

Применение методов префильтрации видео для увеличения степени сжатия на потоках 600-1000 Кбит/с

Дмитрий Ватолин dmitriv@graphics.cs.msu.ru

Московский Государственный Университет
Москва, Россия

Аннотация

Фильтрация видеопотока, осуществляемая перед сжатием является одним из ключевых методов повышения степени сжатия, при том же визуальном качестве изображения. Одной из основных проблем являются достаточно скромные результаты для простых фильтров, в то время как сложные фильтры требуют существенных временных затрат, неприемлемых сегодня для среднего персонального компьютера.

В данной статье рассматривается несколько методов префильтрации видео, основанных на DCT, LOT (Lapped Transform), LBT (Lapped Biorthogonal Transform), HLBT (Hierarchical Lapped Biorthogonal Transform), преобразовании Адамара, Wiener фильтрации и другие. Для этих фильтров рассматриваются их варианты с различными видами наложения (Lapped, Cross Border), построение адаптивных вариантов фильтров. Всего в процессе отбора было протестировано более 30 фильтров.

Рассматриваются качественные и количественные результаты применения разных фильтров для повышения степени сжатия видео. Для измерения качества работы фильтров использовались как визуальные оценки, так и замеры PSNR на наборе тестовых видеопоследовательностей.

Ключевые слова: префильтрация, сжатие видео, ДКП, преобразование Адамара, DCT, LOT, LBT, HLBT, Wiener filter.

1. ВВЕДЕНИЕ

Теория адаптивной фильтрации сигналов известна и исследована достаточно давно [1], однако из-за больших вычислительных ресурсов, необходимых для обработки видео, реальное применение в видеокомпрессорах, применяемых на ПК, она нашла только в последние годы.

Фактически, вне зависимости от того, на основе какого преобразования строится видеокомпрессор, в результате его работы при потоках в 600-1000 Кбит/с значительно понижается высокочастотная составляющая изображения. Большая доля высоких частот в изображении может быть вызвана как шумами (и во временной области, и в пространственной), так и особенностями самого изображения. Методы шумоподавления, например, при получении видео с камеры, хорошо известны [2] и в этой статье не рассматриваются. Мы будем рассматривать более сложный второй случай, когда наличие высоких частот вызвано

особенностями самого изображения, например, цифровой видеофильм с идеальным качеством, с большим количеством контрастных деталей.

Распространенные целевые применения такого рода фильтров — повышение степени сжатия видеофильмов, записываемых на CD-ROM или предназначенных для размещения в Интернет. Характерно, что для разных видеокомпрессоров, многие фильтры дают качественно близкий результат, однако вопросы настройки набора фильтров под конкретный видеокомпрессор в данной статье не рассматриваются.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ

Рассмотренные методы префильтрации можно разделить на три группы:

- *Статические:* изменение значения точки изображения базируется на вероятностных характеристиках изображения или гистограммах: Weiner [3], Gamma, LevelClip.
- *Пространственные:* изменение значения пикселя основывается на локальных пространственных преобразованиях: Gaussian24, Gaussian.
- *Частотные:* изменение значения пикселя основывается на локальных пространственных преобразованиях: группы LOT-based, группа DCT-based и группа Адамар-based.

Теоретически правильная последовательность применения фильтров: *Исходный кадр >> Частотный >> Пространственный >> Статический >> Видеокомпрессор*. От этой последовательности иногда приходится отклоняться из-за жестких ограничений на время сжатия [5].

Наилучшие результаты на практике можно получить, лишь адаптивно изменяя параметры фильтра в зависимости от текущих установок качества кадра, характера локальной области кадра и т.п. Именно поэтому реально применяются адаптивные варианты [1,3,6] соответствующих фильтров.

Перечислим факторы, определяющие результаты префильтрации:

- 1) Последовательность применения фильтров.
- 2) Параметр (реже — несколько параметров), управляющие степенью изменений, вносимых каждым из фильтров. Например, первый фильтр иногда выгодно настроить на более сильные изменения, второй — на более слабые и т.д.

- 3) Функционал, определяющий зависимость параметров фильтров от задаваемой степени сжатия. Очевидно, что при экстремально высоком качестве влияние фильтров должно быть минимальным, а при низком качестве — максимальным. Вид функционала зависит от внутренних настроек конкретного видеокомпрессора.
- 4) Функционал, определяющий зависимость параметров фильтров от особенностей области изображения (пространственная адаптивность).
- 5) Способ применения фильтра к изображению. В последнее время стали популярны так называемые Lapped преобразования [7]. Также были предложены и опробованы Cross Lapped и Cross Border Lapped варианты наложения фильтров. Их отличие от обычного Lapped варианта в том, что при восстановлении изображения после обратного преобразования происходила линейная интерполяция перекрывающихся участков блоков. При этом в варианте Cross Lapped фильтр накладывался через 4 точки, а в варианте Cross Border Lapped — через 6 точек (т.е. перекрывались только 2 точки краев блока).

