



УДК 681.323 (075)

© 2001 г. **И.В. Савенков,**  
**С.В. Сай**, канд. техн. наук

(Хабаровский государственный технический университет)

## **ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОРОГОВОГО ОТБОРА ДЛЯ ВЕЙВЛЕТ-ТРАНСФОРМАНТ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

В работе рассматривается задача выбора стратегии квантования вейвлет-трансформант с целью обеспечения высокой четкости цветных изображений. Предлагается комбинированный кодер длин серий и приводятся результаты машинного моделирования цифрового кодирования изображений для трех вариантов порогового отбора.

### **Введение**

При проектировании телевизионной или компьютерной видеосистемы с цифровой компрессией возникает следующая основная задача. С одной стороны, необходимо обеспечить высокую степень сжатия, с другой, – сохранить качество изображения с минимальными искажениями. В настоящее время не существует прямых зависимостей между параметрами кодека и качеством изображения, поэтому решение задач оптимизации и настройки алгоритмов сжатия на требуемое качество представляется актуальным для разработчиков цифровых видеосистем.

В современных алгоритмах сжатия статических изображений применяются различные унитарные преобразования. В настоящее время одним из наиболее эффективных методов кодирования считается стандарт JPEG, основанный на дискретном косинусном преобразовании (ДКП). Альтернативным подходом является дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), которое становится все более популярным в задачах цифрового кодирования видеоданных.

Уникальные свойства ДВП нашли применение в новом стандарте сжатия статических изображений JPEG-2000 [1]. Это:

- эффективное кодирование с низкими битовыми скоростями;
- адекватное сжатие сигналов с разной битовой глубиной;
- возможность сжатия без потерь;

- прогрессивное представление с пошаговым увеличением разрешения;
- возможность избирательного доступа к отдельным частям изображения;
- устойчивость к ошибкам в канале связи;
- кодирование в реальном масштабе времени.

### **Основные процедуры цифрового кодирования**

Рассмотрим основные процедуры цифрового кодирования в стандартах JPEG и JPEG-2000. Кодирование изображения в стандарте JPEG выполняется на основе следующих этапов [2]:

- 1) преобразование RGB сигналов в YUV с последующей фильтрацией и субдискретизацией цветоразностных компонент;
- 2) разбиение изображения на блоки (8 на 8 элементов) и выполнение дискретного косинусного преобразования;
- 3) квантование коэффициентов преобразования;
- 4) статистическое кодирование коэффициентов ДКП.

Высокоэффективное сжатие с потерями достигается в основном за счет третьего этапа – квантования. Применение квантования основано на свойстве сохранения энергии преобразования при переходе от сигнала к трансформанте и наоборот. Из этого следует, что небольшие изменения в значении коэффициентов трансформанты приводят к пропорциональным изменениям в значении цветов пикселей реконструированного изображения. Соответственно становится возможным выбирать шкалу квантования коэффициентов для сужения диапазона значений в соответствии с решаемой задачей.

Ухудшение качества декодированного изображения обусловлено искажениями, возникающими при выполнении 1-го и 3-го этапов. Субдискретизация цветоразностных компонент в соотношении 4:2:0 обеспечивает сжатие исходного объема видеоданных на 50% и приводит к незначительным искажениям резкости цветовых переходов и точности цветопередачи мелких деталей, которые малозаметны при визуальном наблюдении. Основные искажения возникают на этапе квантования коэффициентов ДКП, которые можно классифицировать [2] следующим образом: 1) блокинг-эффект; 2) мозаичный эффект; 3) размытие изображения; 4) окантовки на границах; 5) размытие цветов; 6) искажения типа “ступеньки”; 7) искажения, имеющие вид базисных функций ДКП.

