электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 004

Применение методов сжатия графической информации, основанных на вейвлетных преобразованиях для обработки изображений

Мухамеджанов Б. А., *студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Научный руководитель: Рогозин О.В., д.т.н
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Развитие Интернета, рост производительности компьютеров и прогресс в технологии производства цифровых камер, сканеров и принтеров привели к широкому использованию цифровой графической информации (изображений). Требования к качеству изображений и их размеру (объему памяти, который они занимают) постоянно растут. Размер графических данных файла пропорционален количеству пикселей в изображении и количеству битов, требуемых для представления каждого пикселя. Сжатие графических данных важно как для скорости их передачи, так и для эффективности их хранения [1]. Для этого необходимо постоянно совершенствовать методы сжатия графических данных, представляющих изображения.

В настоящее время применяют классические методы сжатия без потерь исходных данных и методы сжатия *с* потерями данных, учитывающие разные характеристики графической информации [2]. В то же время работы по усовершенствованию (адаптации) методов сжатия, применение которых не удовлетворяет растущие требования разработчиков и потребителя к получаемой графической информации, продолжаются.

Цель работы

Основной и практической целью работ по адаптации методов сжатия является разработка программного продукта (приложения), применение которого повысит качество передаваемого изображения, скорость его передачи и улучшение его архивации. Для этого необходимо выбрать из классических методов сжатия графической информации те методы, которые наиболее соответствуют решению поставленных задач и разработать на их основе путем их адаптации, метод, удовлетворяющий поставленным целям.

Применение разработанного программного продукта для решения поставленных целей должно давать следующие возможности пользователю:

- работать с изображениями любого формата;
- сохранять информацию об изображении без использования алгоритмов сжатия.

Дополнительные возможности, предоставляемые разработанным приложением пользователю, уточнены после выбора соответствующих методов сжатия изображения. Они должны способствовать оптимальному решению поставленных задач.

Основные первоочередные задачи:

- проведение анализа классических методов сжатия изображений;
- выбор, на основе проведенного анализа, наиболее подходящих для решения поставленных задач методов сжатия изображений;
- проведение анализа работы выбранных методов с учетом характеристик времени и степени сжатия.

Классические методы сжатия изображений

В таблицах № 1 и № 2 представлены классические методы сжатия изображений с несколькими оценочными показателями [2].

Таблица 1

Оценочные показатели методов сжатия изображений без потери данных

Метод	Применение	Сжатие	Достоинства	Недостатки
RLE - кодирование длин повторов	Изображения с большими облас-тями повторяюще-гося цвета	Кодирует цепочки одинаковых битов	Простая реализация, не требует допол-нительной памяти	Возможно увеличение размера файла
LZW	8-битовые изображения	Кодирует одинаковые подцепочки в потоке	Редко увеличивает размер файла, универсален	Выгодно только при наличии повторений по 5 и более байт
HUFF - метод Хаффмана	Двухцветные черно-белые изо-бражения, в кото-	Кодирует последователь-ности черных	Простая реализация, возможно аппаратная реализация	В худшем случае увеличивает

	рых преобладают пространства, заполненные белым цветом	и белых точек, в зависимости от их количества		файл в 5 раз
JBIG	1-битовые черно-белые изображения	Разбиение изображений на битовые плоскости	Поэтапное отображение изображения в процессе декомпрессии	1-, 2-, 4-битовые изображения
Lossless JPEG	Полноцветные 24- и 8-битовые изображения в градациях серого без палитры	Специальная реализация JPEG без потерь	Побитовое соответствие исходного и декомпрессирован-ного изображения	Сжатие в среднем в 2 раза

