

На правах рукописи

Филиппов Тимур Константинович

**СЖАТИЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ
ПРИ ПОМОЩИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
И ФРАКТАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации

28 НОЯ 2013

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



005540564

Сургут – 2013

Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры».

Научный руководитель: **Галкин Валерий Алексеевич**
доктор физико-математических наук, профессор
директор Политехнического института ГБОУ
ВПО «Сургутского государственного университета»

Официальные оппоненты: **Замятин Николай Владимирович**
доктор технических наук, профессор
кафедры автоматизации и обработки
информации Томского государственного
университета систем управления
и радиоэлектроники

Древс Юрий Георгиевич
доктор технических наук, профессор
кафедры управляющих информационных
систем Национального исследовательского
ядерного института «МИФИ»

Ведущая организация: **Научно-исследовательский институт
системных исследований РАН**

Защита состоится 20 декабря 2013 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 800.005.06 при ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры» по адресу: 628412, Тюменская обл., ХМАО – Югра, г. Сургут, проспект Ленина, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры».

Автореферат разослан 19 ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



В.С. Микшина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современное поле сжатия информации весьма обширно, оно включает в себя огромное количество различных методов компрессии всевозможных типов данных: текстов, изображений, видео и звука. Среди этого многообразия методов особое место занимает сжатие изображений, так как, во-первых, это первая область, где пользователь имеет дело с большим числом файлов, которые необходимо эффективно сжимать, а во-вторых, здесь впервые встречается сжатие с частичной потерей информации.

Применение сжатия изображений с потерями показало возможность последующей работы с данными, несмотря на появившиеся артефакты (заметные искажения изображения, вызванные сжатием с потерями) в ходе экспериментов.

Для достижения более существенного сжатия изображений используется специфика не только источника информации (изображения), но и приемника (анализатора). В качестве анализатора изображений чаще всего рассматривается зрительная система человека. Анализ работы зрительной системы человека при восприятии изображений позволил сделать вывод о том, что определенного вида искажения исходного сигнала (изображения) визуально не обнаруживаются, при этом визуальное качество результирующего (искаженного) изображения оценивается идентичным исходному качеству кодируемого изображения, и становится возможным последующая работа с выходным изображением.

Разработка новых методов сжатия «с потерями» информации в результате учета специфики восприятия искажений, позволит существенно (на порядок) увеличить реализуемые коэффициенты сжатия, при сохранении или некотором допустимом ухудшении визуально воспринимаемого качества.

Таким образом, актуальность диссертации определяется необходимостью улучшения коэффициентов сжатия данных как при работе с изображениями, так и в случае со сжатием массивов цифровых данных.

Целью настоящей работы является разработка и исследование методов сжатия цифровых данных на основе вейвлет и фрактального кодирования данных.

В соответствии с поставленной целью в диссертации решались следующие задачи:

1. Анализ методов сжатия изображений, с целью разработки методики эффективного кодирования растровых изображений с однородными областями.

2. Разработка и реализация алгоритма сжатия однородных цифровых массивов вещественных данных на основе кодирования с использованием дискретных вейвлет-преобразований.

3. Анализ эффективности алгоритмов обработки цифровых данных с применением вейвлет-преобразований и фрактального кодирования, включающим:

- выбор оптимальных параметров при компрессии изображений;
- поиск компромисса между степенью сжатия и качеством восстановленного изображения;
- экспериментальное сравнение эффективности алгоритмов сжатия данных с потерями.

Объектом исследования является процесс сжатия цифровых данных с потерями.

Предметом исследования являются программные средства на основе вейвлет-преобразований и фрактального кодирования информации для компрессии цифровых данных.

Научная новизна работы:

1. Представлено новое применение метода вейвлет-преобразования информации для компрессии больших массивов вещественных данных.

2. Разработана оригинальная методика оценки качества сжатых изображений с потерями с применением методов дискретно-косинусного и вейвлет-преобразований.

3. Проведено сравнение эффективности методов компрессии полутоновых изображений с потерями на примере JPEG и вейвлет-преобразования.

Практическая значимость работы:

1. Разработанный программный комплекс обработки цифровых изображений используется для предварительного сжатия в техническом анализе экономических данных.

2. Разработанный программный продукт «WaveRar» (регистрационный № 2012614819), используется для сжатия массивов выходных файлов программного комплекса «TROPICS».

3. Результаты экспериментов по оценке качества сжатых изображений позволяют находить компромиссное решение между степенью компрессии и качеством восстановленного изображения, а также осуществлять выбор алгоритма сжатия изображений с потерями для изображений в пользу вейвлет-преобразований для конкретных предметных областей.

Результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Методика кодирования растровых изображений с однородными областями.
2. Алгоритм сжатия массивов вещественных данных на основе вейвлет-преобразования информации.
3. Сравнительный анализ эффективности разработанных средств и методов сжатия информации на основе тестовых вычислительных экспериментов.

Методы исследования:

При решении поставленных задач использовались современные методы цифровой обработки изображений, системного анализа, экспериментальные исследования строились на основе программной реализации алгоритмов с последующей оценкой полученных результатов.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечиваются корректностью применяемых методов исследования, математической строгостью вычислений, а также соответствием результатов экспериментов теоретическим положениям и выводам.

Апробация результатов работы:

Результаты диссертационной работы оценивались на всероссийском конкурсе «Инженер года» в 2009, 2010, 2011 гг. и получили следующие награды: дипломы победителя первого тура конкурса «Инженерное искусство молодых» в номинации «Нефтяная и газовая промышленность» 2009г.; «Инженерное искусство молодых» в номинации «Информатика, информационные сети, вычислительная техника» 2010 г.; «Инженерное искусство молодых» в номинации «Информатика, информационные сети, вычислительная техника» 2011 г.; результаты работы докладывались на «Международной научно-практической конференции «Опыт и перспективы использования информационно-коммуникационных технологий в образовании» («ИТО-Томск-2009»), на Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты» (2013).

