

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет систем
управления и радиотехники

А.М. Голиков

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТА ВЕЙВЛЕТ
СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ JPEG2K**

Методические указания для выполнения лабораторных работ
для студентов направления 11.03.02 "Инфокоммуникационные
технологии и системы связи" и специалитета 11.05.01 "Радиоэлектронные
системы и комплексы"

Томск
2020

УДК 621.37
ББК 32.884.1
Г 604

Рецензент

Мещеряков А.А. доцент кафедры радиотехнических систем ТУСУР,
канд. техн. наук

Голиков А.М.

Г604 Исследование стандарта вейвлет сжатия изображений Jpeg2K: методические указания для выполнения лабораторных работ для студентов направления 11.03.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" и специалитета 11.05.01 "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А.М. Голиков -Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2020. - 36 с.

В лабораторной работе проводится исследование стандарта вейвлет сжатия изображений Jpeg2K. Разработанный программный комплекс позволяет провести исследование для различных методов вейвлет сжатия изображений, получить зависимости коэффициентов сжатия от различных параметров вейвлет. Вейвлет сжатие является одним из эффективных методов кодирования источника с потерями. Выполнение лабораторной работы позволит студентам на практике познакомиться со стандартом вейвлет сжатия изображений Jpeg2K. Лабораторная работа предназначена для подготовки магистров по направлению 11.04.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" по магистерским программам подготовки: "Радиоэлектронные системы передачи информации", "Оптические системы связи и обработки информации", "Инфокоммуникационные системы беспроводного широкополосного доступа", "Защищенные системы связи", для направления подготовки магистров 11.04.01 "Радиотехника" по магистерской программе подготовки: "Радиоэлектронные устройства передачи информации", "Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов", "Видеоинформационные технологии и цифровое телевидение" и специалитета 11.05.01 "Радиоэлектронные системы и комплексы", а также бакалавриата направления 11.03.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи".

Одобрено на заседании каф. РТС протокол №8 от 20.04.2020 г.

УДК 621.37
ББК 32.884.1

© А.М. Голиков, 2020
© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2020

Оглавление

1	Введение.....	4
2	Теоретическая часть	5
3	Практическая часть	22
4	Литература	28
5	Приложение.....	29

1 Введение

В настоящее время вейвлет-анализ является одним из наиболее мощных и при этом гибких средств исследования данных: помимо возможностей сжатия и фильтрации данных, анализ в базисе вейвлет-функций позволяет решать задачи идентификации, моделирования, аппроксимации стационарных и нестационарных процессов, исследовать вопросы наличия разрывов в производных, осуществлять поиск точек склеивания данных, удалять в данных тренд, отыскивать признаки фрактальности информации. Стоит отметить, что в основе подобных возможностей, обеспечивающих вейвлет-анализу весьма перспективное будущее, лежит природа его многомасштабности. Иначе говоря, гармонический анализ не способен конкурировать с вейвлет-анализом.

Вейвлет-преобразование широко используется для анализа сигналов. Помимо этого, оно находит большое применение в области сжатия данных. В дискретном вейвлет-преобразовании наиболее значимая информация в сигнале содержится при высоких амплитудах, а менее полезная — при низких. Сжатие данных может быть получено за счет отбрасывания низких амплитуд. Вейвлет-преобразование позволяет получить высокое соотношение сжатия в сочетании с хорошим качеством восстановленного сигнала. Вейвлет-преобразование было выбрано для стандартов сжатия изображений JPEG2000 и ICER. Однако, при малых сжатиях вейвлет-преобразование уступает по качеству в сравнении с оконным Фурье-преобразованием, которое лежит в основе стандарта JPEG.

Выбор конкретного вида и типа вейвлетов во многом зависит от анализируемых сигналов и задач анализа. Для получения оптимальных алгоритмов преобразования разработаны определенные критерии, но их еще нельзя считать окончательными, так как они являются внутренними по отношению к самим алгоритмам преобразования и, как правило, не учитывают внешних критериев, связанных с сигналами и целями их преобразований. Отсюда следует, что при практическом использовании вейвлетов необходимо уделять достаточное внимание проверке их работоспособности и эффективности для поставленных целей по сравнению с известными методами обработки и анализа.

Изобретение вейвлетов было напрямую связано с необходимостью более глубокого анализа сигналов, чем анализ сигнала с помощью преобразования Фурье. Вейвлеты используют в тех случаях, когда результат анализа некоторого сигнала должен содержать не только простое перечисление его характерных частот (масштабов), но и сведения об определенных локальных координатах, при которых эти частоты проявляют себя. Анализ и обработка нестационарных (во времени) или неоднородных (в пространстве) сигналов разных типов представляют собой основное поле применения вейвлет-анализа.

2 Теоретическая часть

Сжатие по стандарту Jpeg2K (JPEG2000) основано на ставшем уже классическим алгоритме пирамидального вейвлет-преобразования. Обработка вейвлет-коэффициентов осуществляется методом контекстно-зависимого бит-ориентированного арифметического кодирования.

Первоначально изображение подвергается чередующимся последовательностям вертикальных и горизонтальных одномерных вейвлет-преобразований. Сначала преобразуются все строки, а затем все столбцы. На следующем этапе левая верхняя четверть матрицы получившейся в результате предыдущего преобразования опять преобразуется (сначала все строки, затем все столбцы) и так далее. Количество этапов соответствует количеству уровней вейвлет-декомпозиции. В результате преобразования мы получаем множество прямоугольных диапазонов вейвлет-коэффициентов, которые принято называть частотными диапазонами, так как они содержат информацию о том, как ведет себя исходный двухмерный сигнал (изображение) при разном разрешении (то есть набор коэффициентов при разной частоте).

Для преобразования могут использоваться различные вейвлет-фильтры. Обязательная часть стандарта предписывает использование только двух фильтров: обратимый $5/3$ для сжатия без потерь и необратимый $9/3$ для сжатия с потерями (оба фильтра являются классическими вейвлет-фильтрами). Расширение допускает любые другие фильтры. Подразумевается, что для реализации преобразования используется удобная с практической точки зрения лифтинг-схема.

После преобразования осуществляется квантование коэффициентов. Именно на этапе квантования возникают основные информационные потери, и именно за счет квантования возможно существенное уменьшение объема представления изображения. (Естественно, в квантовании нет необходимости, если производится сжатие без потерь.) Как уже было сказано, квантование может быть либо равномерным скалярным, либо каким-либо другим (например, векторным). В случае использования равномерного скалярного квантования квант-параметр может меняться в зависимости от квантуемого диапазона.

Этап арифметического кодирования является завершающим этапом кодирования. Диапазоны коэффициентов разбиваются на прямоугольные кодовые блоки (как правило, 32×32 или 64×64). Каждый из блоков кодируется независимо. Это означает, что состояние арифметического кодера сбрасывается перед кодированием очередного кодового блока. В процессе кодирования коэффициенты в блоке виртуально представляются в виде битовых плоскостей.

Одну из таких плоскостей составляют знаки коэффициентов; остальные плоскости соответствуют различным разрядам величин коэффициентов (положение бита в плоскости соответствует положению коэффициента в блоке). Кодирование коэффициентов сводится к кодированию битов,

составляющих эти коэффициенты. Таким образом, арифметическое кодирование является бит-ориентированным. Арифметическое кодирование основано на контекстно-зависимой модели. Контекст формируется как функция от значений битов, окружающих кодируемый бит. Кодирование осуществляется по плоскостям: сначала кодируется плоскость, соответствующая старшему разряду коэффициентов, затем следующая по убыванию, и т.д. Во время кодирования каждому коэффициенту в кодируемом блоке ставится в соответствие параметр значимости. Коэффициент называется значимым, если в уже закодированных на данный момент битовых плоскостях, присутствует хотя бы один ненулевой разряд данного коэффициента. Каждая битовая плоскость кодируется в три прохода. Во время первого кодового прохода осуществляется распространение информации о значимости коэффициентов. Для каждого бита плоскости, если соответствующий коэффициент еще не является значимым, и если хоть один соседний коэффициент уже является значимым, осуществляется кодирование факта значимости для текущего коэффициента, то есть фактически осуществляется кодирование значения данного бита текущей кодируемой плоскости. Если кодируемый бит оказался ненулевым, сразу после его обработки кодируется соответствующий бит битовой плоскости знаков коэффициентов (кодирование знака). Во время второго кодового прохода кодируются все биты, соответствующие значимым на данный момент коэффициентам и не обработанным во время первого прохода. В отличие от предыдущего кодового прохода, когда решение о кодировании принималось на основе информации о значимости соседних коэффициентов, во время данного прохода биты кодируются в обязательном порядке. Цель третьего кодового прохода обработать те биты, которые не были обработаны во время первого и второго проходов. Во время третьего прохода арифметическое кодирование применяется совместно с групповым кодированием. Существенной деталью, предусмотренной стандартом, является возможность пропуска кодовых проходов, что является еще одним источником повышения эффективности за счет информационных потерь (первым, наиболее явным источником является квантование). Данная возможность активно используется для осуществления контроля над скоростью генерации кода.

Представление информации, полученное в результате вейвлет преобразования, очень удобно тем, что оно обеспечивает возможность получения приблизительных копий изображения без осуществления полного обратного преобразования. Обратное преобразование осуществляется в порядке, обратном порядку прямого преобразования. Производя ограниченное число обратных декомпозиций (объединение частотных диапазонов), полагая, что все не вовлеченные в преобразование частотные диапазоны содержат исключительно нулевые элементы, мы легко можем получить либо копию изображения в уменьшенном масштабе, либо исходное изображение, но в более низком качестве по сравнению с изображением, полученным в результате полного обратного преобразования. Учитывая тот

факт, что блоки вейвлет-коэффициентов кодируются независимо друг от друга, мы получаем возможность частичного декодирования не только на уровне преобразования, но и на уровне интерпретации кода. Для получения приблизительной копии изображения достаточно декодировать всего лишь часть информации, а затем произвести частичное обратное преобразование. Таким образом, формат хранения изображения обеспечивает масштабируемость как по разрешению, так и по качеству.

Другим важным преимуществом нового стандарта является возможность доступа к отдельным элементам изображения без полного декодирования его представления. Обеспечивается такая возможность, во-первых, разбиением исходного изображения на непересекающиеся области (тайлы), которые кодируются как отдельные изображения, а во-вторых, представлением кода отдельного тайла в виде частей (слоев), каждая из которых является суммарным кодом коэффициентов, соответствующих некоторой его (тайла) области (отметим, что слои в свою очередь делятся на так называемые пакеты, содержащие код блоков коэффициентов на разных уровнях декомпозиции). Для того, чтобы декодировать какую-либо область изображения достаточно определить, каким тайлам она принадлежит и какие слои, относящиеся к этим тайлам содержат код блоков коэффициентов, необходимых для восстановления требуемой области. Безусловно, «удобное» представление изображения не может быть выгодным с точки зрения эффективности сжатия. Действительно, с уменьшением размера структурных элементов (тайлов, областей тайлов, образующих слои и др.) эффективность сжатия несколько снижается. Стандарт в данном случае оставляет нам выбор: с одной стороны, мы имеем возможность получать информационные представления, позволяющие достаточно быстро извлекать и редактировать части изображения, с другой стороны, стандарт не препятствует созданию информационных представлений, эффективных по объему.

Как нетрудно заметить, все, что было сказано выше, в действительности относится не совсем к сжатию изображений. Речь шла всего лишь о сжатии матриц. Реальные изображения подчас являются более сложными объектами. Как правило, изображение включает в себя сразу несколько компонентов. Чаще всего, оно состоит из трех цветовых компонентов: красного, зеленого и синего. Так как каждый компонент в отдельности представляет собой матрицу, для того, чтобы закодировать изображение целиком, нам необходимо закодировать не одну, а три матрицы. Такой подход, как показывает практика, приемлем, но не является самым удачным. Большей эффективности сжатия можно добиться в случае, когда кодируемые компоненты представлены в яркостно-цветовой форме.

Для преобразования изображения из стандартного цветового представления RGB в яркостно-цветовое представление YCrCb стандартом предусмотрены две процедуры: обратимая и необратимая. Необратимая процедура в точности повторяет классическое преобразование RGB в YCrCb, которое использовалось, например, в старом стандарте JPEG. Обратимая процедура представляет собой достаточно грубое приближение к

классической необратимой процедуре. Как следует из названия, данное преобразование не ведет к потере цветовой информации, и может применяться в тех случаях, когда задействуется режим сжатия без потерь.

