

0.774893

На правах рукописи



ФОМИН Андрей Александрович

**АЛГОРИТМЫ МНОГОМАСШТАБНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ИЗМЕНЕНИЯ
МАСШТАБА В ПРАКТИКЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2009

Работа выполнена в Муромском институте (филиале) Владимирского государственного университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Жизняков Аркадий Львович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Глова Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор
Фурман Яков Абрамович

Ведущая организация: Камская государственная инженерно-
экономическая академия (г. Набережные Челны)

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000514487

Защита состоится "27" февраля 2009 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.01 в Казанском государственном техническом университете им. А.Н. Туполева по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева.

Автореферат диссертации размещен на сайте КГТУ им. А.Н. Туполева по адресу www.kai.ru

Автореферат разослан "23" января 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико-математических наук, профессор

П.Г. Данилаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современный этап развития промышленности предъявляет повышенные требования к качеству, надежности и долговечности выпускаемой продукции. В подобных условиях особое значение приобретают методы неразрушающего контроля качества на всех стадиях жизненного цикла изделий. При этом наблюдается тенденция к использованию средств визуализации дефектоскопической информации и формирования изображений, описывающих внутреннюю структуру изделий.

Особенностью многих методов дефектоскопии являются высокие затраты человеческого труда при обработке результатов обследования изделий. Существенной проблемой при этом является низкое качество получаемых снимков, что снижает достоверность контроля. В то же время современные средства формирования и визуализации дефектоскопической информации и средства вычислительной техники позволяют автоматизировать многие рутинные операции по анализу и расшифровке дефектоскопических снимков.

Решение этой задачи возможно с использованием методов цифровой обработки и анализа изображений (Астафьева Н.М., Блаттер К., Витязев В.В., Воробьев В.И., Вудс Р., Гонсалес Р., Гостев И.М., Грибунин В.Г., Гроссман А., Добеши И., Донохо Д., Дремин И.М., Иванов О.В., Короновский А.А., Малла С., Морле Д., Переберин А.В., Прэтт У., Садыков С.С., Сойфер В.А., Столниц Э., Уолкер Д., Фурман Я.А., Чуи К.). Широко применяемые в подобных случаях подходы, основанные на использовании методов повышения качества изображений, часто неприемлемы, поскольку существует вероятность снижения информативности и достоверности анализируемых снимков. При такой постановке актуальны задачи обнаружения и анализа характеристик областей интереса дефектоскопических изображений на фоне помех.

Перспективным подходом к анализу случайных сигналов (дефектоскопических снимков) является использование методов многомасштабной обработки, в частности основанных на вейвлет-преобразованиях, позволяющих проводить анализ, выявлять зависимости или отслеживать изменения характеристик изображений на разных масштабах, что позволяет получить более полную информацию об объекте исследования.

Высокая эффективность применения вейвлетов в задачах фильтрации шума и сжатия изображений приводит к возникновению интереса к созданию вейвлет-алгоритмов, направленных на решение задач дефектоскопии. Подобные алгоритмы существуют, но часто они решают эти задачи не в полной мере. Многие алгоритмы ориентированы лишь на частотный подход. Часть алгоритмов используют подходы, разработанные для одномерных сигналов, и не учитывают двумерную структуру изображений. Кроме того, большинство вейвлет-алгоритмов используют в качестве масштабирующих коэффициентов целые числа, что может приводить к значительным потерям информации об особенностях изображений при переходе с одного масштаба разложения на другой, что недопустимо при решении задач дефектоскопии.

Для повышения производительности и оперативности контроля качества актуальны задачи аппаратной реализации алгоритмов и методов визуализации, анализа и расшифровки дефектоскопических изображений.

В этой связи актуальными являются задачи разработки и исследования новых алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений с произвольным выбором масштабирующих коэффициентов, предназначенных для решения задач контроля качества металлоизделий.

Объект исследований. Методы и алгоритмы многомасштабной обработки и анали-

за изображений.

Предмет исследований. Методы и алгоритмы многомасштабной фильтрации и анализа особенностей цифровых изображений, характеристики и свойства этих алгоритмов.

Научная задача. Разработка новых алгоритмов многомасштабной фильтрации особенностей изображений с произвольным выбором масштабирующих коэффициентов.

Цель работы: повышение точности оценки характеристик изображений за счет использования алгоритмов многомасштабной фильтрации особенностей с произвольными масштабирующими коэффициентами и развитие методик автоматизированной расшифровки и анализа дефектоскопических изображений на базе алгоритмов многомасштабной фильтрации.

Решение общей научной задачи и достижение поставленной цели связано с **решением** следующих **вопросов**:

1. Обзор и анализ применяемых в настоящее время алгоритмов и методов многомасштабного представления и обработки изображений.

2. Исследование возможностей вейвлет-преобразования в задачах цифровой обработки и анализа изображений.

3. Разработка новых алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений с использованием вейвлет-преобразований.

4. Разработка новых алгоритмов многомасштабного представления изображений с использованием вейвлет-преобразований.

5. Исследование возможностей применения разработанных алгоритмов для решения практических производственных задач контроля качества металлоизделий.

6. Анализ возможностей аппаратной реализации алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений для решения задач дефектоскопии.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использованы методы дискретной математики, основные понятия математического анализа и теории множеств, методы цифровой обработки сигналов и изображений, методы теории вейвлет-преобразований и кратномасштабного анализа.

Научная новизна работы:

– алгоритм многомасштабного представления одномерных сигналов и изображений с произвольным масштабирующим коэффициентом;

– алгоритмы многомасштабной фильтрации особенностей изображений на основе непрерывного вейвлет-преобразования с адаптивным выбором масштабирующих коэффициентов;

– алгоритм многомасштабной фильтрации групповых объектов изображений;

– алгоритм многомасштабной фильтрации кривых на плоскости и в пространстве с требуемым коэффициентом сглаженности;

– автоматизированная подсистема многомасштабной обработки и анализа дефектоскопических изображений сварных металлоконструкций;

– вычислительные схемы алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений.

Достоверность результатов работы. Основные полученные результаты представлены в виде алгоритмов, вычислительных схем алгоритмов и структурной схемы автоматизированной подсистемы обработки изображений. Адекватность предложенных алгоритмов доказывается результатами физического эксперимента и сравнением с известными алгоритмами.

Практическая значимость:

– алгоритм многомасштабной аппроксимации сигналов и изображений с заданным

масштабирующим коэффициентом обеспечивает требуемую скорость изменения характеристик сигналов и позволяет повысить точность их анализа и обработки;

- алгоритмы адаптивной многомасштабной фильтрации особенностей позволяют обнаруживать объекты произвольной формы на фоне помех с сохранением их основных геометрических характеристик;

- алгоритм многомасштабной фильтрации групповых объектов позволяет формировать группы объектов без анализа характеристик и свойств отдельных объектов на изображении;

- алгоритмы многомасштабной фильтрации и анализа кривых обеспечивают произвольную степень сглаженности линейчатых объектов на изображении без искажения информации о форме кривых;

- автоматизированная подсистема многомасштабной обработки изображений является инструментом для проведения дефектоскопических исследований качества металлоизделий, позволяющим повысить оперативность и достоверность контроля, что подтверждается соответствующими актами о внедрении;

- предложенные вычислительные схемы алгоритмов многомасштабной фильтрации доказывают возможность аппаратной реализации предложенных алгоритмов на базе известных устройств аналогов, что позволит расширить функциональность этих устройств и использовать их при создании аппаратно-программных комплексов, решающих промышленные задачи обработки изображений.