Алгоритм кодирования в новом стандарте JPEG-2000 отличается от JPEG и содержит следующие этапы:

- 1) преобразование RGB сигналов в YVU с последующей фильтрацией и субдискретизацией цветоразностных компонент;
- 2) выполнение двумерного дискретного вейвлет-преобразования;
- 3) квантование коэффициентов преобразования;
- 4) статистическое кодирование коэффициентов ДВП.

Таким образом, отличие заключается в выборе базиса унитарного преобразования.

В наиболее простом случае на этапе квантования можно выполнить пороговый отбор коэффициентов. Отбор представляет собой отбрасывание малозначащих коэффициентов трансформанты, т. е. таких, чьи энергии настолько незначительны, что их отсутствие не вызывает каких-либо видимых искажений в реконструируемом изображении. Формулировка правила отбора должна учитывать как свойства человеческого зрения, так и структуру вейвлет-трансформанты как набора многомасштабных компонент – субдиапазонов.

### Выбор стратегии квантования

Для исследования влияния стратегии квантования на качество реконструируемого изображения разработан алгоритм, моделирующий цифровой канал передачи видеоданных с компрессией. На основе алгоритма создана программа-архиватор цветных изображений, выполняющая следующие функции:

- преобразование цифровых RGB сигналов исходного BMP файла изображения в систему YVU координат;
- выполнение вейвлет-декомпозиции для каждой из YVU компонент изображения;
- обнуление малозначащих коэффициентов разложения;
- кодирование длин серий нулей вейвлет-разложения;
- формирование цифрового потока видеоданных и сохранение сжатого файла изображения;
- декодирование и восстановление исходного BMP файла изображения.

Пространственная декорреляция YVU компонент выполняется применением разделимого дискретного вейвлет-преобразования на основе симметричного биортогонального фильтра Коэна-Добеши-Фово CDF97. При этом изображение разбивается на логарифмические субдиапазоны по формулам [4]:

$$\begin{cases} c_{jk} = \sum_{n \in Z} c_{j+1,n} h_{n-2k} \\ d_{jk} = -\sum_{n \in Z} c_{j+1,n} f_{n-2k}^* \end{cases}$$

где  $c_{jk}$  – значение  $k$ -го НЧ-коэффициента масштаба  $j$ ;  $d_{jk}$  – значение  $k$ -го ВЧ-коэффициента масштаба  $j$ ;  $h_i$ ,  $f_i$  –  $i$ -е коэффициенты НЧ-фильтров анализа и синтеза Коэна-Добеши-Фово CDF97 соответственно.

В полученном вейвлет-разложении обнуляются все коэффициенты, значения которых не превышает заданный пользователем порог для данного субдиапазона.

В работе исследовались три стратегии порогового отбора:

- 1) единый порог для всех субдиапазонов;
- 2) убывающая геометрическая прогрессия пороговых значений;
- 3) убывающая арифметическая прогрессия пороговых значений.

Во всех случаях для каждого субдиапазона значения коэффициентов сравниваются со значением соответствующего порога и обнуляются, если их значение по модулю не превосходит значение порога. Во второй и третьей стратегии пороги формируются для более низкочастотных субдиапазонов на основе первого члена прогрессии и знаменателя или разности убывающей прогрессии соответственно (далее – скорости убывания).

Коэффициент сжатия определяется отношением исходного формата к объему выходного закодированного изображения, который зависит от структуры изображения, начального порога и скорости убывания порога.

Наихудшие соотношения коэффициента сжатия и субъективного качества реконструируемого изображения получаются при выборе первой стратегии порогового отбора, наилучшие – при третьей. При одинаковом значении порогов для всех субдиапазонов искажения существенны из-за отбрасывания низкочастотных компонент, где глаз имеет наибольшую чувствительность. Арифметическая прогрессия дает систему порогов, позволяющую широко варьировать отношение коэффициента сжатия и качества реконструируемого изображения. Промежуточные результаты дает геометрическая прогрессия порогов.

