

На правах рукописи



БРЯНЦЕВ Андрей Анатольевич

АЛГОРИТМЫ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ
В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕРКОНОВ И ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Специальность: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка
информации (технические системы)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2009

Работа выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете на кафедре автоматики и информационных технологий в управлении.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Бехтин Юрий Станиславович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Еремеев Виктор Владимирович

доктор технических наук, профессор
Титов Виталий Семенович

Ведущее предприятие: ЗАО МНИТИ, г. Москва

Защита состоится «11» февраля 2009 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 при ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (390005, г.Рязань, ул.Гагарина, 59/1) в аудитории 235.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

канд.тех.наук, доцент



Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современное отечественное производство металлокерамических изделий характеризуется значительной долей ручного труда, обуславливающего высокий процент брака. Кроме того, визуальный контроль качества выпускаемых изделий человеком-оператором отличается субъективизмом и малой производительностью, что также снижает эффективность производства.

Для автоматизации процесса контроля качества изготовления металлокерамических изделий целесообразно разрабатывать новые или модифицировать известные системы компьютерной обработки информации на базе систем технического зрения (СТЗ) с учетом особенностей металлокерамического производства. Точность оценок параметров изделий зависит от качества обрабатываемых изображений, формируемых в СТЗ в условиях запыленности, вибрации работающих механизмов, недостаточной освещенности и т.п. Так, например, если для изображения контакт-детали геркона отношение сигнал-шум снижается до 22 дБ, то погрешность определения его геометрических параметров может составлять 0,5 мм, тогда как минимальная требуемая точность должна быть не менее $\pm 0,15$ мм (согласно технологической выписке к/д №8-1 для изделия КЭМ-2 СЯ 7.730.002 Штамп-Ш-557). Воздействия производственных факторов, в частности взвешенной пыли, проявляются на изображениях в виде мультипликативного шума с единичным средним, имеющим, в общем случае, распределение, не совпадающее с нормальным. Кроме того, формируемые в СТЗ изображения имеют большой объем, их требуется передавать, хранить для отчетной статистики, дополнительных исследований и т.п. Применяемые в известных СТЗ методы и алгоритмы цифровой обработки зашумленных изображений эффективны для аддитивного гауссовского шума, а операции фильтрации и компрессии проводятся, как правило, раздельно во времени, что приводит к замедлению ритма производства. Таким образом, актуальной становится задача разработки методов, алгоритмов, технических и программных средств анализа зашумленных изображений для систем компьютерной обработки информации на базе СТЗ, ориентированных на использование в производстве металлокерамических изделий.

Диссертационная работа выполнена в рамках госбюджетных НИР по автоматизации производства промышленных предприятий г.Рязани, проведенных на кафедре автоматики и информационных технологий в управлении Рязанского государственного радиотехнического университета в 2004 – 2008 гг.

Степень разработанности темы. Несмотря на относительно подробную освещенность вопросов бесконтактного (неразрушающего) контроля качества изделий в многочисленной литературе, технические решения для металлокерамического производства практически не встречаются. Известные варианты систем компьютерной обработки информации на базе СТЗ не могут без модификаций использоваться при производстве герконов и генераторно-

модуляторных ламп из-за специфики шумов в изображениях контролируемых изделий.

Эффективным решением задачи анализа и обработки зашумленных изображений на металлокерамическом производстве является применение вейвлет-преобразования, где фильтрация и компрессия осуществляются с помощью одной и той же операции – пороговой обработки вейвлет-коэффициентов. Однако в большинстве известных публикаций зарубежных и отечественных авторов задачи фильтрации и сжатия решаются независимо, причем компрессия проводится преимущественно для неискаженных сигналов и изображений.

Известны работы О.-К.Снайх (*Al-Snaykh*), Р.Мерсеро (*Mercereau*), где проведено исследование вейвлет-кодексов EZW (Embedded Zero-Tree), SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Trees), JPEG2000 при сжатии искаженных аддитивным гауссовским шумом сигналов и изображений, введено понятие оптимальной рабочей точки (*optimal operation point*) – степени сжатия, на которой кодек обеспечивает наилучшее шумоподавление. В работах К.Егиязаряна (Финляндия), Н.Пономаренко, В.Лукина (Украина) используются фильтрация вейвлет-коэффициентов и различные свойства известных кодеков с учетом анализа кривых вида «степень сжатия – искажения». Однако такие методы эффективны для изображений конкретных классов, выбор кодека возлагается на пользователя. При этом отсутствуют данные при сжатии кодеками изображений, искаженных мультипликативным шумом. Другой аспект проблемы, который вообще не обсуждается в известных работах, связан с включением в процесс вейвлет-обработки зашумленных изображений текстурного анализа и сегментации, необходимых для обнаружения изделия и оценок его параметров. Наконец, отсутствуют данные по известным СТЗ, показывающие относительное повышение точности оценки параметров контролируемых изделий после фильтрации их зашумленных изображений (в том числе после вейвлет-обработки).

Таким образом, перспективным следует считать разработку таких методов, алгоритмов вейвлет-обработки зашумленных изображений контролируемых изделий, которые совмещают во времени текстурный анализ, сегментацию изображений, фильтрацию мультипликативных помех и компрессию данных.

Цель и задачи работы. Целью диссертации является разработка основанных на текстурном вейвлет-анализе методов, алгоритмов, технических и программных средств фильтрации и компрессии зашумленных изображений в системах компьютерной обработки информации, предназначенных для повышения эффективности существующих методов контроля качества изготовления герконов и генераторных ламп.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи.

1. Анализ производственных факторов для оценки их воздействия на визуальный контроль качества металлокерамических изделий, а также специфики формирования сигналов и помех (зашумленных изображений) при использовании известных СТЗ.

2. Исследование эффективности основных методов и алгоритмов цифровой обработки изображений, вейвлет-фильтрации и вейвлет-кодеков EZW, SPIHT, JPEG2000 при воздействии мультипликативных помех.

3. Разработка и исследование методов и алгоритмов текстурного анализа и сегментации зашумленного изображения, выделения объекта (детали), а также алгоритмов предварительной фильтрации и оценки параметров изделий на их основе.