Результаты работы получены автором при выполнении госбюджетной НИР №340/98 "Разработка методов, устройств и систем автоматизированной обработки видеoinформации" и используются:

- в управлении аварийно-восстановительных работ филиала ООО "Волготрансгаз", г. Нижний Новгород при расшифровке рентгенографических снимков сварных соединений газопроводов;

- в центральной заводской лаборатории ОАО "ПО МуромМаш Завод", г. Муром в процессе анализа радиографических снимков изделий и оптических снимков микроструктур металлов;

- в учебном процессе МИВЛГУ при проведении лабораторных и практических работ по курсу "Методы и системы цифровой обработки изображений".

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Алгоритм многомасштабного представления сигналов и изображений с произвольным коэффициентом сжатия.

2. Алгоритм фильтрации контуров изображений на основе многомасштабного представления и анализа кривых.

3. Алгоритмы адаптивной фильтрации объектов изображений в области непрерывного вейвлет-спектра.

4. Алгоритм многомасштабной фильтрации групповых объектов.

5. Результаты практического применения разработанных алгоритмов при расшифровке рентгенографических снимков сварных соединений металлоизделий.

6. Автоматизированная подсистема многомасштабной обработки и анализа рентгенографических снимков сварных соединений.

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на: 8-й и 9-й международных конференциях "Распознавание образов и анализ изображений" – РОАИ (г. Йошкар-Ола, 2007, г. Н. Новгород, 2008); 8-й – 10-й международных конференциях "Цифровая обработка и анализ сигналов" – DSPA (г. Москва, 2006 – 2008); VIII

международной научно-технической конференции "Распознавание-2008" (г. Курск, 2008); международной молодежной научной конференции "Туполевские чтения" (г. Казань, 2005); IX международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки" (г. Москва, 2006); XIV международной научной конференции "Ломоносов-2007" (г. Москва, 2007); VIII международной научно-технической конференции "Искусственный интеллект-2007" (пос. Дивноморское, 2007); XXXIII международной конференции "Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе" (г. Ялта, 2006) и др. международных, всероссийских и региональных конференциях.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано более 40 печатных работ, в том числе 20 статей, 6 из которых в журналах, входящих в перечень ВАК, 1 учебное пособие, 8 патентов и свидетельств об официальной регистрации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 131 наименование и приложения. Общий объем диссертации 162 страницы, в том числе 134 страницы основного текста, 13 страниц списка литературы, 9 страниц приложения. Таблиц 9, рисунков 66.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю к.т.н., доценту Жизнякову Аркадию Львовичу, искренне благодарит д.т.н., профессора Захарова Вячеслава Михайловича за консультации и помощь в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы научная проблема, цели и задачи исследования, приведены результаты, выносимые на защиту. Дана аннотация диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор целей и задач методов цифровой фильтрации изображений, описаны методы цифровой фильтрации и приведены их характеристики. Проведен обзор методов многомасштабной обработки изображений, в частности, методов вейвлет-обработки. Проанализированы возможности построения алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений на основе использования аппарата вейвлет-преобразований с целью решения задач цифровой обработки.

Определены цели и задачи диссертационной работы, направленные на разработку новых алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений и исследование возможностей их применения в практических производственных задачах контроля качества.

Во второй главе представлены новые алгоритмы многомасштабной фильтрации изображений, основанные на применении вейвлет-преобразований с выбором произвольных коэффициентов изменения масштаба.

Многомасштабная аппроксимация изображений с произвольным коэффициентом сжатия. Представление изображения $f[n, m]$ на множестве произвольных масштабов часто реализуется с применением непрерывного вейвлет-преобразования. Однако, использование этого преобразования в задачах, требующих реконструкции изображения по его многомасштабному представлению, весьма ограничено. Решением этой проблемы является использование дискретных вейвлет-базисов, однако, традиционное использование в подобных преобразованиях коэффициентов сжатия s вида $s = a^{-j}$, где j – уровень разложения, $a = 2 = \text{const}$ – масштабирующий коэффициент, приводит к значительным потерям информации при переходе с уровня разложения j на уровень $j + 1$. Поэтому актуальной является задача построения дискретных вейвлет-базисов с произвольным коэффициентом сжатия, позволяющих более точно анализировать спектральные составляющие изображений с возможностью обратного восстановления.

Предлагаемый алгоритм многомасштабной аппроксимации изображений с произвольным коэффициентом сжатия основан на применении дискретного пакетного вейвлет-преобразования и свойстве частотной локализации коэффициентов вейвлет-пакета.

Вычисление аппроксимации изображения $f[n, m]$ с заданными коэффициентами сжатия s_1, s_2 по двум направлениям просмотра выполняется по следующему алгоритму:



Рис. 1. Квадратное дерево вейвлет-пакета.

1. Пакетное вейвлет-преобразование $W_p(f[n, m])$ представляется в виде квадратного дерева (рис. 1) и каждому узлу дерева ставится в соответствие множество вейвлет-коэффициентов $w_j^{p,q}[n, m]$, где $p, q = \overline{0, 2^j - 1}$ – количество узлов дерева, находящихся слева и сверху на глубине j . Условно принимая ширину частотного диапазона Ω изображения равной 1,

энергия Фурье-образов масштабирующей функции ϕ и вейвлета ψ , используемых при разложении, будет сосредоточена в частотных квадратах Λ вида $\Lambda = [p2^{-j}, (p+1)2^{-j}] \times [q2^{-j}, (q+1)2^{-j}]$.

2. Определяется ширина частотных диапазонов как $\lambda_1 = 1/s_1, \lambda_2 = 1/s_2$.

3. Из рассмотрения исключаются вейвлет-коэффициенты, энергия которых сосредоточена вне заданных диапазонов. Выбор коэффициентов $w_j^{p,q}[n, m]$ для аппроксимации изображения с заданными коэффициентами сжатия осуществляется по правилу:

$$\forall j, p, q: \Psi_f = \begin{cases} w_j^{p,q}, (p+1)2^{-j} \leq \lambda_1 \wedge (q+1)2^{-j} \leq \lambda_2 \\ 0, (p+1)2^{-j} > \lambda_1 \vee (q+1)2^{-j} > \lambda_2 \end{cases}$$

4. Вычисляется обратное пакетное вейвлет-преобразование по оставшимся коэффициентам Ψ_f вейвлет-пакета. Аналогично формируется и детализирующая информация многомасштабного представления.

