

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
(ННГУ)

Институт информационных технологий, математики и механики
Кафедра алгебры, геометрии и дискретной математики

Направление подготовки:
«Фундаментальная информатика и информационные технологии»
Профиль подготовки: «Инженерия программного обеспечения»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

Тема:
«Эволюция алгоритмов сжатия изображений: от RLE до JPEG»

Выполнил:
студент группы: 3821Б1ФИ2
Казанцев Евгений Александрович

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцент каф. АГДМ
Смирнова Татьяна Геннадьевна

Нижний Новгород
2025

Аннотация

Сжатие изображений — применение алгоритмов сжатия данных к изображениям, хранящимся в цифровом виде. В результате сжатия уменьшается размер изображения, из-за чего уменьшается время передачи изображения по сети и экономится пространство для хранения.

Сжатие изображений подразделяют на сжатие с потерями качества и сжатие без потерь.

Преимущество методов сжатия с потерями над методами сжатия без потерь состоит в том, что первые дают возможность большей степени сжатия, при этом, продолжая удовлетворять поставленным требованиям, а именно — искажения должны быть в допустимых пределах чувствительности органов человеческого восприятия.

Методы сжатия с потерями используются для сжатия аналоговых данных — чаще всего звука или изображений.

В таких случаях распакованный файл может сильно отличаться от оригинала по размеру, но практически неотличим для человека «на слух» и «на глаз» в большинстве применений.

Множество методов фокусируются на физических особенностях органов чувств человека. К примеру психоакустические модели определяют то, как сильно звук может быть сжат без ухудшения воспринимаемого человеком качества звука.

При использовании сжатия с потерями необходимо учитывать, что повторное сжатие обычно приводит к деградации качества. Однако, если повторное сжатие выполняется без каких-либо изменений сжимаемых данных, качество не меняется. Так например, сжатие изображения методом JPEG, восстановление его и повторное сжатие с теми же самыми параметрами не приведет к снижению качества.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Основные понятия и определения	5

Введение

Сжатие информации с потерями — это алгоритмическое преобразование данных, направленное на уменьшение их объёма за счёт допустимых потерь качества. Необходимость сокращения объёма данных актуальна с появлением цифровых технологий и остается актуальной по сей день. Несмотря на развитие технологий хранения и передачи данных, ограничения по объёму памяти и скорости передачи информации по-прежнему требуют эффективных методов сжатия. Объёмы данных продолжают расти, их структура усложняется, а качество — повышается. Это особенно актуально для мультимедийных данных — изображений, видео и звука.

В качестве основных литературных источников данной работы используются: книга Д. Сэломона «Сжатие данных, изображений и звука» [1], труды П. Пенна [2], а также две книги Т. Рафгардена из серии «Совершенный алгоритм» [3,4]. В книге [1] содержится формальное описание алгоритмов сжатия с потерями, в частности алгоритма JPEG, включая его математическую основу — дискретное косинусное преобразование (DCT). Труды П. Пенна [2] дают детализированное объяснение реализации алгоритма JPEG на программном уровне. Книги [3,4] содержат информацию о базовых алгоритмических принципах, используемых в методах сжатия. В ходе работы также использовалась официальная документация библиотеки OpenCV [5] и языка программирования Python 3 [6], а так же библиотеки для создания графического интерфейса PyQt [7].

Вернуться и доработать

Существует огромное множество методов сжатия данных, основанных на различных предположениях о структуре сжимаемой информации. Все алгоритмы сжатия можно разделить на две основные группы: Сжатие без потерь — предполагает возможность точного восстановления исходных данных после сжатия. Сжатие с потерями — допускает потерю части данных ради значительного сокращения объема. Этот метод часто применяется к изображениям, видео и аудиоданным, где некоторая потеря качества незаметна для восприятия.

В данной работе рассматривается алгоритм сжатия с потерями на примере широко используемого метода JPEG. Алгоритм JPEG основан на использовании дискретного косинусного преобразования (DCT) для преобразования изображения, последующем квантовании и энтропийном кодировании (чаще всего с применением кодирования Хаффмана???). Этот метод обеспечивает высокую степень сжатия при сохранении приемлемого качества изображения. JPEG стал важным этапом в развитии технологий сжатия данных, объединив достижения математических и инженерных исследований своего времени, и дал мощный толчок развитию в области сжатия изображений.