Для обеспечения помехоустойчивости информационного представления и удобства доступа к информации в стандарте JPEG2000 предусмотрена система маркеров и маркерных сегментов. Маркеры играют роль разграничителей внутри информационного потока; маркерные сегменты содержат в себе параметры фрагментов информации ограниченных маркерами. Данные, начинающиеся с маркера, как правило, могут быть корректно проинтерпретированы без какой-либо дополнительной информации (это, естественно, не означает возможность восстановления целого по фрагментам), что обеспечивает возможность частичного восстановления изображения, представление которого было повреждено. Введение элементов помехоустойчивости дает зеленый свет использованию стандарта во всевозможных телекоммуникационных приложениях.

В заключение обзора стандарта следует сказать несколько слов относительно его реальной эффективности. Достижение высокого качества сжатия, безусловно, было одной из главных задач при его создании, и здесь разработчики добились явного прогресса. Стандарт JPEG2000 превосходит по эффективности стандарт JPEG примерно в 2 раза при сжатии с потерями и на 5-20% при сжатии без потерь. Конечно, эффективность при сжатии без потерь в данном случае оказывается не такой высокой, как, скажем, у стандарта JPEG-LS, однако она вполне приемлема. Что же касается эффективности сжатия с потерями, здесь стандарт позволяет получать результаты, близкие к наилучшим на сегодняшний день результатам для подобного рода методов. Судить о скорости работы практических реализаций стандарта пока рано - количество таких реализаций на сегодняшний день очень невелико. Тем не менее можно сказать, что, как и ожидалось, новый стандарт несколько медленнее своего предшественника. Унифицированная архитектура декодера. В JPEG имеется порядка 44 различных режимов декодирования, в зависимости от приложения. Синтаксис JPEG2000 таков, что в независимости от применяемого способа кодирования используется один и тот же декодер.

Масштабируемость. В зависимости от потребности, это может быть масштабируемость по размеру, разрешению, частотному содержанию, количеству цветов. Обработка отдельных областей на изображении (Region Of Interest). Например, пользователя может интересовать не все изображение улицы, а лишь фото отдельной машины, он выделяет его (мышью), и декодер с высоким качеством восстанавливает этот фрагмент (все невозможно "поднять" с высоким качеством из-за ограничений на объем передаваемой информации).

В настоящее время стандарт JPEG2000 состоит из 6 частей:

основная часть - ядро стандарта;

расширения базового алгоритма сжатия;

motion JPEG - для сжатия видео, кадр за кадром; тесты для к

подтверждения правильности реализации; программное обеспечение;
формат файла составного (графика + текст) изображения.

В настоящее время официально опубликована лишь первая часть стандарта. Рассмотрим основные блоки, входящие в структурную схему алгоритма сжатия

JPEG2000.

Предварительная обработка. Изображение, как правило представляет собой набор неотрицательных целых чисел. На этапе предварительной обработки из него вычитают среднее. Кроме того, если изображение большого размера, то оно может быть разбито на части. Тогда каждая часть сжимается отдельно, а для предотвращения появления заметных линий на стыке восстановленных частей применяются специальные меры.

Вейвлет-преобразование. В первой части определены два вейвлет-фильтра - фильтр Добеши (9, 7) для сжатия с потерями и тоже биортогональный фильтр с целочисленными коэффициентами (5, 3) для сжатия без потерь. Во второй части стандарта разрешается применение любых фильтров, а также не только октавополосное разбиение, но и произвольное (вейвлет-пакеты и т.д.). В стандарте определено, что вейвлет-преобразование осуществляется не путем свертки с импульсными характеристиками фильтров, а на основе алгоритма, известного как лифтинговая схема.

Квантование. В первой части стандарта определен равномерный квантователь с мертвой зоной. В случае сжатия без потерь размер шага квантователя равен 1, иначе он выбирается в зависимости от требуемой степени сжатия. Шаг квантователя постоянен в пределах субполосы. Во второй части стандарта определена возможность применения решетчатого квантователя – TCQ.

Энтропийное кодирование. Применяется адаптивный арифметический кодер (в JPEG был кодер Хаффмана). Ввиду патентных ограничений используется не QM-кодер разработки IBM, а чуть худший MQ-кодер, специально разработанный для JPEG2000. Кодирование ведется не всего изображения в целом и даже не отдельных субполос, а более мелких объектов - кодируемых блоков (КБ). Размер кодируемого блока может быть не более 4096 пикселей, высота не менее 4 пикселей. Такое разбиение хотя и снижает несколько коэффициент сжатия, но повышает устойчивость сжатого потока к ошибкам канала связи: ошибка испортит лишь небольшой блок. Кодирование блоков ведется в три этапа, битовыми плоскостями. Сжатый поток данных упаковывается в пакеты. Именно благодаря гибкой и продуманной структуре пакетов возможно достижение целей разработки стандарта.

Изначально новый стандарт разрабатывался как база для будущего стандарта сжатия без потерь JPEG-LS, но позднее был отвергнут в связи с появлением более эффективных алгоритмов. В связи с развитием технологий стандарт JPEG постепенно терял свою актуальность. Разработчики JPEG2000 надеялись создать стандарт, который исправил бы многие ошибки уже

существующих стандартов. Среди их задач были следующие.

Устранение неэффективного сжатия в области низких частот. Существующие алгоритмы неплохо справлялись со сжатием среднечастотных и высокочастотных областей, но в области низких частот они показывали плохие результаты.

Сжатие с потерями и без потерь. На момент разработки не существовало стандарта, позволяющего сжимать с потерями и без потерь в едином сжимающем потоке.

Обработка больших изображений. Существующие алгоритмы не позволяли эффективно сжимать изображения размером более 64Кх64К без разбиения на тайлы.

Единая структура алгоритма сжатия. Текущая реализация JPEG поддерживала 44 модификации, большая часть которых была специфичной для некоторых приложений и не поддерживалась большей частью декодеров.

Помехоустойчивость. Во время разработки JPEG сетевые технологии не были еще достаточно развиты, и проектировщики JPEG не задумывались над помехоустойчивостью при передаче изображений по небезопасным каналам и возможностью восстановления изображения в случае его повреждения в результате передачи.

Компьютерно-сгенерированные изображения. Исходные алгоритмы неплохо работали на цифровых фотографиях и изображениях, полученных с помощью цифровой фотокамеры или сканера, но неэффективно обрабатывали изображения, созданные на компьютере, например, с помощью графических редакторов.

Сложные документы. JPEG показывал очень плохие результаты при обработке сложных двумерных изображений (в частности изображений текста).

Кодер JPEG2000

На следующей диаграмме представлены основные шаги работы кодера JPEG2000.



Рисунок 2.1 - Шаги работы кодера JPEG2000

Препроцессинг

В отличие от JPEG кодер JPEG2000 не требует разбиения изображения на малые квадратные блоки, так как используемое в ходе работы алгоритма

ДВП (дискретное вейвлетное преобразование) работает на фрагментах любого размера.



Рисунок 2.2 - Препроцессинг

С другой стороны иногда, в случае, если объем памяти, доступный кодеру для работы, меньше, чем объем памяти, необходимый для кодирования всего изображения, выполняется разбиение изображения на квадратные тайлы, которые кодируются независимо друг от друга. Далее будет рассматриваться кодирование одного тайла.

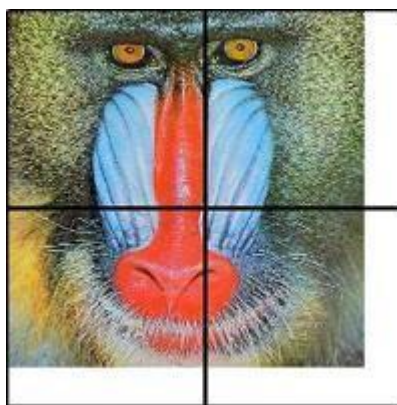


Рисунок 2.3 - Пример разбиения изображения на тайлы

Дискретное вейвлетное преобразование

JPEG2000 использует дискретное вейвлетное преобразование (Discrete Wavelet Transformation), для разбиения изображения на высокочастотные и низкочастотные области. ДВП обрабатывает каждую строку и столбец исходного изображения с помощью частотного фильтра.

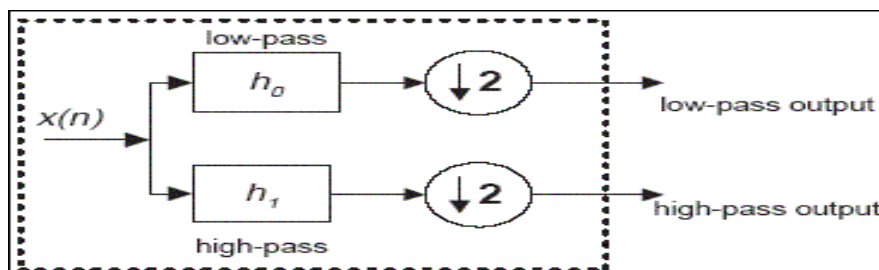


Рисунок 2.4 - Схема работы частотного фильтра

В связи с тем, что каждый проход с использованием частотного фильтра на выходе увеличивает объем информации в два раза, после обработки размер изображения уменьшается в два раза. После одного этапа ДВП обрабатываемый фрагмент делится на четыре сегмента:

LL – низкие частоты по строкам и столбцам

HL – высокие частоты по строкам и низкие по столбцам
 LH – низкие частоты по строкам и высокие по столбцам
 HH – высокие частоты по строкам и столбцам

По стандарту количество этапов может быть от 0 до 32. Для обычного изображения используют от 4-х до 8-ми этапов. На каждом следующем этапе обрабатывается только низкочастотная область (LL), так как в высокочастотных областях обычно не содержится важной информации.

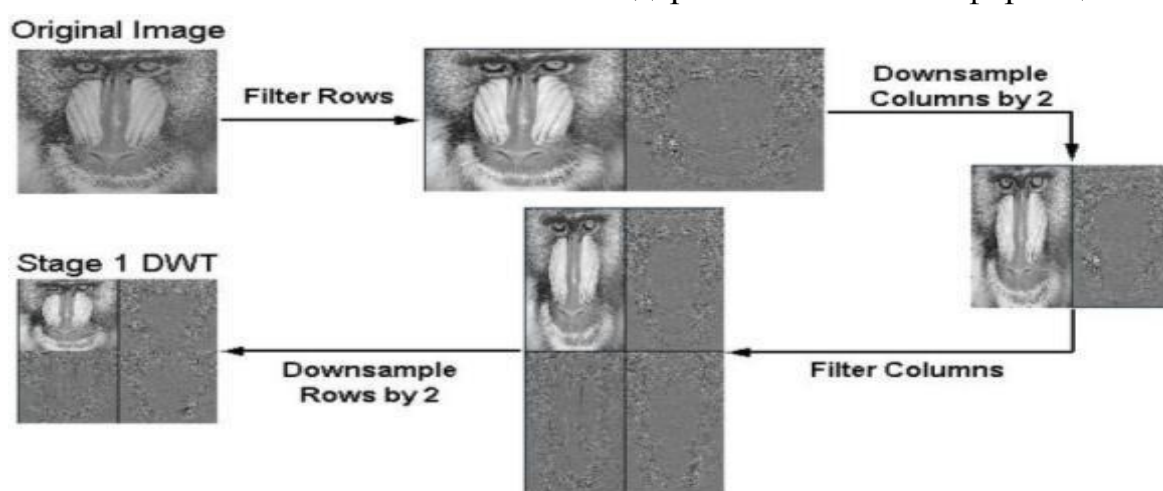


Рисунок 2.5 - Схема выполнения одного этапа ДВП

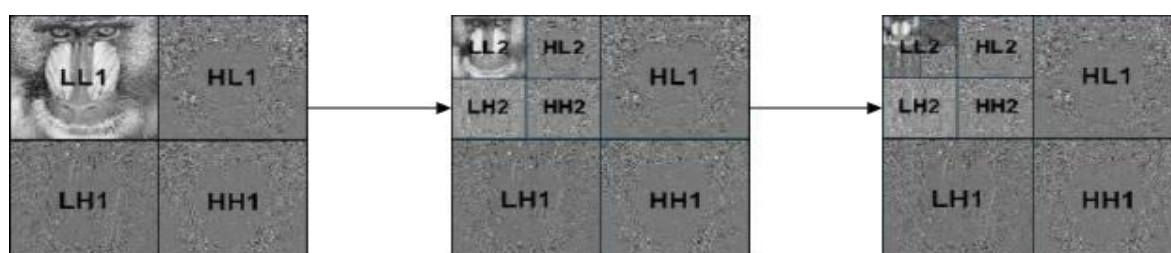


Рисунок 2.6 - Последовательное применение ДВП к изображению

Кодирование

Кодирование полученных округленных коэффициентов выполняется поблочно. По стандарту JPEG2000 непосредственно перед кодированием фрагменты разбиваются на достаточно малые блоки (например, размером 32x32 или 64x64) так, чтобы все блоки одного фрагмента были одинакового размера. Разбиение на блоки выполняется для того, чтобы осуществить более гибкую организацию сжатой информации для повышения помехоустойчивости и так далее.

