

УДК 621.397

ФУРЬЕ-АНАЛИЗ WAVELET-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ошаровская Е.В., Патлаенко Н.А.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
osharovskaya@gmail.com, nick_msa@ukr.net*

ФУР'Є-АНАЛІЗ WAVELET-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Ошаровська О.В., Патлаєнко М.О.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
osharovskaya@gmail.com, nick_msa@ukr.net*

FOURIER ANALYSIS OF WAVELET-TRANSFORMATION FOR DIGITAL IMAGES

Osharovska O.V., Patlaenko M.O.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
osharovskaya@gmail.com, nick_msa@ukr.net*

Аннотация. Даны результаты оценки искажений цветного изображения сверхвысокой четкости в видеоприложениях со сжатием, основанным на применении wavelet-преобразований в базисах биортогональных wavelet и моделирование декомпозиции wavelet-преобразований классическими методами Фурье-анализа. Приведены значения коэффициентов сжатия для заданных значений отношения сигнал/шум. Получены среднеквадратические значения отклонения восстановленных изображений от исходного и показано, что при wavelet-преобразовании эти отклонения на порядок меньше, чем при Фурье-преобразовании.

Ключевые слова: wavelet-преобразование, сжатие изображений, декомпозиция, Фурье-анализ, отношение сигнал/шум.

Анотація. Надано результати оцінки спотворень кольорового зображення надвисокої чіткості у відеододатках зі стисненням, заснованим на застосуванні wavelet-перетворень у базисах біортогональних wavelet і моделювання декомпозиції wavelet перетворень класичними методами Фур'є-аналізу. Наведені значення коефіцієнтів стиснення для заданих значень відношення сигнал / шум. Отримані середньоквадратичні відхилення відновлених зображень від вихідного і показано, що при wavelet-перетворенні ці відхилення на порядок менше, ніж при Фур'є-перетворенні.

Ключові слова: wavelet-перетворення, стиснення зображень, декомпозиція, Фур'є-аналіз, відношення сигнал / шум.

Abstract. The results of the estimation of the distortions of an ultrahigh-definition color image in video applications with compression based on the use of wavelet transformations in biorthogonal wavelet bases and the simulation of the wavelet transform decomposition by classical Fourier analysis methods are presented. Compression ratios for specified signal-to-noise ratios are given. The root-mean-square deviations of the reconstructed images from the original are obtained and it is shown that for wavelet transform these deviations are an order of magnitude smaller than for the Fourier transform.

Key words: Wavelet-transformation, image compression, decomposition, Fourier analysis, signal-to-noise ratio

Развитие и внедрение новых систем цифрового телевидения связано с повышением четкости изображений и улучшением качества устройств воспроизведения. Сжатие

изображений сверхвысокой четкости для передачи по каналам связи требует исследований по вопросам сохранения качества [1].

Целью данной статьи является сравнительный анализ получаемого качества восстановленных изображений после иерархических wavelet-преобразований. С точки зрения стандартного спектрального анализа проведено исследование иерархического разделения спектров изображения методом Фурье-анализа.

В качестве исходного выбрано изображение сверхвысокой четкости с размерами 3840 элементов по горизонтали и 2160 строк. Такие размеры отвечают параметрам изображений четкости 4К. Максимальная частота $F_{\max} = 124,416$ МГц, частота дискретизации яркостной составляющей $F_d = 248,832$ МГц, формат кадра $k = 16/9$.

На рис. 1 показано исходное изображение. С точки зрения оценки сохранения качества – это изображение содержит горизонтальные, вертикальные границы (замок), диагональные границы (скульптура в центре озера и отражение замка в воде), кроме того присутствуют нечеткие границы на облаках, на небе и отражениях леса в воде. Большое количество мелких деталей и наличие относительно больших по площади участков с очень плавным изменением цвета позволяет использовать данное изображение как тестовое.



Рисунок 1 – Исходное изображение

Для исследования влияния сжатия изображения на результирующее качество выбрано wavelet-преобразование с использованием биортогональных waveletов. Сжатие происходит за счет уменьшения количества элементов изображения, подлежащих передаче. При wavelet-анализе происходит декомпозиция изображения, что эквивалентно разделению информации на низкочастотные и высокочастотные пространственные составляющие. Для двухмерного изображения после первого уровня декомпозиции получается четыре уменьшенные «копии» исходного изображения, содержащие:

- а) LL – низкие частоты по горизонтали и низкие частоты по вертикали;
- б) LH – низкие частоты по вертикали; частоты по горизонтали и высокие;
- в) HL – высокие по горизонтали и низкие по вертикали;
- г) HH – высокие частоты по горизонтали, высокие частоты по вертикали.

