

На правах рукописи

Гай

ГАЙ ВАСИЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ
МНОГОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Специальность: 05.13.17 – Теоретические основы информатики
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир 2009

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» Муромского института (филиала) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет».

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент
Жизняков Аркадий Львович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Утробин Владимир Александрович

кандидат технических наук
Кошелев Сергей Владимирович

Ведущая организация:

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский технический университет связи и информатики»

Защита диссертации состоится « 5 » марта 2009 года в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.165.05 в Нижегородском государственном техническом университете им. Р. Е. Алексеева по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-41, ул. К. Минина, 24, ауд. 1258.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева.

Автореферат разослан « 2 » февраля 2009 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. С. Суркова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Активное развитие науки и техники, возрастающая сложность решаемых научно-технических задач приводит к необходимости анализа различных видов информации, в том числе изображений и их последовательностей. Анализ изображений, выполняется на промышленных предприятиях при осуществлении контроля качества изделий, в медицинских учреждениях при диагностике различных заболеваний, в робототехнике, системах безопасности, при контроле дорожного движения и т. д. Важно отметить, что на сегодняшний день создано большое количество алгоритмов обработки изображений. При этом актуальной является задача разработки новых алгоритмов обработки изображений.

Одним из возможных видов представления изображения, который используется в системах обработки изображений, является многомасштабное представление, позволяющее выполнить иерархический, многоступенчатый анализ объектов изображения.

В связи с этим, важной является задача разработки алгоритмов построения такого многомасштабного представления, которое наилучшим образом позволяет характеризовать многомасштабную структуру конкретного изображения.

В процессе решения задач были использованы труды С. Абламейко, Т. Блу, В. Воробьева, М. Викерхаузера, Р. Вудса, Р. Гонсалеса, В. Грибунина, У. Гренандера, И. Гуревича, И. Добеши, Г. Евангелиста, Ю. Журавлева, В. Киричука, В. Кондратьева, Л. Новикова, С. Малла, П. Ошера, У. Прэтта, С. Садыкова, И. Селезник, В. Сергеева, В. Сойфера, В. Титова, В. Утробина, К. Фу, Я. Фурмана, К. Чуи, Л. Ярославского и др.

Алгоритм обработки изображений, обычно, основан на математической модели изображения. Модель изображения позволяет сжато представить информацию об исходном изображении в виде набора значений своих параметров. Введение математического описания многомасштабного представления изображения позволяет перейти к многомасштабным моделям изображений. Такие модели описывают различного рода взаимосвязи между элементами многомасштабного представления. Несмотря на все достоинства разработанных на настоящий момент времени многомасштабных моделей изображений, актуальной остаётся задача повышения точности описания многомасштабной моделью исходных данных.

Цель работы. Разработка и исследование алгоритмов обработки изображений, основанных на математических моделях многомасштабного представления изображений, и их использование при решении производственных задач.

Исходя из цели работы, задачами исследования являются:

1. Обзор и анализ способов построения многомасштабного представления изображений.
2. Обзор и анализ математических моделей многомасштабного представления изображений и алгоритмов обработки многомасштабных данных.
3. Разработка новых алгоритмов построения многомасштабного представления изображений.
4. Построение новых математических моделей многомасштабного представления изображений.
5. Разработка новых алгоритмов обработки изображений на основе предложенных многомасштабных моделей изображений.
6. Исследование возможностей применения разработанных моделей и алгоритмов для решения практических задач.

Методы исследования. В работе использованы методы дискретной математики, основные понятия теории множеств, методы цифровой обработки сигналов и изображений, теории вероятностей и математической статистики, теории информации, методы теории вейвлет - преобразования.

Научная новизна.

В процессе проведения исследований получены следующие результаты:

1. Математические модели многомасштабного представления изображений, основанные на использовании набора переменных коэффициентов изменения масштаба и окрестности элементов изображения с настраиваемой конфигурацией.
2. Методика описания связей между элементами изображений последовательности с переменным коэффициентом изменения масштаба.
3. Алгоритмы формирования многомасштабного представления изображений, отличающиеся возможностью выбора набора коэффициентов изменения масштаба. Новизна разработанных устройств, реализующих предложенные алгоритмы, подтверждается пятью патентами на полезные модели.
4. Алгоритм выбора окрестности элемента изображения многомасштабной последовательности, позволяющей более полно учитывать свойства анализируемого изображения.
5. Алгоритмы обработки и анализа изображений, разработанные на основе предложенных моделей.

Практическая ценность работы.

1. Предложенные алгоритмы формирования многомасштабного представления изображения, за счёт учёта особенностей анализируемого изображения, позволяют улучшить результаты работы многомасштабных алгоритмов обработки изображений.
2. Использование в алгоритмах обработки многомасштабных данных окрестности с настраиваемой конфигурацией позволяет повысить точность работы алгоритмов.
3. Разработанные математические модели многомасштабного представления изображений и алгоритмы обработки изображений позволяют увеличить точность сегментации и восстановления изображений.
4. Разработанные алгоритмы обработки и анализа изображений позволяют выполнять оценку параметров микро- и макроструктуры металлов и сплавов.

Реализация результатов исследований. Разработанные алгоритмы и программы внедрены в центральной заводской лаборатории ОАО "ПО МуромМаш Завод", г. Муром, и в отделе технического контроля ООО «Муромский завод трубопроводной арматуры», г. Муром, где используются при анализе микро- и макроструктуры металлов и сплавов.

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» Муромского института Владимирского государственного университета по государственной бюджетной теме №340/98 "Разработка методов, устройств и систем автоматизированной обработки видеоинформации".

На защиту выносятся следующие результаты работы:

1. Математические модели многомасштабного представления изображения.
2. Алгоритмы построения многомасштабного представления изображений.
3. Алгоритм выбора окрестности элемента многомасштабного представления изображения.
4. Алгоритмы восстановления и сегментации изображений, разработанные на основе предложенных моделей.

5. Результаты экспериментальных исследований.

6. Автоматизированная система анализа изображений микро- и макроструктуры металлов и сплавов.

Апробация работы.

Диссертационная работа и отдельные ее части докладывались и обсуждались на: 8, 9-й международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений» (г. Йошкар-Ола, 2007 г., г. Нижний Новгород, 2008 г.), 8, 9, 10-й международных конференциях «Цифровая обработка и анализ сигналов» (г. Москва, 2006 – 2008 гг.), VIII международной научно-технической конференции «Распознавание – 2008» (г. Курск, 2008 г.), IX международной конференции «Интеллектуальные системы и компьютерные науки» (г. Москва, 2006 г.), VIII международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект-2007» (пос. Дивноморское, 2007 г.), XXXIII международной конференции «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе» (г. Ялта, 2006 г.).

Личный вклад автора. Все приведенные в диссертации результаты получены автором лично. Постановка цели работы и основных задач исследования выполнена совместно с научным руководителем Жизняковым А. Л. В остальных работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежит решение поставленной задачи, алгоритмическая и программная реализация решения, обработка результатов численных экспериментов. Практическая реализация изобретений и алгоритмов зарегистрированных программ выполнена автором.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 23 печатных работы, в том числе 11 статей, 5 из которых в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, 1 учебное пособие, 9 патентов и свидетельств об официальной регистрации программ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 135 наименований и приложений. Общий объем диссертации 159 страниц, в том числе 130 страниц основного текста, 14 страниц списка литературы, 11 страниц приложений, 17 таблиц, 71 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы. Определена цель исследования, дана постановка решаемых задач, приведены научная новизна, практическое значение результатов диссертации и сведения об апробации работы.

В первой главе рассматривается задача контроля качества структуры металлов и сплавов на основе металлографического метода, автоматизация решения данной задачи на основе методов цифровой обработки и анализа изображений. Приводятся теоретические основы многомасштабного представления изображений, рассматриваются математические модели многомасштабного представления, осуществляется постановка задач исследования.