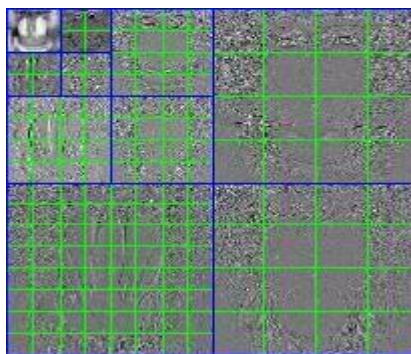


Рисунок 2.7 - Пример разбиения фрагментов изображения на блоки

В JPEG2000 каждый блок кодируется по отдельности. Алгоритм кодирования обходит матрицу коэффициентов округления каждого блока полосами, как показано на рисунке 2.7. Блоки разбиваются на блоки с номинальной высотой 4. Далее полосы сканируются сверху вниз, а колонки в каждой полосе обходятся слева направо.

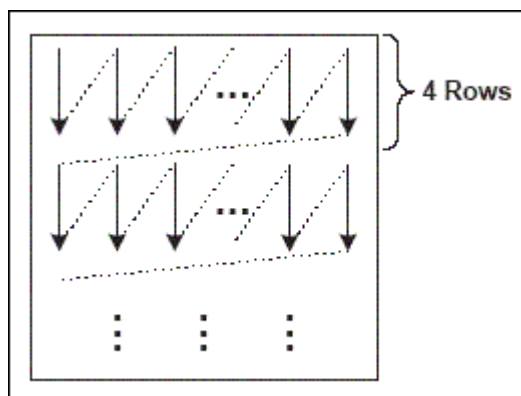


Рисунок 2.8 - Порядок кодирования блоков

В процессе кодирования коэффициенты в блоке виртуально представляются в виде битовых плоскостей. Одну из таких плоскостей составляют знаки коэффициентов; остальные плоскости соответствуют различным разрядам величин коэффициентов (положение бита в плоскости соответствует положению коэффициента в блоке). Кодирование осуществляется по плоскостям: сначала кодируется плоскость, соответствующая старшему разряду коэффициентов, затем следующая по убыванию, и т.д. Может случиться так, что N наиболее приоритетных битовых плоскостей (НПБ-плоскостей), не будут содержать единиц. В этом случае НПБ-плоскостью становится первая по порядку плоскость, содержащая хотя бы одну единицу. Предшествующие ей пустые плоскости опускаются при кодировании, а информация о их количестве заносится в заголовок блока.

Арифметическое кодирование основано на контекстно-зависимой модели. Контекст формируется как функция от значений битов, окружающих

кодируемый бит. Каждая битовая плоскость, кроме НБП, обычно кодируется в три прохода. Во время первого кодового прохода осуществляется распространение информации о значимости коэффициентов. Во время кодирования каждому коэффициенту в кодируемом блоке ставится в соответствие параметр значимости. Коэффициент называется значимым, если в уже закодированных на данный момент битовых плоскостях, присутствует хотя бы один ненулевой разряд данного коэффициента.

Для каждого бита плоскости, если соответствующий коэффициент еще не является значимым, и если хоть один соседний коэффициент уже является значимым, осуществляется кодирование факта значимости для текущего коэффициента, то есть фактически осуществляется кодирование значения данного бита текущей кодируемой плоскости. Если кодируемый бит оказался ненулевым, сразу после его обработки кодируется соответствующий бит битовой плоскости знаков коэффициентов (кодирование знака).

Во время второго прохода выполняется кодирование нетронутых в первом проходе битов коэффициентов, значимых на данный момент. В отличие от предыдущего прохода, когда решение о кодировании принималось на основе информации о значимости соседних коэффициентов, во время данного прохода биты кодируются в обязательном порядке.

Во время третьего, заключительного прохода выполняется обработка тех битов, которые не были обработаны во время первого и второго проходов. Во время этого заключительного этапа арифметическое кодирование применяется совместно с групповым кодированием.

Существенной деталью, предусмотренной стандартом, является возможность пропуска кодовых проходов, что является еще одним источником повышения эффективности за счет информационных потерь (первым, наиболее явным источником является квантование). Данная возможность активно используется для осуществления контроля над скоростью генерации кода.

Организация данных

Важным преимуществом рассматриваемого стандарта является возможность доступа к отдельным элементам изображения без полного декодирования его представления. Обеспечивается такая возможность, во-первых, разбиением исходного изображения на непересекающиеся области (тайлы), которые кодируются как отдельные изображения, а во-вторых, представлением кода отдельного тайла в виде частей (слоев), каждая из которых является суммарным кодом коэффициентов, соответствующих некоторой его (тайла) области. Слои в свою очередь делятся на так называемые пакеты, содержащие код блоков коэффициентов на разных уровнях декомпозиции. Для того, чтобы декодировать какую-либо область изображения, достаточно определить, каким тайлам она принадлежит, и какие слои, относящиеся к этим тайлам, содержат код блоков коэффициентов, необходимых для восстановления требуемой области.

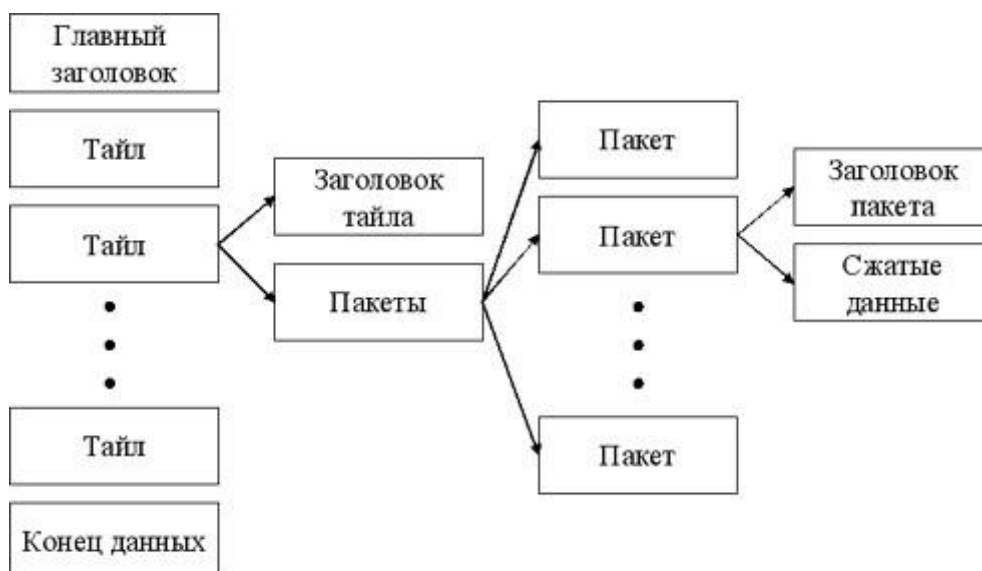


Рисунок 2.9 - Схема организации кода

Безусловно, «удобное» представление изображения не может быть выгодным с точки зрения эффективности сжатия. Действительно, с уменьшением размера структурных элементов (тайлов, областей тайлов, образующих слои и др.) эффективность сжатия несколько снижается. Стандарт в данном случае оставляет нам выбор: с одной стороны, мы имеем возможность получать информационные представления, позволяющие достаточно быстро извлекать и редактировать части изображения, с другой стороны, стандарт не препятствует созданию информационных представлений, эффективных по объему.

Для обеспечения помехоустойчивости и удобства доступа к информации в стандарте JPEG2000 предусмотрена система маркеров и маркерных сегментов. Маркерные сегменты содержат в себе параметры фрагментов информации ограниченных маркерами. Данные, начинающиеся с маркера, могут быть корректно проинтерпретированы без какой-либо дополнительной информации (это не означает возможность восстановления целого по фрагментам), что обеспечивает возможность частичного восстановления изображения, представление которого было повреждено. Введение элементов помехоустойчивости дает зеленый свет использованию стандарта во всевозможных телекоммуникационных приложениях.

Достижение высокого качества сжатия, безусловно, было одной из главных задач при создании стандарта, и здесь разработчики добились явного прогресса. Стандарт JPEG2000 превосходит по эффективности стандарт JPEG примерно в 2 раза при сжатии с потерями и на 5-20% при сжатии без потерь. Конечно, эффективность при сжатии без потерь в данном случае оказывается не такой высокой, как, скажем, у стандарта JPEG-LS, однако она вполне приемлема. Что же касается эффективности сжатия с потерями, здесь стандарт позволяет получать результаты, близкие к наилучшим на сегодняшний день результатам для подобного рода методов.

Сравнительный анализ JPEG2000 с другими форматами

Стандарт сжатия JPEG2000 был принят в качестве международного стандарта в 1999 году. Он пришел на смену традиционному формату сжатия JPEG, построенному на базе дискретного косинусного преобразования. В отличие от него, JPEG2000 обладает большей эффективностью сжатия изображения. При одинаковом размере кадра в байтах изображение, сохранённое в формате JPEG2000, имеет более высокую детализацию и намного лучше чем JPEG, как по субъективным оценкам, так и по объективным измерениям VQM (Video Quality Metric).

Преимуществом JPEG2000 является полное отсутствие заметной «решётки», которая вносит дефект в изображение, вследствие чего снижается документальность записей. Это достигается благодаря использованию wavelet-компрессии, что даёт новые возможности для обработки данных.



Рисунок 2.10 - Изображение с PAL камеры 720x576 пиксел



Рисунок 2.11 - Качество компрессии JPEG2000
и качество компрессии JPG

Покадровое сжатие

Важной характеристикой систем видеонаблюдения является используемый метод компрессии. С точки зрения качества и достоверности передаваемой картинки основным является покадровый метод компрессии видеоданных, когда каждый кадр сжимается независимо от соседних. JPEG2000 изначально разработан для хранения изображений, однако он имеет расширение motion JPEG2000 (далее JPEG2000). Именно эта изначальная ориентация формата имеет преимущество перед алгоритмами с межкадровой компрессией. В отличие от MPEG2, MPEG4, H.264 и др., JPEG2000 обеспечивает одинаково высокое качество всех записанных кадров. Это позволяет проводить криминалистические экспертизы записей и применять средства автоматической обработки архивных данных на более высоком уровне.

Масштабируемость разрешения

Изображение, сжатое JPEG2000, хранится таким образом, что данные, относящиеся к разным разрешениям, содержатся в разных блоках. Благодаря разбиению на блоки, можно хранить изображения разных разрешений в одном кодовом потоке. Для получения видео с меньшим, чем исходное, разрешением достаточно распаковать только часть данных. Технология NetScale системы VOCORD Tahion использует эту особенность Wavelet-преобразования и оптимизирует нагрузку на цифровые каналы передачи данных, передавая только ту часть данных, которая соответствует требуемому разрешению.

Работа с видеоданными без декомпрессии

Декомпрессия сжатых данных требует достаточно больших вычислительных ресурсов. Блочная структура хранения данных JPEG2000 позволяет проводить автоматизированный анализ архивных данных без полной распаковки изображения, экономя тем самым вычислительные ресурсы.

Сравнение с другими стандартами

К стандарту JPEG 2000 имеется несколько дополнений, некоторые из них ещё не реализованы, среди которых:

ISO/IEC 15444-2:2000 — дополнительные функциональные возможности, такие как сеточное квантование, расширенный формат файла и дополнительные преобразования цветовых пространств;

ISO/IEC 15444-4:2000 — тестирование ссылок; ISO/IEC 15444-6:

2000 — составной формат файлов изображения, позволяет сжимать одновременно текст и изображение;

JPSEC — расширение для безопасной передачи изображений (обсуждается в ISO);

JPIP — основанный на соединении просмотр изображений (обсуждается в ISO).

JPEG 2000 во многом сходен с форматом сжатия изображений ICER, используемым NASA для сжатия изображений в космических экспериментах.

ICER также основан на вейвлетах и обеспечивает:

прогрессивное кодирование,

сжатие без потерь (в отличие от JPEG 2000, ICER в этом режиме использует модифицированный компрессор LOCO (англ. Low Complexity Lossless Compression)),

сжатие с потерями,

коррекцию ошибок, позволяющую ограничить эффект потери данных в канале связи.

ICER в целом обеспечивает сжатие, сравнимое с JPEG 2000.