На рис. 2 дана структура реализации декомпозиции в Simulink с тремя уровнями.

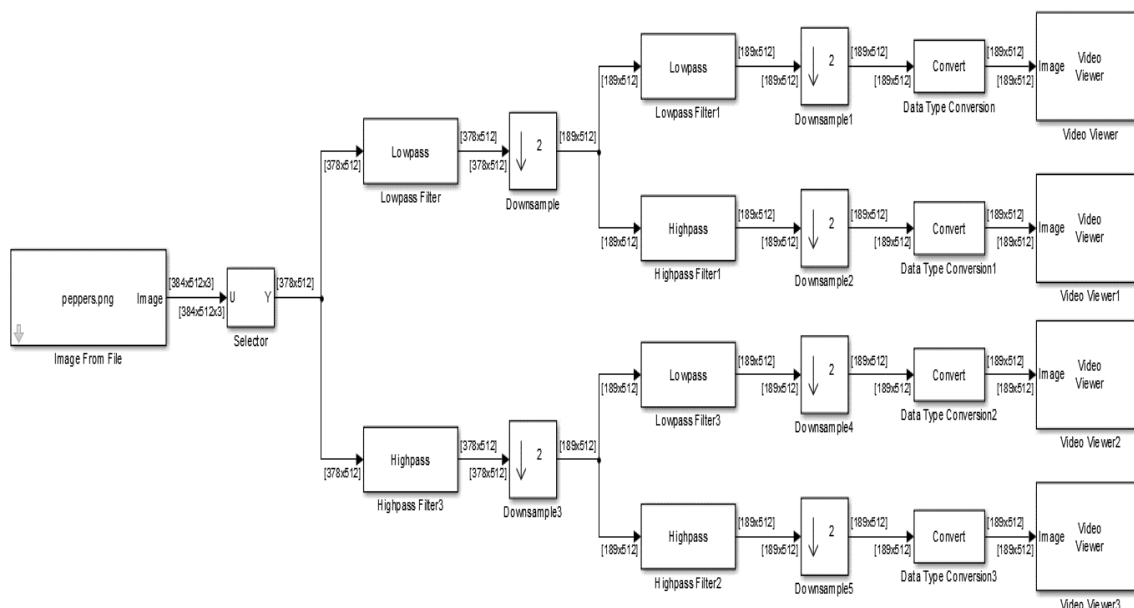


Рисунок 2 – Структурная схема декомпозиции изображения в Simulink

Реализация фильтрации на базе биортогональных waveletов проведена на базе моделирования в среде Matlab на Simulink. Для проведения исследования была выбрана яркостная составляющая изображения, являющаяся наиболее широкополосной. Изображение в градациях серого (яркостная составляющая) показано на рис. 3.



Рисунок 3 – Оттенки серого исходного изображения

Подвергая декомпозиции градационное изображение в соответствии со схемой рис. 2, получаем по четыре изображения на каждом уровне декомпозиции, всего 12 изображений, что видно на рис. 4. Традиционное wavelet-преобразование на каждом уровне из матрицы, представляющей исходное изображение, формирует четыре новые с размерностью вдвое меньшей исходной. После третьего уровня размеры «третичных» изображения составляют 960 элементов в строке и 540 строк. В левом верхнем уголке рис. 4 мы видим это третичное LL изображение. Обычно, такое прореживание матриц с интерполяцией новых значений яркости элементов математически описывается как применение низкочастотной и высокочастотной фильтрации. Но каждый раз в этих матрицах присутствует информация о всем изображении. В высокочастотной матрице значения яркостей элементов (wavelet-коэффициентов) меньше, чем в низкочастотной и, чаще всего, высокочастотная матрица не

передается. В данной статье оценена возможность восстановления значений высокочастотных матриц по значениям низкочастотных матриц.