Таблица № 2

Оценочные показатели методов сжатия изображений с потерями данных

Метод	**Применение**	**Сжатие**	**Достоинства**	**Недостатки**
JPEG	Полноцветные 24-битовые изображения или изображения в градациях серого без резких переходов цветов	Плавность изменения цветов в изображении	Задается степень сжатия, выходное цветное изображение может иметь 24 бита на точку	При увеличе-нии степени сжатия изображение распадается на блоки (8*8), эффект Гиббса
Фрактальный метод	Полноцветные 24-битовые изображения или изображения в градациях серого без резких переходов цветов	Поиск самоподобных областей в изображении	Задается степень сжатия, свободное масштабирование изображения при разжатии	Появление «блочного» эффекта на границах блоков в изображении

Вейвлетный метод	Цветные и черно-белые изображения с плавными переходами	Использование когерентности областей	Задается степень сжатия, отсутствие дробления изображения на блоки, поэтапное отображение изображения в процессе декомпрессии	Сложность метода

Анализ таблиц показывает, что фрактальный и вейвлетный методы сжатия изображений наиболее соответствуют решению поставленных задач. Поэтому рассмотрим их более подробно.

Фрактальный метод

Фрактальная архивация основана на том, что изображение представляется в более компактной форме - с помощью коэффициентов системы итерируемых функций (Iterated Function System - IFS) [2].

Системе итерируемых функций однозначно ставится в соответствие неподвижная точка - изображение. Таким образом, процесс компрессии заключается в поиске коэффициентов системы, а процесс декомпрессии - в проведении итераций системы до стабилизации полученного изображения (неподвижной точки IFS). На практике бывает достаточно 7-16 итераций.

Рассмотрим как IFS строит изображение, т.е. процесс декомпрессии. IFS представляет собой набор трехмерных аффинных преобразований переводящих одно изображение в другое. Преобразованию подвергаются точки в трехмерном пространстве (x-координата, y-координата, яркость).

Наиболее наглядно этот процесс продемонстрировал Барнсли в своей книге “Fractal Image Compression”. Там введено понятие "фотокопировальной машины", состоящей из экрана, на котором изображена исходная картинка, и системы линз, проецирующих изображение на другой экран:

- линзы могут проецировать часть изображения произвольной формы в любое другое место нового изображения;
- области, в которые проецируются изображения, не пересекаются;

- линза может менять яркость и уменьшать контрастность;
- линза может зеркально отражать и поворачивать свой фрагмент изображения;
- линза должна масштабировать (уменьшать) свой фрагмент изображения.

Расставляя линзы и меняя их характеристики, можно управлять получаемым изображением. Одна итерация работы "машины" заключается в том, что по исходному изображению с помощью проектирования строится новое, после чего новое берется в качестве исходного. Утверждается, что в процессе итераций получается изображение, которое перестанет изменяться. Оно будет зависеть только от расположения и характеристик линз, и не будет зависеть от исходной картинки. Это изображение называется “неподвижной точкой” или аттрактором данной IFS. Соответствующая теория гарантирует наличие ровно одной неподвижной точки для каждой IFS.

Поскольку отображение линз является сжимающим, каждая линза в явном виде задает самоподобные области в изображении. Благодаря самоподобию получаем сложную структуру изображения при любом увеличении. Таким образом система итерируемых функций задает фрактал (нестрого - самоподобный математический объект).

Из вышесказанного понятно как работает архиватор, и почему ему требуется так много времени. Фактически, фрактальная компрессия - это поиск самоподобных областей в изображении и определение для них параметров аффинных преобразований.

Если не будет применяться оптимизирующий алгоритм, потребуется перебор и сравнение всех возможных фрагментов изображения разного размера. Даже для небольших изображений при учете дискретности получается астрономическое число перебираемых вариантов. При этом, даже резкое сужение классов преобразований, например, за счет масштабирования только в определенное количество раз, не дает заметного выигрыша во времени. Кроме того, при этом теряется качество изображения.

Основной задачей при компрессии фрактальным методом является нахождение соответствующих аффинных преобразований. В самом общем случае можно переводить любые по размеру и форме области изображения, однако в этом случае получается астрономическое число перебираемых вариантов разных фрагментов, которое невозможно обработать на текущий момент даже на суперкомпьютере.