Функциональные возможности ICER, сходные с JPEG 2000, состоят в том, что оба

компрессора:

обеспечивают разбиение изображения на блоки для увеличения эффективности сжатия, позволяя более эффективно использовать канал связи, оперативную память и процессорное время;

позволяют варьировать степень сжатия в зависимости от размера изображения (в байтах);

позволяют варьировать степень сжатия в зависимости от качества (хотя ICER варьирует степень сжатия с 1%-й погрешностью).

Отличия между ICER и JPEG 2000:

JPEG 2000 использует арифметику с плавающей запятой, ICER — только целочисленную арифметику;

ICER использует модифицированный LOCO-компрессор для сжатия без потерь;

JPEG 2000 использует несколько разных моделей сжатия без потерь, с помощью переключения вейвлет-компрессора в режим сжатия без потерь;

ICER и JPEG 2000 используют разные цветовые пространства;

ICER в своей нынешней форме лучше сжимает монохромные изображения, чем цветные источники.

Основные преимущества JPEG 2000 по сравнению с JPEG:

Большая степень сжатия: на высоких битрейтах, где артефакты незначительны, JPEG 2000 имеет степень сжатия в среднем на 20 % больше, чем JPEG. На низких битрейтах JPEG 2000 также имеет преимущество над основными режимами JPEG. Большая степень сжатия достигается благодаря использованию дискретного вейвлет-преобразования и более сложного энтропийного кодирования.

Масштабируемость фрагментов изображений: JPEG 2000 обеспечивает бесшовное сжатие разных компонентов изображения, с каждым компонентом хранится от 1 до 16 бит на семпл. Благодаря разбиению на блоки можно хранить изображения разных разрешений в одном кодовом потоке.

Произвольный доступ к кодовому потоку, также иногда называемый доступом к областям интереса (англ.): кодовый поток JPEG 2000

обеспечивает несколько механизмов для поддержки произвольного доступа, также поддерживается несколько степеней разбиения на части (области интереса).

Гибкий формат файла: форматы файлов JP2 и JPX обеспечивают хранение информации о цветовых пространствах, метаданных и информации для согласованного доступа в сетевых приложениях, взаимодействующих с помощью протокола JPEG Part 9 JPIP.

Прогрессивное декодирование и масштабируемость отношения сигнал/шум: JPEG2000 обеспечивает эффективную организацию кодового потока, которая позволяет просматривать файл с меньшей разрешающей способностью или с меньшим качеством. Сжатие как с потерями, так и без потерь: JPEG2000 обеспечивает как сжатие с потерями, так и сжатие без потерь в кодек. Сжатие без потерь обеспечивается путем использования обратимого (целочисленного) вейвлет-преобразования.

Устойчивость к ошибкам: JPEG2000 устойчив к битовым ошибкам, которые вносятся зашумленными каналами связи. Это достигается путем вставки маркеров ресинхронизации, кодирования данных в относительно небольшие независимые блоки, и обеспечение механизмов для нахождения и локализации ошибок внутри каждого блока.

Возможность последовательной сборки: JPEG2000 обеспечивает возможность последовательного декодирования и вывода изображения сверху вниз без необходимости буферизации всего изображения.

Другие преимущества JPEG 2000 представлены на официальной странице. Основные области применения этого стандарта:

- цифровой кинематограф;

- охранные системы (для сжатия изображений, получаемых с цифровых видеокамер, преимущественно как motion JPEG 2000, цифровые факсы, принтеры, сканеры);

- клиент-серверные взаимодействия (Интернет, базы данных изображений, видеосерверы);

При двадцати - тридцатикратном сжатии JPEG2000 и JPEG дают приблизительно одинаковое качество (кстати говоря, Photoshop не может сжать обычную фотографию больше этого предела).

При большем сжатии качество JPEG2000 существенно выше, чем у JPEG, что позволяет без особых потерь сжимать до 50 раз, а с некоторыми потерями (речь идет об изображениях для Интернет) — до 100 и даже до 200.

При больших степенях компрессии в тех областях, где происходит плавное изменение цвета, изображение не приобретает характерную для простого JPEG блочную структуру. JPEG2000 также несколько размывает и закругляет острые контуры.

На нем представлены результаты компрессии тестового файла с разными степенями компрессии (слева — сохраненные в Photoshop в формате JPG, справа — в формате JPEG2000). Для изображения на рис. 7 были выбраны степени компрессии 20, 40, 70 и 145 (их можно явно указывать при сохранении в JPEG2000), степень сжатия JPG выбиралась из

того расчета, чтобы размер файла был таким же, как после сжатия по JPEG2000. Как говорится, результаты налицо. Для чистоты был проведен второй эксперимент на изображении с более четкими деталями (со степенями компрессии 10, 20, 40 и 80). Преимущество опять же на стороне JPEG2000

Поскольку, по сути, в одном JPEG2000-файле хранятся копии с разным разрешением, для тех, кто делает галереи изображений в Интернете, отпадает необходимость создавать для них thumbnails.

Особый интерес представляет компрессия без искажений (режим loseless). Так, тестовый файл при LZW-сжатии из Photoshop занял 827 Кбайт, а сжатый JPEG2000 — 473 Кбайт.

По сравнению с JPEG его более продвинутый тезка потребляет значительно больше системных ресурсов. Но существенно возросшая за последние пару лет мощь компьютеров позволяет успешно решать задачи сжатия изображений новым методом.

Отсутствие поддержки JPEG2000 в браузерах. Чтобы просматривать такие изображения, нужно скачать довольно большой дополнительный модуль (1,2 Мбайта).

Заключение

Несмотря на то, что математический аппарат вейвлет-анализа хорошо разработан и теория, в общем, оформилась, вейвлеты оставляют обширное поле для исследований. Достаточно сказать, что выбор вейвлета, наиболее подходящего для анализа конкретных данных, представляет собой скорее искусство, чем рутинную процедуру. Кроме того, огромное значение имеет задача разработки приложений, использующих вейвлет-анализ — как в перечисленных областях, так и во многих других, перечислить которые просто не представляется возможным.

Итак, JPEG2000 объективно показывает лучшие результаты, чем JPEG только на высоких степенях сжатия. При компрессии в 10-20 раз особой разницы не заметно. Сможет ли он вытеснить или просто составить конкуренцию широко распространенному формату? В ближайшее время — вряд ли, в большинстве случаев соотношение качество/размер, обеспечиваемое JPEG, вполне приемлемо. А те 10-20% дополнительной компрессии, которые дает JPEG2000 при визуальном одинаковом качестве, вряд ли приведут к росту его популярности.

Зато к новому формату проявляют пристальный интерес компании-производители цифровых камер, поскольку размеры светочувствительных матриц с каждым годом неуклонно увеличиваются, и помещать изображения в память становится все труднее. И вот тогда новый формат получит большее распространение, и кто знает, возможно, через какое-то время JPEG2000 сравняется с JPEG. Во всяком случае, Analog Micro Devices недавно выпустила специализированный чип, в котором компрессия/декомпрессия по новой технологии реализованы на аппаратном уровне, а министерство обороны США уже сейчас активно использует новый формат для записи фотоснимков, полученных со спутников-шпионов.

Формат компрессии видеоданных JPEG2000 — новый современный формат хранения графических изображений и видеоданных, отличающийся высокой эффективностью компрессии. Основанный на Wavelet-преобразовании, он совместил в себе целый ряд инноваций, расширяющих возможности систем видеонаблюдения.

Стандарт сжатия JPEG2000 был принят в качестве международного стандарта в 1999 году. Он пришел на смену традиционному формату сжатия JPEG, построенному на базе дискретного косинусного преобразования. В отличие от него, JPEG2000 обладает большей эффективностью сжатия изображения. При одинаковом размере кадра в байтах изображение, сохранённое в формате JPEG2000, имеет более высокую детализацию и намного лучше чем JPEG, как по субъективным оценкам, так и по объективным измерениям VQM (Video Quality Metric).

Преимуществом JPEG2000 является полное отсутствие заметной «решётки», которая вносит дефект в изображение, вследствие чего снижается документальность записей. Это достигается благодаря использованию wavelet-компрессии, что даёт новые возможности для обработки данных.

3 Практическая часть

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет представляет собой программную реализацию эмулятора компрессора/декомпрессора основанного на стандарте сжатия изображений JPEG 2000. Эмулятор разработан в среде MATLAB и включает в себя: графический интерфейс, перевод цветового пространства, дискретное вейвлет преобразование, квантование, деквантование, обратное вейвлет преобразование.

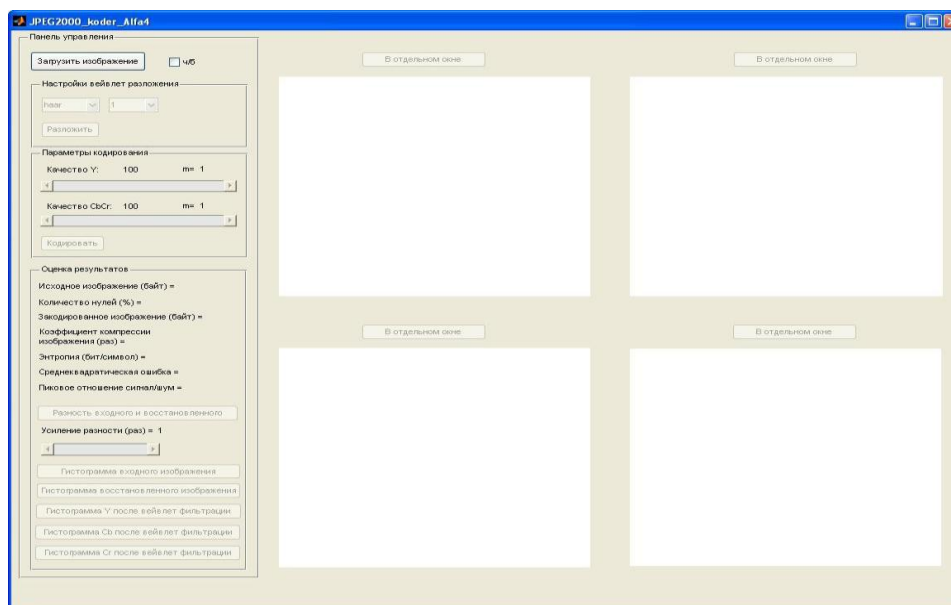


Рисунок 3.1 - Интерфейс эмулятора.

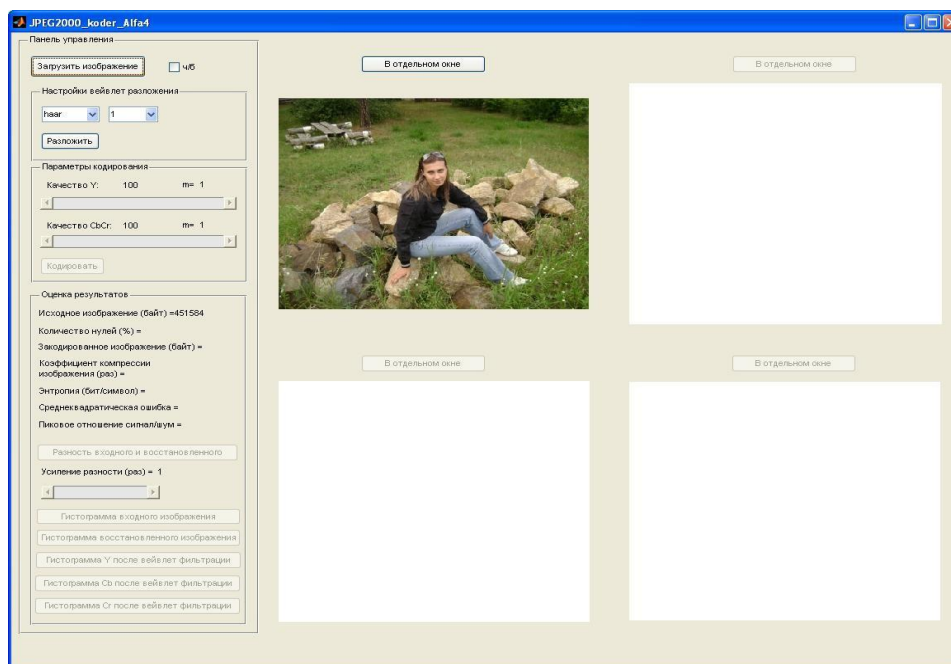


Рисунок 3.2 - Интерфейс эмулятора. Ввод изображения

После загрузки BMP - файла исходное, не сжатое, изображение будет отображено в левом верхнем окне, а так же активируются кнопка открытия изображения в отдельном окне, размер входного файла и подменю "Параметры вейвлет разложения" состоящие из выпадающих списков выбора вейвлета и уровня вейвлет разложения. Список выбора вейвлета состоит из 6 строк, вейлет Хаара и 5 вейвлетов Добеши (db2, db4, db6, db8 и db10). В выпадающем списке выбора уровня разложения необходимо выбрать уровни от 1-го до 4-х. По умолчанию выбран 1-й уровень.