Под многомасштабным представлением W изображения f понимается совокупность последовательностей приближений L и дополнений H , сформированных на его основе: $W = \{L, H\}$. Математическую модель многомасштабной последовательности R можно записать в виде:

$$R^t[i, j] = \sum_{(x, y) \in n^1} \alpha^1[x, y] \cdot R^1[x, y] + \dots + \sum_{(x, y) \in n^{t-1}} \alpha^{t-1}[x, y] \cdot R^{t-1}[x, y] + \sum_{(x, y) \in n^t} \alpha^t[x, y] \cdot R^t[x, y] + \sum_{(x, y) \in n^{t+1}} \alpha^{t+1}[x, y] \cdot R^{t+1}[x, y] + \dots + e^t[i, j], \quad (1)$$

где n^t - окрестность элемента R^t , α^t - матрица весовых коэффициентов окрестности n^t , $e^t[i, j]$ - ошибка предсказания величины отсчёта (рис. 1).

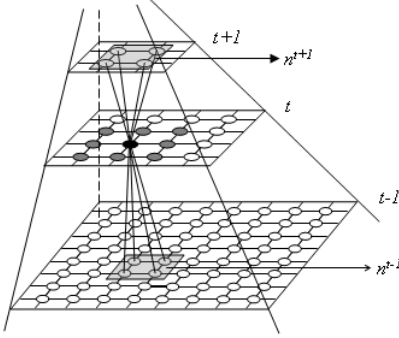


Рис. 1. Структура связей между отсчётами

Учитывая особенности существующих многомасштабных моделей изображений, является актуальной задача разработки модернизированных многомасштабных моделей изображений, основанных на использовании:

1) Многомасштабного представления изображения с переменным коэффициентом изменения масштаба в качестве исходных данных для модели.

2) Окрестности с настраиваемой конфигурацией для описания связей между отсчётами многомасштабной последовательности.

Для построения модифицированных математических моделей многомасштабного представления изображений, в качестве базовых, предлагается использовать модель скрытого марковского дерева и модель многомасштабного марковского случайного поля.

Определение 1. Под окрестностью n_{ij}^t отсчёта $R^t[i, j]$ многомасштабной последовательности R с настраиваемой конфигурацией понимается такая окрестность, которая обеспечивает минимум ошибки $e^t[i, j]$ в выражении (1).

Определение 2. Под окрестностью n_a^t элемента R^t многомасштабной последовательности R с настраиваемой конфигурацией понимается такая окрестность n , которая обеспечивает минимум средней ошибки \bar{e}^t для элемента последовательности R в выражении (1).

Во второй главе предлагаются алгоритмы формирования многомасштабного представления изображений, алгоритм выбора окрестности отсчёта многомасштабного представления изображения, модифицированные математические модели многомасштабного представления изображений. Рассматриваются особенности алгоритмов обработки многомасштабных последовательностей изображений, построенных с произвольным коэффициентом изменения масштаба.

Формирование последовательности приближений L_a изображения f предлагается выполнять на основе следующего алгоритма:

1) Сформировать последовательность приближений $L = \{L^t\}$, $t \in [1; N]$, используя для этого фильтр нижних частот.

2) Вычислить расстояние между f и L^t :

$$X[i] = I(f, L^t), \quad (2)$$

где $I(f, L^t)$ - величина взаимной информации между f и L^t .

3) Выбрать элементы последовательности L , при переходе к которым, величина t - го элемента массива X изменяется на величину r , где r - величина порога, используемого для выбора элементов последовательности L .

На рис. 3 приведены строки элементов последовательности приближений, сформированной по изображению микроструктуры серого чугуна (рис. 2.а), последовательность

L состоит из 50 элементов, $r = 0,167$. Номера выбранных элементов: 4, 12, 20, 29, 39, 50.

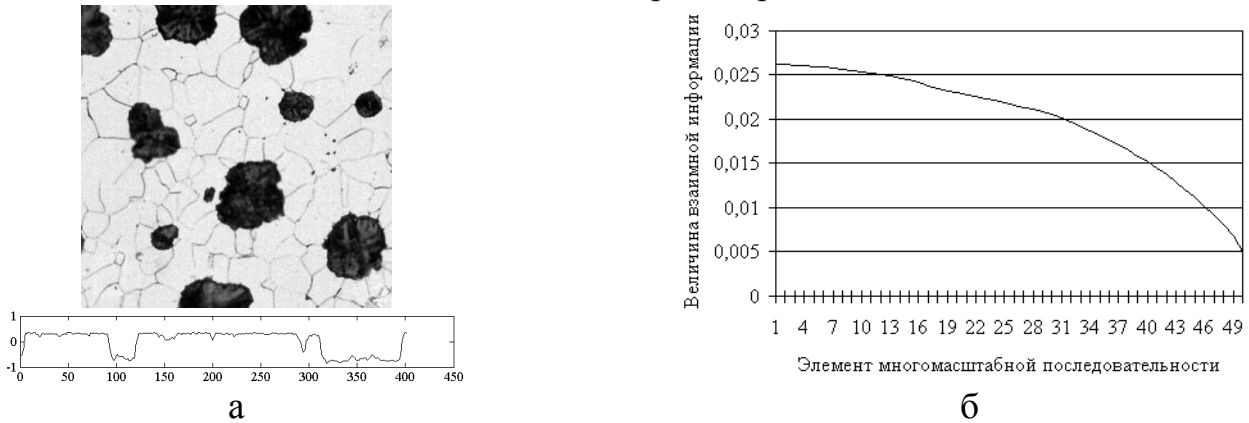


Рис. 2. Анализ изображения: а – исходное изображение;
б – кривая взаимной информации

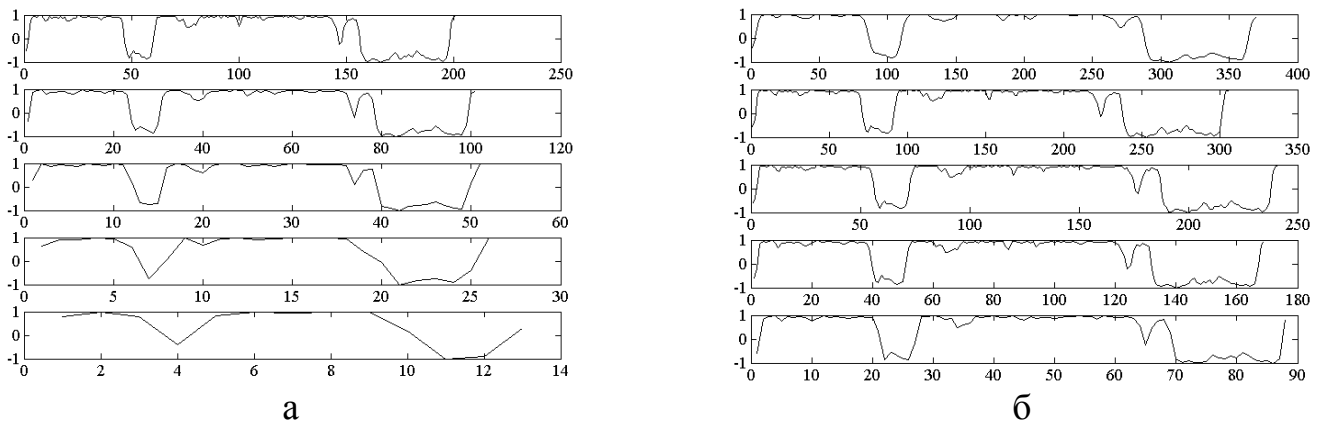


Рис. 3. Многомасштабное представление строки изображения:
а – вейвлет-представление; б – L_a

На кривой взаимной информации, показанной на рис. 2.б, можно выделить три участка, которые характеризуются различной динамикой изменения величины взаимной информации. Плавное уменьшение величины взаимной информации в начале кривой объясняется тем, что при формировании первых элементов последовательности приближений отсекаются верхние частоты, которые, обычно, в спектре изображения имеют незначительную долю. Дальнейшее резкое уменьшение величины взаимной информации связано с отсечением нижних частот, которые преобладают в спектре изображения, вследствие чего, происходит значительная потеря информации.