Получаемые при этом аппроксимация $f_{s_1, s_2}[n, m]$ и детализирующие коэффициенты $d_{s_1, s_2}^H[n, m], d_{s_1, s_2}^V[n, m], d_{s_1, s_2}^D[n, m]$ многомасштабного представления могут быть использованы для обратного восстановления изображения $\tilde{f}[n, m]$ по формуле $\tilde{f}[n, m] = f_{s_1, s_2}[n, m] + d_{s_1, s_2}^H[n, m] + d_{s_1, s_2}^V[n, m] + d_{s_1, s_2}^D[n, m]$.

Алгоритмы многомасштабной фильтрации особенностей изображений. Задача обнаружения и анализа характеристик объектов изображений возникает во многих практических приложениях. С точки зрения распределения функции яркости объекты могут интерпретироваться как локальные особенности β анализируемого изображения $f[n, m]$. Фильтрация особенностей β выполняется с применением непрерывного вейвлет-преобразования, поскольку возможность плавного изменения масштабирующего коэффициента вейвлет-фильтра позволяет обнаруживать особенности произвольных размеров на разных уровнях разложения.

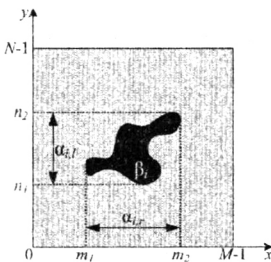


Рис. 2. Пример особенности с анизотропными характеристиками.

Т.к. особенности являются двумерными, то очевидно, что их геометрические характеристики α могут изменяться в зависимости от направления и точки просмотра (рис. 2), т.е. яв-

ляться анизотропными. С учетом этого алгоритм фильтрации особенностей заключается в выполнении следующей последовательности шагов:

1. Вычисляются вейвлет-спектры $w_k[m, p]$, $w_l[n, p]$ для каждой строки и столбца изображения с использованием непрерывного одномерного вейвлет-преобразования.

2. Поскольку амплитуда вейвлет-коэффициентов, соответствующих области особенности, максимальна при сопоставимых размерах особенности и фильтра, то для сохранения формы особенностей масштаб вейвлет-разложения выбирается адаптивно к размеру особенности в каждой строке $R = \{r_k\}$, $r_k = f[k, m]$, $k = \overline{1, N}$ или столбце $C = \{c_l\}$, $c_l = f[n, l]^T$, $l = \overline{1, M}$ изображения путем анализа вейвлет-коэффициентов $w_k[m, p]$, $w_l[n, p]$ на p -ом уровне разложения (масштабе s_p).

Одним из вариантов адаптивного выбора уровня разложения p_k^{opt} или p_l^{opt} для строки или столбца изображения является поиск максимальных вейвлет-коэффициентов и определение масштаба, на котором этот максимум достигается. При этом $p_k^{opt} = p : w_k[m, p] = \max_{m, p} \{w_k[m, p]\}$, $p_l^{opt} = p : w_l[n, p] = \max_{n, p} \{w_l[n, p]\}$. Тогда многомасштабные представления $f_H[n, m]$ и $f_V[n, m]$ изображения $f[n, m]$, соответствующие двум направлениям просмотра, формируются из вейвлет-образов строк и столбцов исходного изображения на уровнях разложения p_k^{opt} , p_l^{opt} .

Другим вариантом оценки p_k^{opt} , p_l^{opt} , предложенным в диссертации, является расчет локального спектра энергии (скейлограммы) $E_k[p]$, $E_l[p]$ сигнала в точках m_0 , n_0 , как

$$E_k[p] = \sum_{x=0}^M w_k[x - m_0, p]^2 D\left(\frac{x - m_0}{s_p}\right), \quad E_l[p] = \sum_{x=0}^N w_l[x - n_0, p]^2 D\left(\frac{x - n_0}{s_p}\right), \text{ где } D - \text{некоторая}$$

о оконная функция. В этом случае

$$p_k^{opt} = p : E_k[p] = \max_p (E_k[p]), \quad p_l^{opt} = p : E_l[p] = \max_p (E_l[p]).$$

Очевидно, что в каждой строке или столбце изображения может присутствовать несколько особенностей разного размера, которым будут соответствовать максимальные вейвлет-коэффициенты с разных уровней разложения. В данном случае предлагается формировать вейвлет-образы $\tilde{r}_k[m]$, $\tilde{c}_l[n]$ строк и столбцов изображения из максимальных по всему диапазону изменения масштаба вейвлет-коэффициентов, т.е. $\forall m : \tilde{r}_k[m] = \bigcup_p \max_p \{w_k[m, p]\}$, $\forall n : \tilde{c}_l[n] = \bigcup_p \max_p \{w_l[n, p]\}$.

3. При использовании сепарабельных вейвлетов формируются многомасштабные представления $f_H[n, m]$ и $f_V[n, m]$, соответствующие двум направлениям просмотра, по максимальным значениям элементов которых возможно определение местоположения локальных особенностей изображения.

4. Для снижения влияния шумовой компоненты изображения на результат обработки и повышения точности обнаружения локальных особенностей β рассчитывается модуль многомасштабного представления $f_M[n, m] = \sqrt{f_H[n, m]^2 + f_V[n, m]^2}$

Для обнаружения локальных неоднородностей округлой или эллиптической формы используются непрерывные двумерные вейвлеты, обладающие сферической симметрией, для которых наряду со сжатиями и сдвигами базисной функции вводятся вращения. Соответствующий алгоритм заключается в следующем:

1. Для двумерного вейвлет-преобразования определяются множества масштаби-

рующих коэффициентов для двух направлений просмотра изображения и углов поворота: $S_H = \{s_p\}$, $p = \overline{1, P}$, $S_V = \{s_q\}$, $q = \overline{1, Q}$, $\Theta = \{\theta_u\}$, $u = \overline{1, U}$

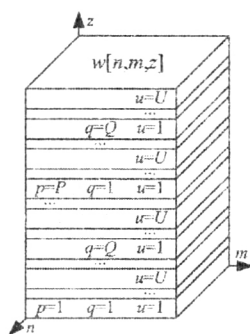


Рис. 3. Схематическое представление трехмерного вейвлет-спектра.

2. Вычисляется двумерный вейвлет-фильтр $\psi[n, m, \theta]$.

3. Вычисляется трехмерный вейвлет-спектр $w[n, m, z]$, где уровень разложения $z = (p-1) \cdot Q \cdot U + (q-1) \cdot U + u$ (рис. 3).

4. Адаптивный выбор уровня разложения z^{opt} при заданных масштабирующих коэффициентах s_p , s_q и угле поворота θ_u выполняется с использованием выражений, полученных для сепарабельных вейвлетов, но обобщенных на двумерный случай, например, на основании анализа скейлограммы трехмерного вейвлет-спектра $w[n, m, z]$.

