

УДК 621.397

МЕТОД ИНТЕРПОЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Д.А. Федоров

Представлены результаты исследования метода масштабирования цифровых изображений. Получены оценки искажений при интерполяции изображений с использованием дискретного вейвлет-преобразования. Исследовано влияние выбора базиса вейвлетов на погрешности преобразования изображений при масштабировании.

Ключевые слова: масштабирование, интерполяция изображений, дискретное вейвлет-преобразование.

Введение

Развитие информационных технологий обусловило важность цифровых методов масштабирования при обработке изображений. Существуют различные методы интерполяции изображений при масштабировании, наиболее известные из них – полиномиальные методы интерполяции и sinc-интерполяция [1]. При масштабировании желательно не ухудшать качество изображения, т.е. сохранять диапазон яркости, форму и границы объектов. Интерполяция сопровождается различными артефактами, такими как размытие границ, блочность, а при уменьшении изображений возможен элайзинг, который часто проявляется в виде волны возле границ объектов.

В настоящей работе представлены результаты исследования алгоритма масштабирования изображений с помощью дискретного вейвлет-преобразования (ДВП), которое успешно применяется для сжатия изображений.

Метод дискретного вейвлет-преобразования

Метод основан на использовании субполосной фильтрации, т.е. обработке сигналов в различных диапазонах частот (рис. 1). Для выполнения низкочастотной фильтрации (НЧФ) используется свертка с материнским вейвлетом $\varphi(x)$, представимым в форме линейной комбинации масштабированных и сдвинутых функций в соответствии с масштабирующим соотношением

$$\varphi(x) = \sum_k a_k \varphi(2x + k), \quad (1)$$

где a_k – весовые коэффициенты; k – целое число. Высокочастотная фильтрация (ВЧФ) обеспечивается сверткой с вейвлетом вида (1), в котором весовые коэффициенты рассчитываются, исходя из значений коэффициентов a_k в (1), с обеспечением возможности восстановления исходного сигнала из низкочастотной и высокочастотной составляющих [2–5].

В схеме рис. 1 после разделения сигнала на две частотные полосы осуществляется прореживание с коэффициентом 2 полученных последовательностей (обозначено на рис. 1 как $\downarrow 2$), что обеспечивает двукратное уменьшение масштаба. Для восстановления сигнала в исходном масштабе прореженные отсчеты заменяются нулями (эта операция обозначена на рис. 1 как $\uparrow 2$), после чего осуществляется интерполяция этих значений при помощи фильтров восстановления (обозначены на рис. 1 как \sim НФЧ и \sim ВФЧ).

При интерполяции изображений вейвлет-преобразование можно рассматривать как разделимое преобразование, при котором ДВП выполняется как одномерное, независимо по строкам и столбцам. При преобразовании изображений в соответствии со схемой, представленной на рис. 1, при $n = 1$ формируются составляющие LL, HL, LH, HH. Составляющая LL представляет результат низкочастотной фильтрации изображения по строкам и столбцам, HL – высокочастотной фильтрации по строкам и низкочастотной по столбцам, LH – низкочастотной фильтрации по строкам и высокочастотной по столбцам, HH – высокочастотной фильтрации по строкам и столбцам. Составляющая LL соответствует уменьшенной копии изображения, а три другие составляющие характеризуют мелкие высокочастотные детали на изображении. Алгоритм, в общем случае, позволяет масштабировать изображение по каждому направлению с коэффициентом 2^n , где n – целое число.

Для уменьшения масштаба изображения в 2 раза следует:

- применить свертку по строкам с материнским вейвлетом;
- провести прореживание по строкам;
- применить свертку по столбцам с материнским вейвлетом;
- провести прореживание по столбцам.

Для увеличения масштаба изображения требуется:

- провести вставку нулей вместо ранее прореженных отсчетов по строкам;
- применить свертку по строкам с вейвлетом, обратным материнскому;
- провести вставку нулей по столбцам;
- применить свертку по столбцам с вейвлетом, обратным материнскому.

Для масштабирования изображения в 2^n раз при $n > 1$ указанную последовательность операций необходимо соответственно повторить.

