

ИССЛЕДОВАНИЕ БАНКОВ ФИЛЬТРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ЛИФТИНГ-СХЕМЫ ДЛЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

Батлук А.В., Чобану М.К.

Московский Энергетический Институт (Технический Университет)

Данная работа посвящена теме исследования разделимых и неразделимых банков фильтров, а также применению лифтинг-схемы для получения декомпозиции изображения.

Так как одной из важнейших предпосылок для качественного сжатия изображения является получение качественного разложения сигнала, то есть его декорреляция, то важно определить, какие банки фильтров наиболее применимы именно для задач сжатия изображений.

В данной работе проводится сравнительное исследование различных банков фильтров: разделимых, неразделимых и неразделимых банков фильтров, полученных при помощи лифтинг-схемы.

Лифтинг-схема – это относительно новый метод конструирования вейвлетов. Эта схема позволяет создавать вейвлеты во временной области, то есть вне зависимости от преобразования Фурье. Основное отличие таких вейвлетов - это то, что они уже не являются растяжениями и сдвигами одной функции и обладают рядом дополнительных свойств.

Важным вопросом является целесообразность применения этой схемы вместо классической, хорошо отлаженной схемы. Главной причиной является, конечно, возможность резко повысить скорость выполнения вейвлет-преобразования, что важно даже в условиях высокого быстродействия современных компьютеров. Следующей причиной является то, что лифтинг-схема позволяет выполнять так называемый in-place расчет вейвлет-преобразования, то есть не требуется дополнительной памяти, а исходное изображение может быть заменено в памяти его собственным вейвлет-преобразованием. Еще одной причиной является простота получения обратного вейвлет-преобразования с помощью лифтинг-схемы [1].

Основная идея лифтинг схемы очень проста. Лифтинг-преобразование включает в себя три этапа: разделение (split), предсказание (predict) и обновление (update). В качестве «разделителя» используется простейший вейвлет Lazy («ленивый»), который собственно ничего не делает (отсюда название), кроме того, что разделяет входную последовательность на четные и нечетные отсчеты. А далее лифтинг-схема постепенно этап за этапом приводит нас к новому вейвлету с улучшенными характеристиками.

Для успешного кодирования изображения необходимо получить качественное разложение сигнала. В случае использования для кодирования иерархических алгоритмов, требуется, чтобы в субполосах последних уровней разложения содержалось как можно больше энергии сигнала, тогда для кодирования этого изображения потребуется меньшее число бит.

Поэтому требуется найти банк фильтров, который обеспечивал бы наилучшую декорреляцию исходного изображения и для его последующего точного восстановления из субполос.

Исследования проводились с использованием разделимых фильтров (62), неразделимых фильтров Бернштейна (6), а также 4 фильтров Невайла [2] (неразделимые фильтры) с использованием лифтинг-схемы.

Для исследования разделимых и неразделимых банков фильтров были использованы программы FilterBank и NonSeparable, написанные группой SignalLand Research Team в среде MATLAB. Для реализации разложения с использованием лифтинг-схемы была написана программа в среде MATLAB, с такими же входными параметрами, как и у двух вышеназванных программ.

Суть исследования сводилась к тому, чтобы производить сжатие различных изображений при помощи алгоритма SPIHT с использованием различных банков фильтров и с различным уровнем потерь - числом бит на пиксел (битрейтом).

При анализе результатов было поставлено несколько целей: во-первых, надо было из всего многообразия выбрать несколько лучших фильтров в каждом классе (разделимые, неразделимые, фильтры Невайла) и сравнить их между собой; во-вторых, требовалось установить существуют ли какие-либо зависимости между параметрами сжатия, например, какие изображения сжимаются с лучшим качеством большие или маленькие, цветные или черно-белые; или же на каких битрейтах какие фильтры себя лучше проявили и т.п.; и, в-третьих, было интересно сравнить результаты, полученные с помощью нашего кодера и кодера использующего алгоритм JPEG2000.

При анализе полученных при сжатии изображений результатов использовалось несколько критериев:

1. Объективные критерии:
 - a. PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) – максимальное отношение сигнал-шум
 - b. MSE (Mean Square Error) – среднеквадратическая ошибка

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N [a_i - b_i]^2}{N}$$

a – исходное изображение, b – сжатое изображение, N – число пикселей в изображении

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad PSNR = 20 \cdot \log_{10} \frac{255}{RMSE}$$

2. Субъективный критерий: группой людей оценивался внешний вид сжатого изображения и ему выставлялась относительная оценка.

