

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

*Е.В. Банюкевич*

*В работе рассматривается применение вейвлет-преобразование для сжатия изображения. Описаны алгоритмы метода сжатия с применением вейвлетов и метода JPEG2000. Приведены результаты внедрения вейвлет-преобразования в метод сжатия изображения JPEG2000. Показаны преимущества метода сжатия с применением вейвлетов.*

### Введение

Под вейвлетом, в самом общем смысле, понимается такая функция  $\psi \in L_2$ , что семейство функций

$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R}, \quad a \neq 0,$$

является базисом пространства  $L_2$ . В качестве эквивалента английского термина wavelet, который дословно переводится как маленькая волна, в русскоязычной литературе иногда используется термин всплеск, предложенный К.И. Осколковым в 1991 году. Различают непрерывное и дискретное вейвлет-преобразования. Непрерывное имеет следующий вид

$$Wf(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{\mathbb{R}} f(x) \overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} dt,$$

где  $f \in L_2$ ,  $\psi \in L_2$  – вейвлет,  $b \in \mathbb{R}$  – расположение во времени,  $a \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$  – масштаб. Большие значения  $a$  соответствуют низким частотам, маленькие – высоким.

Развитие вейвлет-теории осуществляется по различным направлениям. Среди них можно выделить построение новых ортогональных и биортогональных вейвлет-базисов, мультивейвлетов, вейвлет-пакетов, обладающих определенными свойствами; исследование аппроксимирующих свойств вейвлет-функций в различных функциональных пространствах; применение вейвлетов в теории численных методов и др. Остановимся на рассмотрении применения вейвлетов для сжатия и обработки изображения.

### Вейвлет-преобразование и сжатие изображения

В цифровых системах видеонаблюдения широко используется метод сжатия видео с помощью вейвлет-преобразования. Последовательность действий, которую он использует, аналогична алгоритму JPEG. Различаются они способом преобразования видеосигнала: метод сжатия JPEG использует дискретно-косинусное преобразование сигнала, тогда как метод вейвлет-преобразования представляет сигнал как суперпозицию конечных во времени негармонических функций – вейвлетов.

Алгоритм метода сжатия изображения с вейвлетами может быть представлен как передача сигнала через пару фильтров: низкочастотный и высокочастотный.

Рассматриваемый метод преобразует изображение по следующему алгоритму:

1. Преобразование цветового пространства;
2. Вейвлет-преобразование;
3. Квантование;
4. Кодирование.

Этап вейвлет-преобразования подразумевает следующее. 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.

В результате фильтрации вместо одного изображения размером  $m \times n$  вейвлет-преобразование дает четыре изображения размером  $(m/2) \times (n/2)$ . Фильтрация низкочастотным фильтром по горизонтали и по вертикали дает самое высокоинформативное изображение, которое подвергается дальнейшей фильтрации. Число уровней фильтрации обычно составляет от 4 до 6, тогда как результат обработки высокочастотным фильтром по горизонтали и по вертикали чаще всего отбрасывается. Изображения, полученные с применением высокочастотного фильтра по строкам и низкочастотного по столбцам или низкочастотного фильтра по строкам и высокочастотного по столбцам, квантуются и после кодирования попадают в выходной поток.

Результатом вейвлет-преобразования, как и дискретно-косинусного преобразования, является массив числовых коэффициентов. На следующем этапе происходит квантование этого массива, и близкие к нулю коэффициенты отбрасываются. Затем массив подвергается кодированию.

Преимущество метода сжатия с применением вейвлет-преобразования состоит в том, что он преобразует полное изображение, а не его отдельные фрагменты, и позволяет получить качественное изображение при больших (до 100) коэффициентах сжатия. При высокой степени компрессии этот метод может давать искажения, имеющие вид ряби вблизи резких границ, однако такие артефакты в среднем меньше бросаются в глаза наблюдателю, чем «мозаика», создаваемая JPEG.