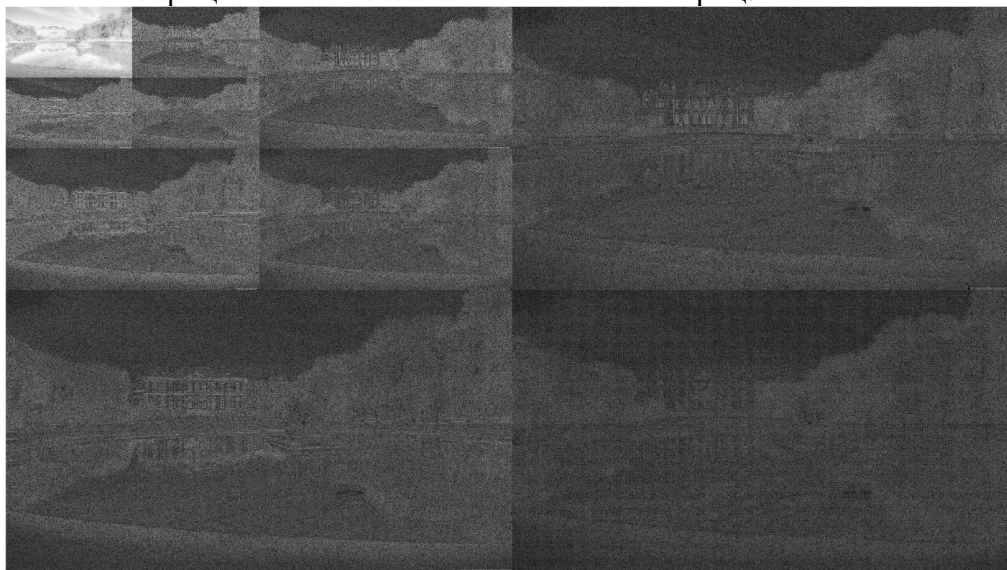


Рисунок 4 – Wavelet-декомпозиция на три уровня

В качестве решающего критерия о необходимости передачи матрицы высокочастотных wavelet-коэффициентов предлагается использовать отношения сигнала к шуму на соответствующих границах изображения (EPSNR). Границы горизонтального и вертикального направлений определялись градиентным методом. Для вычислительного эксперимента полученные матрицы на каждом уровне дублировались с целью последующего извлечения соответствующих границ.

В табл. 1 даны результаты предсказания высокочастотных коэффициентов путем аппроксимации по значениям низкочастотных изображений в зависимости от размера выбираемых размеров матриц (кластеров) предсказания. Результаты оценивались как EPSNR на соответствующем направлении.

Таблица 1 – Предсказание НН изображений по LL для wavelet-преобразования

Кластеры	Аппроксимация	Горизонталь	Вертикаль	Диагональ
512x512	67,2 дБ	65,8 дБ	65,4 дБ	48,3 дБ
256x256	66,4 дБ	53,7 дБ	53,3 дБ	41,4 дБ
128x128	46,2 дБ	43,8 дБ	44,1 дБ	42,1 дБ
64x64	43,6 дБ	40,2 дБ	42,7 дБ	40,4 дБ
32x32	39,8 дБ	38,6 дБ	39,2 дБ	38,3 дБ

Модель wavelet-декомпозиции была подвергнута Фурье-анализу. Низкочастотная фильтрация выполнялась НЧ фильтром, переходная зона АЧХ которого описана функцией окна Блэкмана [2,3] с семью отсчетами, приходящимися на полосу расфильтровки. Высокочастотная часть получена путем вычитания из исходного изображения низкочастотной части. При Фурье-преобразовании в спектральной области изображения представляются двумя массивами действительной и мнимой составляющих. Предсказание значений высокочастотных значений по низкочастотным требует дополнительно проведения обратного преобразования Фурье. В табл. 2 даны значения EPSNR на вертикальных, горизонтальных и диагональных границах изображения, а также отношение сигнала к шуму PSNR для аппроксимированного изображения в целом в зависимости от размеров выбранных кластеров для предсказания.

Таблица 2 – Предсказание НН изображений по LL для Фурье-преобразования

Кластеры	Аппроксимация	Горизонталь	Вертикаль	Диагональ
512x512	63,2 дБ	60,8 дБ	60,1 дБ	38,7 дБ
256x256	55,4 дБ	51,7 дБ	49,7 дБ	39,5 дБ
128x128	42,2 дБ	39,6 дБ	39,2 дБ	38,2 дБ
64x64	40,6 дБ	40,2 дБ	39,7 дБ	32,6 дБ
32x32	36,8 дБ	34,5 дБ	34,1 дБ	30,2 дБ

Из анализа табл. 1 и 2 видно, что увеличивать количество уровней декомпозиции, приводящее к уменьшению размеров кластеров для предсказания, возможно только при соблюдении учета величины корреляции между низкочастотными и высокочастотными составляющими. Wavelet-преобразование при тех же размерах кластеров для предсказания обеспечивает большее отношение EPSNR чем Фурье-преобразование. Наиболее критичными являются диагональные границы изображения, которые и определяют необходимость передачи высокочастотных коэффициентов для определенного уровня декомпозиции.

На рис. 5 и 6 даны рассчитанные значения среднеквадратических отклонений (RMS) от количества элементов для случаев wavelet- и Фурье-преобразований соответственно. В последнем случае СКО на порядок больше.