3. Критерий времени (или количество операций необходимых для свертки с фильтром): для декомпозиции и последующего восстановления изображений для различных фильтров требуется различное время.

После сжатия результаты сортировались в порядке убывания значения PSNR, и для контроля первая десятка лучших фильтров проверялась с использованием субъективного критерия. Следует отметить, что где-то в 10% случаев результаты, полученные при сортировке PSNR'ов были скорректированы после визуальной оценки сжатого изображения. По результатам сортировки и после анализа всех использованных изображений было выбрано несколько лучших фильтров, которые устойчиво находились в первой десятке вне зависимости от типа сжимаемого изображения.

Но на этом этапе выяснилось, что разделимые фильтры, занимающие 1 и 20 место в общей классификации, отличаются друг от друга по PSNR где-то на 0,5-1 дБ в зависимости от исходного изображения. Такая разница практически неразличима глазом и, следовательно, все фильтры находящиеся в этом интервале различия PSNR'ов могут быть равноправно использованы при сжатии и дадут примерно одни и те же результаты. Следовательно требуется выбрать некоторый набор лучших фильтров, которые будут более менее унифицированными и будут подходить для различных типов сжимаемых изображений.

Поэтому для того, чтобы выбрать группу таких фильтров, мы применяем третий критерий – критерий времени. То есть среди лучших мы теперь выберем самые быстрые фильтры – фильтры с наименьшим общим временем разложения и восстановления. Так как время, за которое осуществляется разложение и восстановление, в принципе не зависит от содержания изображения, то достаточно взять достаточно большое изображение или несколько изображений, произвести из разложение и последующее восстановление без использования сжатия и далее просто сравнить полученные общие времена, требующиеся для разложения и восстановления.

После этого было выбрано несколько фильтров дающих максимальные PSNR по сравнению с другими фильтрами, а также несколько фильтров, имеющих минимальные времена разложения и восстановления. И далее с учетом предыдущих результатов в каждом классе фильтров были выбраны несколько оптимальных фильтров, то есть фильтров дающих приемлемое качество и работающих за приемлемое время.

В конечном итоге было проведено сравнение лучших фильтров среди разделимых, с неразделимыми фильтрами и фильтрами Невайла и сделаны соответствующие выводы.

Вначале приведем данные исследований с использованием для оценки результатов критерия max PSNR и субъективного критерия (визуальная оценка сжатого изображения).

Итак, здесь представлены уже усредненные результаты. Дело в том, что при сжатии разных изображений одни и те же фильтры занимали разные места – то есть где-то этот фильтр был лучшим, а где-то мог не попасть и в пятерку. Поэтому анализ статистики производился по всему множеству изображений, и эти результаты отражают средние показатели.

В Таблице 1 – приведен характерный пример, результат сжатия в 240 и в 24 раза цветного изображения размером 512x512 bridge512C.bmp::

Таблица 1

Сжатие в 24 раза											
Фильтр	2sym5	2sym9	2bior6.8	K5.N3	2bior4.4	K55.N33	2rbio1.5	2coif5	2bior2.4	2coif4	2sym6
PSNR, дБ	25,24	25,16	25,15	25,14	25,13	25,08	25,07	25,04	25,03	25,03	25,01
Сжатие в 240 раз											
Фильтр	2bior4.4	2bior6.8	2sym9	2sym7	2sym6	2sym5	2sym10	2coif3	2coif5	2rbio1.3	2coif4
PSNR, дБ	34,5419	34,5382	34,3647	34,309	34,3048	34,2894	34,28	34,27	34,25	34,24	34,24

Важно, что отличия в результатах между 1 и 12 местом очень незначительны – в среднем от 0,3 до 0,7 дБ в зависимости от использованного изображения. Поэтому в данном случае на первое место выходит критерий времени, то есть теперь покажем какие из фильтров, показавших неплохие результаты по PSNR, имеют наименьшее суммарное время разложения и восстановления (число операций при свертке).

В случае неразделимых фильтров и фильтров Невайла мы исследовали только динамику изменения PSNR в зависимости от изменения порядка фильтра для какого-нибудь одного битрейта и изображения, так как понятно, что чем выше порядок у фильтра, тем лучше он аппроксимирует исходное изображение и тем лучше он покажет результат. Аналогично мы поступили и с результатами по времени разложения и восстановления, потому что с увеличением порядка фильтра естественно увеличивается и его размер, а значит и общее время, затрачиваемое на разложение и восстановление исходного сигнала. Динамика изменения у этих показателей одинакова, в независимости от используемого для сжатия изображения и задаваемого битрейта.