Метод сжатия с вейвлетами применяется для компрессии видеосигнала в цифровых устройствах Mitsubishi Electric: видеосервер DX-VS1UE, цифровые видеорегистраторы DX-TL2500E, видеорегистраторы DX-TL800E; GE Security/Kalatel: сетевой видеорегистратор DSR-2000e, цифровые видеорегистраторы DVMRe-16eZTX.

Было выявлено существенное преимущество алгоритмов сжатия на основе вейвлетов перед дискретно-косинусным преобразованием, использованным в JPEG. В это время, в 1996 году, началась разработка метода сжатия JPEG2000.

В 2000 году вариант сжатия методом вейвлет-преобразования включен в стандарт JPEG, который является методом сжатия JPEG2000. При создании нового стандарта наряду с достижением большей эффективности сжатия ставились еще и следующие цели:

- Объединение в рамках единой технологии сжатия с потерями и без потерь. В первом случае коэффициент сжатия может достигать сотен раз. Во втором – коэффициент сжатия от 3 до 5 и находит применение в телевидении, медицине и др. В дополнениях к JPEG есть режим сжатия без потерь, но эта технология защищена патентами.

- Устойчивость алгоритма к ошибкам канала связи при передаче сжатого изображения. Здесь видна нацеленность нового стандарта на мобильные приложения, на передачу изображений по радиоканалу.

- Унифицированная структура декодера. В JPEG имеется 44 различных режимов декодирования, в зависимости от приложения. Синтаксис JPEG2000 позволяет независимо от применяемого способа кодирования использовать один и тот же декодер.

- Масштабируемость. В зависимости от потребности, может быть масштабируемость по размеру, разрешению, частотному содержанию, количеству цветов.

- Обработка отдельных областей на изображении.

- Сжатие изображений больших размеров.

- Возможность обработки сжатого изображения без декомпрессии.

Локальная, масштабированная структура вейвлет-функций позволяет решить вышеперечисленные задачи.

Метод сжатия JPEG2000 предполагает увеличение коэффициента сжатия по сравнению с JPEG на 30%. Этот метод сжатия использует вейвлет-преобразование, благодаря чему характерные для JPEG блочные искажения исчезают, а коэффициент сжатия может достигать 200, при больших коэффициентах сжатия появляются артефакты, создаваемые вейвлет-преобразованием.

Рассмотрим основные блоки, входящие в структурную схему алгоритма сжатия JPEG2000.

1. 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.

2. Вейвлет-преобразование. В первой части определены два вейвлет-фильтра – фильтр Добеши для сжатия с потерями и биортогональный фильтр с целочисленными коэффициентами для сжатия без потерь. Во второй части стандарта разрешается применение любых фильтров. В стандарте определено, что вейвлет-преобразование осуществляется на основе алгоритма, известного как лифтинговая схема.

3. 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 – ТСQ.

4. Энтропийное кодирование. Применяется адаптивный арифметический кодер, за счет чего увеличивается скорость сжатия. Ввиду патентных ограничений используется MQ-кодер, специально разработанный для JPEG2000. Кодирование ведется не всего изображения в целом и даже не отдельных субполос, а более мелких объектов – кодируемых блоков. 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.

5. Сжатый поток данных упаковывается в пакеты.

## **Заключение**

Вейвлет-преобразования имеют хорошую частотно-пространственную локализацию и по этому показателю превосходят традиционные косинус-преобразования и другие преобразования Фурье. Таким образом, можно применять более сильное квантование, улучшая свойства последовательности для последующего сжатия без потерь. Алгоритмы сжатия изображений, основанные на этом преобразовании, при той же степени сжатия показывают лучшие результаты по сохранению качества изображения. К тому же у него низка вычислительная сложность.

JPEG2000 представляет собой систему кодирования изображений, который использует методы сжатия внедренный на основе вейвлет-технологии. Его архитектура поддается широкому спектру применений. Таким образом вейвлеты способствовали упрощению и повышению эффективности кодеров.

*Банюкевич Елена Викторовна, аспирант кафедры фундаментальной и прикладной математики Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, магистр физико-математических наук, cheb-alena@mail.ru*