

## Обзор методов сжатия сигналов телевизионного изображения

А.С. Белов

Аннотация. В современном мире с его быстроразвивающимися технологиями производства и обработки аудиовизуальной продукции остро встает вопрос о хранении готового материала. Постоянно разрабатываются новые типы физических носителей все большей и большей емкости. Но даже несмотря на это запись на них следует производить, предварительно сжимая информацию. Главной критерий при выборе метода – не достижение высокого уровня компрессии, а достижение лучшего компромисса между качеством и размером видеопотока

В данной статье рассмотрены два метода: дискретно-косинусное преобразование и вейвлет – преобразование.

### Дискретно-косинусное преобразование и сжатие изображений

Дискретно-косинусное преобразование представляет собой разновидность преобразования Фурье и имеет обратное преобразование. В ДКП картинка рассматривается как совокупность пространственных волн, для которых оси X и Y проводятся параллельно продольной и поперечной осям картинки, а по оси Z откладывается значение цвета соответствующего пикселя изображения.

С помощью дискретно-косинусного преобразования алгоритм сжатия JPEG осуществляет переход от представления картинки в виде совокупности пространственных волн к ее спектральной интерпретации.

Дискретно-косинусное преобразование представляют изображение в виде суммы синусоид с различной амплитудой и частотой. Одна из особенностей дискретно-преобразования Фурье состоит в том, что некоторые локальные участки изображения можно охарактеризовать небольшим количеством коэффициентов дискретного преобразования Фурье. Это свойство очень часто используется при разработке методов сжатия изображений. Например, дискретно-косинусное преобразование является основой международного стандарта, который используется в алгоритме сжатия изображений с потерями JPEG. Название формата “JPEG” состоит из первых букв названия рабочей группы, которая принимала участие в разработке этого стандарта (Joint Photographic Experts Group).

Двумерное дискретно-косинусное преобразование матрицы A с размерами MxN реализуется согласно следующему выражению

$$B_{pq} = \alpha_p \alpha_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad (1)$$

где  $0 \leq p \leq M-1$  и  $0 \leq q \leq N-1$ ;

$$\alpha_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & \text{если } p=0; \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & \text{если } 1 \leq p \leq M-1. \end{cases} \quad \alpha_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & \text{если } q=0; \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{если } 1 \leq q \leq N-1. \end{cases} \quad (2)$$

Значения  $B_{pq}$  называют коэффициентами дискретно-косинусного преобразования матрицы  $A$ .

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} \alpha_p \alpha_q B_{pq} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad (3)$$

где  $0 \leq m \leq M-1$  и  $0 \leq n \leq N-1$ ;

$$\alpha_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & \text{если } p=0; \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & \text{если } 1 \leq p \leq M-1. \end{cases} \quad \alpha_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & \text{если } q=0; \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{если } 1 \leq q \leq N-1. \end{cases} \quad (4)$$

Выражение обратного дискретно-косинусного преобразования может интерпретироваться как представление матрицы  $A$  с размерами  $N \times M$  в виде суммы  $N \times M$  следующих функций

$$\alpha_p \alpha_q \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \text{ где } 0 \leq p \leq M-1 \text{ и } 0 \leq q \leq N-1 \quad (5)$$

Эти функции называются основными (базовыми) функциями дискретно-косинусного преобразования. Коэффициенты дискретно-косинусного преобразования  $B_{pq}$  можно рассматривать как весовые при каждой базовой функции. Например, для матрицы с размером  $8 \times 8$  элементов существует 64 базовые функции, что продемонстрировано на изображении.

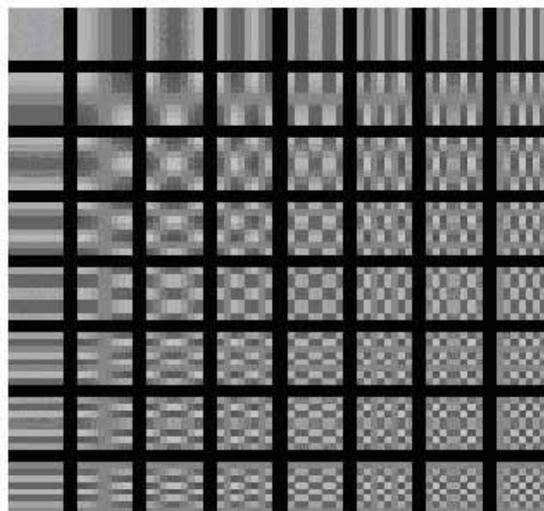


Рисунок 1. 64 базовые функции, которые получены для матрицы с размерами  $8 \times 8$  элементов.