По результатам проведенных исследований и разработок, выполненных в процессе работы, опубликовано 7 научных работ.

Таким образом, диссертационная работа, посвященная эффективно-му применению современных методов обработки информации, соответствует научной проблематике и является актуальной.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 133 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа иллюстрирована 158 рисунками и 5 таблицами. Библиографический указатель включает 79 отечественных и зарубежных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследований, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе представлен обзор современных алгоритмов сжатия изображений.

Приводится общий критериальный анализ методов сжатия, из которого следуют выводы о необходимости развития двух основных направлений методов сжатия данных: сжатие без потерь и сжатие, допускающее потери информации.

Основным требованием к любому методу сжатия данных является его высокая эффективность. Однако при оценке эффективности следует учитывать то, что показатель качества метода сжатия является в общем случае векторным, т.е. при оценке качества работы алгоритма сжатия выдвигается ряд критериев, основными из которых являются:

- 1) коэффициент сжатия;
- 2) скорость работы алгоритма сжатия.

Появление дополнительных критериев обусловлено наличием специальных требований, накладываемых конкретной областью применения.

Например, для некоторых условий могут быть выдвинуты дополнительные требования:

- 3) скорость работы алгоритма в прямом направлении (сжатие данных);
- 4) скорость работы алгоритма в обратном направлении (восстановление данных);
- 5) соответствие ограничениям на системные требования (для конкретных реализаций);
- 6) простота аппаратной реализации.

Формирование показателя качества для методов сжатия мультимедийных данных является еще более сложной задачей, поскольку критерии качества должны учитывать не только специфику области применения, но и специфику восприятия результирующей информации ко-

нечным звеном, т.е. человеком. Следовательно, появляются дополнительные критерии:

7) качество восстановленного изображения. При этом оценка качества зависит от конкретной области применения и связана со специфической работой зрительной системы человека;

8) возможность масштабирования или постепенного улучшения качества (проявления) изображения в процессе декодирования;

9) устойчивость к ошибкам, обусловленным искажениями в потоках сжатых данных.

Представлена классификация методов сжатия цифровых изображений с описанием и имеющимися плюсами и минусами каждого из них.

Отдельно проанализирована группа методов сжатия с потерями информации.

Алгоритмы сжатия изображений с потерями основываются на зрительной системе восприятия человека. Человеческий глаз не воспринимает большое количество информации, заключённое в изображении. Таким образом, если данную информацию выявить и не хранить в обработанном изображении, то можно существенно повысить степень сжатия изображения. Естественно, что при этом ухудшается качество восстановленного изображения. Таким образом, сжатие с потерями предполагает компромисс между степенью сжатия и качеством восстановленного изображения. При увеличении степени сжатия ухудшается качество восстановленного изображения, и на оборот, при минимизации потерь в качестве изображения нельзя добиться большого коэффициента сжатия.

Существует несколько подходов к выявлению незначимой информации в изображении. В некоторых методах, используя дискретные частотные ортогональные преобразования, выявляют низкочастотные и высокочастотные составляющие изображения, которые затем кодируют различным способом.

Для достижения более существенного сжатия изображений используется специфика не только источника информации (изображения), но и приемника (анализатора). В качестве анализатора изображений чаще всего рассматривается зрительная система человека. Анализ работы зрительной системы человека при восприятии изображений позволил сделать вывод о том, что определенного вида искажения исходного сигнала (изображения) визуально не обнаруживаются, при этом визуальное качество результирующего (искаженного) изображения оценивается идентичным исходному качеству кодируемого изображения.

В результате учета специфики восприятия искажений были разработаны методы сжатия «с потерями» информации, применение которых позволило существенно увеличить реализуемые коэффициенты сжатия,

при сохранении или некотором допустимом ухудшении визуально воспринимаемого качества.

В разделе алгоритмов сжатия с потерями представлено описание фрактального метода сжатия, алгоритма JPEG и рекурсивно волнового алгоритма, каждый из которых имеет свои особенности при обработке и кодировании информации.

Среди рассматриваемых способов улучшения работы алгоритмов сжатия в данной главе, в первую очередь рассматривается:

1) поиск новых вариантов предварительной обработки потоков исходных данных с целью улучшения эффективности работы известных алгоритмов преобразования, за счет согласования характеристик исходных потоков и применяемых алгоритмов.

2) поиск новых методов и алгоритмов представления исходных массивов данных в более компактном виде;

Обзор программных средств с применением методов сжатия цифровых изображений показывает, что на сегодняшний день есть программные средства, с помощью которых можно сохранить изображение тем методом и с такими параметрами, которые обеспечивают определенное соотношение коэффициента сжатия и качества. Но все они работают в интерактивном режиме и имеют фиксированный набор методов сжатия. При проведении ряда экспериментов по сжатию изображений данными программными продуктами был выявлен ряд проблем с обработкой исходных данных, вызванных в первую очередь выбором самих методов, а также использующихся алгоритмов сжатия и обработки данных.

Также приведен обзор программного обеспечения для сжатия данных с учетом еще одной поставленной задачи диссертации по сжатию данных большого объема информации с применением вейвлет-преобразования.

В данной работе задача сжатия данных привязана к выходным данным программного продукта «TROPICS», главной отличительной особенностью которых является очень большой размер файлов (десятки гигабайт), поэтому выбор программных продуктов для сжатия данных был осуществлен среди наиболее распространенных, имеющихся в свободном доступе (freeware/shareware). В данный список программ попали WinRAR, WinZip и 7-Zip.