Для запуска алгоритма обработки изображения, необходимо выбрать вейвлет, уровень разложения и нажать кнопку "Разложить"

С права от кнопки "Разложить" появится строка оповещающая о начале процесса вейвлет фильтрации. По завершению этого процесса надпись

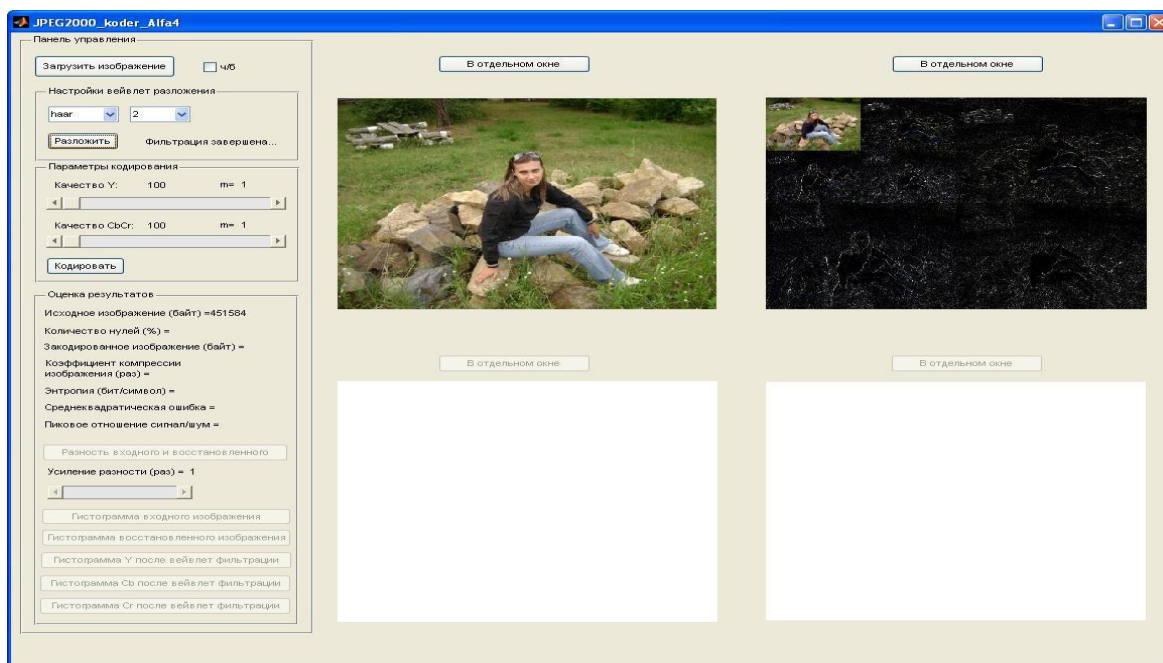


Рисунок 3.3 - Интерфейс эмулятора. Вейвлет фильтрация

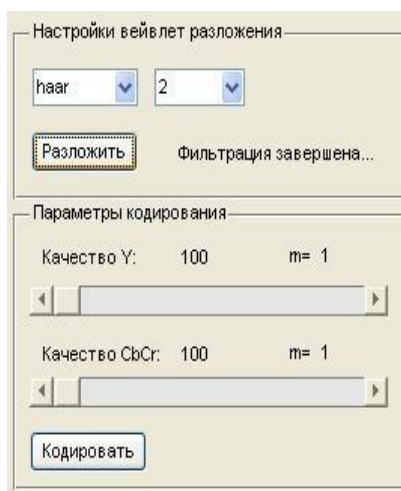


Рисунок 3.4 - Окно ввода параметров. настройки вейвлет разложения

"Выполняется фильтрация" сменится на "Фильтрация завершена", а в верхнем правом окне отобразится разложенное входное изображение и активируется кнопка "В отдельном окне".

После отображения вейвлет плоскостей разложенного входного изображения, появится возможность выбрать любую интересующую плоскость и отобразить её отдельно в нижнем правом окне, для этого необходимо просто навести курсор мыши на интересующую плоскость и нажать левую кнопку мыши.

После того как вейвлет фильтрация будет выполнена, так же активируется подменю "Параметры кодирования" и кнопка "Кодировать". Подменю состоит из 2-х "ползунков", управляющих качеством кодирования отдельно для яркостной и цветоразностных компонент изображения.

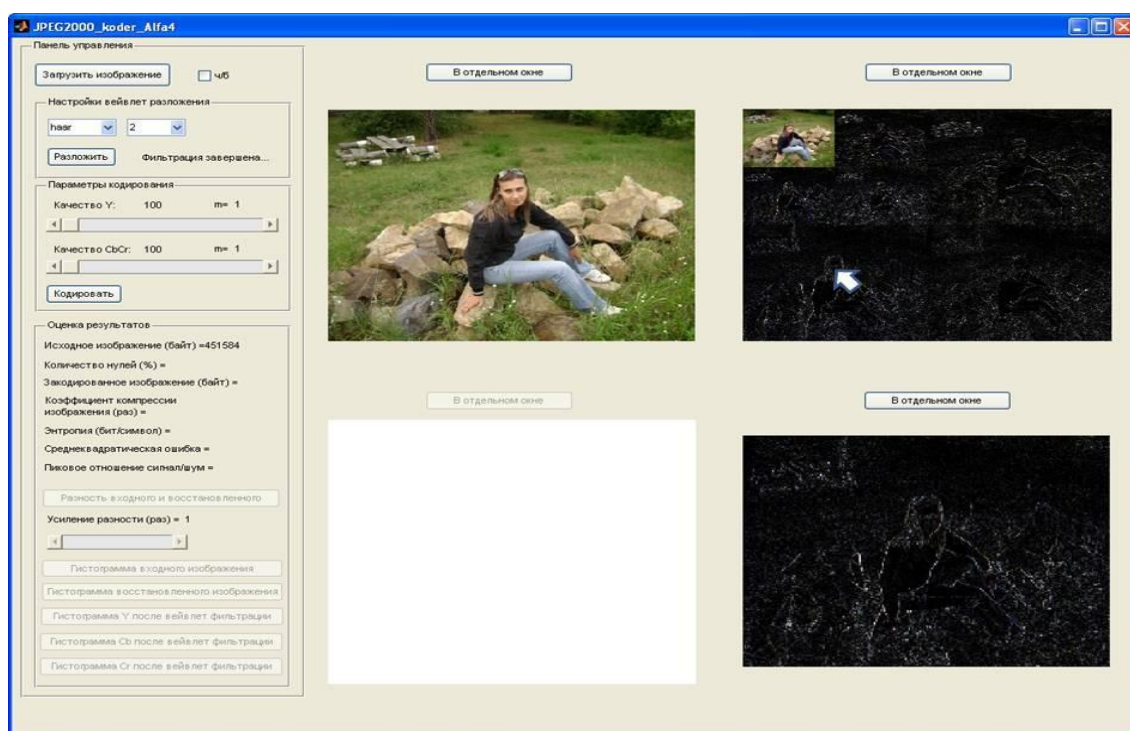


Рисунок 3.5 - Интерфейс эмулятора. Вейвлет фильтрация

После нажатия кнопки "Кодировать" справа от кнопки появится строка "Выполняется кодирование" оповещающая о том, что кодирование запущено по окончании процесса кодирования строка сменится на "Кодирование завершено" и в левом нижнем окне отобразится восстановленное изображение. В подменю "Оценка результатов" отобразятся процентное соотношение нулей.

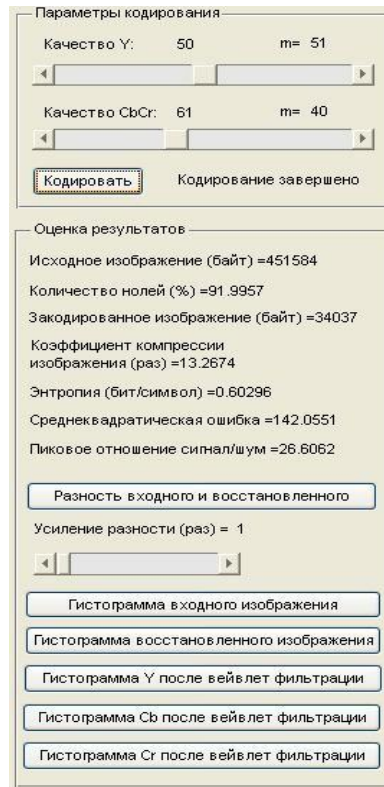


Рисунок 3.6 - Окно ввода параметров кодирования

"Разность входного и восстановленного" изображения, "ползунок" усиления разности, сравнительные гистограммы YCbCr компонент до и после ДВП и гистограммы RGB компонент входного и восстановленного изображения.