Поэтому, для формирования последовательности приближений предлагается использовать 3 различных коэффициента изменения масштаба k_1 , k_2 и k_3 ($k_1 \geq k_2 \geq k_3$), что позволит выполнить тонкий анализ спектра изображения в области нижних частот.

Учитывая это, предлагается следующий алгоритм построения последовательности приближений L_a :

- 1) Сформировать последовательность приближений $L = \{L^t\}$, $t \in [1; M]$.
- 2) Сформировать на основе выражения (2) массив $X = \{X[t]\}$, $t \in [1; M]$.
- 3) Вычислить индексы l и m , $m > l$, которые делят массив X на 3 части.
- 4) Рассчитать размеры элементов многомасштабной последовательности, с индексами l и m , т. е. размеры элементов L^l и L^m .
- 5) Выбрать коэффициенты k_i ($i \in [1; 3]$), а также количество элементов N_i многомасштабной последовательности L_a , которые должны быть получены с использованием выбранных коэффициентов. Выбор выполнить на основе следующих неравенств:

а) $k_1 \geq k_2 \geq k_3$.

б) $k_1^{N_1} \cdot h \leq L_h^l, k_1^{N_1} \cdot w \leq L_w^l$.

в) $L_h^l \leq k_1^{N_1} \cdot k_2^{N_2} \cdot h \leq L_h^m, L_w^l \leq k_1^{N_1} \cdot k_2^{N_2} \cdot w \leq L_w^m$.

г) $L_h^m \leq k_1^{N_1} \cdot k_2^{N_2} \cdot k_3^{N_3} \cdot h \leq 1, L_w^m \leq k_1^{N_1} \cdot k_2^{N_2} \cdot k_3^{N_3} \cdot w \leq 1$.

где h, L_h^l, L_h^m и w, L_w^l, L_w^m - размеры анализируемого изображения и элементов L^l и L^m по вертикали и горизонтали.

б) Сформировать последовательность L_a изображения f , зная k_i и N_i .

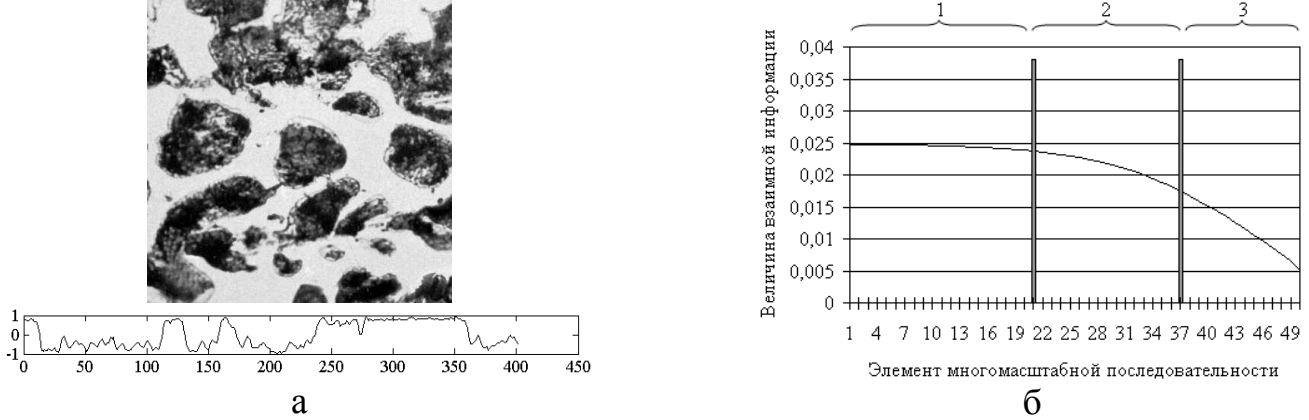


Рис. 4. Деление кривой взаимной информации а – исходное изображение; б – кривая взаимной информации

На рис. 5 приведены строки элементов многомасштабной последовательности приближений, сформированной по изображению, представленному на рис. 4.а.

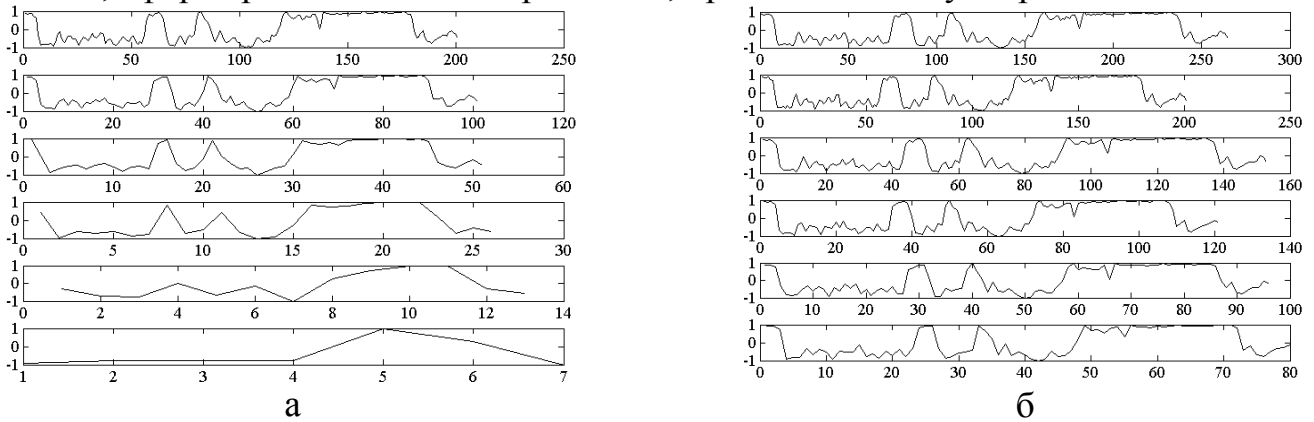


Рис. 5. Многомасштабное представление строки изображения: а – вейвлет-представление; б – L_a

Последовательность L состоит из 50 элементов, размер изображения: 391×402 , $l = 21$, $m = 37$, размер элемента L^{21} - 227×233 , L^{37} - 102×105 отсчётов, $N_1 = 1$, $k_1 = 3/2$, $N_2 = 2$, $k_2 = 4/3$, $N_3 = 3$, $k_3 = 5/4$. Результирующая последовательность состоит из 6 элементов: 261×268 , 196×201 , 147×151 , 118×121 , 94×97 , 75×78 .

Элементы последовательности дополнений содержат характерные особенности изображения, которые в частотном диапазоне отнести, преимущественно, к области верхних частот. Поэтому, при построении последовательности дополнений, важно провести тонкий анализ спектра изображения в области верхних частот. В связи с этим, предлагается алгоритм построения последовательности дополнений H_a , который основан на совместном использовании вейвлет-преобразования с целым и дробным коэффициентами изменения масштаба. На каждом шаге алгоритма исходное изображение раскладывается на:

1) Приближение - за счёт применения к f вейвлет-преобразования с дробным коэффициентом изменения масштаба, $K_L = \{k_t^L\}$, $t \in [1; N-1]$, $k_1^L \leq k_2^L \leq \dots \leq k_{N-1}^L$.

2) Дополнение - применением к f вейвлет-преобразования с целым коэффициентом изменения масштаба, $K_H = \{k_t^H\}$, $t \in [1; N]$, $k_1^H = k_2^H = \dots = k_N^H$.