Проведя сжатие информации данными программами, и проанализировав полученные результаты, был выделен ряд недостатков, таких как длительное время самого процесса сжатия, повышенная загрузка ЦП (центрального процессора), а так же невысокий коэффициент сжатия.

Для более эффективного сжатия выходных данных программного комплекса «TROPICS» было решено создание программного продукта для сжатия информации, в основе которого будет заложен алгоритм вейвлет-преобразования данных.

Во второй главе дано описание средств обработки графической информации, полученной в результате компрессии с применением методов вейвлетного преобразования данных. Полученные в результате экспериментов сжатые изображения имеют артефакты, отрицательно влияющие на качество изображения в целом, но с учетом специфики обрабатываемых изображений и детальном анализе вполне пригодные для работы с ними в такой области, как экономика: в частности рассматривается технический анализ экономических данных. Технический анализ в данном случае – это исследование динамики рынка, чаще всего посредством графиков, с целью прогнозирования будущего направления движения цен. В связи с тем, что динамика движения цен постоянно растет, а соответственно растет и количество графиков, которые будут участвовать в техническом анализе, была поставлена задача кодирования данной графической информации с потерями для получения высоких результатов сжатия с приемлемым качеством на выходе.

При анализе входной группы данных, предполагаемых для компрессии, были выявлены особые общие характерные признаки изображений, которые предопределили в свою очередь выбор методов сжатия данных. Прежде всего, здесь стоит отметить резкие границы перехода от самой графической составляющей к фону, большое количество однотонных фоновых областей, небольшая цветовая палитра, наличие повторяющихся фрагментов изображения.

Анализ алгоритмов сжатия данных, рассматриваемых в первой главе показывает, что не все из имеющихся алгоритмов наилучшим образом подходят для выбранного класса данных. Учитывая специфику данных изображений, были выбраны два наиболее подходящих метода сжатия данных – RLE и LZW сжатие. Оба метода были выбраны из-за работы в их алгоритмах с одинаковыми массивами данных, что является актуальным при сжатии подобного типа изображений.

Проанализировав имеющиеся алгоритмы цифрового кодирования информации, были выделены алгоритмы вейвлет-преобразования Хаара и Малла.

Общая схема процесса сжатия изображения представлена на рис. 1.

Актуальными при сжатии изображений на основе вейвлет преобразования являются задачи:

- оптимального обхода плоскости вейвлет коэффициентов;
- поиска наилучшего метода вторичного сжатия вейвлет коэффициентов;
- поиска метода оптимального кодирования значимых вейвлет коэффициентов.

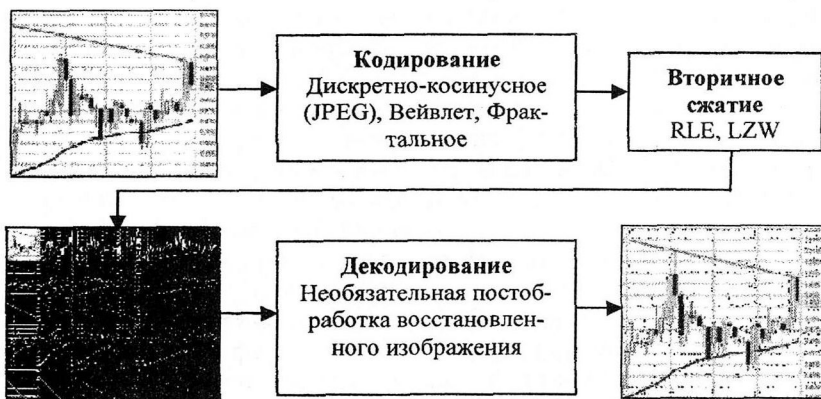


Рис. 1. Обобщенная схема алгоритма сжатия изображения

При рассмотрении результатов эксперимента по сжатию с применением вейвлет-преобразований и выборке минимальных коэффициентов при кодировании наблюдается отсутствие искажений на выходных изображениях (рис. 2.1, рис. 2.2), время сжатия: № 1–9 секунд, № 2–12 секунд:

Эксперимент № 1. Изображение 1, 2. Хаар, RLE. Количество шагов = 1, порог чувствительности = 1:

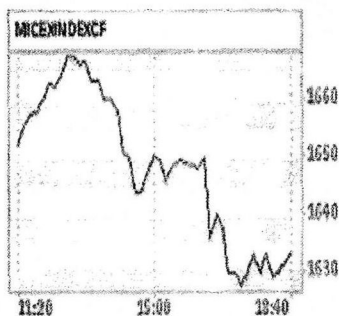


Рис. 2.1. Сжатое изображение № 1

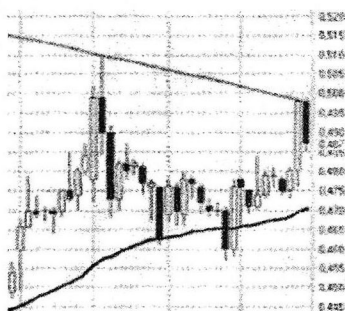


Рис. 2.2. Сжатое изображение № 2

При рассмотрении же результатов эксперимента с иной (усредненной, полученной экспериментально) выборкой коэффициентов довольно отчетливо видны полученные искажения (артефакты), наличие которых не препятствует дальнейшей обработке изображений средствами технического анализа, (рис. 3.1, рис. 3.2) время сжатия: № 1–5 секунд, № 2–7 секунд:

Эксперимент № 4. Изображение 1, 2 Хаар, RLE, количество шагов = 4, порог чувствительности = 1:

