

Белоусов Артем Анатольевич

**Алгоритмы и программные средства эволюционной
обработки изображений**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (отрасль: промышленность)

А в т о р е ф е р а т
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре Вычислительной техники Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, старший научный сотрудник
В.Г. Спицын

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Кориков Анатолий Михайлович

кандидат технических наук,
Напрюшкин Александр Алексеевич

Ведущая организация:

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева

Защита состоится 24 декабря 2010 г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.06 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84, Институт Кибернетики ТПУ, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан 23 ноября 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций Д 212.169.06
к.т.н., доцент

 М.А. Сонькин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Применение цифровых изображений началось еще в начале 1920-х годов, когда была реализована передача иллюстраций для газет по трансокеанскому подводному кабелю между Лондоном и Нью-Йорком, позволившая сократить время передачи изображения через Атлантику до 3 часов. А появление компьютеров в середине XX века привело к возникновению новой области науки – цифровой обработки изображений.

Первые компьютеры, обладающие достаточной для обработки изображений мощностью, появились в 60-х годах прошлого века. Одновременно с этим возникла необходимость обработки снимков, получаемых с космических аппаратов. В 1964 году цифровое улучшение качества изображений было впервые применено для исправления искажений на снимках переданных космическим аппаратом «Рейнджер-7», появившихся вследствие особенностей его бортовой камеры. Вслед за этим стали появляться и другие задачи по цифровой обработке изображений, такие как сжатие изображений, сегментация, морфологический анализ и многие другие.

Характерной особенностью многих методов цифровой обработки изображений является проблема формализуемости преобразований. Попытки решения данных задач детерминированными методами часто сталкиваются с различными ограничениями, такими как сложность формального представления преобразований, наличие большого количества параметров и отсутствие эталонного решения. В процессе развития методов и средств обработки изображений стали появляться методы обработки изображений, основанные на применении новых концепций поиска решений в вычислительных системах. Одной из таких концепций явились эволюционные вычисления.

Идеи применения принципов естественного отбора для решения задач впервые были опубликованы Джоном Холландом в начале 60-х годов

прошлого века, однако широкое признание и распространение получили после опубликования в 1975 году его классической работы о генетических алгоритмах под названием «Адаптация в естественных и искусственных системах». Эта работа является основополагающей в области исследования генетических алгоритмов. В ней же была сформулирована и доказана теорема схем, дающая обоснование эффективности генетических алгоритмов. Теорема схем доказывает происходящее при смене поколений экспоненциальное распространение хорошо приспособленных схем с малыми порядком и определяющей длиной. Эта теорема была дополнена гипотезой строительных блоков Гольдберга в 1989 году. Работы Рехенберга 1973 года и Швифеля 1981 года описывают эволюционные стратегии, а Фогель, Оуэнс и Уолш в 1966 году описали эволюционное программирование. Работы в области эволюционных вычислений велись и в России. В основном эти исследования опирались на работы по самообучающимся системам и стохастической оптимизации. В результате исследований эволюционных вычислений в целом и генетических алгоритмов в частности была показана их высокая эффективность при решении задач многопараметрической оптимизации.

Важным преимуществом генетических алгоритмов является сочетание стохастических и детерминированных свойств. Применение генетических алгоритмов для поиска экстремумов сложных многомодальных функций дает возможность поиска решений за приемлемое время и с достаточно высокой точностью. Кроме того, генетические алгоритмы могут применяться для поиска решений в сложноформализуемых задачах, на которых применение детерминированных методов вообще невозможно.

Применение генетических алгоритмов в таких задачах позволяет находить решения даже при неизвестной форме преобразования, например при подборе структуры и весов нейронной сети при нейро-эволюционном подходе к улучшению изображений. Для работы генетического алгоритма достаточно возможности формального представления решений и критерия

оценки результата. При этом за счет наличия стохастической составляющей ГА обладают достаточно широким пространством поиска, а за счет механизма наследования позволяют сохранить свойства близких к оптимальным решений.