4. Разработка и исследование алгоритмов фильтрации изображений при одновременном сжатии данных с применением текстурно-зависимой обработки вейвлет-коэффициентов, а также известных вейвлет-кодеков.

5. Разработка системы вейвлет-анализа и обработки изображений контакт-деталей герконов и генераторно-модуляторных ламп, а также ее алгоритмического и программного обеспечения с учетом специфики металлокерамического производства.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты.

1. Впервые предложен метод комбинированной фильтрации изображений, полученных на этапах штамповки контакт-деталей герконов, запаивания выводов геркона в стеклянную трубку, изготовления сеток, катодов и анодов генераторно-модуляторных ламп, позволяющий в зависимости от вида текстуры сегмента и закона распределения шума в нем применить оптимальный из заданного набора алгоритм фильтрации.

2. Разработан новый алгоритм предварительной текстурно-зависимой обработки изображений, получаемых на этапе штамповки контакт-деталей, на основе локальных коэффициентов вариации при использовании вейвлет-кодека SPIHT.

3. Разработан новый текстурно-зависимый алгоритм вейвлет-обработки и компрессии зашумленного изображения с использованием локальных коэффициентов вариации и оценок вейвлет-коэффициентов по максимуму апостериорной плотности вероятности на основе обобщенного распределения Гаусса.

4. Впервые в отечественной практике разработана система компьютерной обработки изображений контакт-деталей на этапе штамповки, позволяющая с помощью полученных алгоритмов вейвлет-анализа обрабатывать данные о контакт-деталях с высокой точностью и в реальном масштабе времени.

Практическая ценность работы. Впервые разработана система анализа и обработки информации на этапе штамповки контакт-деталей, ускоряющая процесс производства и уменьшающая долю ручного труда. Предложенные технические решения позволяют проводить автоматизацию различных этапов металлокерамического производства.

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение системы анализа и обработки данных о контакт-деталях эффективно подавляет мультипликативный шум в изображениях в процессе их компрессии, что обеспечивает значительный выигрыш во времени и точности оценки геометрических параметров изделий по сравнению с известными методами

визуального (субъективного) контроля. Предложенные методы и алгоритмы вейвлет-анализа и обработки зашумленных изображений могут быть относительно легко адаптированы для использования в других приложениях.

Методы исследований и достоверность результатов. В работе использованы методы цифровой обработки изображений, элементы теории вероятностей, вейвлет-преобразования и математической статистики. Достоверность результатов и выводов диссертации подтверждается результатами статистического моделирования на ЭВМ, экспериментальными исследованиями разработанной системы компьютерной обработки изображений контакт-деталей на этапе штамповки, соответствующими актами внедрения и протоколами испытаний.

Реализация результатов. Предложенные в диссертации методы, алгоритмы, технические и программные решения были реализованы при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (НИР 2-06Г, 35-06Г, 7-06Г) и ООО «Инновационный центр при РГРТУ» (НИР 5427р/7953, 4564р/6890). Результаты диссертации внедрены на предприятиях ООО НПП «Фон», ОАО «Рязанский завод металлокерамических приборов (РЗМКП)».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: 8-й международной научно-технической конференции (МНТК) «Цифровая обработка сигналов и её применение», г. Москва – 2006; 13-й, 15-й МНТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций», г. Рязань – 2005, 2008; 7-й, 8-й МНТК «Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации», г. Курск – 2005, 2008; 11-й всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании», г. Рязань – 2006; 5-й МНТК «К.Э.Циолковский – 150 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика», г. Рязань – 2007; Всероссийской конференции победителей конкурсного отбора инновационных проектов лучших научно-технических коллективов молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Москва – 2006; 2-й международной научно-практической конференции «Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе», г. Рязань – 2008.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, включая 4 статьи, 3 из которых – в журналах, рекомендованных ВАК, 9 тезисов в материалах научных конференций и 1 патент на способ и устройство.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (77 источников), приложения, изложенных на 147 страницах, содержит 51 рисунок и 10 таблиц.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Метод комбинированной пространственной фильтрации изображений, искаженных мультипликативным шумом, позволяющий в зависимости от вида текстуры и закона распределения шума применить оптимальный из заданного набора алгоритм фильтрации.

2. Алгоритм текстурно-зависимой предварительной обработки зашумленных изображений с использованием локальных коэффициентов вариации на основе вейвлет-кодека SPIHT.

3. Алгоритм предварительной текстурно-зависимой компрессии зашумленного изображения с использованием локальных коэффициентов вариации и оценок вейвлет-коэффициентов по максимуму апостериорной плотности вероятности на основе обобщенного распределения Гаусса.

4. Система компьютерной обработки зашумленных изображений контакт-деталей, позволяющая с помощью разработанных алгоритмов вейвлет-анализа получать оценки параметров изделий с заданной точностью в реальном масштабе времени.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ производственных факторов для оценки их воздействия на визуальный контроль качества металлокерамических изделий; выявлен мультипликативный характер искажений в изображениях изделий на всех этапах производства, а также сделана оценка использования известных СТЗ в металлокерамическом производстве.

Приводится краткий обзор промышленных СТЗ, которые могут быть применены в металлокерамическом производстве. По результатам обзора выявлена обобщенная функциональная схема СТЗ, состоящая из четырех основных элементов: видеодатчика, системы освещения, ЭВМ и исполнительного механизма.

Проведено исследование производственных факторов, влияющих на эффективность визуального контроля качества изделий. Выявлено, что на этапах штамповки контакт-деталей герконов, запаивания выводов геркона в стеклянную трубку, изготовления сеток, катодов и анодов генераторно-модуляторных ламп имеются взвешенные частицы пыли, недостаточная освещенность, вибрации от работающих механизмов и т.п. Такие производственные факторы приводят к появлению как мультипликативных, так и аддитивных шумов на изображениях, формируемых с помощью видеодатчиков. Путем статистической обработки реальных изображений выявлено, что мультипликативный шум превалирует над аддитивным, в результате чего в рассмотрение вводится модель:

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

где Y – наблюдаемое изображение (кадр, снимаемый с выхода видеодатчика), X – неизвестный оригинал (неискаженный кадр), содержащий объект контроля (изделие), Z – мультипликативный шум с единичным средним. Случайные переменные X и Z считаются независимыми. Проведенный анализ помех показал, что в зависимости от вида текстуры сегментов изображения (однородная, гетерогенная, контуры объекта) шум имеет экспоненциальное, лог-нормальное и гамма-распределения.

