырабатывает значения смещенные на  $L$  ВКФ двух контуров. Данное устройство является согласованным фильтром. Особенность его работы для циклически определенных непрерывных контуров заключается в более широком условии физической реализуемости. Импульсная характеристика (ИХ)  $\lambda(l)$  фильтра, согласованного с непрерывным контуром, заданным в комплекснозначном виде, повторяет этот контур в обратном порядке с задержкой на  $L$ , составляющую длину контура. Это совпадает с результатами согласованной фильтрации вещественных

сигналов. Но при согласованной фильтрации непрерывного контура ИХ фильтра является еще и комплексно сопряженной копией этого контура.

Рассмотрены вопросы распознавания видеоизображений объектов заданной формы, в системах передачи телевизионных изображений, на основе анализа их контуров. Структура распознающего устройства, на вход которого подаётся зашумленный контур из некоторого алфавита объемом  $M$  классов, представляет собой многоканальную по числу классов систему. В каждом канале находится фильтр, согласованный с эталонным контуром соответствующего класса, и экстремальное устройство, вырабатывающее мгновенное значение с максимальным модулем. Далее отмечается канал, модуль мгновенного значения на выходе которого превышает модули выходных сигналов остальных каналов. Если величина максимального модуля больше порогового значения, то распознаваемый контур относится к классу, номер которого равен номеру канала.

На рис. 3 представлен результат выделения и распознавания видеоизображений объектов в виде окружности на основе согласованной фильтрации их контуров.

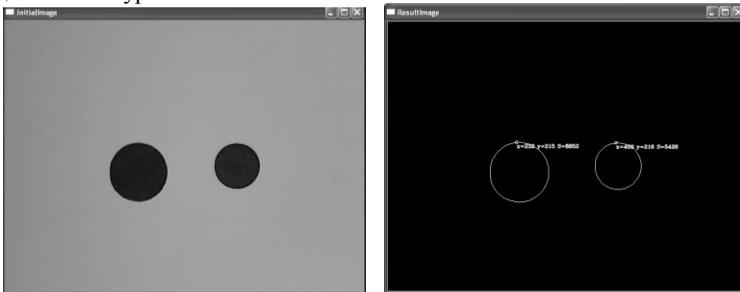


Рисунок 3 – Результат выделения и распознавания видеоизображений объектов

Исследовано влияние нелинейных искажений (изменение угла зрения) видеоизображения объекта в виде окружности на величину нормированного значения максимального отклика согласованного фильтра (рис. 4).

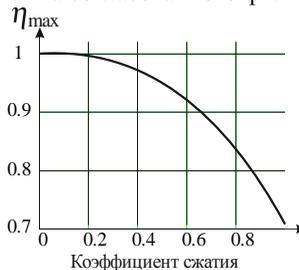


Рисунок 4 – Зависимость величины нормированного скалярного произведения от коэффициента сжатия видеоизображения объекта в виде окружности

**В четвертой главе** представлены разработанные алгоритмы, а также программное обеспечение, реализующее предложенную методику распознавания в системах передачи телевизионных изображений. В программном комплексе реализованы основные преобразования над непрерывными контурами, такие как масштабирование контура, поворот контура, сдвиг начальной точки, спектральный и корреляционный анализ непрерывных контуров. Получены характеристики распознавания контуров видеоизображений априори заданной формы.

Разработанные методы и алгоритмы применены для решения прикладных задач распознавания видеоизображений заданной формы в системах видеоконтроля и телемедицине. Произведено исследование части керамической поверхности подложки микросхемы размерами 3x3 мкм., полученное с помощью зондового микроскопа Интегра-Прима (рис. 5). Результаты исследования позволяют найти дефекты поверхности и в дальнейшем выделить процессы и явления, устранение которых способно обеспечить максимальную эффективность в плане уменьшения числа видов брака при производстве корпусов микросхем.