Таким образом, можно сделать вывод об актуальности исследования методов обработки изображений, основанных на эволюционных вычислениях.

Исследования и разработки по теме диссертационной работы проводились в соответствии с утвержденным планом НИР Института «Кибернетический центр» ТПУ в рамках проекта «Разработка технологии автоматизированного улучшения качества цифровых изображений на основе применения эволюционирующей нейронной сети» поддержанного грантом РФФИ № 06-08-00840 (2006 – 2008 гг.), проекта «Создание программного комплекса автоматизированной обработки изображений и распознавания образов на основе применения искусственных нейронных сетей, регуляторных сетей и эволюционных алгоритмов» поддержанного грантом РФФИ № 09-08-00309 (2009 – 2011 гг.), а также поддержаны грантами по программам «У.М.Н.И.К.» и «Microsoft Бизнес-Старт» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

Тема диссертационной работы утверждена на Совете Института «Кибернетический Центр» (протокол № 10 от 24.11.2007 г.).

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является разработка полностью автоматического алгоритма улучшения цифровых изображений, основанного на методах эволюционных вычислений, а также его реализация в виде программных средств.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательное решение следующих задач:

1. Общий анализ методов эволюционного подхода к решению задач оптимизации и формирование на основе результатов анализа требований к генетическому алгоритму для обработки изображений.

2. Выбор и исследование операторов и модели генетического алгоритма, наиболее подходящих для решения задач обработки цифровых изображений.

3. Разработка алгоритма обработки изображений, основанного на ГА, с учетом результатов решения предыдущих задач. Решение данной задачи предполагает также исследование эффективности применения разработанного алгоритма.

4. Разработка и адаптация дополнительных этапов обработки для повышения скорости или качества обработки. Исследование эффективности применения выбранных дополнительных этапов обработки.

5. Апробация разработанного алгоритма для решения задачи улучшения визуального качества изображений.

Методы исследований. В работе использованы методы математической статистики, теории оптимизации, цифровой обработки изображений, теории информации, мягких вычислений, технологий программирования.

Научную новизну полученных в диссертации результатов определяют:

1. Комплексный алгоритм улучшения изображений на основе применения генетического алгоритма, который включает следующие этапы предобработки:

- усиление контраста на основе модели “Освещенность-Отраженность”,
- выравнивание гистограмм изображений,
- адаптивное масштабирование изображений.

2. Упрощенная функция преобразования изображений, позволившая сократить затраты времени на вычисление локальных характеристик и повысить качество обработки.

3. Модифицированная оценка качества изображений, учитывающая особенности человеческого зрения и алгоритма обработки изображений.

4. Адаптивный способ масштабирования изображений,

позволяющий ускорить поиск решения генетическим алгоритмом за счет сокращения времени преобразования уменьшенных копий изображения и оценки их качества.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Практически значимыми являются методы, алгоритмы, аналитические оценки и формулы, разработанные и полученные в результате диссертационного исследования.

Разработанные программные средства для обработки изображений используются в ООО НПП «Томская электронная компания» для обработки снимков микроструктуры металла шлифов на этапе их предварительной подготовки для анализа микроструктуры. Кроме того, внедренное программное обеспечение применяется в отделе маркетинга для автоматического улучшения фотоснимков низкого качества, полученных в промышленных условиях. Результаты внедрения подтверждены соответствующим актом. Кроме того планируется широкое распространение разработанных программных средств для конечных пользователей. Потенциальными потребителями разработанных продуктов являются исследовательские организации, производящие обработку цифровых снимков в различных областях (металлографии, дефектоскопии, техническом зрении, дистанционном зондировании), а также пользователи, производящие обработку фотоснимков низкого качества для личного пользования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный метод повышения визуального качества цифровых изображений позволяет достаточно быстро и эффективно улучшать качество изображений. Результаты обработки по ряду параметров превосходят известные аналоги.