Ставится задача разработки методов, алгоритмов, технических и программных средств вейвлет-анализа данных зашумленных изображений металлокерамических изделий в системах компьютерной обработки информации.

Вторая глава посвящена решению задачи фильтрации изображений, искаженных мультипликативным шумом; проведен сравнительный анализ методов пространственной фильтрации изображений и разработаны методы и алгоритмы текстурной обработки, сегментации и комбинированной фильтрации зашумленных изображений.

На основе статистического моделирования произведено сравнение методов пространственной фильтрации изображений, искаженных мультипликативным шумом с экспоненциальным, лог-нормальным и гамма-распределениями. Оценка эффективности методов проводилась по ряду объективных критериев, в частности по среднеквадратическому отклонению (СКО) и пиковому отношению сигнал-шум (ПОСШ). На рис.1 представлена зависимость ПОСШ от интенсивности мультипликативного шума с экспоненциальным законом распределения и единичным средним для различных пространственных фильтров и пороговой вейвлет-обработки. Из рис.1 видно, что из-за отсутствия явного преимущества какого-либо фильтра перед другими целесообразным представляется использование набора фильтров.

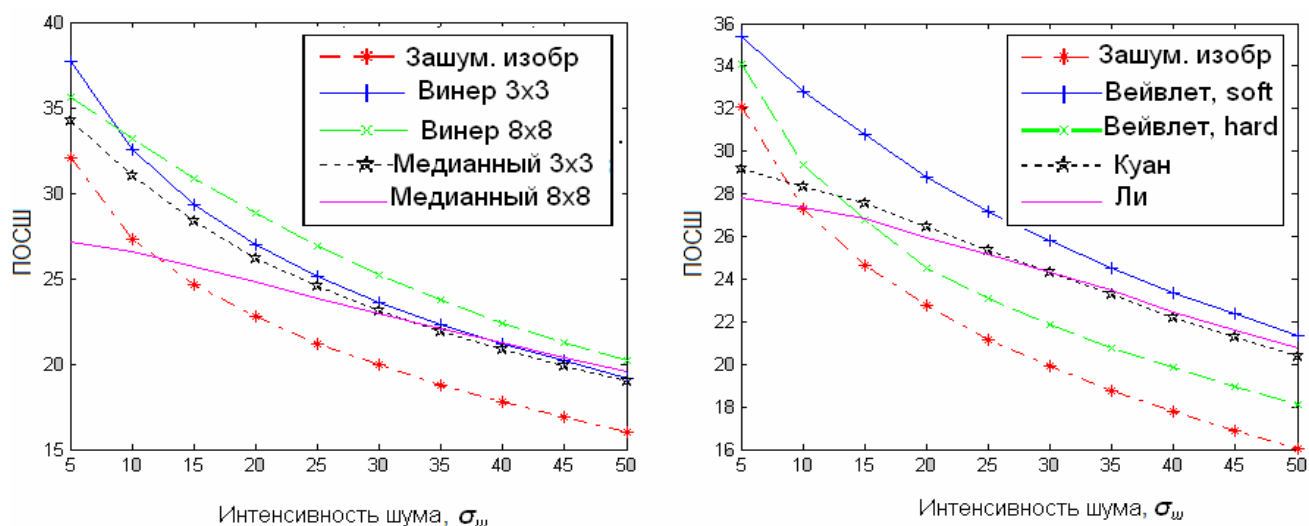


Рис.1. Зависимости пикового отношения сигнал-шум от интенсивности шума для различных фильтров

Отмечается, что одним из эффективных методов текстурного анализа модели (1) является применение коэффициентов вариации, используемых как

индикаторы однородности текстуры сегмента и вычисляемых в пределах некоторого окна вокруг наблюдаемого пикселя:

$$C_Y = \sigma_Y / \mu_Y, \quad C_X = \sigma_X / \mu_X, \quad C_Z = \sigma_Z / \mu_Z, \quad (2)$$

где $C_{(\dots)}$ – коэффициенты вариации, вычисляемые через оценки математических ожиданий $\mu_{(\dots)}$ и дисперсий $\sigma_{(\dots)}^2$ в пределах заданных окон.

Сравнение оценок коэффициентов вариации $\hat{C}_X$ и $\hat{C}_Z$ позволяет различать несколько ситуаций, возникающих при анализе зашумленного изображения, и, следовательно, проводить его обработку по следующему принципу:

$$\hat{x} = \begin{cases} f(y), & \text{если } \hat{C}_Z < \hat{C}_Y < C_{\max} (C_X \approx C_Y), \\ \mu_Y = \bar{y}, & \text{если } \hat{C}_Y \leq \hat{C}_Z (C_X = 0), \end{cases} \quad (3)$$

где $C_{\max} = \max\{\hat{C}_Z\}$.

Если $\hat{C}_Y \leq \hat{C}_Z (C_X = 0)$, то наблюдается однородная текстура; для фильтрации используется усредняющий фильтр. Случай $\hat{C}_Z < \hat{C}_Y < C_{\max} (C_X \approx C_Y)$ соответствует неоднородной текстуре; для фильтрации используется алгоритм вейвлет-обработки $f(y)$, который базируется на «мягкой» пороговой обработке вейвлет-коэффициентов (*soft thresholding*). Величина порога принималась равной $t = \hat{\sigma} \sqrt{\log(A)}$, где $\hat{\sigma}^2$ – оценка дисперсии шума, A – число точек изображения. Особенностью предлагаемого метода классификации точек изображения является итерационный характер поиска точек для однородных текстур. Чтобы уменьшить число ошибок классификации, предлагается на каждой последующей итерации увеличить окно для расчета коэффициентов вариации для сигнала, а окно для расчета коэффициента вариации для шума оставить без изменения. Результаты моделирования выявили быструю сходимость метода (2-3 итерации).