В случае с фильтрами Невайла наблюдается такая же ситуация как и с неразделимыми фильтрами Бернштейна – увеличение порядка фильтров не ведет к существенному увеличению PSNR (особенно на

малых битрейтах), поэтому целесообразнее всего из этих фильтров использовать фильтр Невайла 4-го порядка Neville4.

Приведем теперь результаты сжатия изображения с использованием фильтров 2bior6.8, 2bern2_4_4_2 и Neville 4. В следующей Таблице 2 представлены сводные результаты для одного и того же битрейта (=0,5) и одного и того же ч/б изображения 512x512 flower512B.bmp. Для других изображений и битрейтов относительное положение фильтров в таблице не меняется. В таблицу включены данные по полученному в результате сжатия качеству (PSNR) и по времени затраченному на разложение и восстановление.

Таблица 2

Фильтр	PSNR, дБ	Время, сек
2bior6.8	34,6347	3,141
2bern2_4_4_2	32,91	21,05
Neville4	33,7609	15,56

Итак, исходя из данных Таблицы 2, мы видим, что разделимые фильтры остаются пока вне конкуренции, особенно по показателю общего времени затрачиваемого на разложение и восстановление. Но в то же время мы видим, что результаты, достигнутые с применением лифтинг-схемы, не могут не радовать. По сравнению с такими же неразделимыми фильтрами Бернштейна в среднем выигрыш составляет более 3 дБ по качеству полученного сжатого изображения, а также почти в 1,5 раза по общему времени разложения и восстановления. Поэтому опыт по применению лифтинг-схемы для неразделимой фильтрации можно считать удачным. На Рис.1 изображение flower512B.bmp сжато с использованием фильтров 2bior6.8, 2bern2_4_4_2 и Neville4 с одним и тем же битрейтом (=0,5). По сравнению с такими же неразделимыми фильтрами Бернштейна в среднем выигрыш составляет более 3 дБ по качеству полученного сжатого изображения, а также почти в 1,5 раза по общему времени разложения и восстановления. Поэтому опыт по применению лифтинг-схемы для неразделимой фильтрации можно считать удачным. По сравнению с такими же неразделимыми фильтрами Бернштейна в среднем выигрыш составляет более 3 дБ по качеству полученного сжатого изображения, а также почти в 1,5 раза по общему времени разложения и восстановления. Поэтому опыт по применению лифтинг-схемы для неразделимой фильтрации можно считать удачным.



(a) PSNR=34,6347



(б) PSNR=32,91



(в) PSNR=33,7609

Рис. 5. Изображение flower512B.bmp ,
Сжатие в 16 раз: 2bior6.8 (а), 2bern2_4_4_2 (б), Neville4 (в)

Что же касается сравнения нашего кодера с кодером JPEG2000 (сравнение проводилось при использовании разделимых фильтров), то были получены довольно интересные результаты. Показатели PSNR оказались примерно равны ($\pm 0,5$ дБ) почти для всех исследованных изображений, но дело в том, что зачастую изображения сжатые с помощью нашего кодера выглядели немного лучше, хотя и имели меньший PSNR. Это происходило из-за того, что изображения сжатые JPEG2000 выглядели слишком смазанными, особенно на малых битрейтах, в то время как наш кодер сохранял еще кое-какие детали изображения.

Итак, по итогам проделанной работы можно сделать вывод, что применение лифтинг-схемы для неразделимой фильтрации оказалось вполне оправданным, так как она показала гораздо более хорошие результаты по сравнению с традиционными неразделимыми фильтрами Бернштейна, как по качеству сжатых изображений, так и по общему времени, затраченному на разложение и восстановление изображения.

Литература

1. W. Sweldens, "The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets," Appl. Comput. Harmon. Anal., vol. 3, no. 2, pp. 186–200, 1996.
2. Jelena Kovacevic and Wim Sweldens, "Wavelet Families of Increasing Order in Arbitrary Dimensions", in IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 9, No. 3, March 2000
3. P.M. de Zeeuw. "A Toolbox for The Lifting Scheme on Quincunx Grids". Report PNA-R0224, December, 2002