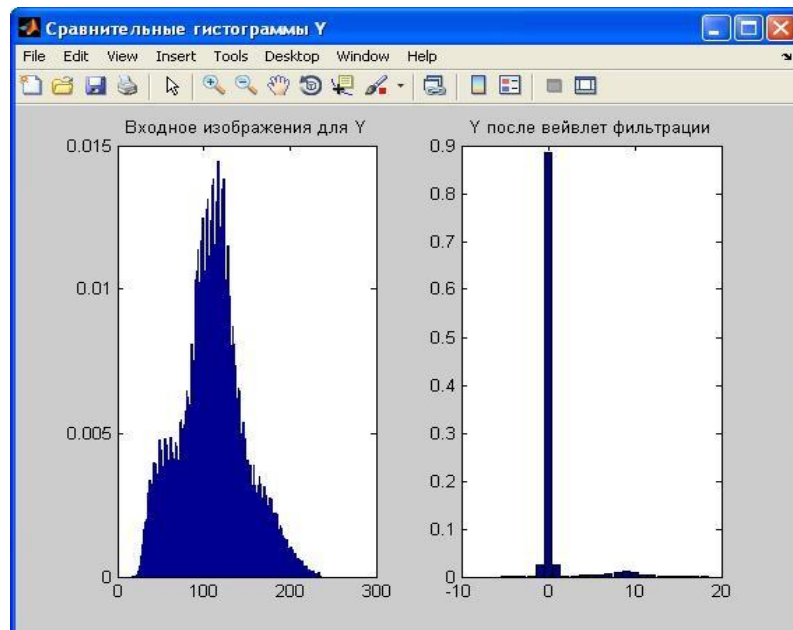


Рисунок 3.7 - Гистограммы входного и восстановленного RGB изображения

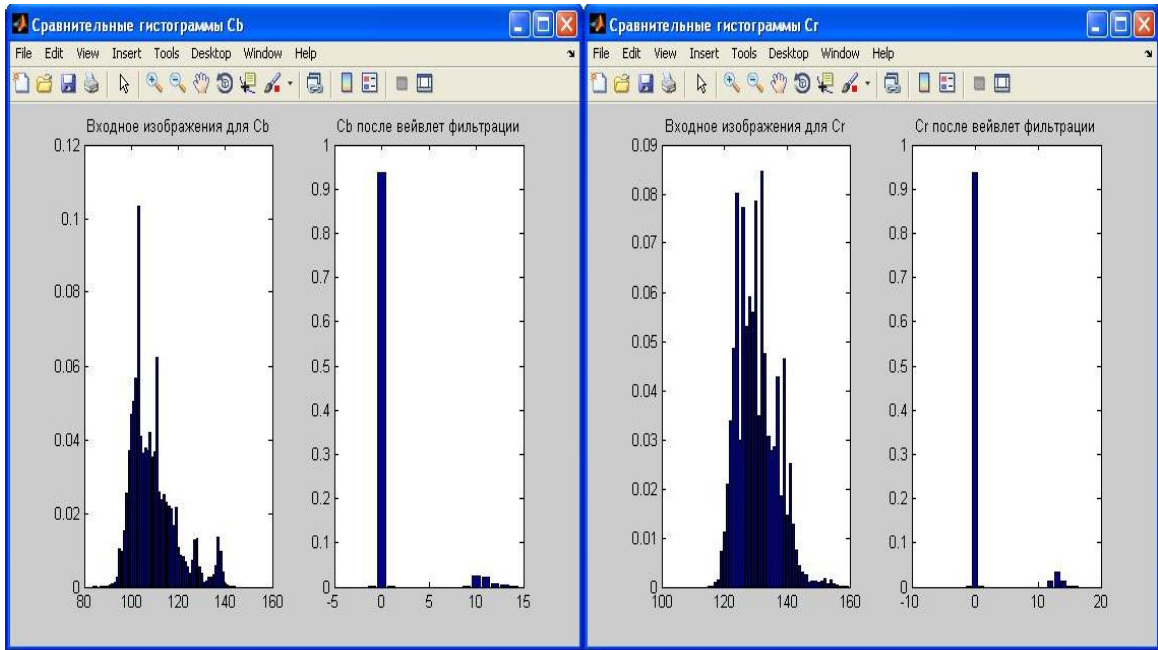


Рисунок 3.8 - Сравнительные гистограммы Y до и после фильтрации

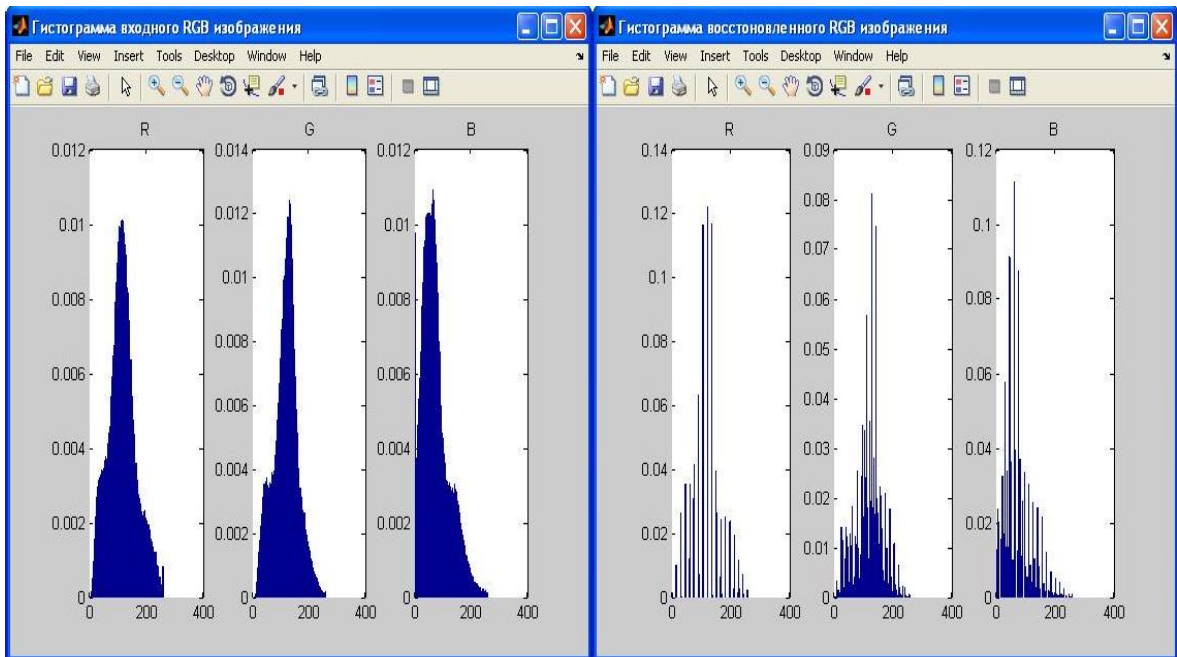


Рисунок 3.9 - Сравнительные гистограммы Cb Cr до и после фильтрации

Методика проведения эксперимента

При проведении данной работы используется ПК с установленным эмулятором JPEG 2000. Главное содержание лабораторной работы состоит в следующем:

а) во-первых, изучение интерфейса программы, знакомство с назначением основных и вспомогательных органов управления, регулировок и настроек кодера;

б) во-вторых, провести эксперименты с целью оценки влияния на качество и степень компрессии основных параметров алгоритма кодирования.

Порядок выполнения работы

Перед началом работы изучить вводную часть для корректного ответа на контрольные вопросы.

1. Загрузить тестовое черно-белое изображение провести вейвлет преобразование Хаара, при однократном разложении меняя m в интервале от 1 до 100 с шагом 10 построить график отношения количества нулей от значения m .

2. Выполняя последовательно вейвлет преобразование Хаара разных уровней и кодирование при максимальном m оценить результаты: количество нулей, энтропию, коэффициент компрессии, среднеквадратическую ошибку и пиковое отношение сигнал/шум. Результаты занести в таблицу. Визуально оценить восстановленное изображение, сделать выводы.

Таблица 2.1 – пример построения таблицы

Уровень вейвлет разложения	Количество нулей (%)	Энтропия	Коэффициент компрессии	Среднеквадратическая ошибка	Пиковое отношение сигнал/шум
1					
2					
3					
4					

3. Выполнить пункт 2 для фильтров Добеши.

4. Загрузить цветное изображение, меняя фильтры и уровни вейвлет разложения найти максимальный коэффициент компрессии при минимальном и максимальном m . Результат занести в отчет.

5. Для цветного изображения подобрать параметры кодирования так что бы достичь максимального уровня компрессии при минимальной патере качества (уровень пикового отношения сигнал/шум не должен быть меньше 30). Подобранные параметры кодирования занести в отчет.

Содержание отчета

1. Методика проведения эксперимента с кратким пояснением.
2. График отношения количества нулей от значения m .
3. Таблицы.
4. Результаты по пунктам 4 и 5

Контрольные вопросы

1. Почему с повышением уровня вейвлет разложения компрессия изображения возрастает, а уровень искажений снижается?
2. Чем отличаются друг от друга вейвлет фильтры, представленные в данной работе?
3. Почему компрессия цветных изображений выше компрессии черно-белых изображений?

Литература

1. Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: Учебное пособие / А.М. Голиков. - СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 452с.
2. Taubman, David S. JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice / Taubman, David S. and Marcellin, Michael W. — Kluwer Academic Publishers, 2001. — 776 p.

Приложение

Пример выполнения лабораторной работы Jpeg2K

На рисунке П.1 представлено сжатие рисунка с помощью вейвлета haar

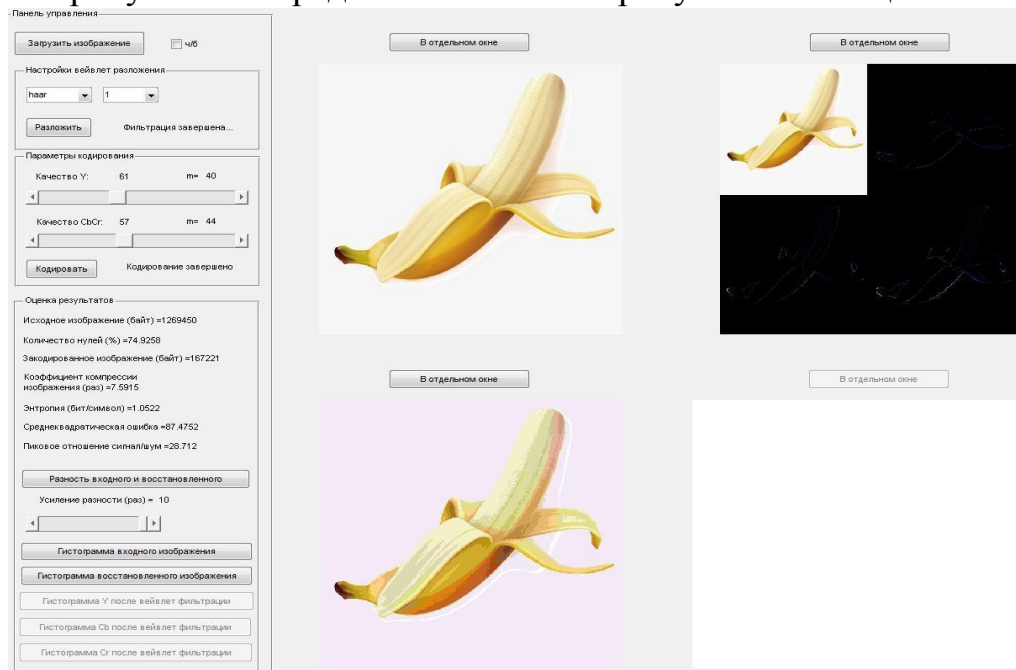


Рисунок П.1 – Входное изображение, изображение после разложения и закодированное изображение

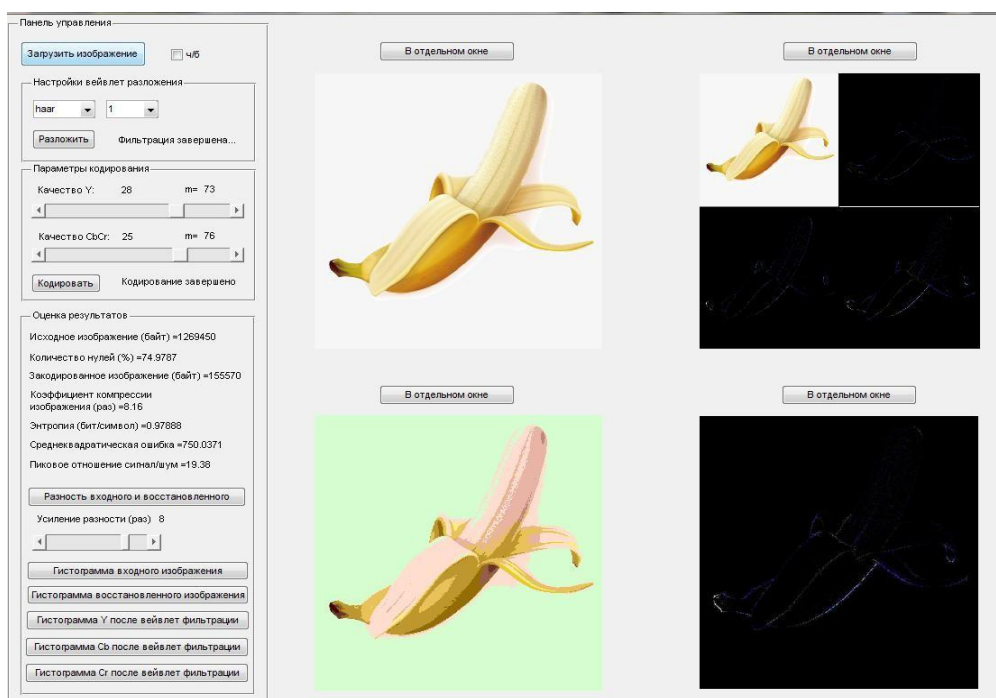


Рисунок П.2 – Входное изображение, изображение после разложения и закодированное изображение для db4 1