2. Применение предобработки изображения при помощи I-R (Illuminance-Reflectance) алгоритма и алгоритма выравнивания гистограмм позволяет повысить скорость обработки за счет исключения из ядра преобразования изображений среднеквадратического отклонения по

окрестности. Качество обработки при этом повышается.

3. Модифицированная оценка качества изображений позволяет учитывать особенности человеческого зрения и особенности функционирования алгоритма.

4. Адаптивное масштабирование изображений позволяет значительно сократить время обработки изображений без существенных потерь качества обработки в тех случаях, когда исходное изображение обладает достаточной энтропией.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих симпозиумах, конференциях и семинарах: XIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (г. Томск, 2006 г.), IV и V Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (г. Томск, 2006 и 2007 г.), XIII и XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2007 и 2008 г.), VI Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (г. Томск, 2009 г.).

По результатам диссертационных исследований опубликовано 11 работ.

Личный вклад:

1. Постановка задач диссертационного исследования выполнена автором совместно с В.Г. Спицыным.

2. Модификация оценки качества изображений для целевой функции генетического алгоритма и ядра преобразования изображений выполнена автором.

3. Формирование критериев сравнения моделей ГА применительно к решаемой задаче выполнено автором. Им же произведено экспериментальное исследование трех моделей ГА и произведен выбор

наиболее подходящей из них для реализации.

4. Исследование и модификация алгоритма выравнивания гистограмм выполнена автором.

5. Исследование и реализация метода на основе модели Освещенность-Отраженность выполнена автором совместно с А.Ю. Шековым.

6. Постановка задачи исследования возможности масштабирования обрабатываемых изображений выполнена автором совместно с В.Г. Спицыным и Ю.Р. Цоем.

7. Модификация генетического алгоритма улучшения цифровых изображений после внедрения предварительных этапов обработки и адаптивного масштабирования изображений произведена автором.

8. Исследование методов металлографических исследований и адаптация разработанного алгоритма для задачи исследования макро- и микроструктуры металлических шлифов произведены автором.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 138 наименования и приложения. Объем основного текста диссертации составляет 168 страниц машинописного текста, иллюстрированного 31 рисунком и 25 таблицами.

Содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования и приводится краткое содержание работы по главам.

В **первой главе** представлен обзор различных методов цифровой обработки изображений. Приведена классификация областей применения цифровой обработки изображений по типу используемых изображений.

Представлен аналитический обзор эволюционного подхода к решению различных задач. Описаны основные операторы генетического алгоритма и возможные варианты их реализации. Рассмотрены и различные модели

генетических алгоритмов, существующие на данный момент. Сделаны выводы о достоинствах существующих моделей ГА, использованные в дальнейших исследованиях в главе 2.

Проанализированы возможности применения ГА для решения различных задач обработки изображений. Рассмотрены основные проблемы, присущие задачам обработки цифровых изображений. Приведены конкретные примеры применения ГА для решения задач улучшения визуального качества изображений, распознавания образов и обработки медицинских изображений.

Применительно к задаче улучшения изображений рассмотрены варианты преобразования яркостей точек и различные способы оценки изображений. Проанализированы параметры изображений, которые возможно формально оценить.

На основе анализа задач, решаемых при помощи эволюционного подхода, показана возможность решения при помощи ГА многопараметрических задач оптимизации целевой функции, даже в случае ее многомодальности и высокой вычислительной сложности. На основе анализа эволюционного подхода сформулированы следующие требования к ГА для улучшения визуального качества изображений:

1. быстрая сходимость к решениям, близким к оптимальным;
2. наличие возможности регулировки направления поиска решений извне через влияние на генетический алгоритм или внутренние процедуры;
3. минимальное количество вычислений целевой функции ввиду ее высокой вычислительной сложности;
4. представление генов в целочисленном виде с возможностью использования как чисел с плавающей запятой.

Вторая глава посвящена описанию и исследованию разработанного алгоритма повышения качества цифровых изображений.