Подавляющее большинство исследований в области фрактальной компрессии направлены на уменьшение времени архивации, необходимого для получения качественного изображения.

Декомпрессия алгоритма фрактального сжатия чрезвычайно проста. Необходимо провести несколько итераций трехмерных аффинных преобразований, коэффициенты которых были получены на этапе компрессии. В качестве начального может быть взято абсолютно любое изображение (например, абсолютно черное), поскольку соответствующий математический аппарат гарантирует нам сходимость последовательности изображений, получаемых в ходе итераций IFS, к неподвижному изображению (близкому к исходному). Обычно для этого достаточно 16 итераций.

Для фрактального метода неизбежны допуски потерь в какой-то части изображения. Для фрактального метода компрессии, как и для других методов сжатия с потерями, очень важны механизмы, с помощью которых можно будет регулировать степень сжатия и степень потерь. Имеется достаточно большой набор таких методов. Во-первых, можно ограничить количество аффинных преобразований, заведомо обеспечив степень сжатия не ниже фиксированной величины. Во-вторых, можно потребовать, чтобы в ситуации, когда разница, между обрабатываемым фрагментом и наилучшим его приближением, будет выше определенного порогового значения, то этот фрагмент дробится обязательно (для него обязательно вводится несколько линз). В-третьих, можно запретить дробить фрагменты размером меньше, допустим, четырех точек. Изменяя пороговые значения и приоритет этих условий, можно будет очень гибко управлять коэффициентом компрессии изображения в диапазоне от побитового соответствия до любой степени сжатия. При этом эта гибкость будет гораздо выше, чем у ближайшего "конкурента" - метода JPEG. Для этого метода характерно подобие между элементами изображения.

Характеристики фрактального метода:

- коэффициенты компрессии: 2-2000 (задаются пользователем) ;
- класс изображений: полноцветные 24 битные изображения или изображения в градациях серого без резких переходов цветов (фотографии). Желательно, чтобы области большей значимости (для восприятия) были более контрастными и резкими, а области меньшей значимости - неконтрастными и размытыми;
- симметричность: 100-100000;
- характерные особенности: может свободно масштабировать изображение при разархивации, увеличивая его в 2-4 раза без появления “лестничного эффекта”. При увеличении степени компрессии появляется “блочный” эффект на границах блоков в изображении;

- потери - имеются;
- размерность - 2.5D.

Вейвлетный метод (wavelet- преобразование)

Вейвлетный метод - волновое сжатие и сжатие с использованием всплесков [2]. Этот вид архивации известен довольно давно и напрямую исходит из идеи использования когерентности областей. Метод ориентирован на цветные и черно-белые изображения с плавными переходами. Идеален для картинок типа рентгеновских снимков. Коэффициент сжатия задается и варьируется в пределах 5-100. При попытке задать больший коэффициент на резких границах, особенно проходящих по диагонали, проявляется “лестничный эффект” - ступеньки разной яркости размером в несколько пикселов.

Идея метода заключается в том, что в файл сохраняется разница - число между средними значениями соседних блоков в изображении, которая обычно принимает значения, близкие к 0.

К достоинствам этого метода можно отнести то, что он очень легко позволяет реализовать возможность постепенного “проявления” изображения при передаче изображения по сети. Кроме того, поскольку в начале изображения фактически хранится его уменьшенная копия, упрощается показ “огрубленного” изображения по заголовку.

В отличие от метода JPEG и фрактального метода данный метод не оперирует блоками, например, 8x8 пикселов. Точнее, оперирует блоками 2x2, 4x4, 8x8 и т.д. Однако за счет того, что коэффициенты для этих блоков сохраняются независимо, то можно достаточно легко избежать дробления изображения на “мозаичные” квадраты. Для этого метода характерны плавные переходы цветов и отсутствие резких границ.