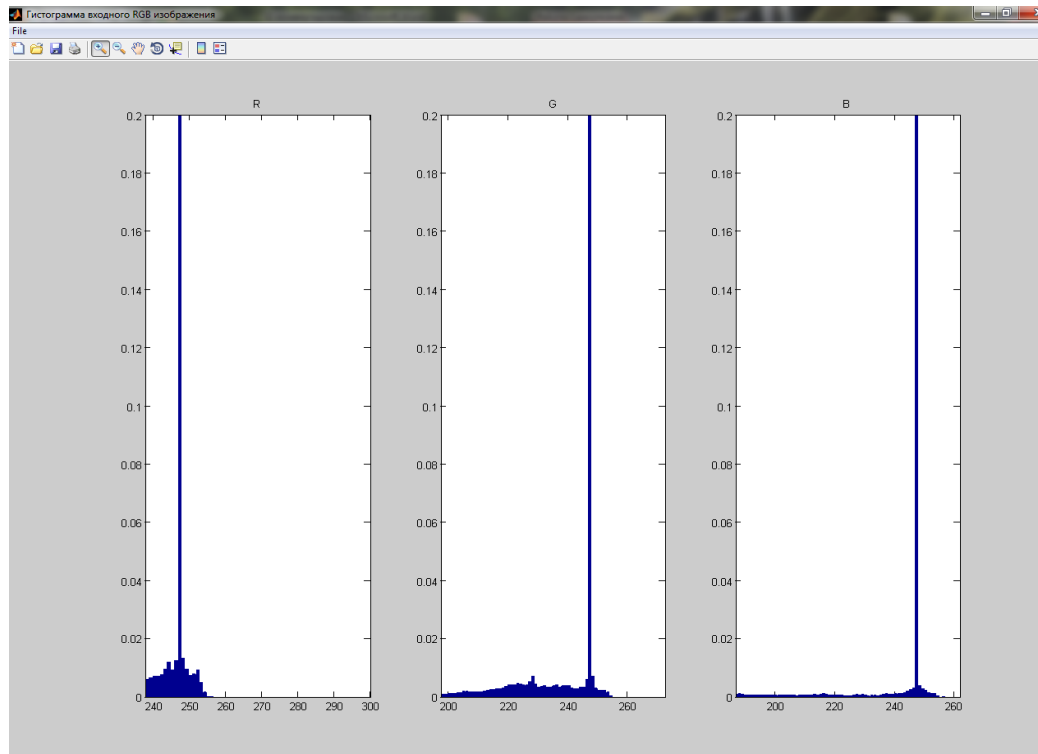


Рисунок П.3 – Гистограмма входного изображения

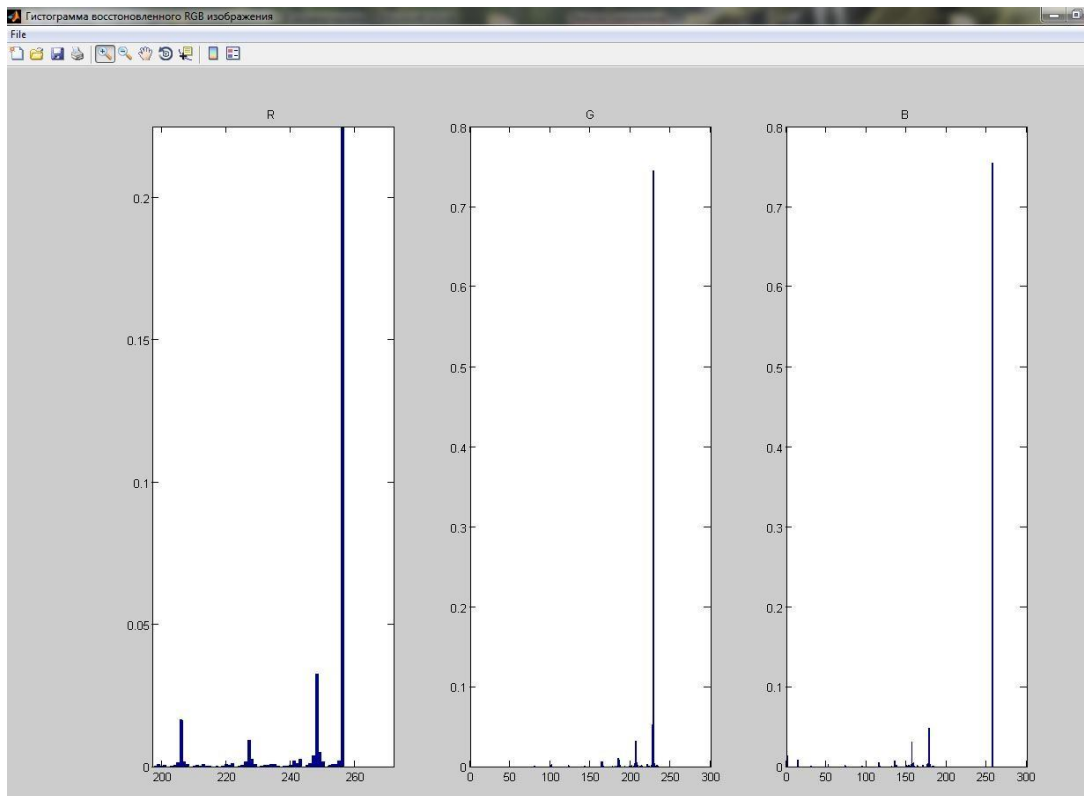


Рисунок П.4 – Гистограмма восстановленного изображения

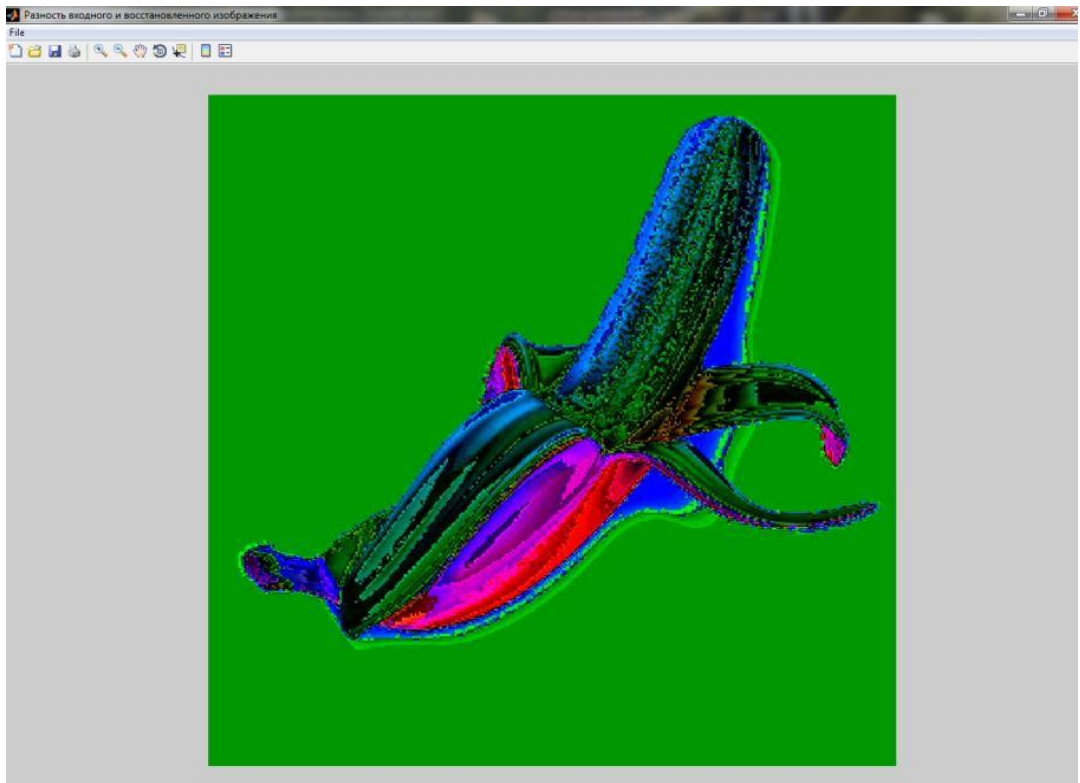


Рисунок П.5 – Разность входного и восстановленного изображения при коэффициенте усиления разности 8

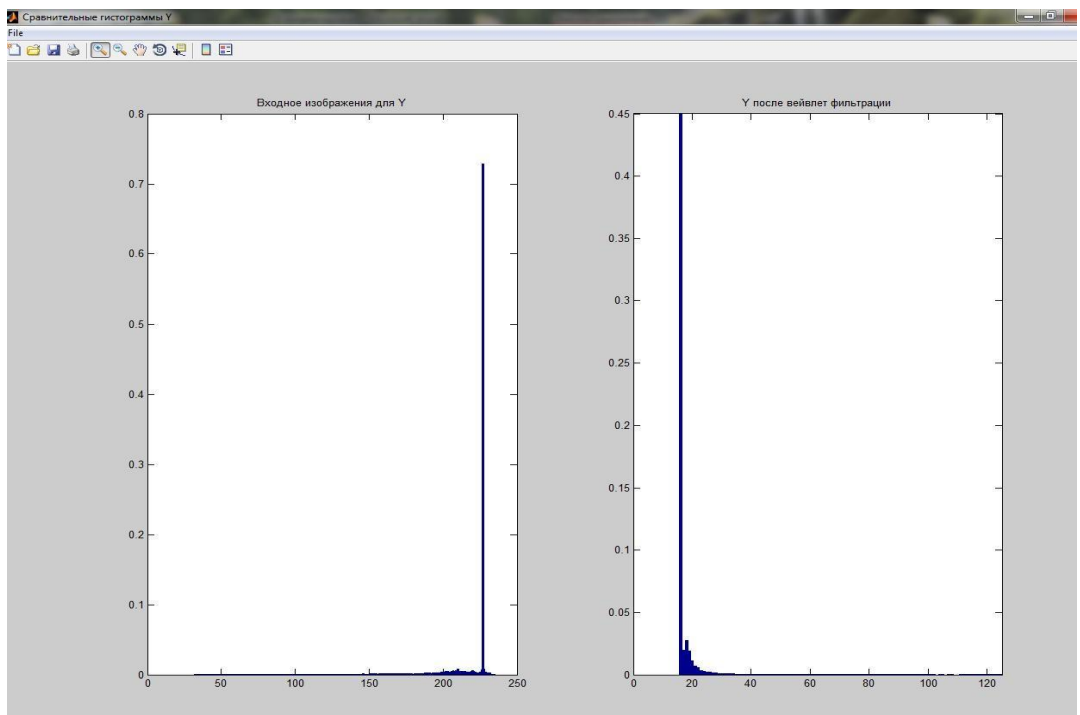


Рисунок П.6 – Гистограмма Y

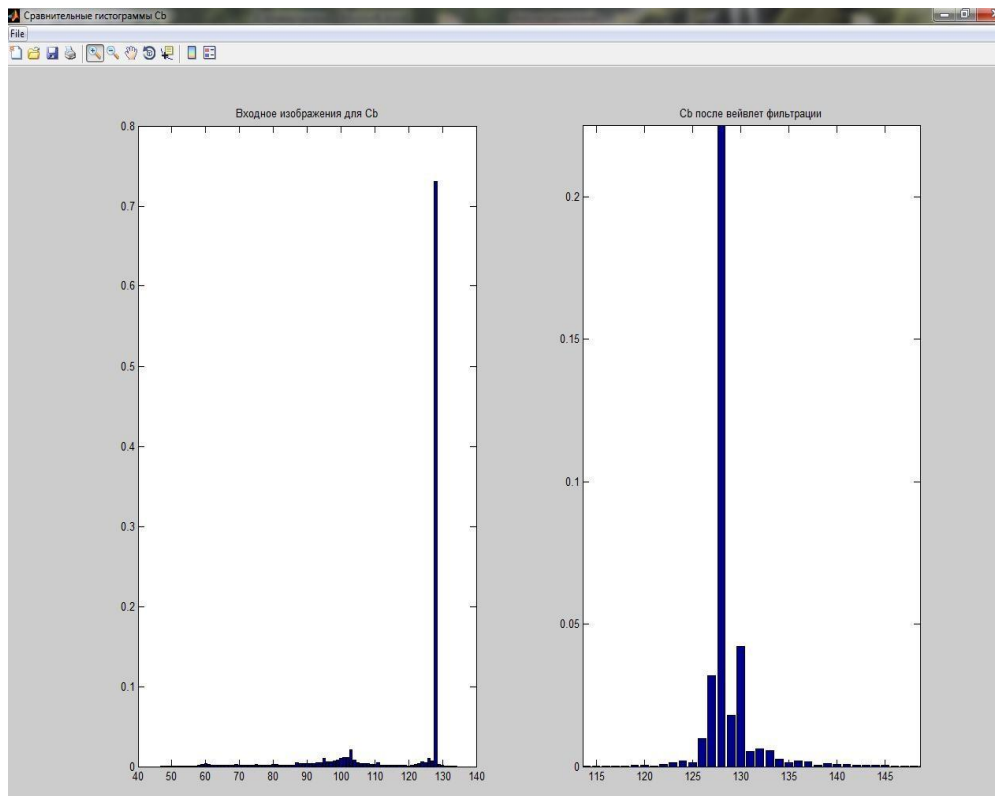


Рисунок П.7 – Гистограмма Сб

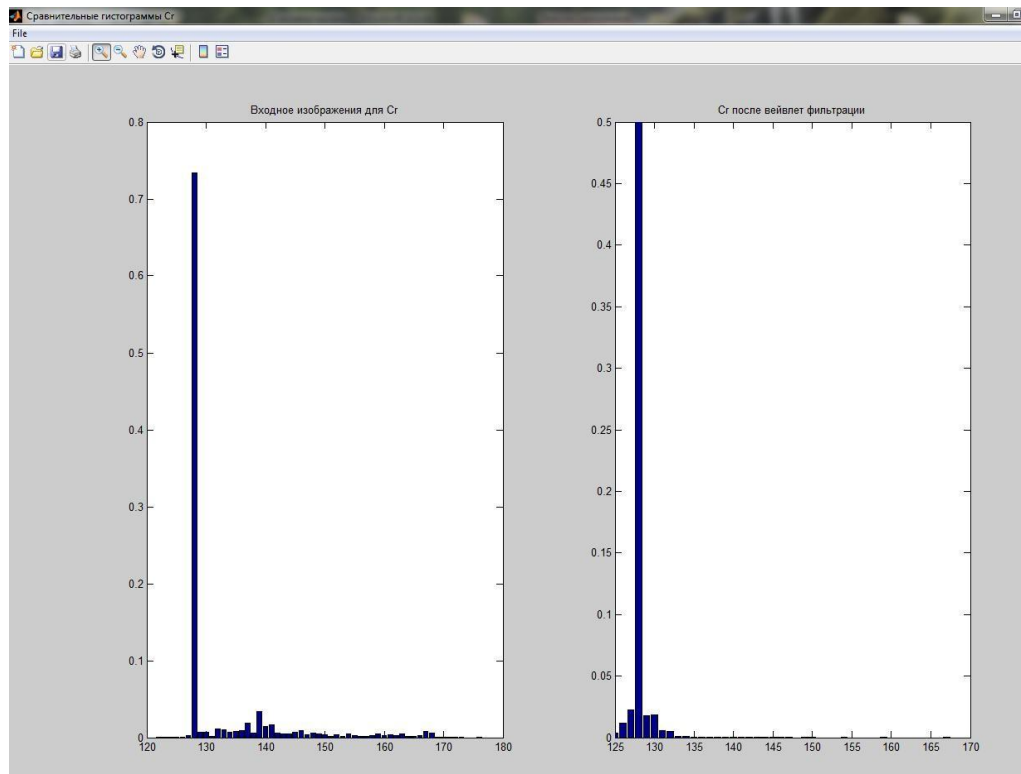


Рисунок П.8 – Гистограмма Ср

Таблица П.1 – Разложение по haar

Уровни Вейлет разложения	Количество нулей (%)	Энтропия	Коэффициент компрессии	Среднеквадратическая ошибка	Пиковое отношение сигнал/шум
1	74,93	1,01	787	209,7	24,9
2	93,5	0,42	18,6	78,5	29,2
3	98	0,17	45,6	55,5	30,6
4	99,1	0,09	88,5	39,1	32,2