Алгоритм многомасштабной фильтрации групповых объектов изображений. Наряду с задачами обнаружения и определения характеристик объектов изображений, часто возникают задачи определения некоторых связей (топологических, пространственных) между отдельными объектами β_i и их отнесения к некоторой группе β^{gr} . В качестве критерия оценки принадлежности объекта β_i группе β^{gr} часто удобно рассматривать расстояние $\alpha_{i,k}$ между парами объектов, т.е. $\beta^{gr} = \{\beta_i\} : \alpha_{i,k} \leq \Delta d$, $i, k = \overline{1, I}$, $i \neq k$, где Δd – порог.

При использовании непрерывного вейвлет-преобразования максимальные отклики фильтров соответствуют особенностям изображения при сопоставимых размерах особенности и фильтра. Тогда при увеличении масштаба разложения s_j , отклик вейвлет-фильтра будет соответствовать некоторой группе особенностей, при выполнении условия $r_v \approx r_i + r_k + \alpha_{i,k}$, где r_v – размер вейвлет-фильтра, r_i , r_k – размеры особенностей (объектов) изображения (рис. 4).

1. Определяя множество уровней $j = \overline{1, J}$ и масштабы $S = \{s_j\}$ разложения и применяя алгоритм многомасштабной фильтрации особенностей, формируются множества $O_j = \{\beta_{i,j}\}$ объектов β_i , обнаруженных на уровне разложения j .

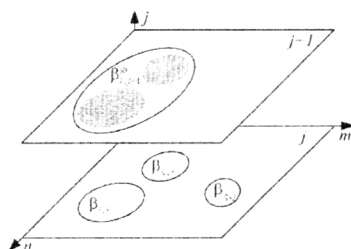


Рис. 5. Взаимное расположение объектов изображения на группе уровней разложения.

2. Каждый объект $\beta_{i,j}$ представляется множеством точек $\beta_{i,j} = \{[n, m]_{i,j,p}\}$.

3. При достаточно высоком уровне разложения для пары (или более) объектов $\beta_{i,j}$, $\beta_{k,j}$ на масштабе s_{j-1} может быть выделен только один объект $\beta_{i,j+1}$ (рис. 5), который в свою очередь будет являться групповым объектом $\beta_{i,j+1}^{gr}$ на масштабе s_j . Пусть объекты $\beta_{i,j}$, выделенные на последнем уровне разложения J и входящие в множество O_j , являются групповыми, т.е. $O_j = \{\beta_{i,j}^{gr}\}$, тогда необходимо отнести все объекты $\beta_{i,j}$,

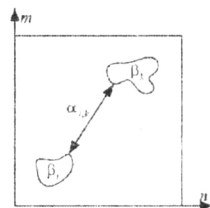


Рис. 4. Пример расположения объектов изображения.

выделенные на предыдущих уровнях разложения, к одному из объектов множества O_J . Если множество точек $\{[n, m]_{i, l, p}\}$ объекта $\beta_{i, l}$ с первого уровня разложения пересекается хотя бы с одним множеством точек $\{[n, m]_{i, j, q}\}$ объектов со всех последующих уровней разложения, то объект $\beta_{i, l}$ с первого уровня разложения входит в групповой объект $\beta_{i, j}$ с J -го уровня разложения, т.е. $\beta_{i, l} \in \beta_{i, j}^g : \forall j : \{[n, m]_{i, l, p}\} \cap \{[n, m]_{i, j, q}\} \neq \emptyset$.

Алгоритмы многомасштабной фильтрации кривых. Задачи обработки и анализа кривых весьма актуальны во многих приложениях цифровой фильтрации изображений. Примером могут служить алгоритмы обработки и анализа структурных признаков изображений, таких как скелетов и контуров. Очевидно, что обрабатываемые при этом сигналы (кривые) чаще всего не являются идеальными и обычно требуется предварительная обработка кривых с целью устранения влияния различных шумов (единичных выбросов, флуктуаций и т.п.).

Для фильтрации (сглаживания) кривых Γ предлагается использование алгоритмов многомасштабной обработки на основе вейвлет-преобразований. Возможность применения подобного подхода обусловлена возможностью представления кривой Γ векторами координат ее элементов в виде $\Gamma = (\gamma^n[k], \gamma^m[k])$, которые интерпретируются как одномерные сигналы.

Задача сглаживания кривой Γ решается с использованием алгоритма многомасштабной аппроксимации изображений с произвольным коэффициентом сжатия, адаптированным на одномерный случай. При этом многомасштабной обработке подвергаются все векторы координат $\gamma[k]$, описывающие исходную кривую, а результирующая кривая $\tilde{\Gamma}$ формируется по многомасштабным представлениям $\tilde{\gamma}[k]$, как $\tilde{\Gamma} = (\tilde{\gamma}^n[k], \tilde{\gamma}^m[k])$.

При этом решается задача обеспечения требуемой степени сглаженности кривой с устранением шумовой компоненты, но сохранением формы кривой путем анализа значений энтропии детализирующих коэффициентов ее многомасштабного представления. Коэффициент сглаженности, обеспечивающий сохранение формы кривой, определяется по минимуму энтропии.

Также рассматривается возможность применения алгоритма многомасштабного сглаживания кривых в задачах их сравнения. При этом степень подобия кривой Γ_i некоторому эталону Γ_{et} определяется на основе вычисления коэффициентов корреляции $Cr(\gamma_i^x[k], \gamma_{et}^x[k])$ между соответствующими векторами координат сравниваемых кривых.

Предложенные алгоритмы фильтрации кривых обобщены на трехмерный случай добавлением в описание кривой еще одного вектора координат, т.е. $\Gamma = (\gamma^n[k], \gamma^m[k], \gamma^z[k])$.

В третьей главе проводится исследование разработанных алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений. Приводятся результаты физического эксперимента и анализируются объективные критерии качества работы предложенных алгоритмов.

Исследование алгоритмов многомасштабной фильтрации особенностей изображений. Для оценки качества работы алгоритмов определялись: точность выделения особенности E_p , процент P_i верно обнаруженных особенностей и процент P_f ложных срабатываний алгоритмов (рис. 6). При этом $P_i = I_i / I$, $P_f = I_f / I$, где I_i – количество верно обнаруженных особенностей, I_f – количество особенностей, не являющихся объектами интереса, I – реальное количество особенностей β_i , определяемых множеством точек,

т.е. $\beta_i = \{[n, m]_{i,j}\}$, $j \in \mathbf{Z}$. При обнаружении K особенностей β_k (рис. 7), где $\beta_k = \{[n, m]_{k,j}\}$, $I_i = I_i + 1$, если $\beta_i \cap \beta_k \neq \emptyset$, $k \in \mathbf{Z}$, $I_j = I_j + 1$, если $\beta_i \cap \beta_k = \emptyset$, $k \in \mathbf{Z}$. При известных областях определения реальных β_i и обнаруженных β_k особенностей, точность выделения E_β особенности определяется как

$$E_\beta = \begin{cases} \frac{|\beta_i \cap \beta_k|}{|\beta_i \cup \beta_k| - |\beta_i|}, & \beta_i \cap \beta_k \neq \emptyset, |\beta_k| > 0, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

где $|\bullet|$ – мощность множества. Т.е. E_β – есть от-

ношение количества точек особенности β_k , входящих в область определения особенности β_i к количеству точек особенности β_k , не входящих в нее.