Полученные путем статистического моделирования результаты (рис.2) показывают, что разработанный алгоритм обеспечивает лучшее подавление шума по СКО и ПОСШ при сохранении резкости контуров деталей и перепадов яркостей изображения по сравнению с алгоритмами без предварительной текстурной сегментации.

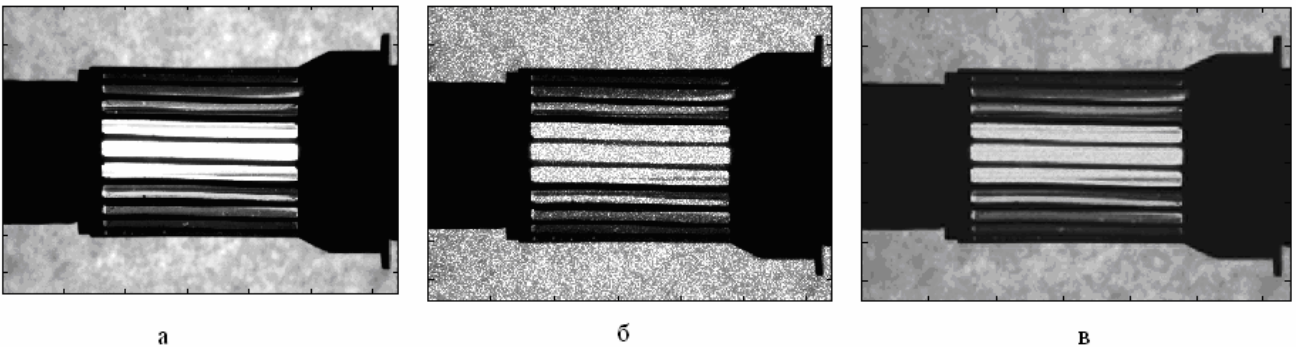


Рис.2. Результаты статистического моделирования: а – неискаженное изображение; б – зашумленное изображение, мультипликативный экспоненциальный шум, $\sigma_{ш}=35$; в – изображение, обработанное предложенным алгоритмом.

Отмечается, что в сегментах с различной текстурой мягкая пороговая обработка вейвлет-коэффициентов не всегда гарантирует минимум СКО или максимум ПОСШ. Поэтому в работе предлагается метод комбинированной пространственной фильтрации зашумленных изображений, основанный на анализе текстуры изображения по коэффициентам вариации и оценивании параметров найденного закона распределения шума в сегменте по критерию χ^2 . Составлена база данных, содержащая числовые параметры алгоритмов фильтрации для различных комбинаций текстур и законов распределения мультипликативного шума. Проведенные исследования показывают, что комбинированный метод пространственной фильтрации обеспечивает эффективное подавление шума по критериям СКО и ПОСШ по сравнению с применением одного фильтра для всего изображения (табл. 1).

Таблица 1

Изображение:	СКО	ПОСШ, дБ
зашумленное	21,25	20,75
фильтр Винера	13,34	25,58
вейвлет-преобразование	11,93	27,5
комбинированная фильтрация	8,1	33,41

Третья глава посвящена решению задачи фильтрации при одновременной компрессии зашумленных изображений на основе вейвлет-преобразования; проводится сравнительный анализ методов компрессии изображений; предлагается алгоритм текстурно-зависимой предварительной обработки зашумленных изображений на основе локальных коэффициентов вариации при использовании вейвлет-кодека SPIHT; предлагается алгоритм предварительной текстурно-зависимой обработки вейвлет-коэффициентов с использованием оценок по максимуму апостериорной плотности вероятности на основе обобщенного распределения Гаусса.

Путем статистического моделирования произведено сравнение вейвлет-кодеков EZW, JPEG2000, SPIHT и алгоритма JPEG. Выявлено, что, как и в случае аддитивного шума, все кодеки имеют оптимальную рабочую точку, то есть степень сжатия (скорость кодирования), при которой происходит наилучшее шумоподавление. Все вейвлет-кодеки выигрывают по ПОСШ перед JPEG, а из вейвлет-кодеков наилучшие результаты на низких скоростях кодирования (менее 1 бит/пиксель) демонстрирует алгоритм SPIHT.

В работе разработан алгоритм вейвлет-сжатия зашумленных изображений на базе SPIHT с использованием данных, полученных на этапе предварительной текстурной сегментации. Вначале в результате работы алгоритма текстурной сегментации формируются два множества точек: обработанное операцией усреднения множество точек из участков с однородной текстурой A_U ; множество точек из участков с неоднородной текстурой A_N . После операции усреднения точки из множества A_U с однородной текстурой считаются условно-неискаженными. В результате получаются два множества точек: множество

условно-неискаженных данных A_C и множество зашумленных данных A_N ; при этом $A = A_C \cup A_N$, где A – множество всех точек изображения.

Алгоритм работы кодера. Главная идея заключается в сохранении полученных оценок условно-неискаженных точек неизменными на всех стадиях кодирования и восстановления зашумленного изображения.

1. Формируется модифицированное входное изображение $\tilde{Y}$.
2. Формируется матрица P (карта), состоящая из нулей и единиц, показывающая расположение (координаты) условно-неискаженных точек на модифицированном изображении $\tilde{Y}$ (например, единицы – для условно-неискаженных данных).
3. Вычисляется $\tilde{Y}_{\log} = \log \tilde{Y}$.
4. Выполняется J -уровневое вейвлет-преобразование над $\tilde{Y}_{\log}$.
5. Формируется первый поток данных, состоящий из вейвлет-коэффициентов $W_{\tilde{Y}}^{[j]}$, $j = \overline{1, J}$, который направляется к кодеру SPIHT.
6. Формируется второй поток данных, состоящий из матрицы P , который направляется к кодеру.

Алгоритм работы декодера. Для восстановления изображения и его фильтрации декодер выполняет следующие операции.