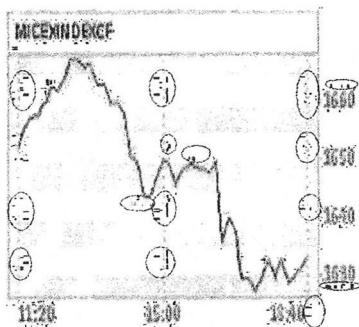


Рис. 3.1. Сжатое изображение № 1

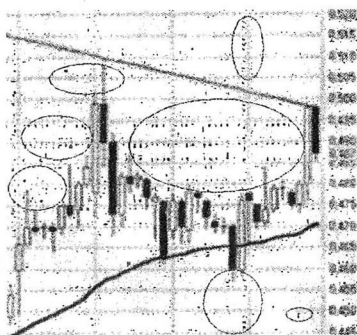


Рис. 3.2. Сжатое изображение № 2

Также приведены результаты сжатия изображений, на которых присутствуют целые группы артефактов, которые в свою очередь искажают (перекрывают, накладываются) основные данные изображения. На данном этапе кодирования, подбор коэффициентов ограничивается одним из параметров (рис. 4.1, рис. 4.2), время сжатия № 1–5 секунд, № 2–7 секунд:

Эксперимент № 5. Изображение 1, 2. Хаар, RLE, количество шагов = 5, порог чувствительности = 1:

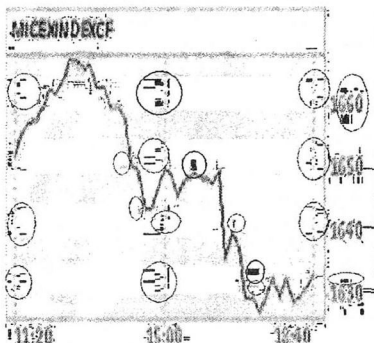


Рис. 4.1. Сжатое изображение № 1

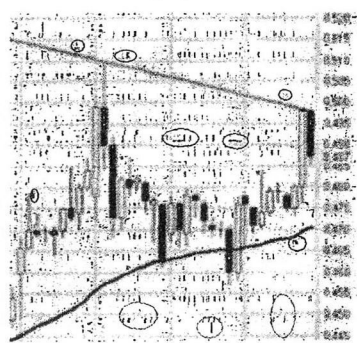


Рис. 4.2. Сжатое изображение № 2

Имеются также замечания, что при увеличении одного из коэффициентов выборки в несколько десятков раз, искажения на изображении уменьшаются, но само изображение становится размытым (рис. 5.1, рис. 5.2), время сжатия № 1–4 секунды, № 2–4 секунды:

Эксперимент № 15. Изображение 1, 2. Хаар, RLE, количество шагов = 2, порог чувствительности = 20:

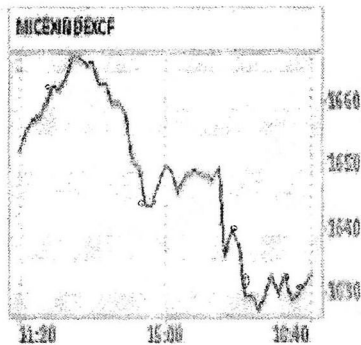


Рис. 5.1. Сжатое изображение № 1



Рис. 5.2. Сжатое изображение № 2

Далее, увеличивая количество шагов и варьируя значением параметра чувствительности результаты не дали положительных результатов, а именно: на изображении появляются области артефактов, а также ярко выраженные артефакты (в случае увеличения количества шагов).

В случае же увеличения значения порога чувствительности (>30) повышается размытость изображения, что ведет к невозможности дальнейшей работы с графикой.

Однако появились некоторые замечания в экспериментах, а именно: при увеличении значения порога чувствительности на интервале от 10 до 30 при количестве шагов = 2, было замечено постепенное уменьшение, а также и последующее удаление зон артефактов, что в свою очередь дало ход проведению еще одному направлению экспериментов – с увеличением количества шагов, при увеличенном пороге чувствительности.

В рамках данной главы были созданы программные продукты для сжатия изображений, в которых использовались предварительные преобразования данных на основе вейвлетов, подбор необходимых коэффициентов преобразования, на основе которых можно давать оценку качества полученных изображений, сжатых с потерями. Рассмотрены поэтапно все стадии преобразования JPEG кодера (препроцессинг, ДКП, квантование, сжатие). Реализован алгоритм сжатия с применением JPEG кодирования.

В третьей главе рассмотрено сжатие данных с применением фрактального кодирования информации. В алгоритме фрактального кодирования исходное изображение разбивается равномерной сеткой на регионы. Затем подготавливается доменное изображение. Оно меньше,

чем исходное по площади в 4 раза. Доменное изображение разбивается на домены.

Процесс фрактального сжатия заключается в поиске самоподобных областей. В данном случае последовательно перебираются все регионы, и для каждого региона определяется наиболее похожий на него домен. Применяется не только простое попиксельное сравнение региона с доменом, но и аффинные преобразования. Используются следующие аффинные преобразования:

- 1) поворот на 0 градусов;
- 2) поворот на 90 градусов;
- 3) поворот на 180 градусов;
- 4) поворот на 270 градусов;
- 5) симметрия относительно оси X ;
- 6) симметрия относительно оси Y ;
- 7) симметрия относительно главной диагонали;
- 8) симметрия относительно второстепенной диагонали.

В общем случае, в процессе сжатия последовательно перебираются все регионы, для каждого региона последовательно перебираются все домены, которые в свою очередь сравниваются со всеми аффинными преобразованиями текущего региона. Программно реализована возможность выполнять не все аффинные преобразования, а только преобразования поворота, или преобразования симметрии (данном способом удалось ускорить процесс сжатия). Это зависит от характера исходного изображения. Но в любом случае желательно выполнять все аффинные преобразования.