Характеристики вейвлетного метода:

- коэффициенты компрессии: 2-200 (задается пользователем) ;
- класс изображений: Как у фрактального и JPEG;
- симметричность: ~1.5;
- характерные особенности: при высокой степени сжатия изображение распадается на отдельные блоки;
- потери - имеются;
- размерность - 2D.

Сравнение выбранных методов сжатия изображений

Достоинства и недостатки фрактального метода:

- данный метод известен тем, что в некоторых случаях позволяет получить очень высокие коэффициенты сжатия (лучшие примеры - до 1000 раз при приемлемом визуальном качестве) для реальных фотографий природных объектов, что недоступно для других методов сжатия изображений в принципе;
- основа метода фрактального кодирования - это обнаружение самоподобных участков в изображении;
- широкого распространения метод не получил;
- основная сложность фрактального сжатия заключается в том, что для нахождения соответствующих доменных блоков требуется полный перебор. Поскольку при этом переборе каждый раз должны сравниваться два массива, данная операция получается достаточно длительной;
- сравнительно простым преобразованием её можно свести к операции скалярного произведения двух массивов, однако даже скалярное произведение вычисляется сравнительно длительное время.

Достоинства и недостатки метода вейвлет-преобразований:

- вейвлет-преобразования обладают всеми достоинствами преобразования Фурье;
- вейвлетные базисы могут быть хорошо локализованными как по частоте, так и по времени. При выделении в сигналах разномасштабных процессов можно рассматривать выбранные масштабные уровни разложения;
- вейвлетные базисы имеют разнообразные базовые функции, свойства которых ориентированы на решение различных задач;
- недостатком вейвлет-преобразований является их относительная сложность.

Выводы по сравнению выбранных методов сжатия изображения

На основе сравнительного анализа фрактального метода и метода вейвлет-преобразований сжатия изображений окончательно в качестве приоритетного, принимаемого для практической реализации в виде программного продукта, выбран метод вейвлет-преобразований сжатия изображений.

После выбора приоритетного метода предстояло:

- разработать метод сжатия графической информации на основе вейвлет-функций Добеши с системами коэффициентов от 2 до 20;
- создать приложения позволяющее применять вейвлет-преобразования к изображениям в соответствии с разработанным методом;

Для адаптации выбранного метода к конкретным задачам практической реализации необходимо:

- применить вейвлетное преобразование Добеши с различными системами коэффициентов [3] ;
- применить к изображению прямое вейвлетное преобразование;
- сохранить часть данных, после применения вейвлетного преобразования, без использования алгоритмов сжатия без потерь;
- применение к сохраненным данным обратного вейвлетного преобразования.

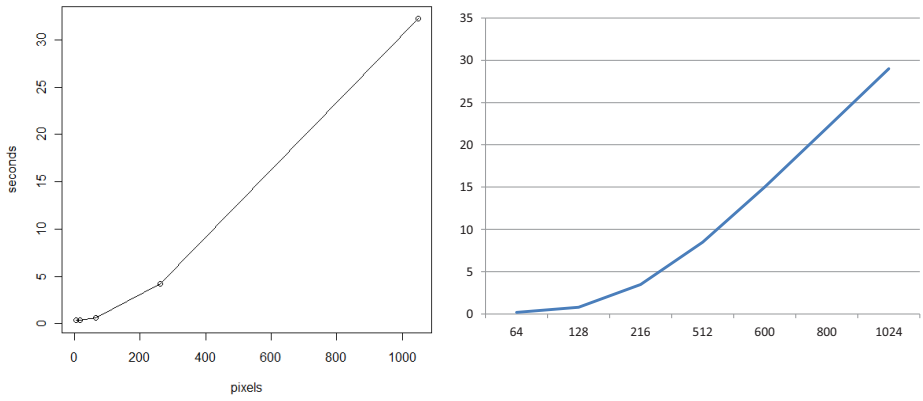
К практической реализации принят разработанный (адаптированный) вариант - метод вейвлет-преобразования на основе вейвлет-функций Добеши с системами коэффициентов от 2 до 20. Разработанный метод состоит из трех основных частей: алгоритма прямого вейвлет-преобразования, алгоритма обратного вейвлет-преобразования и алгоритма выбора значимых коэффициентов. В результате создано приложение, позволяющее применять вейвлет-преобразования к изображениям на основе разработанного метода. Был проведен анализ работы метода с учетом характеристик времени и степени сжатия [4].