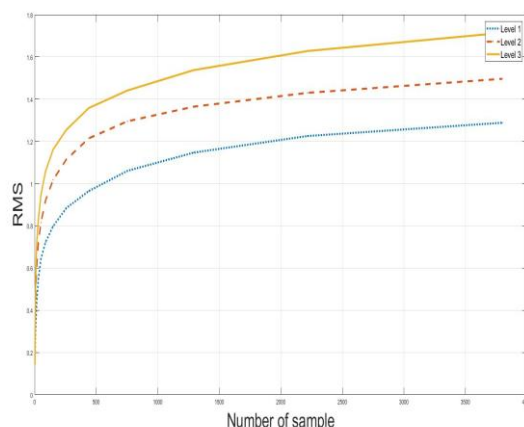
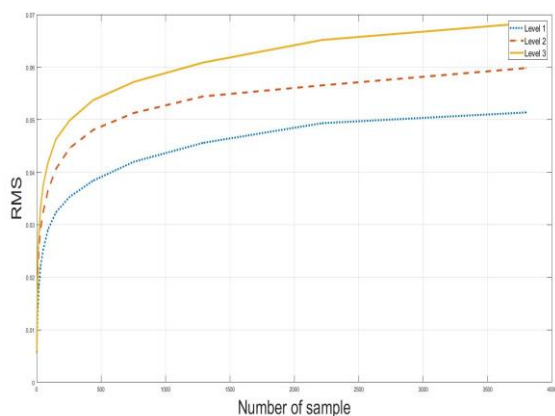


Рисунок 5 – СКО при wavelet-преобразовании Рисунок 6 – СКО при Фурье-преобразовании

СКО рассчитаны для трех уровней декомпозиции для всех элементов изображения и, как видно из рис. 5, 6 составляет незначительную величину даже для Фурье преобразования, что говорит о хорошем качестве воспроизведения яркостей и контраста восстановленного изображения [4].

В табл. 3 даны результаты расчета коэффициента сжатия CR (Compression Ratio) для двух типов преобразования и при разном числе уровней декомпозиции.

Таблица 3 – Сравнение преобразований по коэффициенту сжатия

Тип преобразования	PSNR	EPSNR	CR
Fourier	48,4	49,2	40
Wavelet	52,6	55,1	67

При моделировании была поставлена задача сравнить коэффициенты сжатия при примерно одинаковых отношениях сигнала к шуму. Из анализа табл. 1 и 2 можно сделать

вывод, что для качества изображения «отлично», соответствующее PSNR>48 дБ допустимо для Wavelet-преобразования сжимать изображение вплоть до 6 уровня декомпозиции, что позволит получить коэффициент сжатия 67. Для Фурье-преобразования уже для кластеров размера 256x256 после декомпозиции качество изображения приближается к хорошему, а коэффициент сжатия составляет 49 раз, что выше, чем при стандартном ДКП при поблочном кодировании без анализа содержания высокочастотных и низкочастотных составляющих в изображении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Значения параметров для систем ТСВЧ для производства программ и международного обмена ими. Рекомендация МСЭ-R BT2020-2 // ITU-R. – 2015. – 6 с.
2. Патлаенко Н.А. Предфильтрация ТВ изображений высокой четкости / Н.А. Патлаенко, Е.В. Ошаровская // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова – 2016. – № 2. – С. 144–152.
3. Ошаровская Е.В. Устранение эффекта Гиббса при обработке изображений / Е.В. Ошаровская, Н.А. Патлаенко // Актуальні проблеми автоматички та приладобудування, 08-09 грудня 2016 р.: тези доп. – Х., 2016. – С. 23–24.
4. Gofaizen Oleg Test Signals for Assessment Image Quality in HD and UHD TV Video Path // Oleg Gofaizen, Olena Osharovska, Mikola Patlaenko, Volodimir Pyliavskiy // 2016 Conference Program. Book of Abstracts September 5-11, 2016; тези доп. – Odessa, IEEE Kharkiv Joint Chapter – 2016. – P. 26.

REFERENCES:

1. "Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange" Recommendation ITU-R BT.2020-2, October 2015, 6 p.
2. N.A. Patlaenko, O.V. Osharovska "Prefiltration TV High Definition Images".
3. O.V.Osharovska N.A. Patlaenko. Ustrannnie effecta Gibbsa pri obrabotke izobrajenij / E.B. Tezisy III vseukrainskoi naukovo-teknichnoi konferencii «Actualni problemy avtomatiki ta priladobuduvaniay» 08-09 grudnay 2016 r, – Skarkiv: NTU «CHPI», 2016. – P. 23-24.
4. Gofaizen Oleg Test Signals for Assessment Image Quality in HD and UHD TV Video Path // Oleg Gofaizen, Olena Osharovska, Mikola Patlaenko, Volodimir Pyliavskiy // 2016 Conference Program. Book of Abstracts September 5-11, 2016; тези доп. – Odessa, IEEE Kharkiv Joint Chapter – 2016. – P. 26.