1. Выполняется обратное вейвлет-преобразование над $W_{\tilde{Y}}^{[j]}$, формируется $\tilde{Y}_{\log}$.
2. Вычисляется $\tilde{Y} = \exp(\tilde{Y}_{\log})$.
3. Восстанавливается матрица P .
4. Вычисляется оценка порога t для вейвлет-коэффициентов.
5. Производится операция «мягкого» порогового отсечения (*soft thresholding*) вейвлет-коэффициентов, в результате формируется оценка $W_{\hat{X}}^{[j]}$, $j = \overline{1, J}$.
6. Выполняется обратное вейвлет-преобразование над $W_{\hat{X}}^{[j]}$, $j = \overline{1, J}$, в результате получается оценка логарифмированного обработанного изображения $\hat{X}_{\log}^{(1)}$.
7. Вычисляется оценка $\hat{X}_1 = \exp(\hat{X}_{\log}^{(1)})$.
8. Вычисляется оценка $\hat{X} = \tilde{Y} \cdot P + \hat{X}_1 \cdot \bar{P}$, где $\bar{P} = I - P$, I – единичная матрица.

Особенностями работы алгоритмов кодера и декодера являются: формирование расширенного потока (потоков) данных, направляемых к кодеру; поскольку матрица P состоит из нулей и единиц и эффективно сжимается алгоритмом Хаффмана, то увеличение общего объема данных незначительно; дополнительное подавление шума в точках из неоднородных областей происходит в декодере, ускоряя тем самым процесс передачи.

Результаты статистического моделирования показывают, что по критериям СКО и ПОСШ разработанный алгоритм дает лучшие результаты по сравнению с SPIHT-алгоритмом в среднем на 2-3 дБ. Визуально разработанный алгоритм обеспечивает лучшее сохранение контуров объектов, содержит меньшее число артефактов, характерных для SPIHT-кодирования при низких скоростях.

В работе разработан алгоритм вейвлет-сжатия зашумленных изображений с текстурной сегментацией на уровне вейвлет-преобразования. Основная идея алгоритма состоит в том, что этап текстурной сегментации переносится непосредственно на стадию вейвлет-преобразования.

На уровне вейвлет-преобразования коэффициент вариации для оригинала имеет вид:

$$C_X^2 = \frac{C_{W_Y}^2 - C_{W_Z}^2}{K_2^{[j]}(1 + C_Z^2)}, \quad (4)$$

где $K_n^{[j]} = \sum_k \sum_l (\tilde{H}_k \tilde{G}_l)^n$, $\tilde{H}_k = h_k^j$; $\tilde{G}_l = g_l^{[j-1]} h_l^{j-1}$, здесь h_k^j и $g_l^{[j]}$ – весовые функции банка фильтров (базиса), k и l определяют окрестность вокруг наблюдаемого пикселя, причем $C_{W_Y} = \sigma_{W_Y} / \mu_Y$ и $C_{W_Z} = \sqrt{K_2^{[j]}} C_Z$, j – текущий уровень быстрого вейвлет-преобразования. Аналогично (3) множество всех вейвлет-коэффициентов разбивается на два подмножества: $\hat{w}_X = f(w_Y)$ для неоднородных и $\hat{w}_X = 0$ для однородных текстур. Восстановленное изображение $\hat{X}$ получается в результате обратного вейвлет-преобразования над квантованными коэффициентами $\hat{w}_X$.

Отмечается, что для изображений, получаемых с помощью видеодатчиков системы контроля качества металлокерамических изделий, вейвлет-коэффициенты высокочастотных (ВЧ) субполос имеют симметричные гистограммы. Тогда для вычисления оценки $\hat{w}_X$ представляется целесообразным использовать обобщенное распределение Гаусса:

$$f_X(x) = B(\beta, \sigma) \exp\left\{-\left(G(\beta, \sigma)|x|\right)^\beta\right\}, \quad (5)$$

где $-\infty < x < +\infty$, $\beta > 0$, σ^2 – дисперсия, β – параметр, определяющий эксцесс для кривой распределения, здесь

$$B(\beta, \sigma) = \frac{\beta \cdot G(\beta, \sigma)}{2\Gamma(1/\beta)}, \quad G(\beta, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \left[\frac{\Gamma(3/\beta)}{\Gamma(1/\beta)} \right]^{1/2}. \quad (6)$$

Оценка $\hat{w}_X$ определяется через численное решение уравнения:

$$\beta_\Xi G_\Xi |w_Y - w_X|^{\beta_\Xi - 1} + \beta_X G_X |w_X|^{\beta_X - 1} = 0, \quad (7)$$

где параметр β вычисляется через численное решение уравнения:

$$\frac{\mu_{2,W}}{\sqrt{\mu_{4,W}}} = \frac{\Gamma(3/\beta)}{\sqrt{\Gamma(1/\beta)\Gamma(5/\beta)}}. \quad (8)$$

В процессе выполнения Q уровней декомпозиции для каждой субполосы вычисляются дисперсии вейвлет-коэффициентов; на их основе выполняется распределение квоты бит R_C по субполосам:

$$b_j = \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{2 \ln 2 \sigma_W^{[j]2}}{\tilde{\lambda}} \right), \quad (9)$$

где $\tilde{\lambda}$ – множитель Лагранжа, вычисляемый как:

$$\log_2 \tilde{\lambda} = \sum_{j=1}^J \alpha_j \log_2 (2 \ln 2 \sigma_w^{[j]2}) - 2R_C, \quad (10)$$

здесь α_j , $\alpha_j = N_j / N$, – относительный размер субполосы, N_j – число бит в j -й субполосе, N – общее число бит изображения.

Если распределение квоты бит содержит отрицательные значения b_j для некоторых субполос, то в первую очередь обнуляются все те вейвлет-коэффициенты этих субполос, которые имеют родителей из сегмента однородной текстуры (то есть нулевых вейвлет-коэффициентов верхнего уровня в данном дереве).

Результаты исследований разработанного алгоритма показывают его превосходство по некоторым объективным и субъективным критериям (рис.3) по сравнению с другими алгоритмами, в частности над SPIHT-алгоритмом по ПОСШ на 3-5 дБ.