Расчеты проводились на персональном компьютере со следующими характеристиками:

- процессор Intel Core 2 Duo CPU T5800 2.00GHz ;
- оперативная память 2.00 GB.

Тестовые расчеты для определения времени работы разработанного метода проводились для изображений с размерами 64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1204 [5].

Автором проведен контрольный расчет с целью сравнения затрат времени на сжатия в зависимости от размера изображения с использованием разработанного метода сжатия графической информации и с использованием фрактального метода. На рисунке № 1 приведены результаты расчетов.



Разработанный метод сжатия графической информации

Фрактальный метод

Рис. 1. Результаты расчетов затрат времени на сжатие изображения с использованием двух методов сжатия графической информации

Как видно из графиков разработанный метод сжатия графической информации имеет преимущество по сравнению с фрактальным методом.

График зависимости времени работы прямого вейвлет-преобразования от размера изображения представлен на рисунке № 2. На горизонтальной оси "pixels" - размер изображения в тысячах пикселей, на вертикальной оси "seconds" - время работы алгоритма прямого вейвлет-преобразования в секундах.

График зависимости времени работы обратного вейвлет-преобразования от размера изображения представлен на рисунке. № 3. На горизонтальной оси "pixels" - размер изображения в тысячах пикселей, на вертикальной оси "seconds" - время работы алгоритма обратного вейвлет-преобразования в секундах.

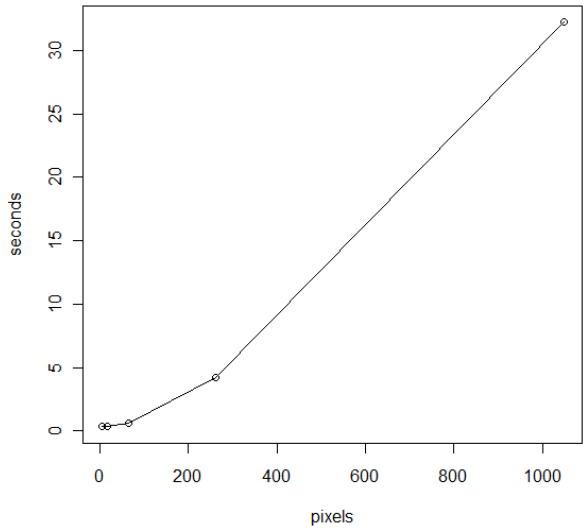


Рис. 2. График зависимости времени работы алгоритма прямого вейвлет-преобразования от размера изображения

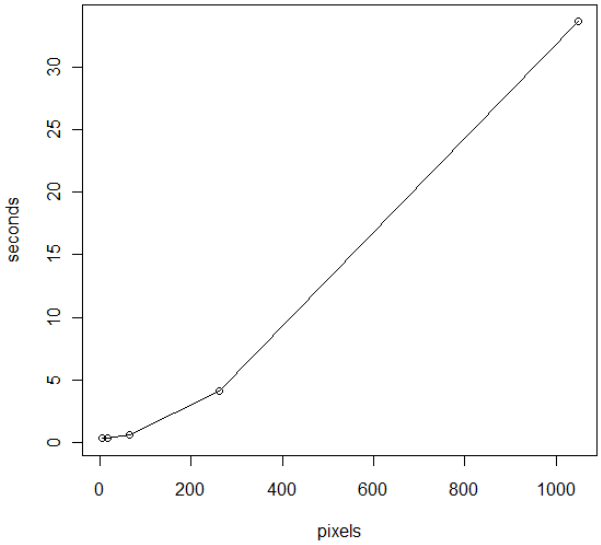


Рис. 3. График зависимости времени работы алгоритма обратного вейвлет-преобразования от размера изображения