В алгоритме сжатия изображений JPEG исходное изображение разделяется на блоки с размерами  $8 \times 8$  или  $16 \times 16$  элементов. Далее для каждого блока вычисляется двумерное дискретно-косинусное преобразование. Коэффициенты дискретно-косинусных преобразований квантируются, кодируются и передаются. Получатель JPEG-данных декодирует коэффициенты дискретно-косинусного преобразования, вычисляет обратное двумерное дискретно-косинусное преобразование в каждом блоке и далее совмещает их вместе в одно изображение.

Рассмотрим пример вычисления двумерных дискретно-косинусных преобразований в блоках с размерами  $8 \times 8$  элементов исходного изображения. Далее при реконструкции изображения будем учитывать только 10 коэффициентов из каждого блока, остальные приравняем к нулю. При проведении описанных вычислений будет использоваться также матрица преобразований.



Рисунок 2. Пример выполнения сжатия на основе дискретно-косинусного преобразования

На рисунке представлено два изображения – исходное и реконструированное. При реконструкции изображения использовалось только 15 % коэффициентов дискретно-косинусных преобразований. Однако, следует отметить, что качество реконструированного изображения является довольно приемлемым.

В качестве вывода можно отметить достоинства и недостатки данного метода:

К достоинствам можно отнести простоту реализации. Данный метод не требует больших аппаратных ресурсов. Но в связи с этим, возникает очевидный недостаток метода. При выполнении преобразования изображение необходимо разбивать на блоки (обычно  $8 \times 8$  элементов) и обрабатывать их отдельно. В результате при восстановлении исходного изображения будет заметна блочная структура.

## Вейвлет - преобразование в качестве метода сжатия изображений

В 1996, комитет JPEG начал исследовать возможности для нового стандарта сжатия изображения, который служил бы для настоящих и будущих приложений. Это привело к созданию стандарта JPEG2000 как общего стандарта ISO 15444 7 Т Рекомендация Т.800. Разработчики JPEG2000 надеялись создать стандарт, который исправил бы многие ошибки уже существующих стандартов. Среди их задач были:

- а) 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);
- б) сжатие с потерями и без потерь (стандарт JPEG не позволял сжимать изображение с потерями и без потерь в едином сжимающем потоке);
- в) обработка больших изображений (существующие алгоритмы не позволяли эффективно сжимать изображения размером более 64Кх64К без разбиения на тайлы);
- г) единая структура алгоритма сжатия (текущая реализация JPEG поддерживала 44 модификации, большая часть которых была специфичной для некоторых приложений и не поддерживалась большей частью декодеров);
- е) помехоустойчивость (во времена 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);

На рисунке 3 представлены основные шаги работы кодера JPEG2000, включающие в себя следующее:



Рисунок 3. Основные шаги работы кодера JPEG2000.

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. 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.

Итак, первым шагом предварительной обработки является разделение входного изображения на прямоугольные, непересекающиеся и неперекрывающиеся полосы равного размера (кроме возможных полос на границах изображения) – тайлы. Размер неперекрывающихся полос произволен и может быть такого размера как непосредственно первоначальное изображение (то есть, только одно неперекрывающееся окно) или всего один пиксел. Каждое неперекрывающееся окно сжимается, независимо используя его собственный набор указанных параметров сжатия. Управление окнами особенно полезно для приложений, где ограниченное количество доступной памяти по сравнению с размером изображения.

Затем, беззнаковые выборки значений в каждой компоненте сдвигаются на уровень (DC смещение), вычитая фиксированное значение  $2B-1$  от каждой выборки, чтобы сделать его значение симметричным вокруг нуля. Знаковые выборки значений не сдвигаются на уровень. Эта операция упрощает некоторые возникающие проблемы (например, числовое переполнение, арифметическое кодирование комбинаций и т.д.), но снижает эффективность кодирования.

Наконец, сдвинутые значения могут быть подвергнуты быстрому межкомпонентному преобразованию для декорреляции цветных данных. Одно ограничение на применение межкомпонентного преобразования это то, что компоненты должны иметь идентичную разрядную глубину и размер.

Два вида преобразования используются в стандарте JPEG2000, где оба преобразования оперируют с первыми тремя компонентами неперекрывающихся полос изображения с предположением, что эти компоненты соответствуют "красному зеленому синему" цветам (RGB). Одно преобразование цветных координат необратимо (ICT), которое идентично традиционному преобразованию RGB в YCbCr и может использоваться только для кодирования с потерями, аналогично стандарту JPEG.

Другое преобразование – обратимое преобразование цветовых координат, которое является обратимым целочисленным преобразованием, аппроксимирующим ICT для декорреляции цвета, что позволяет более точно восстанавливать исходные RGB данные при декодировании. Такой тип преобразования может использоваться как для кодирования с потерями так и без потерь.

