

Обзор методов внутрикадрового сжатия спектра телевизионных сигналов

Постоянный рост количества передаваемой и хранимой видеoinформации делает увеличение эффективности методов сжатия спектра телевизионных сигналов актуальной задачей. В работе рассмотрены наиболее эффективные из применяемых в настоящее время методов внутрикадрового сжатия, их особенности. Оценены основные достоинства и недостатки указанных методов. На основе этого анализа намечены дальнейшие пути их совершенствования.

Обзор методов внутрикадрового сжатия спектра телевизионных сигналов

Одним из важных направлений развития видеоинформатики и цифрового телевидения как прикладного, так и вещательного назначения является совершенствование и создание новых методов внутрикадрового сжатия спектра изображений и сжатия статических изображений. Учитывая прогресс в области микропроцессорной техники, можно сделать заключение, что увеличение коэффициентов сжатия при сохранении субъективного качества изображения ценой возрастания вычислительной сложности алгоритма является вполне оправданным направлением развития методов видеокompрессии, принимая во внимание также неуклонный рост количества передаваемой и особенно хранимой видеоинформации в настоящее время. Существующие методы внутрикадрового кодирования изображений могут быть классифицированы в соответствии со схемой на рисунке 1. Отметим, что телевизионными изображениями типично являются натуральные, полноцветные изображения. Для этих изображений методы сокращения избыточности с потерями (кодирование с предсказанием, кодирование с преобразованием, кодирование с интерполяцией и экстраполяцией) практически вытеснили методы энтропийного кодирования натуральных изображений (Хаффмановское, Шеннона-Фано, арифметическое). Учитывая, что на входе системы имеется исходное изображение, а получателем является человек, очевидно сжатие с потерями может быть реализовано за счет согласования кодера со структурой изображения и / или характеристикой зрительной системы человека.

Наибольшее распространение получили методы кодирования изображений с преобразованием. Идеология этих методов состоит в том, чтобы преобразовать отсчеты исходного изображения в отсчеты некоторой функции (спектр), информационная значимость отсчетов которой изменяется (обычно снижается) с ростом значений по оси (осям) абсцисс. Очевидно, при этом должно существовать и обратное преобразование. После преобразования менее существенные компоненты можно за счет неравномерного квантования передать с огрублением или полностью усечь. Оставшаяся информация подвергается обычно арифметическому кодированию. Таким образом, для кодирования с преобразованием важнейшей задачей является выбор математического преобразования. Учитывая, что характеристики зрительной системы исследованы и опубликованы, наиболее просто создать метод сжатия, согласованный со зрительной системой человека.

Если рассматривать модель зрительной системы человека в виде пространственного ФНЧ, то можно кодирование на основе вейвлет и дискретно-косинусного (ДКП)

преобразований можно считать хорошо согласованными с характеристиками зрительной системы.