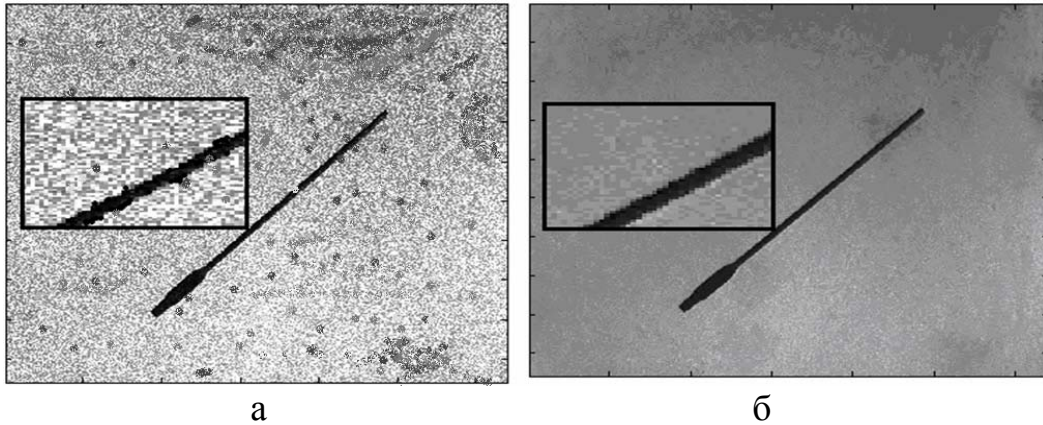


Рис.3. Результат применения разработанного алгоритма: а – зашумленное изображение контакт-детали; б – изображение, обработанное предложенным методом, 0,2 бит/пиксель

В четвертой главе на основе полученных методов и алгоритмов вейвлет-анализа, позволяющих уменьшить объем изображений и снизить влияние производственных условий на их качество, разработана система компьютерной обработки изображений контакт-деталей герконов на этапе штамповки.

Работа системы анализа и обработки изображений металлокерамических изделий для контроля размеров иллюстрируется структурной схемой (рис. 4). С видеодатчика на блок «Обнаружение заготовки» поступает цифровое изображение, где происходит текстурный анализ изображения для обнаружения объекта (детали). В случае отсутствия объекта через интерфейс пользователя подается сигнал оператору. При наличии объекта цифровое изображение поступает на блок «Предварительная обработка», где осуществляются фильтрация и компрессия изображения. С выхода блока «Предварительная обработка» отфильтрованное изображение поступает в блок «Выделение заготовки» для выделения контура объекта с последующей нормализацией. Под

нормализацией в работе понимается поворот изображения детали на требуемый угол для приведения в горизонтальное положение. Затем нормализованное изображение объекта поступает на блок «Измерение размеров», где происходит измерение контролируемых геометрических параметров заготовки (размеров). В блоке «Принятие решения» происходит сравнение полученных оценок параметров заготовки с требуемыми. Если оценка параметра не соответствует требуемому значению, то через интерфейс пользователя выдается соответствующее сообщение оператору. Одновременно формируется управляющий сигнал, поступающий на блок «Механизм отбраковки», который удаляет деталь с линии производства. Если размеры заготовки удовлетворяют заданным, то формируется управляющий сигнал, поступающий на блок «Механизм подачи изделия», который подает следующее изделие на контроль геометрических параметров. Интерфейс пользователя позволяет оператору производить настройки системы, получать отчет о состоянии, а также контролировать все этапы контроля размеров.

Разработанная система (рис.5) включает в себя платформу 5 для измерения параметров изделия 1, цифровую видеокамеру с объективом 2, ЭВМ 3, виброустановку 4, источник света 6. Технические характеристики оборудования, используемого в системе, приведены в табл.2.

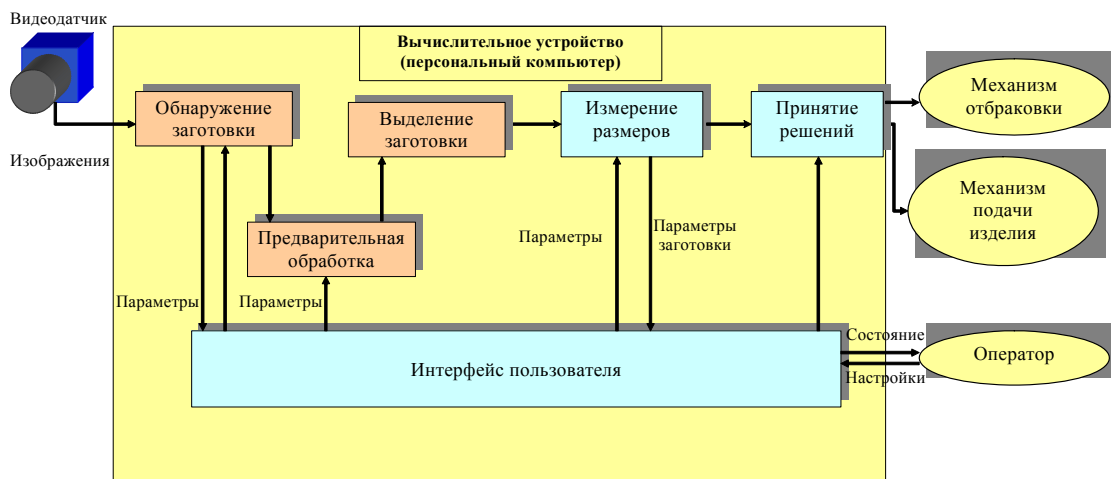


Рис. 4. Структурная схема системы анализа и обработки изображений металлокерамических изделий для контроля размеров