Таблица П.2 – Разложение по DB6

Уровень вейлет разложения	Количество нулей	Энтропия нулей	Коэффициент компрессии	Среднеквадратическая ошибка	Пиковое отношения сигнал/шум
1	74,9	1	7,7	207,4	25
2	93,3	0,43	17,7	74,2	29,4
3	97,9	0,17	42,5	50,5	31,1
4	99,1	0,09	80,9	33,9	32,8

Зависимость коэффициента компрессии от m

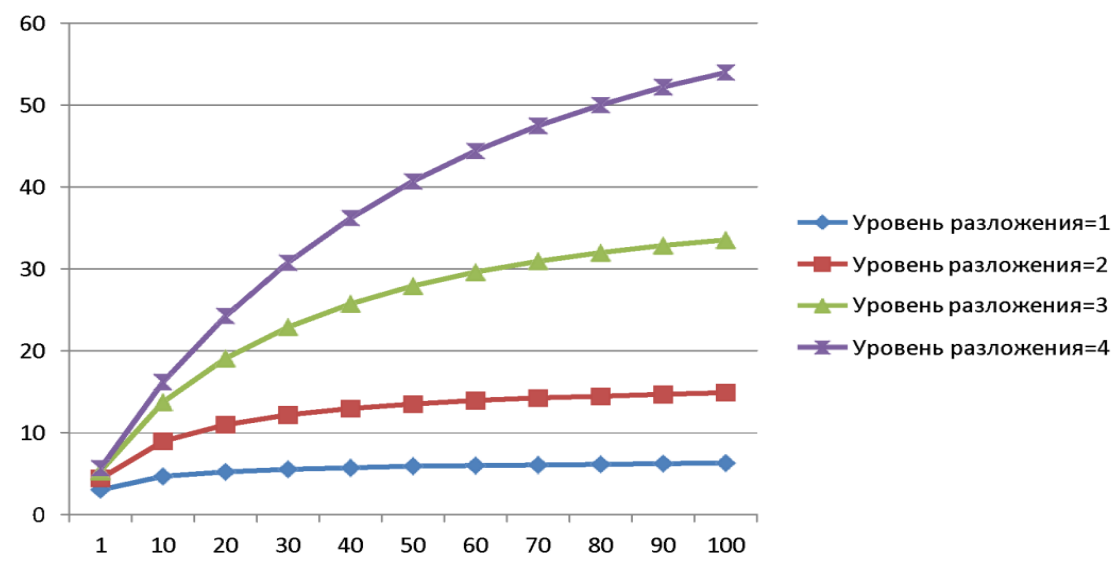


Рисунок П.9 – График зависимости коэффициента компрессии от m (haar)

Зависимость коэффициента компрессии от m

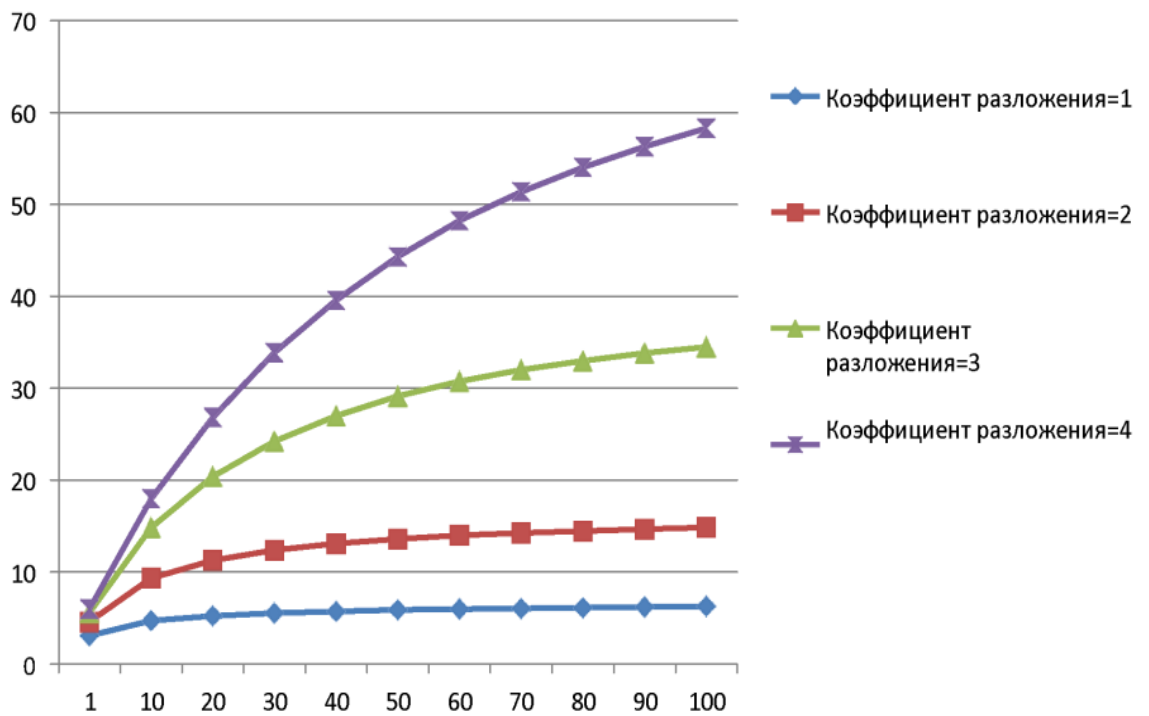


Рисунок П.10 – График зависимости коэффициента компрессии от m (коэффициент параметров цветности) (db2)

Зависимость коэффициента компрессии от m

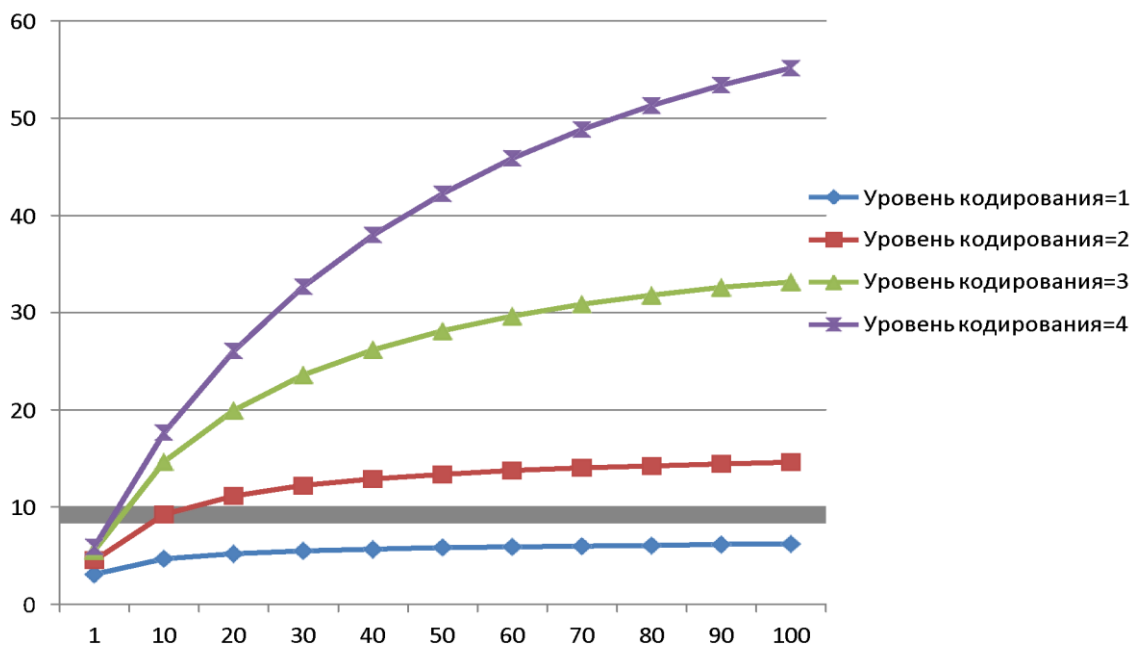


Рисунок П.11 – График зависимости коэффициента компрессии от m (коэффициент параметров цветности) (db4)

Зависимость коэффициента компрессии от m

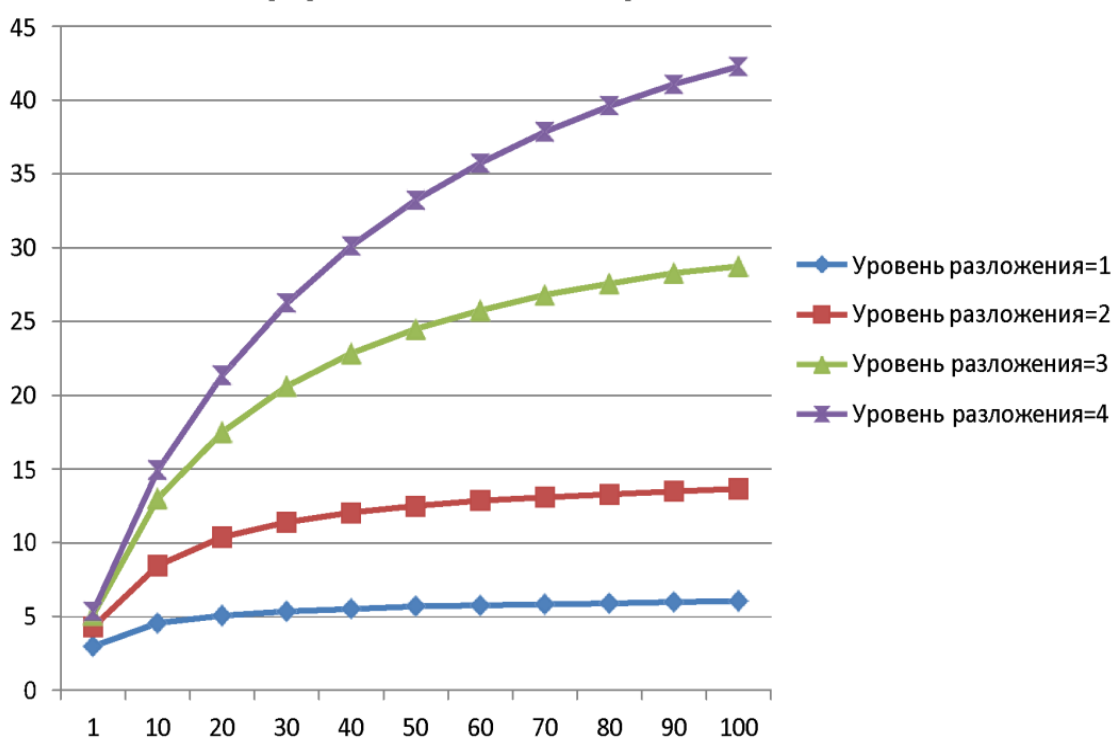


Рисунок П.14 – График зависимости коэффициента компрессии от m (коэффициент параметров цветности) (db_{10})