Приведено описание схемы алгоритма и основных функций, применяемых при обработке. Рассмотрены недостатки функции

преобразования яркостей точек и предложены варианты их устранения. Описаны необходимые модификации оценки целевой функции алгоритма для повышения качества обработки.

В разработанном алгоритме каждая особь кодирует параметры a , b , c и k функции преобразования изображений (1), значения которых необходимо подобрать с помощью генетического алгоритма. При этом на этапе оценки особи производится преобразование изображения по формуле (1) с параметрами, закодированными в этой особи, а затем производится оценка особи по формуле (2). Количество ($\eta(I)$) и интенсивность ($E(I)$) краевых пикселей, используемые в формуле (2) рассчитываются при помощи оператора Собеля, мера энтропии $H(I)$ вычисляется по формуле (3), а уровень адаптации к зрению человека по яркости LQ при помощи формулы (4). Параметр OC определяет количество превышений максимально допустимого значения яркости и позволяет избежать преобразований, приводящих к «вырождению» изображения.

$$g(x, y) = T(f(x, y)) \equiv \left(k \frac{M}{\sigma(x, y) + b} \right) [f(x, y) - cm(x, y)] + m(x, y)^a;$$

$$x = \overline{0 \dots H_{size} - 1};$$

$$y = \overline{0 \dots W_{size} - 1},$$
(1)

где $g(x, y)$ и $f(x, y)$ – полученная и исходная яркость точки с координатами (x, y) , M – глобальное среднее значение яркости изображения, $m(x, y)$ – среднее значение яркости в окрестности $n \times n$, $\sigma(x, y)$ – значение среднеквадратического отклонения в этой же окрестности, а W_{size} и H_{size} – ширина и высота изображения соответственно.

$$F(x) = \ln(\ln(E(I)) + e) \frac{\eta(I)}{H_{size} \times W_{size}} e^{H(I)} \times LQ \times OC$$
(2)

$$H(I) = \sum_i v(i);$$

$$v(i) = \begin{cases} -v_i \log_2(v_i), & v_i \neq 0 \\ 0, & v_i = 0 \end{cases},$$
(3)

где v_i – частота встречаемости пикселей, имеющих уровни градаций яркости между граничными значениями A_i и B_i .

$$LQ = 1 - \left| \frac{\bar{L} - L_{\max} / 2}{L_{\max} / 2} \right|, \quad (4)$$

где $\bar{L}$ – средняя яркость по изображению, а $L_{\max}$ – максимальное возможное значение яркости.

На основе анализа алгоритма и сформулированных в главе 1 требований к нему выбраны возможные модели генетических алгоритмов. Приведено их детальное описание и выбраны критерии сравнения моделей применительно к поставленным задачам.

Описаны эксперименты, проведенные для выбора модели ГА. На основе результатов экспериментов показано, что модель СНС (Cross generational elitist selection, Heterogeneous recombination, Cataclysmic mutation) является несколько быстрее остальных (на 3,9 % быстрее канонической модели и на 4,7% быстрее модели Генитор), однако ввиду отсутствия мутации на основной фазе работы алгоритма и меньшего размера популяции имеет меньшее пространство поиска, что приводит к более низкой приспособленности найденного решения. Модель Генитор, напротив, обладает наиболее низким быстродействием из-за высоких накладных расходов на операторы ГА, однако дает значительно лучшие результаты. По суммарным показателям модель Генитор является наилучшей моделью ГА применительно к данной задаче.

Далее во второй главе приводятся результаты анализа быстродействия разработанного алгоритма и выявляются наиболее ресурсоемкие этапы обработки. На основе результатов анализа и экспериментов показано, что наибольшие затраты на обработку приходятся на вычисление локальных характеристик (более 63 % общего времени обработки) и преобразование изображений (более 28 % времени). Предложены варианты сокращения времени обработки на основе применения предварительных этапов для

исключения среднеквадратического отклонения из функции преобразования яркостей точек и снижения затрат времени на расчет локальных характеристик. Для снижения затрат времени на преобразование изображения предложена обработка уменьшенной копии изображения, с последующим применением преобразования яркости с найденными параметрами к исходному изображению.