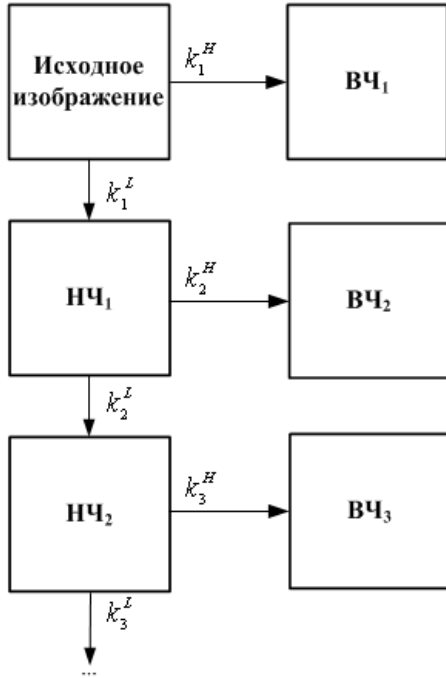


Рис. 6. Схема построения последовательности дополнений

ния связей между отсчётами элементов R^t и R^{t+1} многомасштабной последовательности R , т. е. задача поиска соответствия между отсчётами, соседних элементов последовательности. Пусть R^t содержит $N_1 \times N_1$ отсчётов, R^{t+1} - $N_2 \times N_2$ отсчётов ($N_1 > N_2$, $N_2 = N_1 / k$ где k - коэффициент изменения масштаба, $k > 1$).

Одним из возможных решений данной задачи является разбиение множества отсчётов, принадлежащих элементам последовательности, на группы и описание связей между отсчётами групп. Для вычисления числа отсчётов, которые будут включены в группу в элементах R^t и R^{t+1} предлагается использовать следующую процедуру. Вводятся два числа M_1 и M_2 , где M_1^2 определяет количество отсчётов, которые будут включены в рассматриваемую группу в элементе R^t , а M_2^2 - в элементе R^{t+1} . На эти числа накладываются следующие условия:

- 1) $M_2 < M_1, M_1 \in [1; 10], M_2 \in [1; 10]$.
- 2) $M_1 / M_2 \geq k$.
- 3) $|M_1 - M_2| = \min$ (разница между M_1 и M_2 минимальна).
- 4) Если с учётом условий 1-3 получено несколько возможных пар $\{M_1, M_2\}$: $\{\{M_1, M_2\}_t\}$, $t \in [1; N]$, то выбрать следует ту пару, в которой значения M_1 и M_2 , являются минимальными из всех возможных пар значений.

На рис. 7 показан пример описания связей между элементами последовательности при $k = 3/2$ (серым выделены группа отсчётов).

При обработке многомасштабной последовательности изображения, построенной с коэффициентом изменения масштаба не равным целому числу существуют некоторые

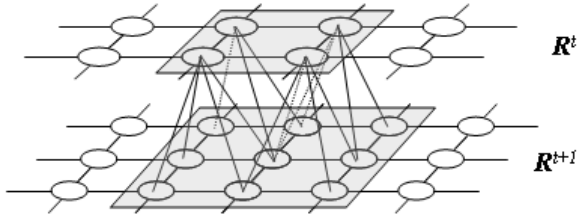


Рис. 7. Описание связей между отсчётами элементов R^t и R^{t+1}

особенности. Допустим, что с каждым отсчётом многомасштабной последовательности связан некоторый параметр.

Тогда, при направлении работы алгоритма обработки многомасштабной последовательности:

1) «Сверху - вниз» стоит задача выбора отсчётов, принадлежащих подмножеству χ на

основе значений параметров которых рассчитывается величина параметра рассматриваемого отсчёта, где χ - подмножество отсчётов элемента R^{t+1} , значения параметров которых могут быть использованы при оценке величины параметра рассматриваемого отсчёта (рис. 8, отсчёты подмножества χ затенены).

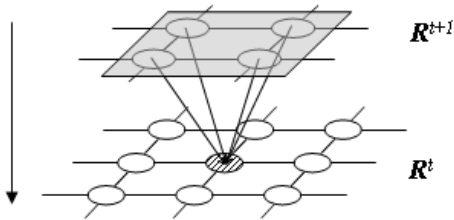


Рис. 8. Особенность №1

Выбор отсчётов можно осуществить, вычислив разницу между параметрами отсчётов подмножества χ и значением параметра отсчёта $R^t[x, y]$, тогда:

а) Если разница невелика, то для оценки величины параметра отсчёта $R^t[x, y]$ можно усреднить

значения параметров отсчётов, подмножества χ .

б) Если разница существенна, то можно выбрать отсчёт подмножества χ со значением параметра, ближайшим к значению параметра отсчёта $R^t[x, y]$, и при вычислении значения параметра отсчёта $R^t[x, y]$ учитывать только его.

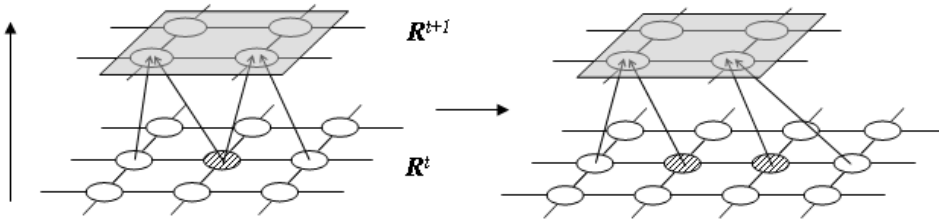


Рис. 9. Особенность №2

2) «Снизу - вверх» необходимо рассчитать величину параметров нескольких отсчётов элемента R^{t+1} с учётом величины параметра отсчёта элемента R^t . Для решения такой задачи

можно использовать схему, показанную на рис. 9.

Алгоритм выбора окрестности элемента многомасштабной последовательности R заключается в следующем:

1) Выполнить циклический сдвиг элемента R^t на i отсчётов по горизонтали и j отсчётов по вертикали, получив, таким образом, элемент R_s^t .

2) Вычислить величину взаимной информации между элементами R^t и R_s^t :

$$MT[i, j] = I(R^t, R_s^t).$$

3) Выполнить шаги 1 и 2 для каждого значения i и j , $i \in [-(N-1)/2; (N-1)/2]$, $j \in [-(M-1)/2; (M-1)/2]$, $N \times M$ - размер окрестности.

4) Выполнить нормализацию: $MT[i, j] = MT[i, j] / \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M MT[x, y]$.

Результатом работы алгоритма является матрица весовых коэффициентов MT размером $N \times M$ элементов. Для выбора окрестности к матрице весовых коэффициентов MT применяется процедура отсечения по порогу:

$$n[i, j] = \begin{cases} 1, & MT[i, j] \geq Thr, \\ 0, & MT[i, j] < Thr, \end{cases} \quad (3)$$

где $Thr \in [0; 1]$ - порог.