Изображения сравниваются по пикселям. Последовательно перебираются все пиксели, определяется разница в яркости между двумя пикселями, из которой вычитается разница усредненной яркости между регионом и доменом. Полученное значение берется по модулю (т.е. отбрасывается знак) и возводится в квадрат. Все полученные значения (для каждого пикселя) складываются между собой. В результате, после того, как для текущего региона (со всеми аффинными преобразованиями) был найден наиболее схожий с ним домен, запоминаются следующие данные:

- координаты домена (относительно доменного изображения);
- номер аффинного преобразования (2-е и 4-е аффинное преобразование следует поменять местами, так как при распаковке изображения аффинные преобразования нужно будет выполнять не над регионами, а над доменами);
- разницу усредненной яркости между регионом и доменом.

Эти значения есть коэффициенты IFS (система итерируемых функций). Их необходимо кодировать как можно более компактно.

Таким образом, в процессе сжатия для каждого региона определяются коэффициенты IFS.

По окончании сжатия результаты необходимо сохранить в файл. В файл сохраняется следующая информация:

- количество регионов по горизонтали и вертикали;
- размер региона;
- коэффициенты IFS.

Один регион кодируется всего четырьмя байтами, при этом размер региона может быть любым (2, 3, 4, 8, ..., 100, ...). При этом указанной информации вполне хватает для того, чтобы распаковать изображение.

Плюсы:

- высокая скорость восстановления изображения;
- возможность многократного увеличения изображения без возникновения пикселизации;

Минусы:

- значительная потеря контрастности для контрастных изображений.

Параметры:

Смещение домена (СД) – определяет шаг поиска участка в доменном изображении. Минимальный шаг равен 1. Чем больше шаг, тем быстрее выполняется поиск, но при этом, могут быть пропущены важные детали изображения.

Размер региона (РР) – определяет размер области, на которые разбивается исходное изображение. При компрессии для каждой области осуществляется поиск подходящих доменов с учетом аффинных преобразований. Чем больше размер региона, тем хуже качество и при этом уменьшается размер файла.

Время сжатия (ВС) – соответственно определяет время, требуемое на процесс сжатия изображения.

Исходя из результатов эксперимента по сжатию с применением фрактального кодирования, представленных на рис. 6.1 и рис. 6.2 следуют выводы о довольно приемлемом качестве выходных изображений, заметна потеря контрастности и размытость, время сжатия является не оптимальным по сравнению с вейвлет-преобразованием:

Эксперимент № 1:

№ 1 Размер выходного файла = 23129 байт, СД = 2, РР = 3, ВС = 55 секунд.

№ 2 Размер выходного файла = 23129 байт, СД = 2, РР = 3, ВС = 55 секунд:

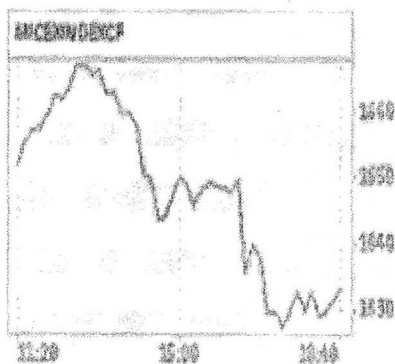


Рис. 6.1. Сжатое изображение № 1

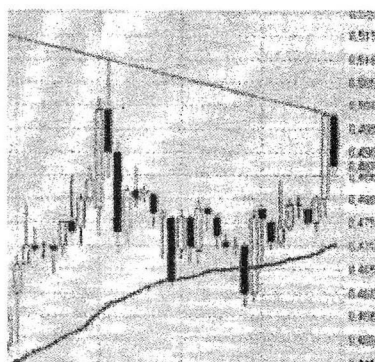


Рис. 6.2. Сжатое изображение № 2

Размер сжатых изображений в среднем уменьшился в 7,34 раза по отношению к исходным. Качество изображений остается пригодным для последующей работы с ними.

Также приведены результаты эксперимента с увеличением параметра «Размер региона», что привело к прекращению хода экспериментов по изменению данного параметра. В результате увеличения PP привело к небольшому повышению размытости изображения в целом, а также к появлению областей (выделены красными маркерами), размытость в которых препятствует к дальнейшему проведению эксперименту:

Эксперимент № 4:

№ 1 Размер выходного файла = 8414 байт, СД = 3, PP = 5, ВС = 14 секунд.

№ 2 Размер выходного файла = 8414 байт, СД = 3, PP = 5, ВС = 14 секунд:

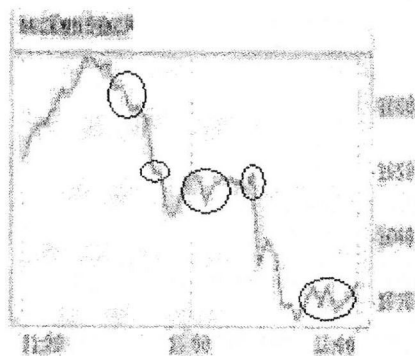


Рис. 7.1. Сжатое изображение № 1

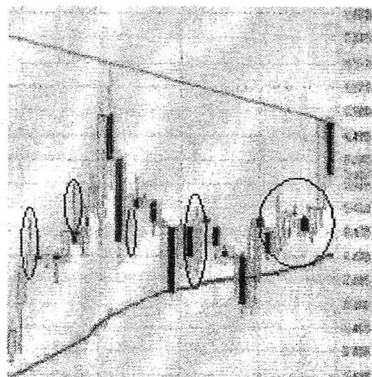


Рис. 7.2. Сжатое изображение № 2

На рис. 8 представлена схема работы программного комплекса по сжатию данных:

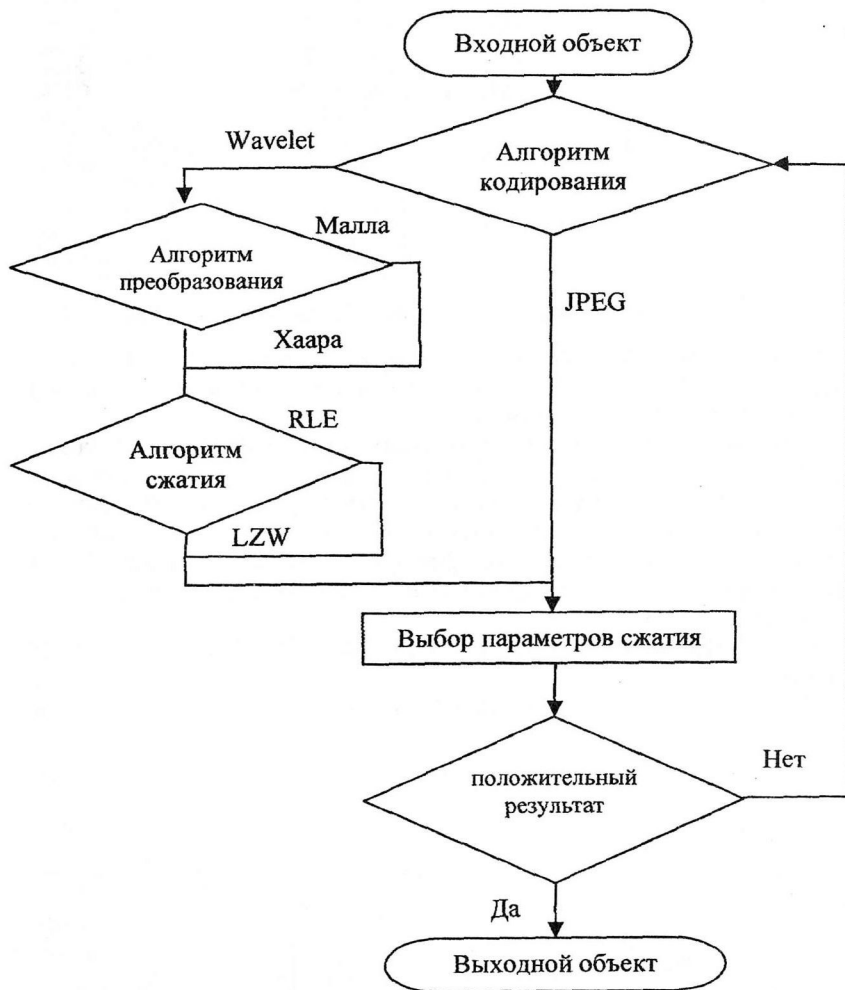


Рис. 8. Схема работы программы по сжатию данных

Для решения задачи визуального определения предельно допустимых искажений, были определены коэффициенты кодирования, для возможности последующей работы с обработанной информацией.

Выявлено, что эффективность метода сжатия характеризуется числовыми характеристиками, а при оценке сжимаемости конкретным методом должна учитывать особенности изображения: количество различных цветов, наличие и обилие резких переходов, наличие обширных областей с одномерным фоном.

Оценки эффективности методов сжатия изображения базируются на зависимостях коэффициента сжатия от характера изменения яркости, количества деталей, наличия и обширности областей с однородным или плавно» изменяющимся фоном. Существующие оценки конкретных методов сжатия не учитывают особенностей кодируемого изображения и алгоритмов преобразования.

В четвертой главе представлено применение технологии вейвлет-преобразования в предварительной обработке и сжатии выходных данных большого объема. В качестве источника данных были применены выходные данные комплекса «TROPICS», разработанного в Сургутском государственном университете и предназначенного для моделирования траекторий движения быстрых заряженных частиц в осевых и плоскостных каналах кристалла.

Данный комплекс позволяет исследовать осевое каналирование с очень большой статистической точностью при достаточно высокой скорости расчета и умеренной требованию к оперативной памяти. Однако при моделировании большого количества частиц, проходящих через кристалл большой толщины получаются файлы, размер которых варьируется от десятков мегабайт до десятков гигабайт. В таком случае возникает необходимость сжатия данных для их дальнейшего обработки, хранения. Выходные файлы содержат изменение углов влета, координат частиц, потери энергии и другие характеристики.

На данном этапе разрабатывается программный продукт WaveRar, главной задачей которого ставится минимизация используемых ресурсов памяти, времени сжатия и загрузки центрального процессора, интерфейс программы – простым и интуитивно-понятным, за алгоритм обработки данных отвечает вейвлет-преобразование, за сжатие информации алгоритм LZW.

Представлены результаты одного из экспериментов, в котором учитывалось угловое разрешение детектирующей системы и расходимость пучка (программный комплекс «TROPICS»), число частиц было выбрано в диапазоне 20000–40000, количество узлов решения системы дифференциальных уравнений (отношение длины кристалла к шагу по глубине) было выбрано в интервале 1000–5000 штук.