Приведено описание и исследование метода повышения контрастности изображения на основе модели Освещенность-Отраженность (Illuminance-Reflectance, I-R). На основе результатов экспериментов показано, что применение данной модели значительно повышает количество и интенсивность краевых пикселей. Обоснован выбор параметров данного преобразования.

Описан метод выравнивания гистограмм, позволяющий повысить как количество и интенсивность краевых пикселей, так и уровень адаптации к зрению человека по яркости. Описаны недостатки этого метода и ограничения на максимальную и минимальную разницу между соседними градациями яркости, введенные для устранения этих недостатков.

Приведена схема использования описанных методов в качестве предварительных этапов обработки. Исследовано влияние такой схемы применения на скорость и результат окончательной обработки. На основе экспериментов показано, что применение выравнивания гистограмм и I-R алгоритма для предобработки изображений с одновременным исключением среднеквадратического отклонения из ядра преобразования приводит к сокращению времени обработки изображения в среднем на 41,8 %, при этом значение комплексной оценки качества удалось повысить приблизительно в 3 раза.

Приведены результаты исследования возможности масштабирования исходного изображения для сокращения времени на поиск решения генетическим алгоритмом. Исследована зависимость снижения качества обработки при масштабировании от различных параметров исходного

изображения, таких как размер изображения, средняя яркость, значение комплексных оценок и ее составляющих. Выявлено, что подобный этап может быть применен только к изображениям, обладающим достаточно большой энтропией, в противном случае наблюдается значительное снижение качества обработки. Для сохранения качества обработки на уровне не менее 90 % по сравнению с обработкой немасштабированного изображения необходимо применять масштабирование только к тем изображениям, исходная энтропия которых составляет не менее 6,22. Описана схема использования масштабирования в итоговом алгоритме.

В третьей главе приведено полное описание разработанных программных средств и результаты их тестирования. Описываются методы и средства, примененные при реализации библиотеки для эволюционной обработки изображений и программных средств.

Сформулированы требования к библиотеке функций, реализующей разработанный алгоритм. Описывается набор принципов проектирования классов SOLID, использованный для разработки архитектуры библиотеки GeneticEnhancer.

Произведен анализ доступных средств разработки и на основе анализа выбраны языки программирования для реализации библиотеки. Для разработки была выбрана платформа Microsoft .Net Framework и языки программирования Visual C++ и Visual C#, поскольку они отвечают всем сформулированным требованиям.

Описывается технология OpenMP, использованная для параллельной обработки массивов данных. Произведено исследование влияния применения данной технологии на время обработки. Показано, что применение параллельных вычислений для преобразования изображений и нахождения значения целевой функции позволяет сократить время обработки приблизительно на 10 %.

Приведено детальное описание структуры классов разработанной библиотеки, включающей 3 основных группы классов:

1. классы, обеспечивающие логику работы ГА;
2. классы, обеспечивающие логику оценки изображений;
3. вспомогательные классы.

Приведено описание разработанных программных средств автоматизированного тестирования методов обработки изображений. Описана программа улучшения визуального качества изображений для конечных пользователей. Перечислены функции и возможности каждой из этих программ.

В **четвертой главе** приведено описание задач металлографии, решаемых с использованием цифровых изображений. Описываются методы исследования макро- и микроструктуры металлических шлифов.

Получаемые в металлографии снимки, в частности снимки микроструктуры, используемые в отделе металловедения ООО НПП «Томская электронная компания» обладают рядом особенностей, которые необходимо учитывать при обработке. Ключевая особенность снимков, полученных через окуляр микроскопа, является круглая форма информативной области и черная рамка вокруг нее. Эта рамка не является абсолютно черной, в ней встречаются различные градации яркости от 0 до 5, однако эти градации не различимы невооруженным глазом. Такая особенность изображений значительно влияет на все предварительные и основные этапы обработки, а в особенности на выравнивание гистограммы и вычисление энтропии, поскольку они зависят от частоты встречаемости различных градаций яркости, а наличие черной рамки приводит к появлению чрезвычайно большой доли неинформативных точек с низкими градациями яркости. Для учета этой особенности снимков на стадии извлечения яркостей все точки рамки помечаются особым образом, и их обработка не производится ни на одном из этапов алгоритма.