### Кодирование длин серий

Комбинированный кодер длин серий нулей с переменной длиной кода подобран экспериментально в соответствии со статистикой вейвлет-трансформант реальных изображений. Он работает следующим образом. Вейвлет-трансформанта просматривается построчно. Если в исходном потоке обнаруживается от одного до семи нулевых коэффициентов, то в выходной поток записывается на единицу большее число нулевых битов. Если обнаруживается восемь или более нулей, то в результирующем битовом потоке записывается префикс серии нулей (2 бита – 01), префикс длины серии (2 бита) и код длины серии. Префиксы и коды длин серий перечислены в табл. 1.

*Таблица 1*

Префикс длины серии	00	01	10	11
Длина кода длины серии	3	6	12	24
Минимальная длина серии	8	16	80	4176
Максимальная длина серии	15	79	4175	16781391

Для кодирования отличных от нуля значений используется код, длина которого увеличивается с увеличением абсолютного значения коэффициента и соответственно уменьшением частоты его появления. Перед ненулевым символом следует префикс переменной длины, определяющий длину следующего за ним поля для хранения значения коэффициента. Префиксы и коды ненулевых коэффициентов перечислены в табл. 2.

Таблица 2

Префикс ненулевого коэффициента	10	110	1110	11110	11111
Длина кода коэффициента	1	2	4	8	16
Минимальный коэффициент	-1	-3	-11	-139	-32907
Максимальный коэффициент	1	3	11	139	32907

В сформированный битовый поток добавляются значения высоты и ширины изображения, необходимые для однозначного декодирования.

### Результаты моделирования

Анализ алгоритма работы метода показывает, что возможен такой подбор порога и его скорости убывания, при котором разрешающая способность, резкость и точность цветопередачи изображения визуально не ухудшаются. По результатам машинного моделирования алгоритма сжатия и обработки изображений различной детальности можно сделать следующий вывод: эффективность сжатия на основе ДВП с системой порогов на основе арифметической прогрессии составляет  $k_{сж} = 6-60$  для значения порога 8...10 и скорости убывания 2, при этом качество декодированного изображения соответствует оценкам "хорошо" и "отлично" по субъективной пятибалльной шкале качества.

Сравнительный анализ эффективности разработанного алгоритма с JPEG кодером показывает, что мелкие детали восстановленного изображения воспроизводятся с более высокой четкостью, чем у JPEG, при одинаковых коэффициентах сжатия. Таким образом, по сравнению с существующими методами кодирования изображений на основе унитарного преобразования ДКП предлагаемый алгоритм сжатия является более эффективным с точки зрения более точной передачи мелких деталей при заданном коэффициенте сжатия.

Дальнейшее улучшение характеристик алгоритма возможно за счет формирования порогов на основе экспериментальной статистики большого числа изображений, а также выбора адекватной шкалы квантования ненулевых коэффициентов [5]. Это указывает на потенциальные преимущества

методов, основанных на ДВП, в задачах, требующих наиболее точной передачи мелких деталей изображения по цифровым каналам связи с компрессией, перед классическими методами статистического кодирования при сжатии без потерь и методами на основе ДКП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Skodras A.N., Christopoulos C.A., Ebrahimi T.* JPEG2000: the upcoming still image compression standard. Proceedings of the 11<sup>th</sup> Portuguese conference on pattern recognition, Porto. Portugal, 2000. P.359-366.
2. *Дворкович А.В., Дворкович В.П., Зубарев Ю.Б., Мохин Г.Н., Неченаев В.В., Новицкий Н.Б.* Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. М.: НАТ, 1997.
3. *Сай С.В.* Четкость цветного изображения в системах со сжатием визуальных данных. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1999.
4. *Воробьев В.И., Грибунин В.Г.* Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Военный университет связи. 2000.
5. *Hilton M.L., Jawerth B.D., Sengupta A.* Compressing Still and Moving Images with Wavelets // *Multimedia Systems*. 1994. Vol. 2. No. 3.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.*