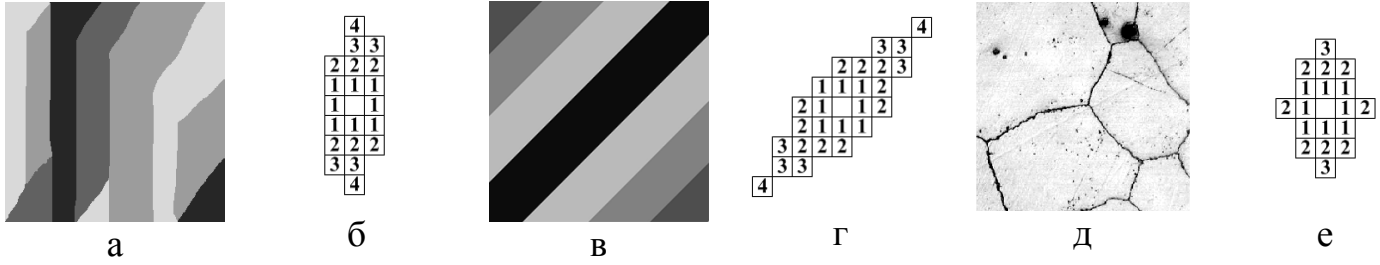


Рис. 10. Выбор окрестности: а, в, д – исходные изображения; б, г, е – выбранные окрестности изображений

Предлагаемые модифицированные модели скрытого марковского дерева и многомасштабного марковского случайного поля основаны на соответствующих базовых моделях. При этом в качестве исходных данных для моделей используются последовательности дополнений и приближений, которые формируются на основе предложенных алгоритмов. Описание связей между отсчетами последовательности в моделях основано на использовании окрестности с настраиваемой конфигурацией. Алгоритмы обработки данных, разработанные для базовых моделей, изменены с учётом того, что в качестве исходных данных используется многомасштабная последовательность с переменным коэффициентом изменения масштаба. На рис. 11 показаны связи между отсчетами многомасштабного представления, описываемые моделями.

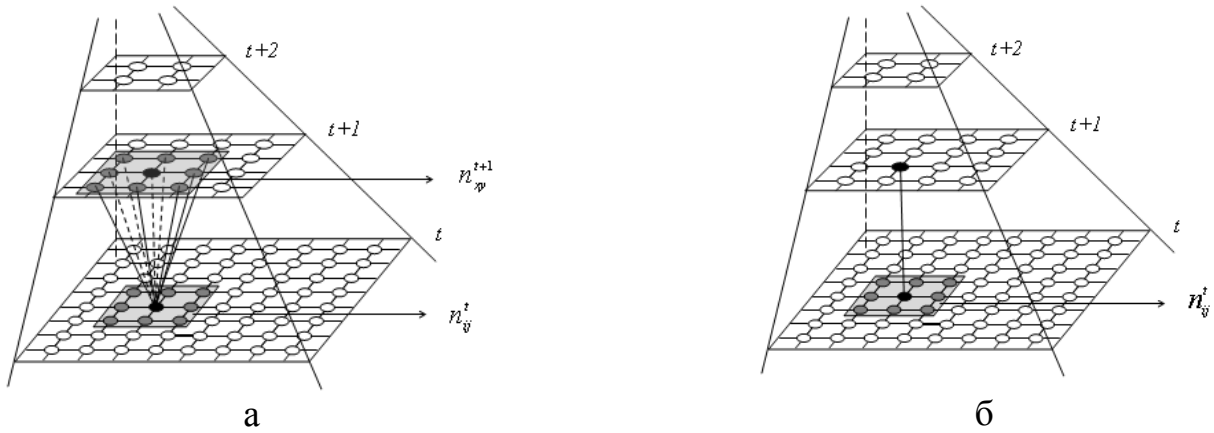


Рис. 11. Связи между отсчетами, описываемыми в модифицированных моделях: а – многомасштабного марковского случайного поля; б – скрытого марковского дерева

На рис. 12.а показано изображение, синтезированное на основе модифицированной модели скрытого марковского дерева. Для сравнения, на рис. 12.б приведено изображение поля белого гауссова шума.

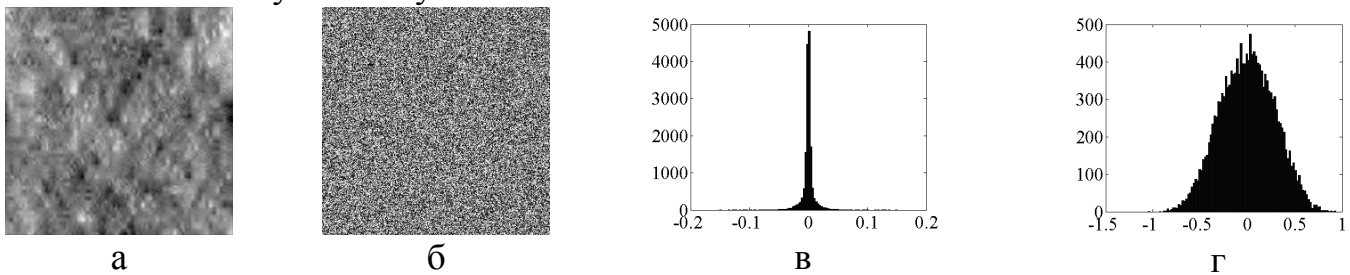


Рис. 12. Исследуемые изображения: а-б – синтезированные изображения; в-г – гistogramмы отсчётов дополнения H_h^1

Форма гistogramмы отсчётов дополнения H_h^1 (рис. 12.а) свидетельствует о том, что

на изображении присутствуют области, приблизительно однородные по яркости, и области с резкими перепадами яркости. Обычно, такой структурой обладают реальные изображения. На рис. 13 показаны окрестности, использованные при генерации последовательностей дополнений. Окрестности, выбранные по элементам последовательностей дополнений, подобны окрестностям, используемым для их генерации.

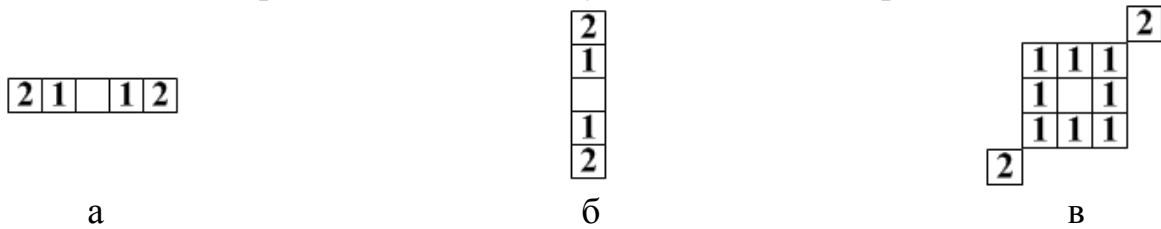


Рис. 13. Окрестности, используемые при генерации: а – H_h ; б – H_v ; в – H_d

Изображение, сгенерированное на основе модифицированной модели многомасштабного марковского случайного поля, показано на рис. 14.б, на рис. 14.а приведена окрестность, используемая при генерации. На рис. 14.в показана окрестность, выбранная по сгенерированному изображению.

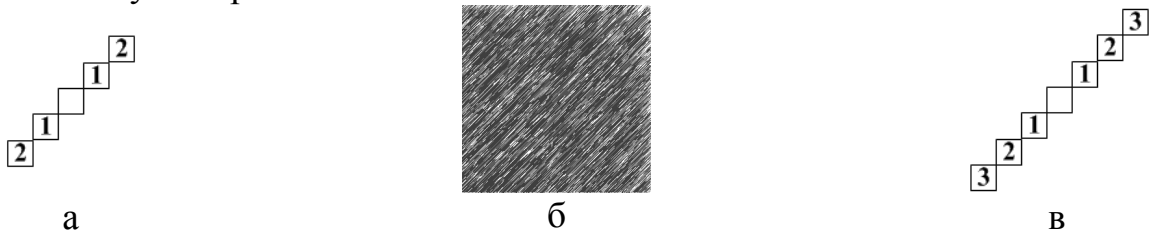


Рис. 14. Используемые окрестности: а – окрестность n'_{ij} ;

б – синтезированное изображение; в – выбранная окрестность

В третьей главе на основе предложенных моделей разрабатываются алгоритмы сегментации и восстановления изображений. Выполняется исследование разработанных алгоритмов.