Второй особенностью снимков является неравномерное распределение яркости по информативной области. Однако разработанный алгоритм позволяет исправлять такие искажения без модификации.

Произведено тестирование разработанного алгоритма как независимое, так и в сравнении с алгоритмом автонастройки уровней и алгоритмом Multi-Scale Retinex, разработанным в NASA. Среднее время обработки изображения из тестового набора составило 3.9 секунды. Размер изображений при этом составил от 0,09 до 0,65 мегапикселей. Важным достоинством разработанного алгоритма является отсутствие затрат времени на обучение и адаптивная обработка каждого изображения в отдельности. Значение комплексной оценки изображения при этом увеличилось в среднем в 23,83 раза. Выявлена зависимость между повышением значения оценки и ее исходным значением, причем форма этой зависимости близка к логарифмической. Пример результатов работы предложенного алгоритма приведен на рис. 1.



Рис. 1. Пример обработки изображения с использованием предлагаемого алгоритма.

а) исходное изображение; б) улучшенное изображение

При сравнении результатов обработки различными алгоритмами для каждого из них в соответствии с оценкой VIF, обратной оценкой VIF и комплексной оценкой, использованной в работе вычислялись ранги по каждому изображению. Значения сумм рангов для рассматриваемых алгоритмов приведены в таблице 1 (наименьшее значение принадлежит алгоритму, показавшему наилучший результат). Как видно из таблицы, при сравнении качества обработанных изображений на основе оценки VIF (Visual Information Fidelity) разработанный алгоритм дает худшие результаты,

однако при использовании представленной комплексной оценки и обратной оценки VIF разработанный алгоритм превосходит аналоги.

Таблица 1. Значения суммы рангов для алгоритмов обработки изображений по используемым оценкам визуального качества.

Алгоритм обработки	Сумма рангов по оценкам			
	f_{VIF}	f_{rVIF}	Комплексная оценка	Сумма
Multi-Scale Retinex	115	101	112	328
Автонастройка уровней	88	144	137	369
Алгоритм на основе ГА	121	79	75	275

В заключении приведены выводы и результаты диссертационной работы.

Основные результаты и выводы

В результате выполнения диссертационной работы были получены следующие основные научные и практические результаты и сделаны следующие выводы:

1. Разработана модифицированная комплексная оценка качества изображений. Исследования показали, что данная оценка учитывает как основные критерии качества изображений (такие, как контрастность и полнота использования возможных градаций яркости), так и особенности восприятия человека (уровень адаптации к зрению человека по яркости). Кроме того, учитываются некоторые особенности функционирования алгоритма.

2. Предложено использовать в качестве основы для проектирования генетического алгоритма модель Генитор с однородным оператором кроссинговера. В результате экспериментов установлено, что данная модель наиболее точно удовлетворяет особенностям решаемой задачи ввиду максимально широкого пространства поиска.

3. Обосновано использование выравнивания гистограмм и I-R алгоритма в качестве предварительных этапов при обработке изображений.

Применение таких предварительных этапов позволило отказаться от использования среднеквадратического отклонения по окрестности в ядре преобразования изображений, и в результате сократить время обработки изображений более чем на 40 % при одновременном повышении качества обработки.

4. Исследована возможность адаптивного применения масштабирования изображений для сокращения времени работы алгоритма. Установлена зависимость между снижением качества обработки и энтропией исходного изображения. Показано, что масштабирование может применяться без значительных потерь качества результирующего изображения в тех случаях, когда энтропия исходного изображения не менее 6,22.