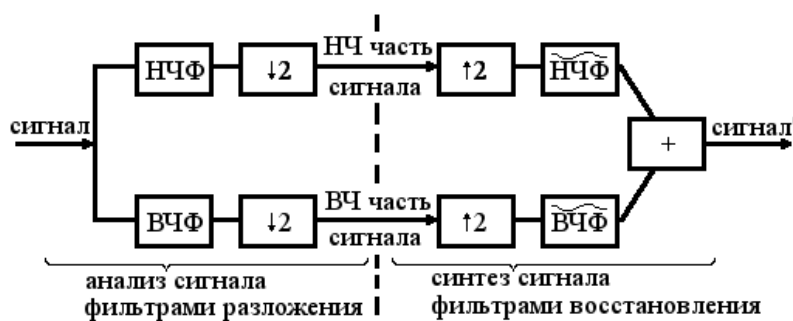


Рис. 1. Схема ДВП для одномерного случая

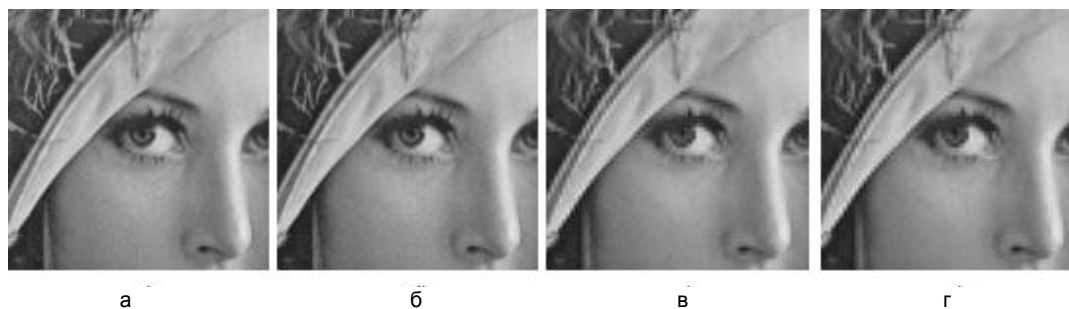


Рис. 2. Исходное изображение (а) и восстановленные изображения с использованием всех составляющих вейвлет-преобразования (б), при отбрасывании составляющих HL и LH (в) и без учета информации на высоких частотах (г)

Из рис. 2 видно, что обнуление коэффициентов в составляющих LH и HL вносит искажения, сопоставимые со случаем отбрасывания всех высокочастотных составляющих. Ошибка восстановления изображения без учета высокочастотной информации тем больше, чем больше информации выделяется при исходной ВЧФ. Для получения оценок погрешностей требуется выполнить прямое и обратное ДВП изображения и сравнить исходное и восстановленное изображения при учете и без учета высокочастотной информации.

Результаты экспериментов

В экспериментах осуществлялось уменьшение и последующее увеличение изображения до первоначального размера, и далее полученное изображение сравнивалось с оригиналом. Использовались тестовые изображения (рис. 3), выбранные из известных баз изображений [6, 7].

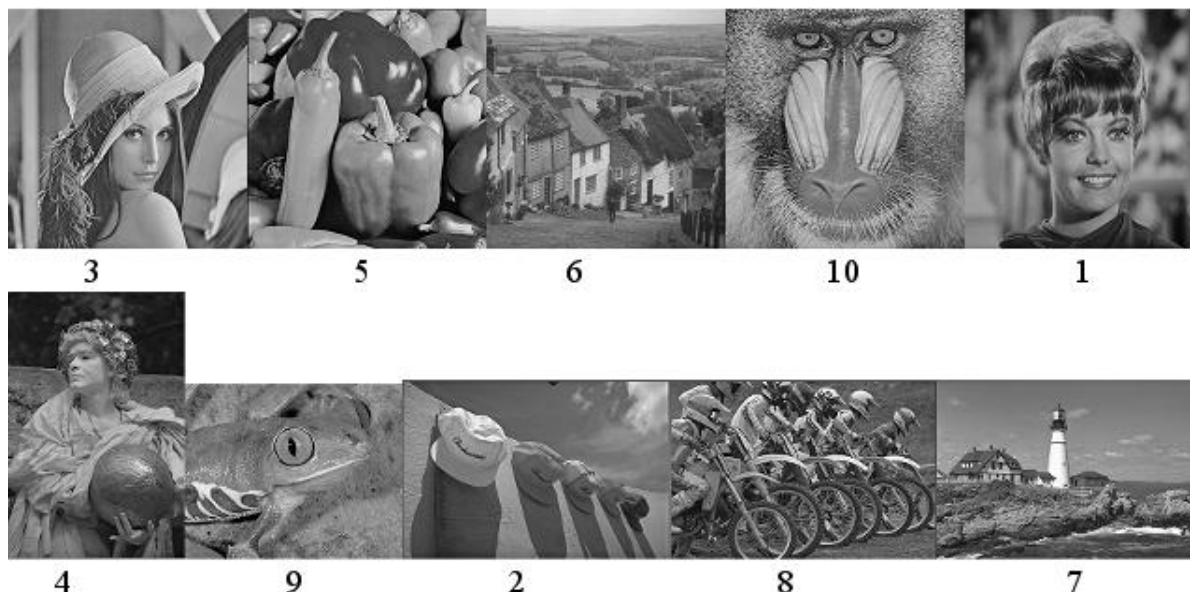


Рис. 3. Примеры тестовых изображений: №3 – Lena; №5 – Peppers; №6 – Goldhill; №10 – Mandril; №1 – Zelda; №4 – Golden ball; №9 – Frog; №2 – Hats; №8 – Motocross; №7 – Light house

Искажения при масштабировании оценивались применительно к восьмиразрядным изображениям с использованием критерия пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ)

$$\text{ПОСШ} = 20 \lg(255 / \text{СКО}), \text{ дБ},$$

где $\text{СКО} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y (a_{i,j} - b_{i,j})^2\right) / (XY)}$ – среднее квадратическое отклонение; $a_{i,j}$ и $b_{i,j}$ – отсчеты исходного