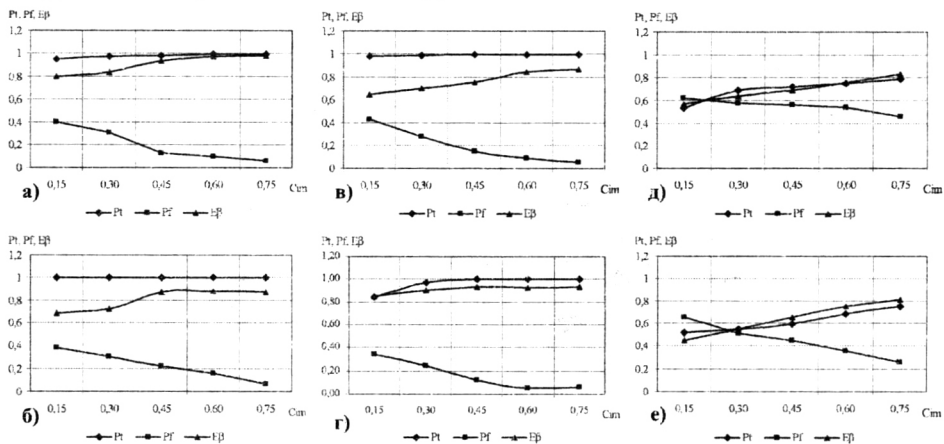


Рис. 6. Графики зависимости рассчитанных критериев качества от контраста изображений C_m для алгоритмов: на основе поиска экстремумов амплитуд вейвлет-образов (а), на основе расчета энергетических характеристик (б), на основе выбора максимальных вейвлет-коэффициентов (в), на основе двумерного вейвлет-преобразования (г), выделения контуров (д), бинаризации (е).



Рис. 7. Результаты многомасштабной фильтрации особенностей.

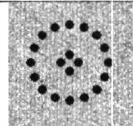
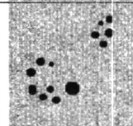
Результаты тестирования алгоритмов показали высокую точность обнаружения особенностей изображений и сохранения их геометрических характеристик (размеров и формы). По сравнению с широко применяемыми алгоритмами бинаризации и выделения контуров точность выделения объектов увеличилась в среднем на 35%.

Исследование алгоритма многомасштабной фильтрации групповых объектов. Для оценки качества работы алгоритма был выбран критерий P'_{gr} , определяемый как отношение количества объектов верно отнесенных к группе к общему числу объектов группы. При этом группой считалось множество объектов, расстояния $l_{i,k}$, между парами которых, не превышало установленный порог Δl вида $l_{i,k} \leq \Delta l$, $\Delta l = d \cdot \max\{\alpha_i, \alpha_k\}$, где α_i ,

α_k – размеры i -го и k -го объектов (например, диаметр), $d = const$.

Результаты тестирования алгоритмов (табл. 1) показывают, что при увеличении масштабирующего коэффициента количество объектов, верно отнесенных к группе (рис. 8) достигает 100%.

Табл. 1. Результаты тестирования алгоритма.

Изображение	Количество объектов	α_i	$l_{i,k}$	Δl	Масштаб разложения	$P'_{gr}, \%$
	20	10	10	20, $d = 2$	2	0
					4	0
					6	20
					8	100
					10	100
	13	5-16	6-15	12-30, $d = 2$	2	0
					4	15
					6	61
					8	92
					10	100

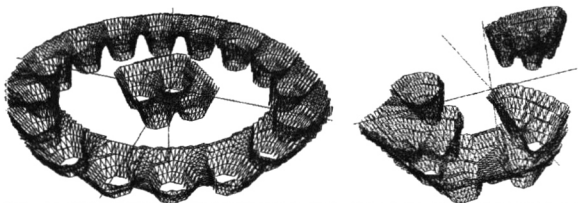


Рис. 8. Результат обнаружения групповых объектов.

Исследование алгоритмов многомасштабной обработки и анализа контуров изображений. Оценка качества работы алгоритма многомасштабного сглаживания кривых проводилась путем анализа значений СКО σ_n , σ_m соответствующих векторов координат γ^n , γ^m эталонного и сглаженного контуров при различных значениях отношения сигнал/шум (ОСШ), рассчитанных для искаженного контура, а также путем визуального сравнения формы сглаженного и эталонного контуров (табл. 2) и оценки геометрических характеристик объектов, описываемых контурами, до и после сглаживания (рис. 9).

Табл. 2. Результаты оценки СКО.

Контур	ОСШ	σ_n	σ_m	Визуальная оценка сохранения формы
Круг	75	0.011	0.011	отлично
	50	0.011	0.013	отлично
	25	0.018	0.021	хорошо
Квадрат	75	0.009	0.012	хорошо
	50	0.015	0.018	хорошо
	25	0.019	0.020	удовлетворительно
Восьми-угольник	75	0.013	0.007	отлично
	50	0.012	0.011	хорошо
	25	0.021	0.021	хорошо

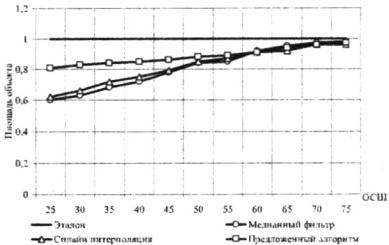


Рис. 9. Зависимость рассчитанной площади объекта от ОСШ.

Низкие значения СКО, полученные в результате опытов, показывают, что алгоритм устраняет значительную долю контурных шумов, но сохраняет форму как двумерных (рис. 10), так и трехмерных (рис. 11) контуров.

Качество алгоритма сглаживания кривых доказывается также результатами тестиро-

вания алгоритма сравнения контуров (табл. 3). Улучшение оценок СКО σ_n , σ_m и коэффициентов корреляции Cr_n , Cr_m между векторами координат контуров доказывают, что использование алгоритма сглаживания на этапе предобработки контуров позволяет повысить точность оценки меры схожести двух контуров.



Рис. 10. Результат фильтрации двумерного контура.

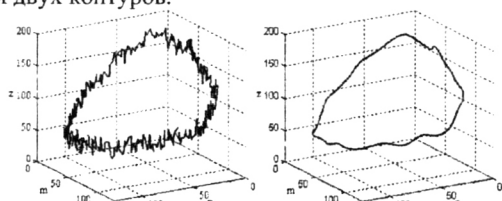
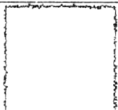


Рис. 11. Результат фильтрации трехмерного контура.

Табл. 3. Результаты сравнения контуров.