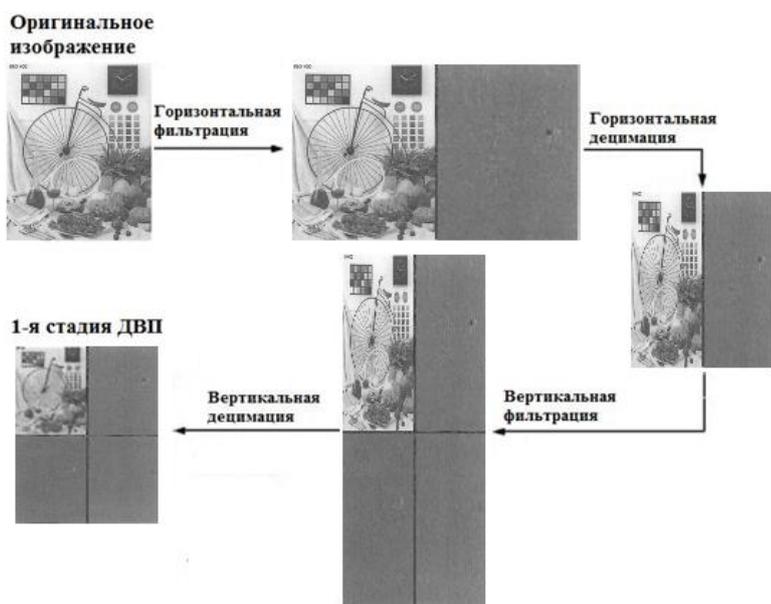
После проведения всех операций предпроцессинга, изображение подвергается дискретному вейвлет - преобразованию (Discrete Wavelet Transformation), для разбиения изображения на высокочастотные и низкочастотные области. Таким образом, блочное ДКП в

базовом JPEG был заменен ДВП в JPEG2000. Отметим, что дискретное вейвлет - преобразование (ДВП) может быть двух видов – для случая сжатия с потерями и для сжатия без потерь.

Далее каждый канал проходит фильтрацию низкочастотным и высокочастотным фильтрами отдельно по строкам и по рядам, в результате чего после первого прохода в каждой части формируются четыре более мелких изображения (subband). Все они несут информацию об исходном изображении, но их информативность сильно отличается.

Например, изображение, полученное после низкочастотной фильтрации по строкам и рядам, несет наибольшее количество информации, а полученное после высокочастотной — минимальное. Информативность у изображений, полученных после НЧ-фильтрации строк и ВЧ для столбцов (и наоборот), средняя. Наиболее информативное изображение опять подвергается фильтрации, а полученные составляющие, как и при jpeg-компрессии, квантуются. Так происходит несколько раз: для сжатия без потерь цикл обычно повторяется 3 раза, с потерями — разумным компромиссом между размером, качеством и скоростью декомпрессии считается 10 итераций. В результате получается одно маленькое изображение и набор картинок с мелкими деталями, последовательно и с определенной точностью восстанавливающих его до нормального размера. Отметим, что наибольшая степень компрессии получается на крупных изображениях, поскольку можно установить большее количество циклов.

По стандарту количество этапов может быть от 0 до 32. Схема выполнения одного



этапа ДВП показана на рисунке 4. 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. Последовательное применение ДВП к изображению представлено на рисунке 5.

Рисунок 4. Схема выполнения одного этапа ДВП

После одного этапа ДВП обрабатываемый фрагмент делится на четыре сегмента:

- a) LL – низкие частоты по строкам и столбцам;
- b) HL – высокие частоты по строкам и низкие по столбцам;
- c) LH – низкие частоты по строкам и высокие по столбцам;
- d) HH – высокие частоты по строкам и столбцам.

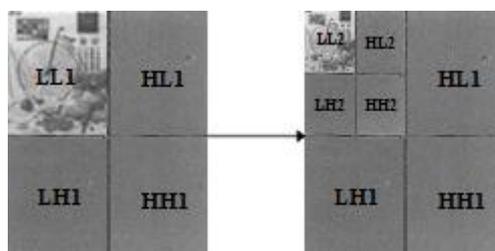


Рисунок 5. Результат выполнения одного этапа ДВП

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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безруков В.Н. Разработка и применение элементов теории преобразования сигналов изображений в системах прикладного телевидения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М. – 1995г.
2. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов.-М.: Мир.-1978.-848с.
4. Tinku Acharya, Ping-Sing Tsai. JPEG2000 standard for image compression: concepts, algorithms and VLSI architectures. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004. -296 page.