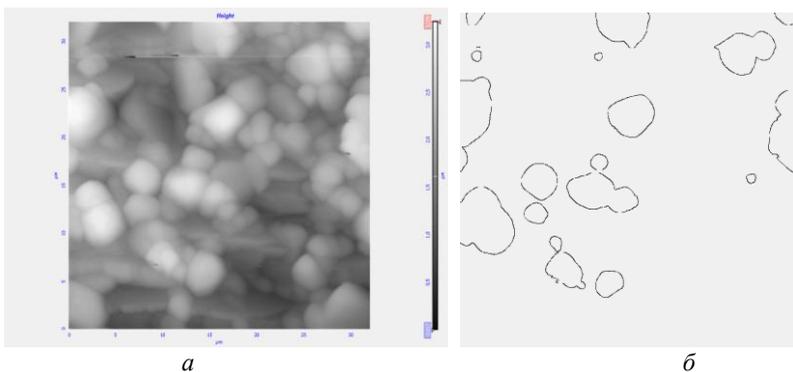


Рисунок 5 – Видеоизображение части керамической поверхности подложки микросхемы размерами 3x3 мкм., полученное с помощью зондового микроскопа Интегра-Прима (а) и результат выделения возвышенных участков на нём (б)

В системах телемедицины, с помощью аппарата контурного анализа решалась проблема автоматизации оценки комплекса параметров клеток для диагностических и лечебных задач в цитологии. На рис. 6 представлено телевизионное изображение эритроцитов при различных патологиях, результат выделения их контуров. Анализ формы контура эритроцита позволяет автоматизировано диагностировать заболевание пациента.

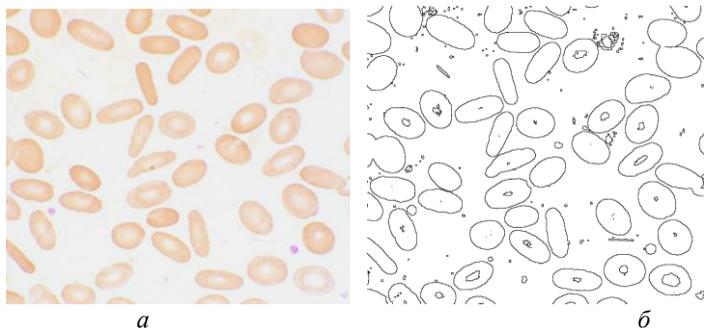


Рисунок 6 – Видеоизображение эритроцитов при патологии (а) и результат выделения их контуров (б)

На рис. 7 приведены графики зависимости вероятности правильного распознавания  $P_{np}$  видеоизображений объектов с заданной формой в виде окружности на основе анализа их контуров представленной в виде непрерывной линии (сплошной) и дискретной (пунктирной) от отношения сигнал/шум  $q$  при объемах алфавита  $M = 5, 10$  и  $15$

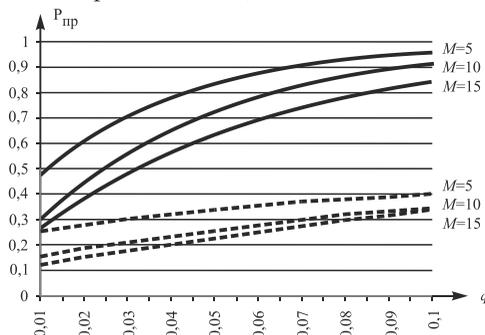


Рисунок 7 – Вероятность правильного распознавания видеоизображений объектов в виде окружности при объемах алфавита  $M = 5, 10$  и  $15$

Снижение вероятности  $P_{np}$  при распознавании зашумленных непрерывных контуров видеоизображений, связанное с увеличением количества  $M$  классов, объясняется возрастанием количества параллельно работающих каналов, для каждого из которых может быть принято ошибочное решение о распознавании.

Получено, что использование величины максимального отклика согласованного фильтра в качестве меры схожести, позволяет уверенно различать видеоизображения объектов заданных в виде окружности от изображений посторонних объектов (рис. 8).



Рисунок 8 – Поиск объектов на сцене видеоизображения с посторонними объектами: слева – исходная сцена; справа – обнаруженные объекты интереса

На рис. 9 приведены графики зависимости вероятности правильного распознавания  $P_{np}$  видеоизображений объектов с заданной формой в виде окружности от отношения сигнал/шум  $q$ . При этом контуры были заданы в дискретном виде с размерностями  $s = 5, 10$  и  $20$ , а также в виде непрерывной линии.