Ниже представлены графические (рис. 9.1, рис. 9.2, рис. 9.3) данные, которые отображают полученные результаты сжатия 3 разными программными продуктами, исходя из которых можно сделать вывод о преимуществе разработанной программы WaveRar:

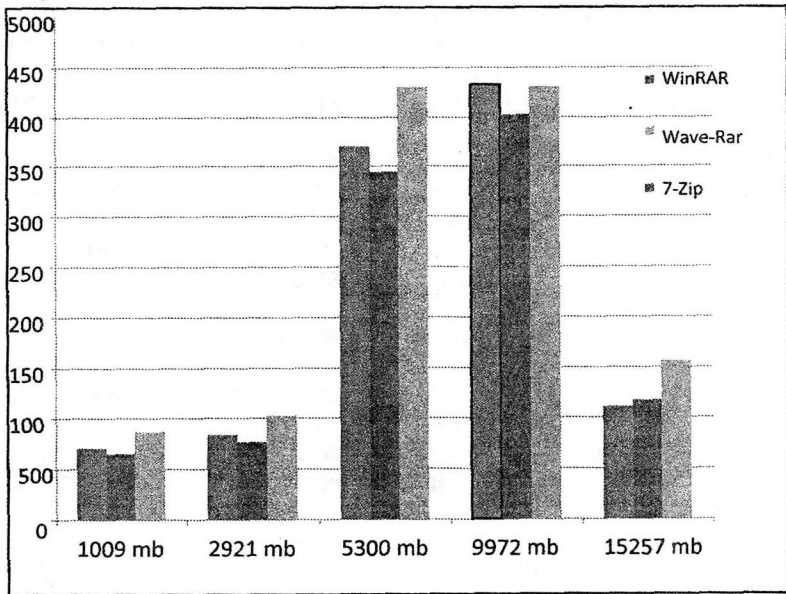


Рис.1. График результатов сжатия данных по объему

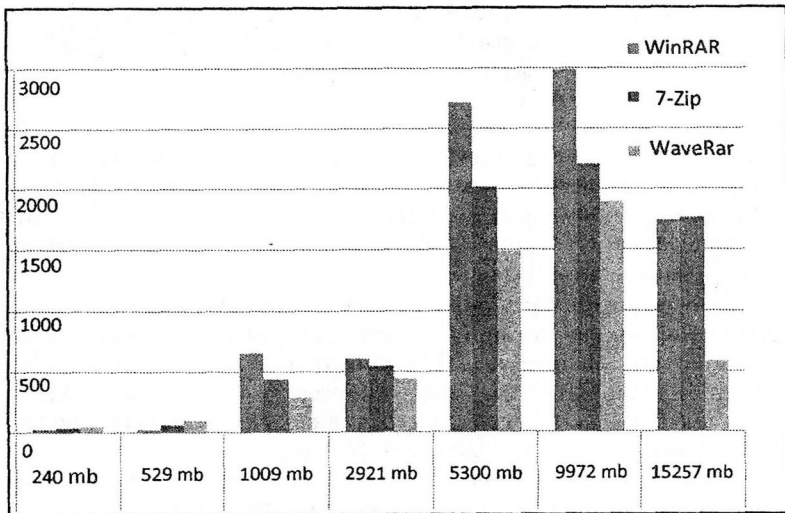


Рис. 9.2. График результатов сжатия данных по времени

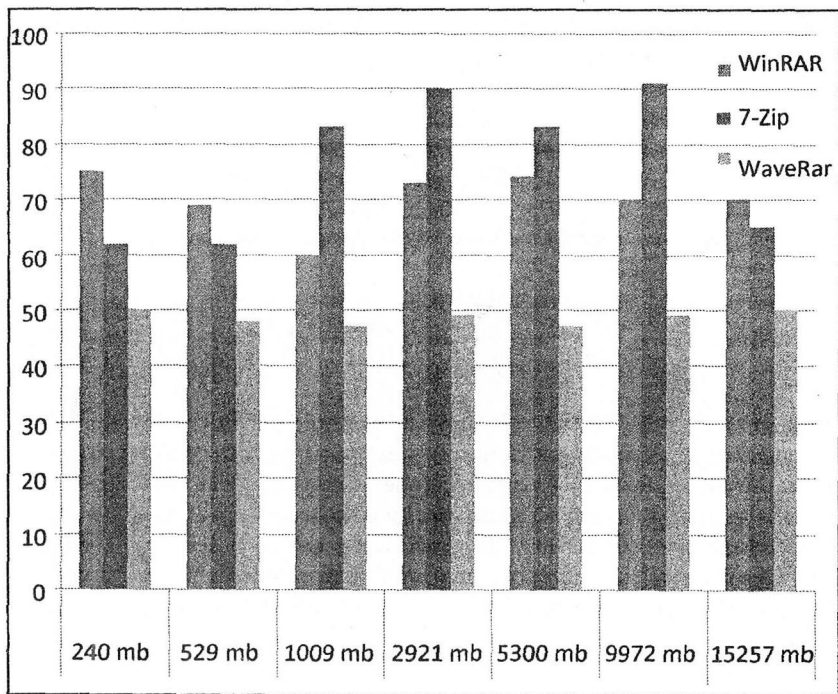


Рис. 9.3. График результатов сжатия данных по загрузке процессора

В ходе эксперимента по сжатию выходных данных, были использованы файлы разного объема: 1009, 2921, 5300, 9972, 15257 мегабайт.

С целью выявления наиболее эффективного сжатия были задействованы программы: WaveRar, WinRAR, WinZip, 7-Zip.