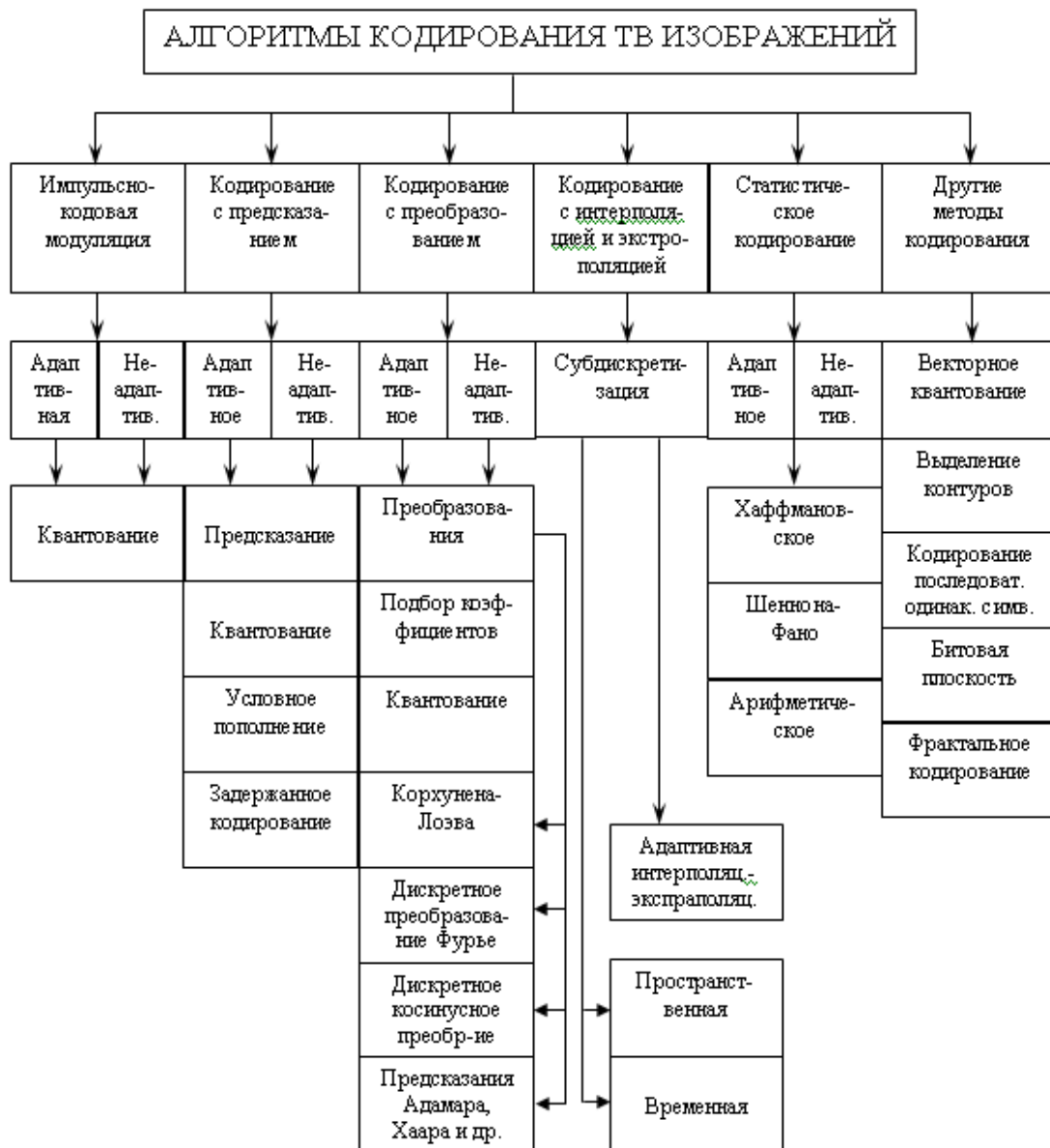


Рис.1. Классификация методов кодирования ТВ изображений

ДКП – разновидность гармонического, или, иначе говоря, спектрального анализа, применяемая для перераспределения избыточности в пространстве, представляющее собой двумерное дискретное косинусное преобразование. Прямое и обратное преобразования соответственно описываются (1) и (2):

$$F(u, v) = \frac{1}{4} \cdot C_u \cdot C_v \cdot \left(\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cdot \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right), \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \cdot C_u \cdot C_v \cdot \left(\sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right), \quad (2)$$

где $C_u, C_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{при } u = 0, v = 0 \\ 1, & \text{при } u \neq 0, v \neq 0 \end{cases}$

Спектр ДКП имеет важную, если ее оценивать с позиций компрессии видеоданных, особенность: основная энергия частотных составляющих этого спектра концентрируется в небольшой области около нулевых частот. Амплитуда высокочастотных составляющих или мала, или просто равна нулю. Один из наиболее часто используемых методов сжатия неподвижных изображений, основанных на ДКП, изложен в стандарте JPEG.

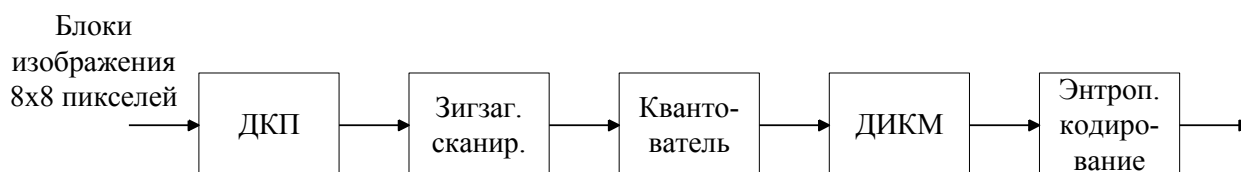


Рис.2. Структурная схема кодера JPEG

Операции метода поясняются структурной схемой на рисунке 2:

- разбиение изображения на блоки размером 8x8 пикселей;
- выполнение ДКП для каждого блока (полученные коэффициенты затем группируются в блоки в соответствии своему пространственному положению);
 - зигзагообразное сканирование коэффициентов;
 - квантование полученных коэффициентов ДКП
 - дифференциальную импульсно-кодую модуляцию (ДИКМ);
 - энтропийное кодирование квантованных коэффициентов.

Особенностью метода является применение ДКП к отдельным блокам, на которые предварительно разбивается изображение. При увеличении размеров блока растет потенциальная возможность устранения избыточности, но требуется большая разрядность передачи постоянной и НЧ-составляющих, блоки больших размеров имеют протяженные границы, которые попадают в область высокой чувствительности зрительной системы, увеличивается вычислительная сложность. Из компромиссных соображений размер блока выбран 8x8 пикселей. После ДКП передаче подлежат только те частотные коэффициенты матрицы ДКП, величины которых превышают принятые пороговые значения. Коэффициенты ниже порогового значения считаются нулевыми. Это приводит к необратимой потере

информации и, соответственно, к снижению качества восстановленного в декодере ТВ изображения. Эффективность квантования зависит от того, как подготовлена информация и насколько грубое квантование можно применить, не ухудшив субъективного восприятия изображения.