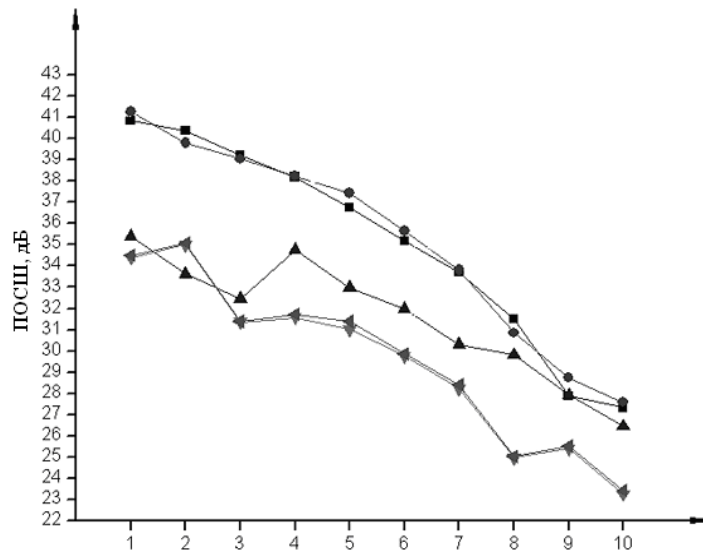
и дважды масштабированного изображения размером $X \times Y$.

В таблице представлены результаты оценки ПОСШ для фильтра Коэн–Добеши–Фово 5/3 при различных вариантах не обнуленных коэффициентов преобразования (их обозначения указаны во второй строке заголовка таблицы) для тестовых изображений рис. 3. Из анализа данных, приведенных в таблице, следует, что при увеличении масштаба изображений на основе ДВП использование высокочастотной информации позволяет повысить качество интерполяции.

Название изображения	ПОСШ, дБ		
	LL, HL, LH	LL, HH	LL
Hats	52,3	40,7	40,1
Zelda	49,2	42,3	41,3
Lena	48,4	39,8	39,0
Golden ball	48,3	38,9	38,2
Goldhill	46,0	36,2	35,6
Light house	45,0	34,5	33,9
Peppers	44,4	38,8	37,5
Motocross	42,9	31,5	30,9
Mandrill	37,3	28,4	27,7
Frog	34,2	30,4	28,7

Таблица. Оценка ПОСШ при выполнении обратного ДВП (фильтр Коэн–Добеши–Фово 5/3)

Проведено сравнение фильтров Добеши 2, Добеши 9, Коэн–Добеши–Фово 5/3 и 17/11 на десяти указанных выше тестовых изображениях. Полученные результаты представлены кривыми на рис. 4.



Номер тестового изображения (рис. 3)

Рис. 4. Оценка ПОСШ при интерполяции на основе ДВП в зависимости от вейвлет-базиса (◆ – cdf5/3, Коэн–Добеши–Фово 5/3; ▲ – cdf17/11, Коэн–Добеши–Фово 17/11; ▼ – db2, Добеши 2; ◄ – db9, Добеши 9) в сравнении с интерполяцией глобальным кубическим сплайном (■ – gl.cub.spline)

В зависимости от контекста изображения ПОСШ изменяется в широких пределах (в частности, от 34 до 23 дБ для фильтра Добеши 2). Из графиков также видно, что для одного и того же изображения значение ПОСШ существенно зависит от выбора вида вейвлета. Например, для изображения № 1 ПОСШ изменяется от 34 дБ для вейвлета Добеши 2 до 41 дБ при использовании вейвлета Коэн–Добеши–Фово 5/3.

Заключение

Проведенные исследования искажений при масштабировании цифровых изображений на основе дискретного вейвлет-преобразования с использованием критерия пикового отношения сигнал/шум показали, что качество интерполяции зависит от видов изображения и вейвлета. Из анализа влияния выбора вида вейвлета следует, что при увеличении масштаба биортогональные фильтры Коэн–Добеши–Фово 5/3 дают лучший результат, чем ортогональные фильтры Добеши и другие рассмотренные фильтры.

Автор выражает признательность научному руководителю Т.Ю. Фисенко за помощь в выполнении настоящей работы и профессору И.П. Гурову за полезное обсуждение полученных результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Сугак Р.А. Исследование эффективности алгоритмов интерполяции цифровых изображений при варьируемой разрешающей способности регистрирующей системы / Под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова // Труды научно-исследовательского центра фотоники и оптоинформатики. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – С. 382–386.
2. Чуи Ч.К. Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. – 412 с.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 464 с.
4. Воробьев В.И., Грибунин В.У. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб: Военный университет связи, 1999. – 203 с.
5. Asamwar R.S., Bhurchandi K.M., Gandhi A.S. Interpolation of images using discrete wavelet transform to simulate image resizing as in human vision //Int. Journal of Automation and Computing. – 2010. – V. 7. – № 1. – P. 9–16.
6. Photo Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/image_database/, свободный. Яз. англ. (дата обращения 16.01.2012).
7. Kodak Lossless True Color Image Suite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://r0k.us/graphics/kodak/>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 16.01.2012).

Федоров Дмитрий Александрович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, End-ik@ya.ru