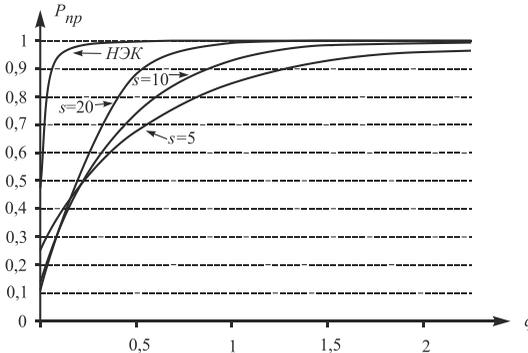


Рисунок 9 – Вероятность правильного распознавания видеоизображений объектов с заданной формой в виде окружности при размерности  $s = 5, 10$  и  $20$

По результатам исследований выработаны рекомендации по параметру дискретизации контуров видеоизображений объектов с заданной формой в виде окружности. В таблице представлено минимально допустимое количество элементов контура объекта для обеспечения заданного качества распознавания при фиксированном значении отношения сигнал/шум  $q$ .

Таблица

$q = 0,25$						
$P_{np}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$s$	5	20	более 20	более 20	более 20	более 20
$q = 0,5$						
$P_{np}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$s$	5	5	10	20	более 20	более 20
$q = 1$						
$P_{np}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$s$	5	5	5	5	10	20

Проведён сравнительный анализ трудоемкости, выраженной в количестве элементарных операций умножения и сложения, процесса распознавания контуров изображений заданной формы на основе предложенной в диссертационной работе методики и корреляционно-экстремального метода. Показано, что при размере изображения  $300 \times 300$  пикселей, требуемый объем вычислительных затрат составил  $3,7 \cdot 10^5$ , в то время как при использовании корреляционно-экстремального метода составил  $3,4 \cdot 10^7$ . Применение предложенного метода будет актуально в радиотехнических системах реального времени, требующие ограниченное время на принятие решения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты.

1. Разработана, на базе контурного анализа, методика линейной фильтрации видеоизображений объектов, заданных в виде непрерывных контуров с априори известной формой, в системах передачи телевизионных изображений при наличии помех. Показано, что модуль нормированного выходного отчета КСФ инвариантен к линейным преобразованиям фильтруемого контура и достигает максимального значения, равного единице, лишь при прохождении через фильтр согласованного с ним контура видеоизображения объекта.

2. Разработаны алгоритмы обработки и распознавания видеоизображений объектов с априори известной формой с применением элементов контурного анализа в телевизионных системах передачи изображений при наличии помех. Предложенные алгоритмы были применены в системе телемедицины – в диагностических задачах цитологии, системе видеоконтроля – решение задачи дефектоскопии керамической поверхности при производстве корпусов микросхем.

3. Произведен анализ эффективности вероятности правильного распознавания  $P_{np}$  видеоизображений объектов, заданных в виде непрерывного контура при обработке телевизионных изображений. Показано, что снижение вероятности  $P_{np}$  при распознавании, связанное с увеличением количества  $M$  классов, объясняется возрастанием количества параллельно работающих каналов, для каждого из которых может быть принято ошибочное решение. Так при отношении сигнал/шум  $q = 0,045$  увеличение количества классов  $M$  с 5 до 15 ведет к снижению вероятности правильного распознавания  $P_{np}$  с 0,8 до 0,6. Были получены характеристики распознавания непрерывных контуров видеоизображений в системах передачи телевизионных изображений при наличии помех, характеризующие эффективность распознавания.

4. Получены зависимости вероятности правильного распознавания  $P_{np}$  от отношения сигнал/шум  $q$  для контуров, полученных путем дискретизации непрерывного элементарного контура.

Показано, что представление контуров в виде непрерывной линии позволяет значительно увеличить вероятность правильного распознавания. Так при отношении сигнал/шум  $q = 0,5$  вероятность правильного распознавания для непрерывного контура равна 1, а для дискретного контура, при  $s = 5$  равна 0,67. Разработаны рекомендации по дискретизации непрерывных контуров видеоизображений объектов с формой в виде окружности. Показано, что минимально допустимое количество элементов контура определяется требуемым качеством распознавания при заданном уровне отношения сигнал/шум.

5. Решены задачи спектрального и корреляционного анализа непрерывных контуров видеоизображений объектов. Показано, что спектр комплекснозначного сигнала, в отличие от спектра вещественного сигнала, в общем случае, не обладает свойством сопряженной симметрии. Получено, что при сжатии контура в спектрограмме появляется ярко выраженная вторая гармоника, причем, чем больше коэффициент сжатия, тем больше ее уровень.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Научные труды в журналах из перечня ВАК РФ:

1. Охотников, С.А. Линейная фильтрация непрерывных контуров изображений, заданных в комплекснозначном виде / С.А. Охотников, Р.Г. Хафизов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, №3, - С. 408-416.
2. Хафизов, Р.Г. Распознавание непрерывных комплекснозначных контуров изображений / Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников // Известия вузов. Приборостроение. – Санкт-Петербург, 2012. – №5, – С. 3-9.