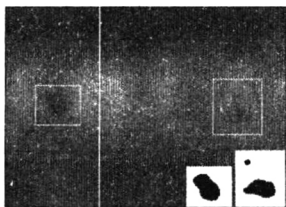
Эталонный контур	Тестируемый контур	σ_n , σ_m	Cr_n , Cr_m	Сглаженный контур	σ_n , σ_m	Cr_n , Cr_m
		0.221 0.185	0.901 0.856		0.170 0.231	0.999 0.999
		0.091 0.094	0.912 0.890		0.020 0.022	0.999 0.999

В четвертой главе приведены результаты практического применения разработанных алгоритмов и предложена автоматизированная подсистема многомасштабной обработки и анализа рентгенографических изображений. Рассмотрена задача аппаратной реализации разработанных алгоритмов многомасштабной фильтрации изображений, либо отдельных процедур многомасштабной обработки.

Оценка дефектности изделий с использованием алгоритмов многомасштабной фильтрации особенностей изображений. Одной из важных задач контроля качества является оценка уровня дефектности изделий. Для решения этой задачи применялись алгоритмы многомасштабной фильтрации особенностей изображений с адаптивным выбором коэффициента изменения масштаба.

В ходе физического эксперимента обрабатывались рентгенографические снимки сварных соединений, полученные с использованием импульсного рентгеновского аппарата АРИНА-3 с регистрацией излучения на рентгенографическую пленку AGFA STRUCTURIX D7 и последующей оцифровкой изображения на специализированном сканере для рентгеновских изображений UMAX POWERLOOK 2100 XL со слайд адаптером UTA-2100 XL.

Было установлено, что разработанные алгоритмы многомасштабной фильтрации особенностей успешно обнаруживают большинство дефектов (рис. 12), таких как, газовые поры, инородные включения, непровары. Дальнейший анализ обнаруженных областей показал, что геометрические характеристики дефектов (длина, ширина, площадь) практически не отличаются от значений, полученных квалифицированным оператором-дефектоскопистом. Это доказывает возможность использования предложенных алгоритмов в практических задачах дефектоскопии.



Дефекты, обнаруженные оператором-дефектоскопистом:

1. Газовые поры, диаметр 4 мм, 2 шт (Аа-4-2).
2. Газовая пора, диаметр 0.5 мм (Аа-0.5).

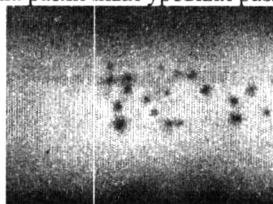
Объекты, обнаруженные с использованием алгоритма многомасштабной фильтрации особенностей:

- Объект 1. Длина 4.1 мм, ширина 1.9 мм, площадь 6.3 мм².
 Объект 2. Длина 4.1 мм, ширина 2 мм, площадь 6.1 мм².
 Объект 3. Длина 0.5 мм, ширина 0.5 мм, площадь 0.2 мм².

Рис. 12. Обнаружение дефектов сварного соединения.

Значимой задачей дефектоскопии является обнаружение групповых дефектов, состоящих из множества одиночных, т.к. в соответствии с требованиями различных стандартов наличие подобных дефектов может являться недопустимым, тогда как составляющие его отдельные дефекты не только могут быть допустимыми, но и не учитываться из-за незначительных размеров.

Обнаружение групповых дефектов предъявляет к используемому алгоритму дополнительные требования, т.к. необходимо не только сохранять форму и размеры отдельных дефектов и их групп, но и учитывать пространственное расположение и топологические связи между дефектами группы. Эти задачи решаются с применением алгоритма многомасштабной фильтрации групповых объектов изображений (рис. 13), основанном на анализе откликов вейвлет-фильтров, соответствующих, как отдельным объектам, так и их группам на различных уровнях разложения.



Дефекты, обнаруженные оператором-дефектоскопистом:

1. Скопление пор, длина 60 мм. (Ас-60).

Объекты, обнаруженные с использованием алгоритма многомасштабной фильтрации групповых объектов:

- Количество объектов 19.
 Длина группы объектов 62 мм.
 Ширина группы объектов 2.7 мм.

Рис. 13. Обнаружение группового дефекта сварного соединения.

Обработка изображений микроструктур с использованием алгоритма многомасштабной фильтрации кривых. Актуальность задач цифровой обработки и анализа изображений микроструктур (рис. 14) обусловлена высокой субъективностью методов количественной металлографии и значительной погрешностью измерений.

Автоматизированный анализ формы частиц, их размеров и ориентации часто усложняется наличием контурных шумов и искажением границ структурных составляющих изображений, вызванных операциями по подготовке шлифов (шлифование, травление кислотой и др.), а также аппаратурой визуализации.



Автоматизированная оценка балла структуры стали (до обработки контуров):

- Относительная доля перлита – 52%.
 Относительная доля феррита – 48%.
 Балл ферритоперлитовой структуры стали – 6.



Автоматизированная оценка балла структуры стали (после обработки контуров):

- Относительная доля перлита – 47%.
 Относительная доля феррита – 53%.
 Балл ферритоперлитовой структуры стали – 7.

Рис. 14. Оценка балла ферритоперлитовой структуры стали.

Повышение точности оценки характеристик микроструктур достигается применением

ем алгоритма многомасштабной фильтрации кривых с произвольным коэффициентом сглаженности. На рис. 14 приведен результат автоматизированной оценки балла структуры стали. По заключению эксперта относительная доля перлита в образце составляет 45%, относительная доля феррита – 55%, балл ферритоперлитовой структуры стали – 7.

Автоматизированная подсистема многомасштабной обработки и анализа дефектоскопических изображений (рис. 15) реализует предложенные алгоритмы многомасштабной фильтрации изображений. Данная подсистема позволяет в диалоговом режиме решать задачи предобработки дефектоскопических изображений, обнаружения, оценки характеристик и классификации дефектов, а также задачи определения структурной составляющей в микроструктуре. Предложенная подсистема повышает точность оценки характеристик материалов и их соединений, а также оперативность контроля качества.

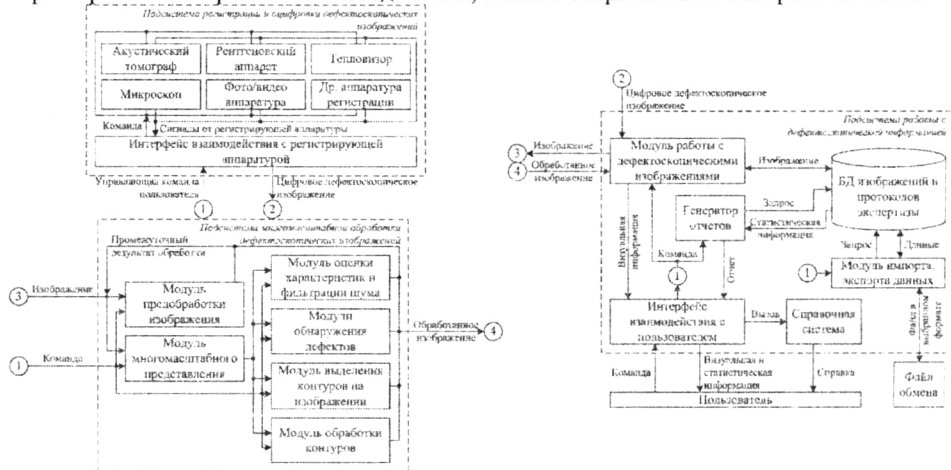


Рис. 15. Структура автоматизированной подсистемы обработки и анализа дефектоскопических изображений.