Выполнение над отдельными блоками изображений ДКП при больших коэффициентах сжатия может привести к возникновению заметности границ блоков (блоковые артефакты). Появление таких границ связано с подавлением высокочастотных составляющих пространственного спектра. При этом по отношению к исходному спектру возникает изменение весового соотношения между амплитудами спектральных составляющих, которое вызывает искажения структуры изображения по направлению максимального градиента сигнала изображения в пределах блока.

Другим распространенным способом сжатия является волновое (Wavelet) кодирование и представляет собой итерационный процесс. При вейвлет-преобразовании сигнал $f_0(x)$ представляется как взвешенная сумма элементарных функций, называемых масштабирующими функциями:

$$f_0(x) = \sum_n c_{0,n} \phi_{0,n}(x), \quad (3)$$

где $\phi_{0,n}(x)$ - масштабирующая функция, а $c_{0,n}$ - дискретный сигнал, представляемый как последовательность коэффициентов при масштабирующих (одной из базисных) функциях, по которым раскладывается $f_0(x)$.

Согласно концепции кратномасштабного анализа функция $f_0(x)$ декомпозируется на две функции $f_1(x)$ и $e_1(x)$:

$$f_0(x) = f_1(x) + e_1(x) = \sum_k c_{1,k} \phi_{1,k}(x) + \sum_k d_{1,k} \psi_{1,k}(x), \quad (4)$$

где функция $\psi_{1,k}(x)$ - вейвлет-функция.

Последовательность действий, которую использует метод сжатия на основе вейвлет-преобразования, в целом аналогична алгоритму JPEG. Принципиальная разница состоит в отсутствии разбиения на блоки и представлении сигнала как суперпозиции конечных во времени негармонических функций – вейвлетов.

Метод сжатия Wavelet преобразует изображение по следующему алгоритму:

- преобразование цветового пространства;
- Вейвлет-преобразование;
- квантование;
- кодирование.

После преобразования в цветовое пространство типа цветность/яркость изображение обрабатывается высокочастотным и низкочастотным фильтрами по строкам и столбцам с последующим прореживанием. Фильтр представляет собой небольшое «окно». Значения яркости и цветности, попавших в него пикселей умножаются на заданный набор коэффициентов, а полученные значения суммируются, и «окно» сдвигается для расчета следующего значения.

Преимущество вейвлет-преобразования перед JPEG состоит в том, что вейвлет преобразует полное изображение, а не его отдельные фрагменты, и позволяет получить качественное изображение при больших коэффициентах сжатия. Однако при высокой степени компрессии метод сжатия Wavelet может давать искажения, имеющие вид ряби вблизи резких границ. Несмотря на то, что такие артефакты в среднем менее заметны, чем «мозаика», создаваемая JPEG, это можно считать недостатком вейвлет-преобразования.

Другим эффективным методом кодирования является фрактальное кодирование - это алгоритм сжатия изображений с потерями, основанный на применении систем итерируемых функций к изображениям. Основой этого метода является обнаружение самоподобных участков в изображении. Достоинством данного алгоритма является возможность получения очень высоких коэффициентов сжатия (лучшие примеры - до 1000 раз при приемлемом визуальном качестве). Однако этот метод имеет и существенный недостаток, заключающийся в том, что для нахождения соответствующих самоподобных 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 имеет весьма высокую вычислительную сложность. Фрактальное кодирование согласовано со структурой изображения и дает хорошие результаты на изображениях, содержащих большое количество подобных элементов. Для натуральных изображений оно часто неэффективно.

В заключение рассмотрим некоторые возможные пути увеличения эффективности внутрикадрового сжатия спектра сигналов телевизионных изображений.

- Согласование метода со структурой изображения – введение классификации изображений или их предварительной декомпозиции на составляющие и применение к каждому классу отдельного алгоритма сжатия, то есть создание адаптивных методов сжатия.

- Лучшее согласование метода со зрительной системой. Зрительная система человека является адаптивной системой со сложной нелинейной обработкой входного воздействия, осуществляющей селекцию отдельных объектов и их последующее опознавание. Из этого следует, в первую очередь, необходимость точной передачи границ объектов. Отметим, что

заметные искажения рассмотренных методов заключаются в плохой передаче исходных границ и появлению на изображении ложных границ и контуров.

Список литературы:

1. Безруков В. Н. Цифровая обработка телевизионных сигналов. Учебное пособие. Часть 1. – М.: МГУСИ, 1988. -28 с.
2. Птачек М. Цифровое телевидение: Теория и техника/Пер. с чеш.; под ред. Л.С. Виленчика. – М.: Радио и связь, 1990. -528 с.
3. Смирнов А. В., Пескин А. Е. Цифровое телевидение от теории к практике – М.: Горячая линия-Телеком, 2005 . -352 с.
4. Харатишвили Н.Г. и др. Пирамидальное кодирование изображений. – М.: Радио и связь, 1996, 160 с.
5. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений/Под ред. Ю.Б. Зубарева и В.П. Дворковича. – М.: Международный Центр научной и технической информации, 1997. -212 с.