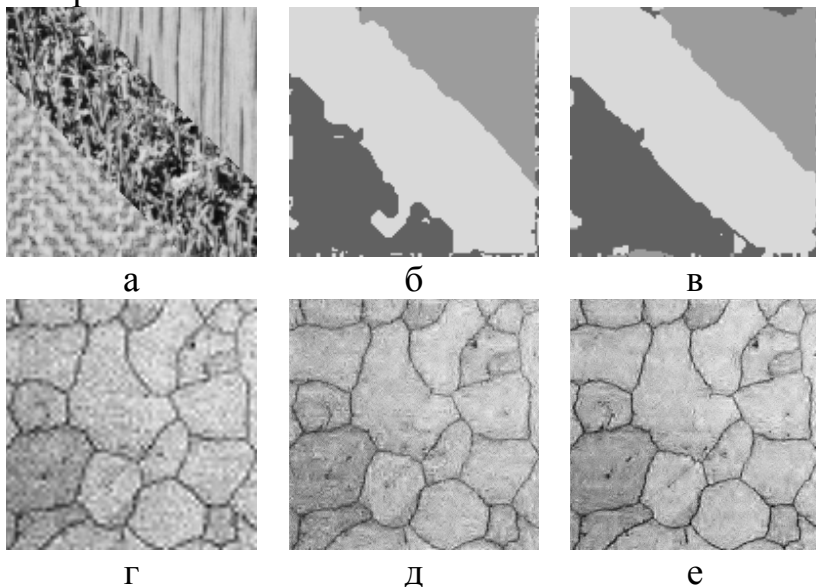


Рис. 15. Результаты работы алгоритмов: а – исходное изображение; ошибка сегментации: б – 12,329%; в – 2,758 %; ОСШ: г – 9,80; д – 10,70; е – 11,41

Результаты восстановления изображения на основе пороговой вейвлет - фильтрации, приведенные на рис. 15.г, уступают результатам восстановления, полученным на основе предложенного алгоритма.

Результаты работы алгоритмов сегментации и восстановления изображений (рис. 16.а,г), разработанных на основе модифицированной модели многомасштабного марковского случайного поля показаны на рис. 16.б,д, на основе модели многомасштабного марковского случайного поля - на рис. 16.в,е. Результаты работы алгоритмов сегментации и восстановления изображений (рис. 16.г, 128×128, рис. 15.а, 256×256), разработанных на основе модели скрытого марковского дерева, показаны на рис. 15.б,д, на основе модели скрытого марковского дерева - на рис. 15.в,е.

Оценка качества восстановления изображения основана на вычислении отношения «сигнал/шум» (ОСШ) между исходным изображением и изображением, полученным в результате применения алгоритма восстановления к искажённому изображению, полученному на основе исходного. Ошибка сегментации представляет собой величину разницы между картой расположения объектов изображения, полученной в результате сегментации, и картой расположения объектов на анализируемом изображении.

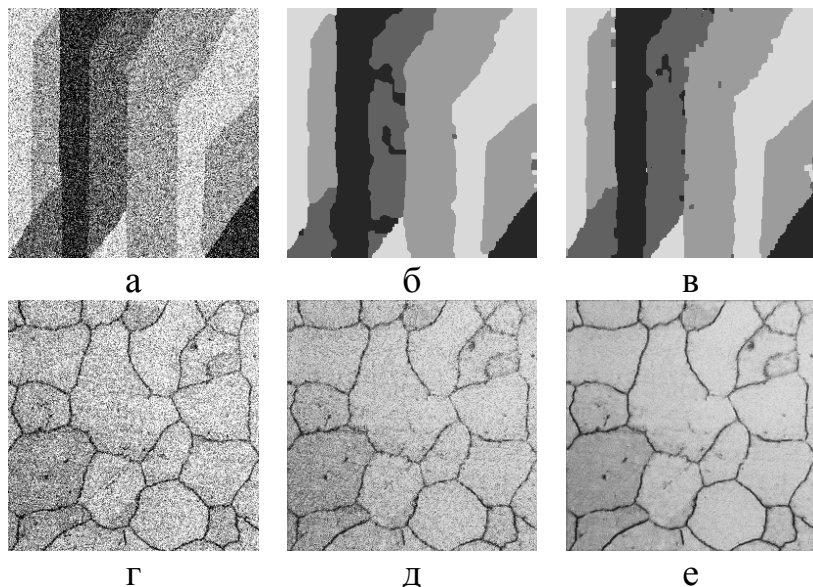


Рис. 16. Результаты работы алгоритмов: а, в— исходное изображение; ошибка сегментации: б— 6,163%; в—3,068%; ОСШ: г—1,78; д—14,05; е—16,27

аддитивного шума, как на приблизительно однородных областях изображений, так и на областях перепадов яркости без смазывания границ.

В четвёртой главе приведены результаты практического применения разработанных многомасштабных алгоритмов обработки изображений для анализа изображений микро- и макроструктуры металлов и сплавов, автоматизированная система анализа изображений микро- и макроструктуры металлов и сплавов.

Алгоритм оценки балла зерна металла позволяет вычислить количество и размеры частиц, расположенных на изображении микроструктуры металла. Алгоритм состоит из следующих этапов: улучшение изображения микроструктуры; сегментация изображения на области, относящиеся к зёрнам и границам зёрен; подсчёт и оценка размеров выделенных зёрен. Результаты работы алгоритма показаны на рис. 17. Экспертная оценка показывает, что микроструктура сплава ЭИ437БУВД содержит зёрна 2, 3 и 4-го баллов.

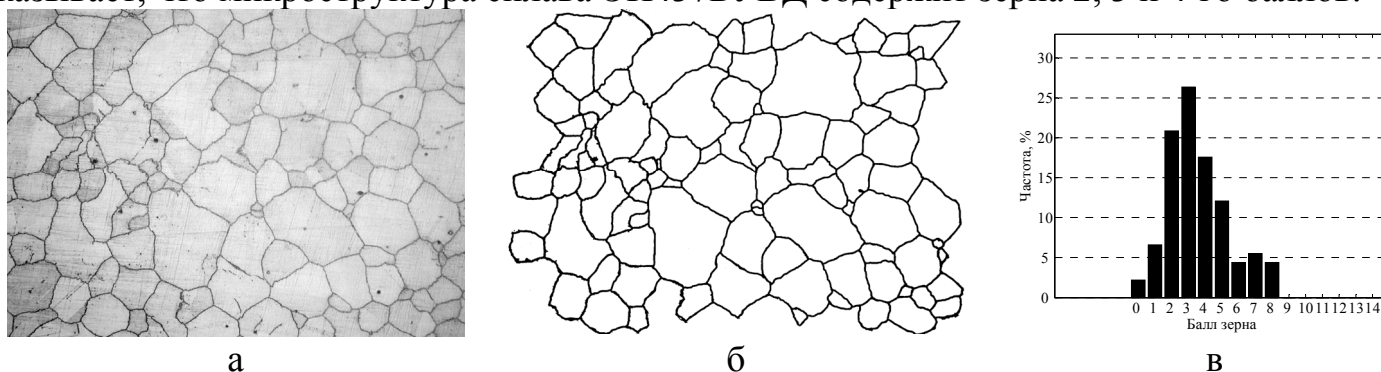
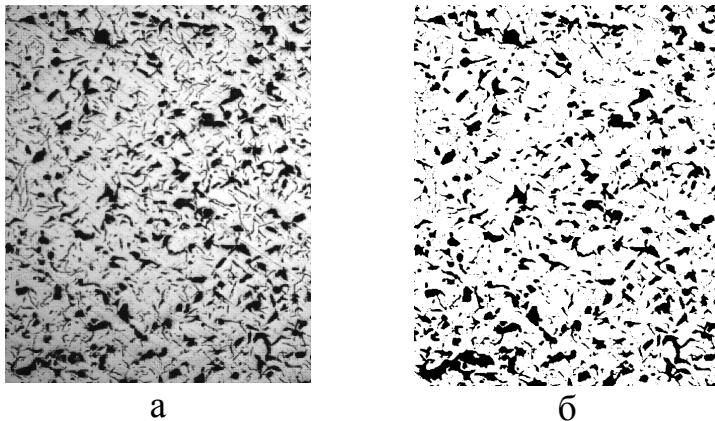


Рис. 17. Оценка балла зерна: а — исходное изображение; б — выделенные зёрна; в — гистограмма размеров зёрен

Алгоритм определения удельной поверхности раздела фаз (P_v) в качестве исходных данных использует изображение с выделенными границами зёрен (рис. 17.б), для получения которого используется алгоритм сегментации изображения.