5. Предложен комплексный метод улучшения изображений, включающий I-R обработку, выравнивание гистограмм, адаптивное масштабирование изображений и обработку генетическим алгоритмом. Исследование предложенного алгоритма показало, что он позволяет достаточно быстро и эффективно повышать визуальное качество изображений. Сравнение с алгоритмами автонастройки уровней и Multi-Scale Retinex показало, что по ряду оценок качества обработки предложенный алгоритм превосходит аналоги, хотя и проигрывает им в скорости обработки.

6. Спроектирована и реализована библиотека обработки изображений на базе генетического алгоритма. Гибкая архитектура библиотеки позволяет вносить изменения и добавлять дополнительные этапы обработки с минимальными трудозатратами и изменениями исходного кода библиотеки. Создана дополнительная библиотека для параллельной обработки массивов данных, использующая технологию OpenMP. Разработаны программные средства для исследователей и обычных пользователей, использующие функции библиотеки.

7. Исследована предметная область металлографии. Разработанный метод адаптирован для обработки снимков макро- и микроструктуры металлических шлифов. В результате применения комплексного алгоритма

на этапе подготовки изображений к металлографическому анализу удалось значительно повысить информативность снимков.

Основные публикации по теме диссертации

Перечень публикаций по теме диссертации:

1. Белоусов А.А., Спицын В.Г., Сидоров Д.В. Применение генетических алгоритмов и вейвлет-преобразований для повышения качества изображений // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 21-26.

2. Белоусов А.А., Спицын В.Г. Применение генетических алгоритмов для повышения качества полутонных изображений // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, ТПУ, 28 февраля – 2 марта 2006. – Томск: ТПУ. – 2006. – С. 411-413.

3. Belousov A.A., Spitsyn V.V. Colour image enhancement using evolutionary algorithm, Proceedings of XII International Research-Practical Conference of Students, Post-Graduate Students and Young Scientists "Modern engineering and technology", 27 – 31 March 2006. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University. – 2006. – Pp. 111-113.

4. Belousov A.A., Spitsyn V.G., Sidorov D.V. Applying wavelets and evolutionary algorithms to automatic image enhancement // Proceedings of SPIE. – 2006. – Vol. 6522. – P. 652210-1-652210-9.

5. Belousov A.A., Sidorov D.V., Spitsyn V.G. Applying wavelets and evolutionary algorithms to automatic image enhancement // XIII International Symposium "Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics", Tomsk, July 2-6. – 2006. – Pp. 104.

6. Белоусов А.А., Спицын В.Г. Двухэтапный метод улучшения изображений // Труды XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Современная

техника и технологии ”. Т. 2. Томск. 26 – 30 марта 2007 г. – Изд-во ТПУ. – 2007. – С. 282-284.

7. Спицын В.Г., Цой Ю.Р., Чернявский А.В., Белоусов А.А., Сидоров Д.В. Улучшение качества изображений на основе применения эволюционирующей нейронной сети, вейвлет-преобразования и генетического алгоритма // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Выпуск: IX-2, Доклады 9-й Международной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применение”, 28-30 марта 2007, Москва. – М. – 2007. – С. 570-574.

8. Spitsyn V.G., Tsoy Y.R., Belousov A.A. Images Enhancement with Use of Evolving Neural Network, Wavelet Transform and Genetic Algorithm // 2007 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, June 10-15, 2007, Honolulu, Hawai'i. – USA. – 2007. – Vol. 4. – Pp. 1497-1500.

9. Белоусов А.А. Высокоскоротной метод повышения качества изображений // Современные техника и технологии: Труды XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, 24-28 марта 2008. – Томск: ТПУ. – 2008. – С. 244-245.

10. Белоусов А.А. Двухэтапный метод улучшения изображений // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, 17-18 марта 2009. – Томск: ТПУ. – 2009. – С. 123-125.

11. Belousov A.A., Spitsyn V.G., Sidorov D.V., Application of Wavelet Transform and Genetic Algorithms for Image Processing // Proceedings of International Conference on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition, Las Vegas, USA, July 13-16, 2009. – Vol. 2. – Pp. 846-851.