Как видно из представленных на рисунках № 2 и № 3 графиках, минимальное время, затрачиваемое на работу алгоритмов прямого и обратного вейвлет-преобразования изображений с размерами 512x512 - это 15 секунд, что не приемлемо для сети Интернет и коммерческих баз данных. Поэтому разработанный метод, в части затрачиваемого времени на работу, требует дальнейшей оптимизации и доработки.

График зависимости времени работы алгоритма выбора значимых коэффициентов представлен на рисунке № 4. Как видно из графика, время работы алгоритма линейно зависит от размера изображения.

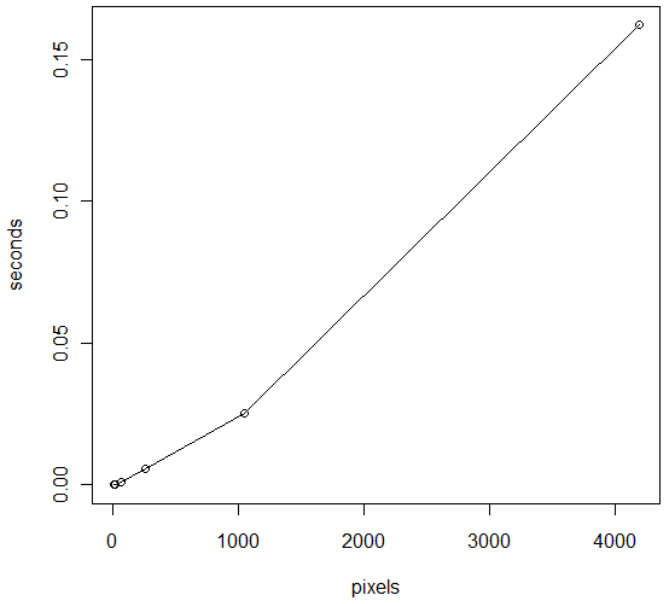


Рис. 4. График зависимости времени работы алгоритма выбора значимых коэффициентов от размера изображения

Объем сохраняемых данных, при применении разработанного метода

Для исследования были выбраны вейвлеты Добеши с системами соответствующих коэффициентов. Делалось предположение, что увеличение количества коэффициентов в системе приведет к лучшей сжимаемости изображения. Для анализа были выбраны изображения размером 512x512 пикселей, к которым применялось вейвлет-преобразование с различными системами коэффициентов. На рисунке № 5 представлен график зависимости объема сохраняемых данных от количества системных коэффициентов. График показывает, что какой-либо зависимости объема сохраняемых данных от количества системных коэффициентов не наблюдается. В ввиду малого объема проведенных работ, сделанное предположение требует дальнейших дополнительных исследований.