В результате выполнения автоматической оценки для изображения, представленного на рис. 17.б получено, что $P_v = 20,40 \text{ мм}^2 / \text{мм}^3$, в результате выполнения экспертной оценки получено, что $P_v = 22 \text{ мм}^2 / \text{мм}^3$.

Алгоритм вычисления количественного соотношения фаз в сплаве заключается в сегментации изображения микроструктуры сплава на области, относящиеся к разным фазам. После этого вычисляется количество отсчётов относящихся к каждой фазе (рис. 18).



Характеристики образца:

Материал: чугун СЧ10

Увеличение: 100

Заключение эксперта (ГОСТ 3443):

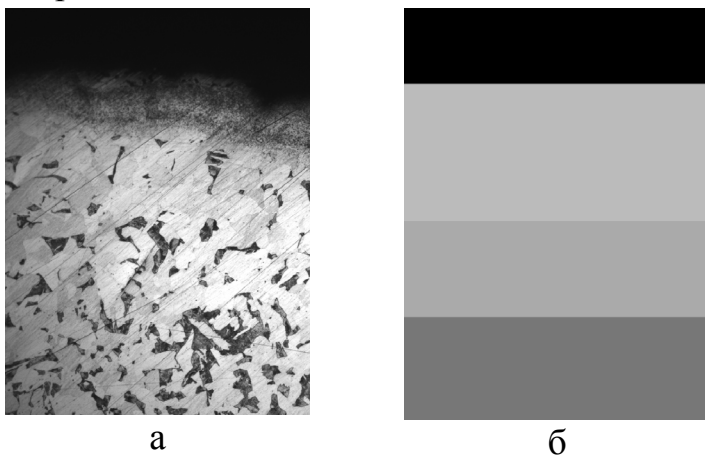
Количество графита: 5 - 10% (ВГ92)

Автоматизированная оценка:

Количество графита: 8,13% (ВГ92)

Рис. 18. Оценка количества графита, изображение: а – темплата; б – сегментированное

Алгоритм оценки глубины обезуглероживания позволяет определить глубину обезуглероживания заготовки из стали.



Характеристики образца:

Материал: сталь 40Х

Увеличение: 100

Заключение эксперта (ГОСТ 1763):

Глубина слоя: 0,33 мм

Автоматизированная оценка:

Глубина слоя: 0,318 мм

Рис. 19. Оценка обезуглероживания: а – исходное изображение; б – результат выделения зон

При оценке глубины обезуглероженного слоя в зависимости от структуры слоя, которая определяется маркой стали, выбирается или алгоритм сегментации текстуры или изображения, содержащего области приблизительно однородные по яркости. На рис. 19.а показано исходное изображение микроструктуры обезуглероженного слоя заготовки из стали 40Х, на рис. 19.б - результат выделения зон частичного и полного обезуглероживания.

Алгоритм оценки параметров усталостного излома позволяет определить процентное соотношение площадей зон усталостного S_f и статического S_r разрушения излома. Выделение зон излома выполняется на основе алгоритмов сегментации. В зависимости от яркостных и текстурных характеристик зон излома для сегментации используется

или алгоритм сегментации изображений текстуры или изображений, состоящих из областей с приблизительно однородной яркостью.

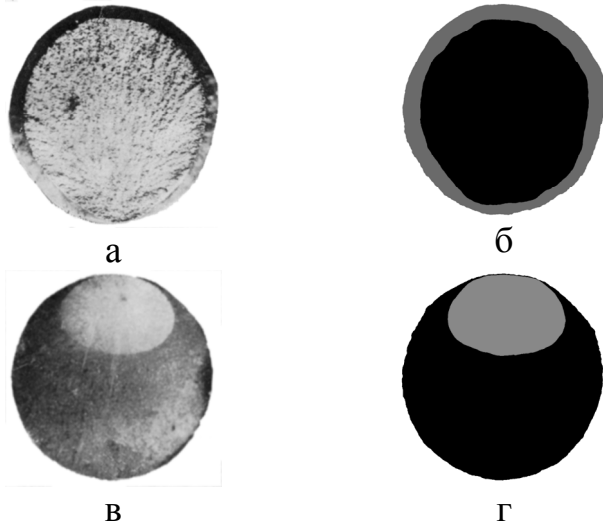


Рис. 20. Оценка параметров излома:
а, в – исходные изображения;
б, г – результаты сегментации

Образец: рис. 20.а

Характеристики образца:

Материал: Сталь 45ХН2МФА

Заключение эксперта:

$S_f = 23\%$, $S_r = 77\%$

Автоматизированная оценка:

$S_f = 28\%$, $S_r = 72\%$

Образец: рис. 20.б

Характеристики образца:

Материал: Сталь 38ХС

Заключение эксперта:

$S_f = 25\%$, $S_r = 75\%$

Автоматизированная оценка:

$S_f = 21\%$, $S_r = 79\%$

Разработанная автоматизированная система основана на предложенных алгоритмах сегментации и восстановления изображений.

Структура системы приведена на рис. 21. Использование данной системы позволяет снизить временные затраты на оценку параметров структуры металла.

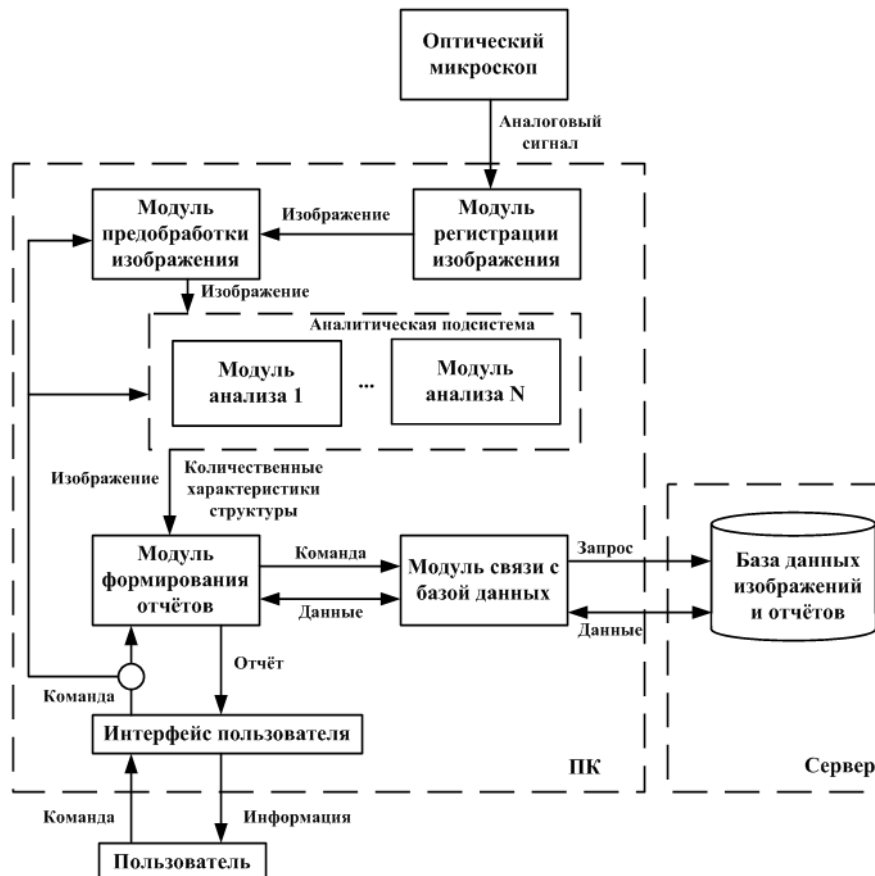


Рис. 21. Структура системы анализа изображений структуры металла

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

1. Осуществлён анализ свойств многомасштабного представления изображений. Выделены наиболее существенные связи между элементами многомасштабного представления, которые могут быть описаны при разработке моделей изображений.