Основной задачей работы является исследование алгоритма JPEG в контексте его ма-

тематической основы и алгоритмической реализации. Предполагается рассмотреть влияние различных параметров сжатия на качество изображения, а также провести сравнение производительности различных реализаций алгоритма. В качестве возможных модификаций рассматриваются методы адаптивного квантования и постобработки изображения после декодирования.

Целью работы является изучение развития алгоритмов сжатия с потерями, начиная с фундаментальных математических открытий (например, дискретного косинусного преобразования), простых алгоритмов сжатия без потерь, и заканчивая созданием аналогичного алгоритма JPEG. В этой работе реализуется собственный алгоритм, основанный на ключевых этапах стандарта JPEG. Его структура почти аналогична базовому варианту. В дальнейшем по тексту он будет обозначаться как “модификация алгоритма JPEG” или просто “JPEG”. Так же планируется разработать программу с интерфейсом, позволяющую проводить эксперименты по сжатию изображений с использованием модификации алгоритма JPEG. Программа должна обладать следующими функциями:

- кодирование изображения методом JPEG с возможностью настройки параметров квантования и качества;
- визуализация результатов кодирования и декодирования;
- сравнение качества изображения до и после сжатия с использованием метрик SSIM и PSNR;
- возможность включения адаптивного квантования для улучшения качества при низких битрейтах.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- изучить теоретическую основу алгоритма JPEG, включая дискретное косинусное преобразование и квантование;
- реализовать алгоритм JPEG на языке программирования Python с использованием библиотеки OpenCV;
- разработать интерфейс для управления параметрами алгоритма и отображения результатов;
- провести эксперименты на различных изображениях, оценить влияние параметров на степень сжатия и качество изображения;
- проанализировать результаты экспериментов и сделать выводы о целесообразности использования различных модификаций алгоритма.

1 Основные понятия и определения

Перед тем как углубиться в описание алгоритма JPEG, важно рассмотреть основные понятия, лежащие в основе цифровой обработки и сжатия изображений.

Цифровое изображение

Цифровое изображение — двумерный массив, где каждая ячейка представляет собой пиксель.

Пиксель (pixel) — наименьшая единица изображения, содержащая информацию о цвете или яркости.

Цветовые модели

Наиболее распространённой моделью представления цветных изображений является RGB.

RGB (Red, Green, Blue) — аддитивная цветовая модель, в которой каждый цвет формируется путём смешивания трёх базовых компонентов: красного, зелёного и синего. Эта модель близка к принципу работы матриц дисплеев и сенсоров цифровых камер, поэтому RGB часто используется как исходный формат цветowych изображений.

В зависимости от глубины цвета, каждый пиксель кодируется определённым числом бит. Например, в изображении с глубиной 24 бита (8 бит на каждый из каналов RGB) один пиксель может представлять более 16 миллионов оттенков. С увеличением разрешения и глубины цвета возрастает и общий объём изображения, что создаёт необходимость в эффективном сжатии данных.

Однако при сжатии изображений RGB-пространство не является наиболее эффективным. Это связано с тем, что RGB не разделяет яркость и цветовую информацию, а человеческий глаз по-разному чувствителен к этим компонентам. В связи с этим перед сжатием изображения, как правило, преобразуются в цветовое пространство **YCbCr**, где **Y** отражает яркость (luminance), а **Cb** и **Cr** — цветовые отклонения от серого (chrominance). Такое разделение позволяет применить хрома-субдискретизацию — уменьшение разрешения цветowych компонент — без заметного ухудшения качества изображения.

Ключевые термины

Также необходимо упомянуть несколько ключевых понятий, тесно связанных с задачами кодирования изображений:

Разрешение изображения — количество пикселей по горизонтали и вертикали.

Избыточность — повторяющаяся или избыточная информация, которую можно исключить без потери качества или с минимальными потерями.

Энтропия — мера неопределённости или информационной насыщенности данных, определяющая нижнюю границу возможной степени сжатия.

Формат **JPEG** представляет собой стандарт кодирования изображений с потерями, определяющий последовательность преобразований, квантования и кодирования данных. Разработка формата началась в 1986 году с формированием международной рабочей группы под названием *Joint Photographic Experts Group*. На тот момент существовало множество несовместимых форматов для хранения графики, что затрудняло обмен изображениями между системами. JPEG стал первым по-настоящему универсальным и широко распространённым стандартом сжатия фотоизображений. Официальная спецификация была опубликована в 1992 году и используется до сих пор.

Литература

1. Иванов И.И. Название книги. — М.: Издательство, 2020. — 123 с.
2. Петров П.П. Название статьи // Журнал. — 2019. — №4. — С. 45–50.