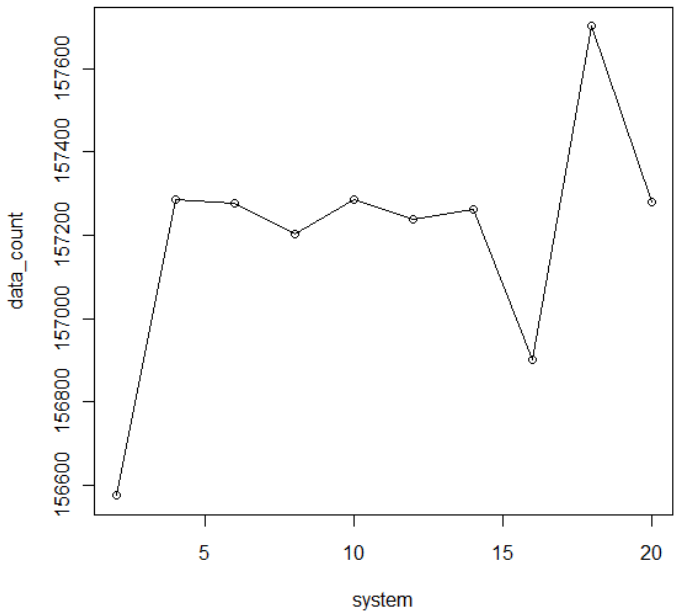


Рис. 5. График объема сохраняемых данных от количества системных коэффициентов

В качестве примера на рисунке № 6 приведены расчеты рекомендованным методом для разных системных коэффициентов Дебеши.

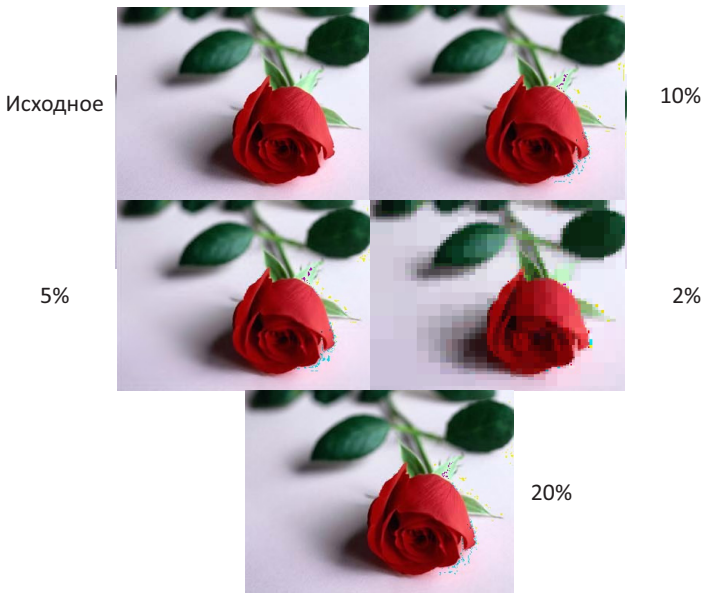


Рис. 6. Результат вейвлет-преобразования изображений разработанным методом

Заключение

В результате анализа классических методов сжатия изображения, учитывая их достоинства и недостатки, в качестве приоритетного выбран, для более детального исследования и практического применения, метод, основанный на вейвлетных преобразованиях. Проведены следующие работы:

- выполнен анализ существующих методов сжатия изображений ;
- разработан метод вейвлет-преобразования на основе вейвлет-функций Добеши с системами коэффициентов от 2 до 20 ;
- создан программный продукт (приложение), позволяющий применять методы вейвлет-преобразования к изображениям, в соответствии с разработанным автором методом, который предоставляет следующие возможности:
    - применять к изображению прямое и обратное вейвлет-преобразование;
    - производить расчет коэффициентов сжатия изображения;
    - измерять время работы алгоритмов прямого и обратного вейвлет-преобразования ;
    - сохранять полученные данные после применения вейвлет-преобразования;
- выполнено исследование работы метода с учетом характеристик времени и степени сжатия.

Результаты исследований по применению разработанного метода, основанного на алгоритме прямого и обратного вейвлет-преобразования и на выборе значимых коэффициентов для сжатия изображений показывают возможность оптимизации, при дальнейших работах в этом направлении, качества получаемого изображения, скорости его обработки и объема архивации.

Список литературы

1. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии: учебное пособие. М.: Издательство Триумф, 2003. 320 с.
2. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.
4. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Типография ВУС, 1999. 204с.

5. Кормен Т.Х. Алгоритмы: построение и анализ М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 1296с.