3. Охотников, С.А. Дискретизация непрерывных контуров изображений, заданных в комплекснозначном виде / С.А. Охотников, Р.Г. Хафизов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, №2, – С. 274-278.

4. Охотников, С.А. Алгоритм управления деревообработывающим станком на основе аппарата контурного анализа изображений / С.А. Охотников // Информационно-управляющие системы.– Санкт-Петербург, 2013. – №1 (62)/2013, – С. 11-15.

#### **Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:**

5. Охотников, С.А. Программный комплекс для исследования непрерывных контуров изображений / С.А. Охотников, Р.Г. Хафизов, Ю.Е. Гарипова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611737, РОСПАТЕНТ, 3.03.2010.

6. Хафизов, Р.Г. Визуализация трехмерного изображения на базе анализа проекций непрерывных контуров / Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619044, РОСПАТЕНТ, 05.10.2012 г.

#### **Статьи и материалы конференций:**

7. Okhotnikov, S.A. The software for processing continuous complex-valued signals defining the form of flat images / S.A. Okhotnikov // 8<sup>th</sup> International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-8-2007). Conference Proceedings. – Yoshkar-Ola, 2007. – P. 279.

8. Охотников, С.А. Анализ непрерывных комплекснозначных сигналов, задающих контуры изображений плоских объектов / С.А. Охотников, А.А. Баев // Тезисы докладов Тринадцатой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». – М.: МЭИ, 2007. – Т. 1. – С. 103.

9. Хафизов, Р.Г. Применение стереографической проекции для решения задач распознавания контуров изображений / Р.Г. Хафизов, Д.Г. Хафизов, С.А. Охотников // Вестник Марийского государственного технического университета. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – Йошкар-Ола, 2009. – №3, – С. 36-42.

10. Хафизов, Р.Г. Применение непрерывных контуров заданных в комплекснозначном виде для обработки медицинских изображений / Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников // Сборник докладов XXIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (БИОМЕДСИСТЕМЫ-2010). – Рязань, 2010. – С. 285-288.

11. Okhotnikov, S.A. Matched filtering of continuous contour of image / S.A. Okhotnikov, R.G. Khafizov // 10<sup>th</sup> International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-10-2010). Conference Proceedings. – St. Petersburg, 2010. – Vol. 1. – P. 309-312.

12. Охотников, С.А. Аппаратно-программный комплекс для решения задач дефектоскопии пилотматериалов на основе контурного анализа / С.А. Охотников // Сборник материалов Всероссийской научно-практической

конференции с международным участием «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе». – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет: в 2 ч.– Ч.1. – 2011. – С. 102-107.

13. Хафизов, Р.Г. Обработка изображений в системе информационной поддержки при проведении трансуретальной резекции предстательной железы / Р.Г. Хафизов, Ю.Е. Третьякова, С.А. Охотников // Сборник научных статей «Медицинские приборы и технологии». – ТулГУ, 2009. – С. 60-64.

14. Охотников, С.А. Исследование влияния дискретизации на качество различения контуров изображений / С.А. Охотников, Р.Г. Хафизов // Сборник материалов X международной научно-технической конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации» (Распознавание - 2012). – Курск, 2012. – С. 48-50.

15. Хафизов, Р.Г. Методы и средства обработки непрерывных контуров изображений / Р.Г. Хафизов, Д.Г. Хафизов, С.А. Охотников – Марийский госуд. техн. унив-т. Йошкар-Ола, 2011.– 167 с. –Деп. в ВИНТИ 27.05.2011 № 254-В2011.

16. Охотников, С.А. Реализация алгоритмов обработки непрерывных контуров изображений / С.А. Охотников, Р.Г. Хафизов // Сборник материалов XI международной научно-технической конференции «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации» (Распознавание - 2013). – Курск, 2013. – С. 414-416.

Подписано в печать 22.04.2014. Формат 60x84 1/16.  
Печатных листов 1,0. Тираж 110 экз. Заказ 132  
Поволжский государственный технологический университет,  
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Редакционно-издательский центр  
Поволжского государственного технологического университета,  
424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17