2. Предложены модифицированные математические модели многомасштабного представления изображений, основанные на использовании выбора коэффициентов изменения масштаба и окрестности элементов изображения с настраиваемой конфигурацией.

3. Разработаны алгоритмы построения многомасштабного представления изображения.

4. Разработан алгоритм выбора окрестности элемента изображения многомасштабной последовательности.

5. Предложена методика описания связей между элементами изображений последовательности с произвольным коэффициентом изменения масштаба.

6. Разработаны алгоритмы восстановления и сегментации изображений на основе предложенных многомасштабных моделей изображений.

7. Выполнено исследование существующих и разработанных алгоритмов обработки изображений. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанных алгоритмов.

8. Разработанные алгоритмы обработки изображений, реализованные в виде программного комплекса, использованы при решении практических задач, связанных с обработкой изображений макро- и микроструктуры металлов и сплавов.

В приложении приведены копии документов, подтверждающих практическое использование результатов исследований, копии патентных документов и свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ,

в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК

Министерства образования и науки РФ:

1. Гай, В. Е. Разработка математических моделей многомасштабного представления цифровых изображений / В. Е. Гай // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4.1 (30). – С. 136 - 140.

2. Гай, В. Е. Использование критерия взаимной информации в локальных алгоритмах обработки вейвлет - коэффициентов / В. Е. Гай, А. Л. Жизняков // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Т. 5. – № 1. – С. 12 – 17.

3. Гай, В. Е. Выбор структуры локальной области в вейвлет алгоритмах обработки изображений / В. Е. Гай, А. Л. Жизняков // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 2(28). – С. 82 – 86.

4. Жизняков, А. Л. Сегментация изображений на базе использования адаптивной локальной области / А. Л. Жизняков, В. Е. Гай // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 1. – С. 16 - 21.

5. Zhiznyakov, A. L. Evaluation of local dependencies of images wavelet decomposition / A. L. Zhiznyakov, S. S. Sadykov, V. E. Gai // Pattern recognition and image analysis. – 2008. – V. 18. – No. 4. – P. 723-726.

патенты

6. Пат. 62469 Российская Федерация, МПК⁷ G 06 F 17/14. Устройство вычисления адаптивного вейвлет - преобразования / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – №2006134238/22; заявл. 25.09.2006; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 10. – 2 с.: ил.

7. Пат. 64799 Российская Федерация, МПК⁷ G 06 K 9/64. Устройство классификации изображений микроструктур металлов / Жизняков А. Л., Гай В. Е., Вакунов Н. В.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е., Вакунов Н. В. – №2007106205/22; заявл. 19.02.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19. – 2 с.: ил.

8. Пат. 64798 Российская Федерация, МПК⁷ G 06 F 17/94. Устройство адаптивного многомасштабного разложения изображения / Жизняков А. Л., Гай В. Е., Вакунов Н. В.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е., Вакунов Н. В. – №2007104370/22; заявл. 05.02.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19. – 2 с.: ил.

9. Пат. 59863 Российская Федерация, МПК⁷ G 06 T 1/00. Устройство для определения различия между исходным и обработанным изображениями / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – №2006116365/22; заявл. 12.05.2006; опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36. – 3 с.: ил.

10. Пат. 60247 Российская Федерация, МПК⁷ G 06 K 9/46. Устройство выделения контуров изображений объектов / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – №2006129109/22; заявл. 10.08.2006; опубл. 10.01.2007, Бюл. № 1. – 2 с.: ил.

11. Пат. 61444 Российская Федерация, МПК⁷ G 06 K 9/46. Устройство вычисления коэффициента масштабирования сигнала при выполнении вейвлет-преобразования / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – №2006130813/22; заявл. 25.08.2006; опубл. 27.02.2007, Бюл. № 6. – 2 с.: ил.

свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

12. Свид. об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2007612778 Российская Федерация. Автоматизированная система многомасштабного анализа изображений микроструктур металлов / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – №2007611843; заявл. 10.05.2007; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 28.06.2007.

13. Свид. об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2007612777 Российская Федерация. Программа проведения фрактографических исследований / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – 2007611842; заявл. 10.05.2007; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 28.06.2007.

14. Свид. об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2007610518 Российская Федерация. Программа восстановления изображений с использованием статистических зависимостей между вейвлет коэффициентами металлов / Жизняков А. Л., Гай В. Е.; заявитель и правообладатель Жизняков А. Л., Гай В. Е. – №2006614165; заявл. 06.12.2006; зарег. в реестре прогр. для ЭВМ 31.01.2007.

научных журналах, сборниках и материалах научно-технических конференций

15. Жизняков, А. Л. Применение пакетного вейвлет - преобразования для анализа многомерных сигналов / А. Л. Жизняков, В. Е. Гай // Радиотехника. – 2007. – №6. – С. 48 - 51.

16. Гай, В. Е. Алгоритм построения адаптивной последовательности дополнений / В. Е. Гай, А. Л. Жизняков // Известия ОрёлГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии». – 2008. – №1-2/269(544). – С. 58 - 61.

17. Фомин, А. А. Применение непрерывного вейвлет преобразования для выделения особенностей изображений / А. А. Фомин, В. Е. Гай // Прил. к Журналу «Открытое образование»: матер. XXXIII междунар. конф. «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе IT + SE'06». Ялта, 5 – 15 окт. 2006 г. – С. 194 – 196.
18. Гай, В. Е. Об одном подходе к сегментации изображений / В. Е. Гай // Искусственный интеллект. – 2007. – №4. – С. 264-271.
19. Gai, V. E. The multiscale models using in images reconstruction tasks / V. E. Gai, A. L. Zhiznyakov, A. A. Fomin // Proceedings of Russian scientific and technical radio engineering, electronics and link society estate A.S. Popov, Series: Digital signal processing and its application, Moscow, 2008. – Issue X-2. – P. 437.
20. Gai, V. E. Parameters research of spatial interaction models of wavelet coefficients / V. E. Gai, A. L. Zhiznyakov // Proceedings of Russian scientific and technical radio engineering, electronics and link society estate A.S. Popov, Series: Digital signal processing and its application, Moscow, 2007. – Issue IX-2. – P. 295 – 296.
21. Gai, V. E. The research of multiscale image models / V. E. Gai, A. L. Zhiznyakov // Proceedings of 9th International Conference "Pattern recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-9-2008): Vol. 1. – Nizhni Novgorod, 2008. P. 157-158.
22. Гай, В. Е. Многомасштабный подход к оценке балла зерна стали / В. Е. Гай, А. Л. Жизняков // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2008. – Т. 5. – №2. – С. 128-130.
23. Гай, В. Е. Многомасштабный подход к исследованию изображений усталостных изломов / В. Е. Гай, А. Л. Жизняков // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2008. – Т. 5. – №1. – С. 87-89.

Автореферат диссертации
на соискание учёной степени
кандидата технических наук

ГАЙ ВАСИЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ
МНОГОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Подписано в печать 27.01.2009 г.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 0,91. Формат 60×84 1/16
Тираж 100 экз. Заказ № 1370.
Отпечатано в полиграфическом отделе
издательско-полиграфического центра
Муромского института (филиала)
Владимирского государственного университета
Адрес: 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23.