Разработанная подсистема обладает свойствами открытости, перестраиваемости и тиражируемости, что позволяет адаптировать ее для решения производственных задач контроля качества металлопродукции конкретного предприятия.

В результате анализа возможностей аппаратной реализации разработанных алгоритмов предложен ряд вычислительных схем алгоритмов многомасштабной фильтрации особенностей дефектоскопических изображений, направленных на решение задач обнаружения дефектов сварных соединений.

Для фильтрации особенностей изображений (Пат. РФ №61441, рис. 16) аппаратно может быть реализован алгоритм многомасштабной фильтрации особенностей на основе поиска экстремумов амплитуд вейвлет-образов. Это позволит учитывать анизотропную природу характеристик особенностей и обнаруживать объекты изображений произвольной формы и размеров. Поэтому устройство может быть использовано в составе систем технического зрения, решающих задачи обнаружения и анализа характеристик объектов изображений.

Для обнаружения дефектов сварных соединений на рентгенограммах (Пат. РФ №64796, рис. 17) может применяться алгоритм многомасштабной фильтрации особенностей на основе расчета энергетических характеристик вейвлет-образов. Это позволит обнаруживать различные дефекты сварных соединений и решать задачи контроля качества.

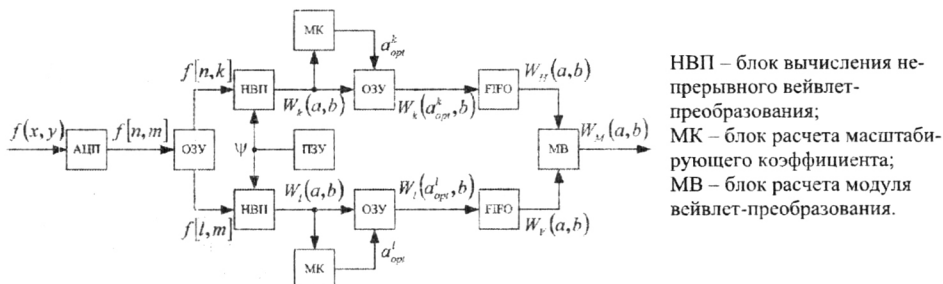


Рис. 16. Аппаратная реализация алгоритма фильтрации особенностей изображений на основе непрерывного вейвлет-преобразования.

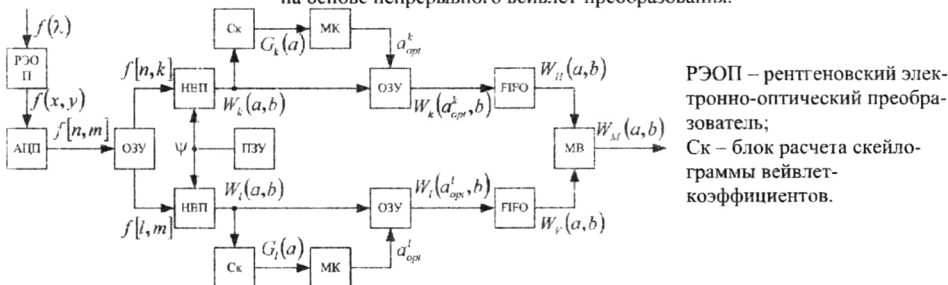


Рис. 17. Аппаратная реализация алгоритма обнаружения дефектов сварных соединений на основе многомасштабного анализа рентгенограмм.

Для обнаружения дефектов округлой формы на рентгенографических снимках (Пат. РФ №64797, рис. 18) возможно применение алгоритма фильтрации особенностей на основе непрерывного двумерного вейвлет-преобразования, благодаря чему может быть повышена точность оценки размеров наиболее часто встречающихся типов дефектов (газовых пор и инородных включений) сферической формы.

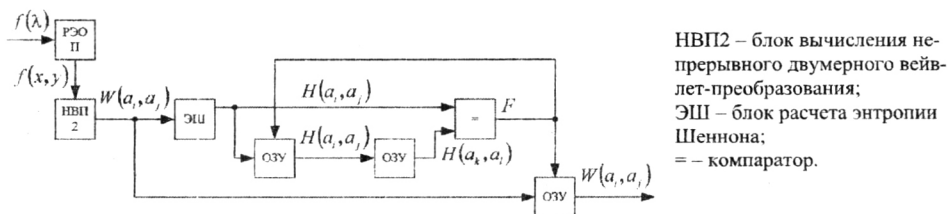


Рис. 18. Аппаратная реализация алгоритма обнаружения дефектов округлой формы на рентгенограммах сварных соединений.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы:

1. Проведен анализ методов цифровой фильтрации изображений. Показаны достоинства многомасштабных подходов к цифровой фильтрации, основанных на вейвлет-преобразованиях, над традиционными подходами.
2. Показаны ограничения применения вейвлет-преобразований с целыми коэффициентами изменения масштаба при разработке многомасштабных алгоритмов цифровой фильтрации изображений. Рассмотрены возможности построения алгоритмов многомасштабной обработки изображений с использованием вейвлетов с произвольными коэффициентами.

циентами изменения масштаба.

3. Разработаны новые алгоритмы многомасштабной фильтрации изображений, отличающиеся возможностью выбора произвольного масштабирующего коэффициента:

- алгоритм многомасштабной аппроксимации изображений с произвольным масштабирующим коэффициентом, позволяющий снизить аналитическую и вычислительную сложность методов многомасштабной аппроксимации изображений с нецелыми коэффициентами сжатия;

- алгоритм оценки параметров и многомасштабной фильтрации комбинированных шумов, в среднем на 15% улучшающий оценку сигнал/шум для обработанного изображения по сравнению с известными алгоритмами винеровской фильтрации и обратной свертки;

- алгоритмы многомасштабной фильтрации особенностей изображений, основанные на использовании непрерывного вейвлет-преобразования позволяющие в среднем на 35% повысить точность обнаружения объектов произвольной формы (с точки зрения сохранения формы и размеров) по сравнению с классическими алгоритмами, применяемыми в системах технического зрения;

- алгоритм многомасштабной фильтрации и анализа кривых позволяющий в среднем на 25% снизить искажения геометрических характеристик объектов, описываемых контурами, по сравнению с алгоритмами медианной фильтрации и сплайн-интерполяции кривых;

- алгоритм многомасштабной фильтрации групповых объектов изображений, позволяющий выделять группы особенностей без анализа свойств и характеристик каждой из них.

4. Проведены исследования разработанных алгоритмов на тестовых и реальных изображениях, доказывающие работоспособность и достоверность результатов работы алгоритмов.