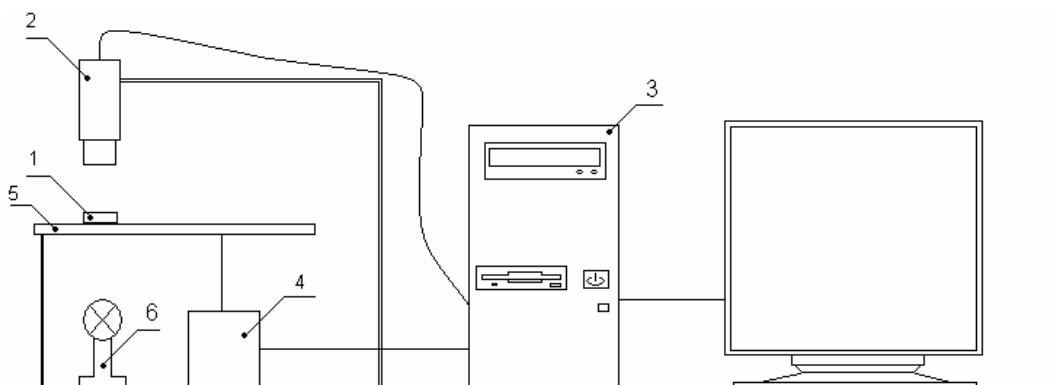


Рис. 5. Внешний вид экспериментального образца системы анализа и обработки изображений контактных деталей герконов на этапе штамповки

Контролируемое изделие размещается на платформе, где производится его видеосъемка. В ЭВМ осуществляется предварительная обработка изображения с целью фильтрации, компрессии и обнаружения изделия на основе разработанных в гл. 2, 3 алгоритмов. После выделения контура изделия с помощью алгоритма текстурного анализа и его нормализации производится сравнение контура изделия с контуром эталона для определения типа изделия. Под воздействием колебаний платформы с помощью виброустановки изделие меняет свой ракурс относительно видеодатчика. Изображения анализируются на наличие среди них того изображения, где изделие представлено с необходимым для вычисления размеров ракурсом. К данному изображению снова применяются алгоритмы предварительной обработки и вычисляются оставшиеся размеры. По полученным результатам проводится сравнение с эталонными размерами и принимается решение о годности изделия. Наличие изображений, где изделие представлено с разных сторон, позволяет произвести в ЭВМ всесторонний контроль его геометрических параметров. На рис. 6 показан пример интерфейса системы.

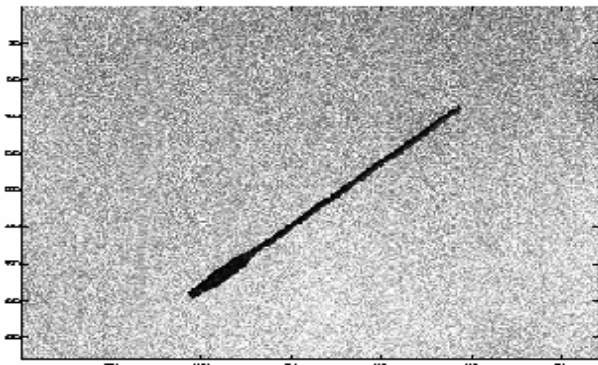
В работе приводятся результаты экспериментальных исследований разработанной системы в реальных производственных условиях ОАО «РЗМКП» (г.Рязань). В табл.3 представлены результаты по точности оценок геометрических параметров изделий при включенных и отключенных алгоритмах вейвлет-анализа и фильтрации. Выявлено, что использование разработанных алгоритмов текстурного вейвлет-анализа и компрессии позволяет повысить точность контроля геометрических параметров контакт-деталей в 2 раза и ускорить процесс контроля в 60 раз по сравнению с методами, использующимися на данном металлокерамическом производстве. Результаты сравнения представлены в табл. 4.

Проект по разработке системы анализа и обработки изображений для контроля точности штамповки контакт-деталей занял первое место на конкурсе «УМНИК», прошедшем в рамках 5-й международной научно-технической конференции «К.Э. Циолковский – 150 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». Получено положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2007104424 «Способ контроля размеров изделий и устройство для контроля размеров изделий».

Таблица 2

Наименование	Характеристики
Источник света	<i>Лампа энергосберегающая PHOENIX LIGHT+натрон</i>
Видеодатчик DMK 21BF04	<i>1280x960@15 fps</i>
объектив	<i>с ручной диафрагмой (1/2'')</i>
ПЭВМ	<i>Процессор Athlon 3ГГц , HD - 80 Gb, RAM 1 Gb</i>
Исполнительный механизм:	
виброустановка	<i>изменяемые амплитуда и частота механических колебаний</i>
платформа для измерения изделий	<i>со встроенной фотопластиной</i>

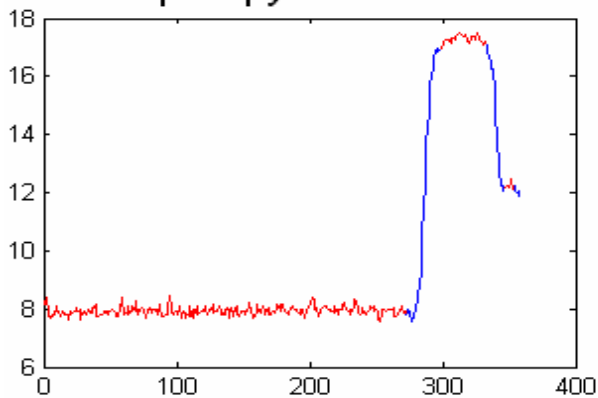
Исходное изображение



Нормализованное изображение



Контролируемые области



Контакт-деталь негодна

	Результаты	Допуски	Соответствие
Размер 1	0.456	0.453-0.512	Да
Размер 2	0.994	0.98-0.995	Да
Размер 3	0	0.185-0.215	Нет
Размер 4	0.704	0.68-0.705	Да
Размер 5	0	0.265-0.29	Нет

Рис. 6. Пример интерфейса системы анализа и обработки изображений
контакт-деталей герконов на этапе штамповки

Таблица 3

ПОСШ, дБ		23	22	21	20	19	18
Точность, ±мм	с использованием разработанных алгоритмов	0,15	0,22	0,25	0,35	0,41	0,53
	без обработки	0,44	0,53	0,65	0,85	1,12	1,31

Таблица 4

Параметр	Разработанная система	На производстве
Производительность	20 контакт-деталей в минуту	20 контакт- деталей в час
Точность измерений:		
L1-L5,L7	± 0,03 мм	± 0,05 мм
L6 (при соотношении ширины и толщины плоской части 1:5)	±0,01 мм	±0,02 мм

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ воздействия производственных факторов на процесс формирования изображений на разных этапах металлокерамического производства. Выявлено наличие мультипликативного шума с единичным средним и экспоненциальным, лог-нормальным, гамма-распределениями в различных сегментах изображений, полученных на этапах штамповки контакт-деталей герконов, запаивания выводов геркона в стеклянную трубку, изготовления сеток, катодов и анодов генераторно-модуляторных ламп. Показано, что специфика металлокерамического производства ограничивает применение существующих СТЗ для визуального контроля качества изделий.