В пятой главе представлены результаты сравнения качества сжатых тестовых изображений. При работе с программным продуктом MSU Video Quality Measurement Tool, в составе которого имеются инструменты, для определения и визуализации результатов различных метрик, опытным путем были отобраны ряд метрических характеристик, использующихся для последующей работы: определения оценки качества сжатых изображений методами, с применением wavelet-преобразования и JPEG кодирования изображения. В качестве тестовых входных данных взят классический набор изображений «Goldhill», «Barbarga» и «Lena», встречающийся во многих работах, посвященных сжатию данных с потерями. Наряду с самой распространенной метрикой для оцен-

ки качества сжатых изображений PSNR (пиковое отношение сигнала к шуму), определяемой как

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (1)$$

где MSE (mean square error) среднеквадратическая ошибка равна:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2, \quad (2)$$

где MAX_I – это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения, (для цветных изображений с тремя компонентами RGB на пиксель применяется такое же определение PSNR, но MSE считается по всем трем компонентам и делится на утроенный размер изображения), в работе задействованы метрические характеристики: MSE, MSAD (усреднённая абсолютная разность значений цветовых компонент в соответствующих точках сравниваемых изображений), которая вычисляется по формуле (3):

$$d(X, Y) = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{m, n} |X_{i, j} - Y_{i, j}|}{mn} \quad (3)$$

Метрическая характеристика Delta, значением которой является усреднённая разность значений цветовых компонент в соответствующих точках сравниваемых изображений. Вычисляется по формуле (4):

$$d(X, Y) = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{m, n} (X_{i, j} - Y_{i, j})}{mn} \quad (4)$$

Метрическая характеристика MSU Blurring Metric, позволяющая сравнить степень размытия двух изображений, относительно друг друга.

Метрическая характеристика MSU Blocking Metric, построенная таким образом, чтобы ее значение было пропорционально визуальной степени «блочности». В метрике также работают эвристические правила определения края объекта, попадающего на границу блока.

Отношение оценок качества сжатых изображений wavelet/JPEG			
Метрика	Изображение		
	«Goldhill»	«Barbarra»	«Lena»
PSNR	0,960	1,182	1,071
MSE	0,682	4,191	1,887
MSAD	0,821	1,885	1,288
Delta	1,571	1,776	1,727
Blurring Metric	1,109	1,190	1,146
Blocking Metric	1,061	1,627	1,134
Общий коэффициент:	1,034	1,975	1,375

Как показывают численные результаты экспериментов по оценке сжатия изображений методами вейвлет-преобразования и JPEG кодирования – не смотря на отдельные отрицательные показатели, в общем итоге оценка качества сжатия изображения с потерями с применением wavelet – преобразования лучше по сравнению с конкурентом JPEG в среднем в 1,46 раза, что в свою очередь подчеркивает важность проведения экспериментов по развитию алгоритмов обработки и сжатия цифровых данных с применением вейвлетов.

В заключении сформулированы следующие теоретические и практические результаты работы:

Рассмотрены методы и алгоритмы сжатия изображений, а так же проанализированы особенности визуального восприятия искажений при сжатии специфического вида графических изображений.

Проанализированы причины ограниченной эффективности применения методов сжатия информации «с потерями».

В ходе научно-исследовательских работ решена основная задача диссертации – применение вейвлет-обработки данных для сжатия информации.

В работе получены следующие основные результаты:

- Изучены и проанализированы существующие методы сжатия цифровых изображений с потерями и без потерь.
- Представлено новое применение метода вейвлет-преобразования информации для компрессии больших массивов вещественных данных.
- Разработаны программные модули, позволяющие реализовать предложенные методы преобразования и сжатия данных.
- Проведены экспериментальные исследования по оценке качества сжатых изображений с применением методов вейвлет-преобразования и JPEG кодированием.

Разработанная методика компрессии больших массивов данных может быть использована для решения широкого круга научных и практических задач.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи в периодических научных изданиях,
рекомендованных ВАК для публикации
основных результатов диссертаций:**

1. Филиппов, Т. К. Применение вейвлет-преобразования информации при техническом анализе экономических данных / Т. К. Филиппов // Научно-технические ведомости. – СПбГПУ, 2012. – № 5. – С. 95–99.
2. Филиппов, Т. К. Сжатие выходных данных в программном комплексе «TROPICS» на основе алгоритма вейвлет-преобразования информации / Т. К. Филиппов, В. А. Галкин, Д. А. Моргун // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – № 11. – С. 4.
3. Филиппов, Т. К. Применение вейвлет-преобразования информации при техническом анализе экономических данных / Т. К. Филиппов // Развитие инновационной экономики в России : сб. науч. тр. 3-ей Всерос. заоч. науч.-практ. конф. / МАТИ. – М., 2012. – С. 547–551.

Статьи в других журналах:

4. Филиппов, Т. К. Разработка средств компьютерной визуализации для научных исследований: методы сжатия цифровых данных на основе вейвлет и фрактального анализа / Т. К. Филиппов // Молодой ученый : научный журнал. – 2012. – № 2 (37). – С. 71–74.
5. Филиппов, Т. К. Имитационное моделирование / Т. К. Филиппов // Актуальные проблемы анализа и построения информационных систем и процессов : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Таганрог : Изд-во Технологического ин-та ЮФУ, 2010. – С. 204–206.

6. Филиппов, Т. К. Применение вейвлет-преобразований и фрактального кодирования при сжатии цифровых данных / Т. К. Филиппов // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты* : сб. мат-лов III Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Сиб-принт, 2013. – С. 160–164.

7. Филиппов, Т. К. Сравнительный анализ оценки качества сжатых полутонных изображений методами вейвлет и jpeg преобразований / Т. К. Филиппов // *Северный регион: наука, образование, культура* : научный и культурно-просветительский журнал. – 2013. – № 2 (28). – С. 97–102.

13

Филиппов
Тимур Константинович

**СЖАТИЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ
ПРИ ПОМОЩИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ
И ФРАКТАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 19.11.2013 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 100. Заказ № 85.

Оригинал-макет подготовлен в редакционно-издательском отделе
издательского центра СурГУ.
Тел. (3462) 76-30-65, 76-30-66.

Отпечатано в полиграфическом отделе
издательского центра СурГУ.
г. Сургут, ул. Энергетиков, 8. Тел. (3462) 76-30-67.

ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»
628400, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ,
г. Сургут, пр. Ленина, 1.
Тел. (3462) 76-29-00, факс (3462) 76-29-29.