5. Проведены исследования алгоритмов на реальных рентгенографических снимках сварных соединений, доказывающие эффективность их применения, с точки зрения соответствия результатов работы алгоритмов результатам, полученным оператором-дефектоскопистом.

6. Разработана автоматизированная подсистема многомасштабной обработки и анализа дефектоскопических изображений сварных металлоконструкций, реализующая разработанные алгоритмы многомасштабной фильтрации. Подсистема позволяет сократить время расшифровки рентгенографических снимков в среднем в 2-3 раза.

7. Показана возможность аппаратной реализации предложенных алгоритмов, что позволит расширить функциональность известных устройств-аналогов и повысить оперативность обработки и анализа дефектоскопических снимков.

В приложении приведены копии патентных документов и свидетельств об официальной регистрации.

ПУБЛИКАЦИИ В ИЗДАНИЯХ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ВАК

1. Фомин А.А. Выделение и обработка контуров изображений на основе вейвлет-преобразования // Системы управления и информационные технологии, №1.2 (27), 2007. – С. 295–299.

2. Жизняков А.Л., Фомин А.А., Симонова Г.А. Информационная технология обнаружения дефектов сварных соединений на основе непрерывного вейвлет-анализа рентгенографических снимков // Информационные технологии, №8, 2007. – С. 43–49.

3. Жизняков А.Л., Фомин А.А. Многомасштабный подход к фильтрации контуров полутонных изображений // Вестник компьютерных и информационных технологий, №9, 2007. – С. 13–23.

4. Жизняков А.Л., Фомин А.А. Автоматизированная подсистема кратномасштабной обработки рентгенограмм в системах неразрушающего контроля // Автоматизация и современные технологии, №12, 2007. – С. 11–26.

5. Zhiznyakov A.L., Fomin A.A. Wavelet filtering of the structure signs of an image // Pattern recognition and image analysis, Vol.18, No.4, 2008. – PP. 720–722.

ПАТЕНТЫ И СВИДЕТЕЛЬСТВА ОБ ОФИЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ

6. Пат. 57033 РФ, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство вычисления вейвлет преобразования / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; опубл. 27.09.2006, Бюл. №27.

7. Пат. 60242 РФ, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство вычисления непрерывного двумерного вейвлет-преобразования с произвольным углом поворота фильтра / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; опубл. 10.01.2007, Бюл. №1.

8. Пат. 61440 РФ, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство вычисления двумерного вейвлет-преобразования / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; опубл. 27.02.2007, Бюл. №6.

9. Пат. 61441 РФ, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство фильтрации особенностей изображений на основе непрерывного вейвлет-преобразования / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; опубл. 27.02.2007, Бюл. №6.

10. Пат. 64796 РФ, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство обнаружения дефектов сварных соединений на основе вейвлет-анализа рентгенограмм / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; опубл. 10.07.2007, Бюл. №19.

11. Пат. 64797 РФ, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство кратномасштабного обнаружения дефектов округлой формы по рентгенограммам сварных соединений / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; опубл. 10.07.2007, Бюл. №19.

12. Свид. об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2007610457 РФ. Программа выделения особенностей изображений на основе непрерывного двумерного вейвлет-преобразования / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 25.01.2007.

13. Свид. об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2007611686 РФ. Автоматизированная система кратномасштабной обработки и анализа рентгенографических снимков сварных соединений / Жизняков А.Л., Фомин А.А.; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 20.04.2007.

ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ, СБОРНИКАХ И МАТЕРИАЛАХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ

14. Вакунов Н.В., Жизняков А.Л., Фомин А.А. Математическая модель полутонного изображения на основе вейвлет – преобразования // Методы и системы обработки информации: Сборник научных статей в 2-х частях. Ч.1 / Под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – С. 10–15.

15. Фомин А.А. Идентификация объектов на изображениях с использованием многомасштабного представления полутонных скелетов // Системы и методы обработки и анализа информации: Сборник научных статей / Под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – С. 65–70.

16. Фомин А.А., Симонова Г.А. Кратномасштабный подход к выделению особенностей изображений // Алгоритмы методы и системы обработки данных: Сборник научных статей / Под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – С. 86–91.

17. Жизняков А.Л., Фомин А.А., Симонова Г.А. Обнаружение пор и шлаковых

включений по рентгенографическим снимкам сварных швов средствами вейвлет-анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, Т.73, №11, 2007. – С. 25–29.

18. Фомин А.А. Использование вейвлет преобразования в задачах фильтрации изображений // Методы и устройства передачи и обработки информации: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 8 / Под ред. В.В. Ромашова. – М.: Радиотехника, 2007. – С. 129–132.

19. Фомин А.А. Подход к обнаружению особенностей изображений на основе непрерывного двумерного вейвлет-преобразования // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – С. 67–71.

20. Фомин А.А. Возможности применения вейвлет-преобразования для выделения объектов на изображениях // Информационные технологии моделирования и управления, №1(35). – Воронеж: Научная книга, 2007. – С. 95–99.

21. Жизняков А.Л., Фомин А.А. Многомасштабный подход к анализу контуров изображений // Искусственный интеллект: Научно-теоретический журнал НАН Украины, №4. – Донецк: Наука і освіта, 2007. – С. 280–287.

22. Фомин А.А. Разработка и исследование алгоритмов скелетизации полутоновых изображений на основе вейвлет-преобразования // Туполевские чтения: Междунар. молодежная науч. конф., посвященная 1000-летию города Казани. Т.III. – Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 2005. – С. 55–56.

23. Фомин А.А. Фильтрация изображений на основе вейвлет-преобразования // XXXII Гагаринские чтения: Науч. труды междунар. молодежной науч. конф. в 8 томах. Т.4. – М.: МАТИ, 2006. – С. 119–120.

24. Фомин А.А., Жизняков А.Л. Исследование алгоритмов измерения шума на основе вейвлет преобразования // Материалы IX международной конференции "Интеллектуальные системы и компьютерные науки". Т.4, Ч.1. – М.: изд-во механико-математического ф-та МГУ, 2006. С. 115 – 117.

25. Фомин А.А., Гай В.Е. Применение непрерывного вейвлет-преобразования для выделения особенностей изображений // Прил. к журн. "Открытое образование": матер. XXXIII междунар. конф. "Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе". – Ялта: изд-во Запорожского гос. ун-та, 2006. – С. 194–196.

26. Фомин А.А. Возможности вейвлет-анализа при обработке контуров изображений // Материалы XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов" / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.И. Андреев. Т.II. – М.: СП "Мысль", 2007. – С. 24.

27. Fomin A.A. The approach to detection of images features using continuous wavelet-transformation // Digital signal processing and its applications: proc. of the 9th international conf. "DSPA-2007". – Moscow: RSTSREC, 2007. – PP. 280.

10 =

Подписано в печать 20.01.2009 г.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 0,93. Формат 60×84 1/16.
Тираж 100 экз. Заказ № 1360.

Отпечатано в полиграфическом отделе
издательско-полиграфического центра МИВЛГУ
Адрес: 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23