2. Проведено исследование эффективности известных алгоритмов пространственной фильтрации и вейвлет-кодексов EZW, JPEG2000, SPIHT для обработки изображений, искаженных мультипликативным шумом. Обоснована необходимость проведения текстурного анализа и сегментации как в процессе предварительной обработки зашумленного изображения, так и в ходе его вейвлет-анализа, фильтрации и компрессии.

3. Разработан итерационный алгоритм текстурного анализа и сегментации зашумленного изображения на основе локальных коэффициентов вариации, позволяющий за 2-3 итерации выделять сегменты с однородной и неоднородной текстурами, границы объектов (деталей).

4. Разработан метод комбинированной пространственной фильтрации искаженных мультипликативным шумом изображений, позволяющий в зависимости от вида текстуры и закона распределения шума применить оптимальный фильтр из заданного набора фильтров. Метод обеспечивает выигрыш по объективным и субъективным критериям по сравнению с известными методами пространственной фильтрации, в том числе по критерию ПОСШ до 8 дБ.

5. Разработан алгоритм вейвлет-фильтрации зашумленного изображения с применением предварительного текстурного анализа на основе вейвлет-кодека SPIHT. При заданной степени сжатия алгоритм обеспечивает повышение ПОСШ на 2-3 дБ по сравнению с алгоритмом SPIHT.

6. Разработаны алгоритмы вейвлет-компрессии зашумленного изображения, использующие текстурный вейвлет-анализ и оценку вейвлет-коэффициентов по максимуму апостериорной плотности вероятности на основе обобщенного распределения Гаусса. Алгоритмы обеспечивают выигрыш при одинаковых степенях сжатия над SPIHT-алгоритмом по ПОСШ на 3-5 дБ.

7. Разработана система компьютерной обработки изображений контакт-деталей герконов на этапе штамповки, позволяющая с помощью разработанных алгоритмов вейвлет-анализа зашумленных изображений повысить точность измерений геометрических параметров контакт-деталей в 2 раза и увеличить количество изделий, подвергающихся контролю, в 60 раз по сравнению с применяемыми методами контроля на производстве.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бехтин Ю.С., Брянцев А.А. Подавление спекл-шума на основе анализа множеств зашумленных и неискаженных данных изображений в системах машинного зрения // «Распознавание-2005»: тез. докл. международной конф. - Курск, 2005. - 2 с.
2. Бехтин Ю.С., Брянцев А.А. Средства Wavelet Toolbox в задаче восстановления изображений, полученных с помощью радаров с синтезированной апертурой // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций.: тез. докл. международной конф. - Рязань, 2004. - 2 с.
3. Бехтин Ю.С., Брянцев А.А. Комбинированная фильтрация изображений, полученных с помощью радаров с синтезированной апертурой // Цифровая обработка сигналов и ее применение: тез. докл. международной конф. - Москва, 2006. - 1 с.
4. Бехтин Ю.С., Брянцев А.А. Предварительная текстурная сегментация при сжатии данных зашумленных изображений на основе вейвлет-преобразований. // Вестник РГРТУ. – 2006. - № 19. - С.45-50.
5. Брянцев А.А., Егоров С.Е. Проблемы создания математического, программного и аппаратного обеспечения видеокомпьютерных систем управления // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: тез. докл. всероссийской конф. - Рязань, 2006.
6. Бехтин Ю.С., Брянцев А.А., Астапенко М.П. Комбинированная фильтрация изображений, полученных с помощью радаров с синтезированной апертурой // Обработка информации в автоматических системах: сб. научных трудов – Рязань: РГРТУ. - 2006. - 6 с.
7. Брянцев А.А., Бабаян П.В. Системы технического зрения для контроля процессов при производстве металлокерамических изделий // Федеральная школа-конференция по инновационному малому предпринимательству в приоритетных направлениях науки и высоких технологий: тез. докл. всероссийской конф. - Москва, 2006.
8. Брянцев А.А. Комбинированная фильтрация изображений, полученных с помощью радаров с синтезированной апертурой // Вестник РГРТУ. – 2007. - № 21. - С.16-20.
9. Брянцев А.А., Бабаян П.В. Системы технического зрения для контроля технологических процессов и продукции при производстве металлокерамических изделий // К.Э. Циолковский – 150 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика: тез. докл. международной конф. – Рязань, 2007. – С.320-323.
10. Алгоритмы цифровой обработки ИК-изображений без калибровки по геометрическому шуму /Бехтин Ю.С., Баранцев А.А., Брянцев А.А. и др. // Прикладная физика. – 2008. - № 1. - С.110-113.
11. Бехтин Ю.С., Брянцев А.А. Подбор закона распределения для субполос многоуровневого вейвлет-преобразования зашумленных изображений // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций.: тез. докл. международной конф. - Рязань, 2008. – С.127-128.

12. Брянцев А.А. Вейвлет-обработка изображений в системах технического зрения контроля металлокерамических изделий //«Распознавание-2008»: тез. докл. международной конф. - Курск, 2008. – С.78-80.

13. Применение систем технического зрения в производстве герконов /Бабаян П.В., Баскаков И.А., Брянцев А.А., Гаврилов А.Н. // Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе: тез. докл. международной конф. - Рязань, 2008. – С.13-17.

14. Положительное решение о выдаче патента по заявке № 2007104424 Способ контроля размеров изделий и устройство для контроля размеров изделий/ Брянцев А.А., Бабаян П.В., Алпатов Б.А.

БРЯНЦЕВ Андрей Анатольевич

**АЛГОРИТМЫ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ
В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕРКОНОВ И ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 25.12.2008. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага офисная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.

Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.