Задача выбора субоптимального фильтра сводится к максимизации соотношения увеличения степени сжатия к падению PSNR на пространстве исходных параметров. При этом также необходимо визуально оценивать изображение на предмет появления артефактов или (что в данном случае встречается чаще) на предмет удаления фильтром критичных с точки зрения визуального качества элементов изображения (снег, мелкие узоры и т.п.).

Фильтр Gaussian, общий вариант которого описан в [10, 11], основан на адаптивном Гауссовском ядре и зависит от стандартной дисперсии блока. Использовался вариант фильтра, при котором его апертурой (областью применения, на которых подсчитывалась дисперсия) служили 9 точек и 24 точки. Фильтр Wiener использовался в своем базовом виде [3, 8], менялась также лишь апертура фильтра. Фильтрация Адамара [9] применялась к блоку 8x8 аналогично DCT, LOT и LBT и HLBT [7], т.е. с изменением алгоритма наложения отфильтрованных блоков (Lapped, Border, Cross Border).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Основная задача состояла в том, чтобы получить изображения, визуально равного качества, при повышении степени сжатия. Т.е. на лучших наборах фильтров разница, особенно без увеличения, не видна. Ниже приводится фрагмент кадра, на котором результат применения префильтрации виден хорошо.

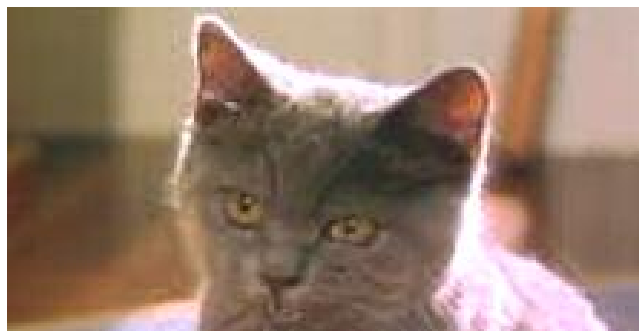


Рисунок 1. Фрагмент кадра из фильма «Коты и собаки» без префильтрации

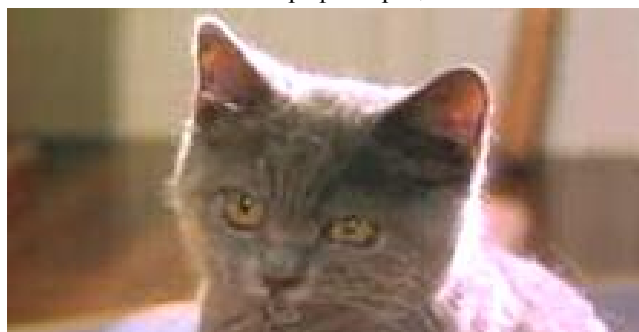


Рисунок 2. Фрагмент того же кадра, для фильма сжатого с префильтрацией (Gaussian)

Необходимо понимать, что улучшение изображения (на морде кота) — это не результат применения фильтра к этой области, а следствие применения фильтра к остальному довольно ровному изображению (сжатому после префильтрации более «экономно»).

Неожиданной была высокая эффективность фильтров на основе DCT. Изначально предполагалось, что будет происходить накопление искажений спектра (увеличение ringing эффектов), даже несмотря на то, что в видеокомпрессоре DCT применяется к межкадровой разнице, а префильтрация оперирует с исходным потоком кадров. Однако на практике такого эффекта удалось избежать. Ниже приведен пример результатов сравнения по PSNR конвейера фильтров и применения фильтров без полного наложения. Здесь и далее использовался рекламный ролик (trailer) фильма “Miss Congeniality”, содержащий большое количество быстро меняющихся сцен разного характера.

Фильтр	PSNR
Cross Border Lapped Adapted DCT + Gaussian24	36.023097
Cross Border Lapped Adapted DCT	35.994660
Cross Lapped Adapted DCT	35.915631
Cross Border Lapped Adapted Hadamard Transform	35.823695
Lapped Adapted Hadamard Transform	35.816484

Замеры проводились для разных параметров фильтров, разных функционалов управления фильтрами, разных последовательностей фильтров, разных способом применения фильтра к изображению. Соответственно, построено большое количество графиков. Объем этой статьи не позволяет привести их все, и ниже отобраны наиболее показательные. Все замеры проводились в quality-based варианте алгоритма сжатия.

Ниже приведены графики отношения нового PSNR к PSNR исходного фильма (без фильтрации), и отношения нового размера файла к исходному, при изменении адаптивного параметра степени фильтрации. Если применялось несколько фильтров, то указывается их последовательность. Для случая нескольких фильтров как var помечался фильтр, параметр которого менялся.

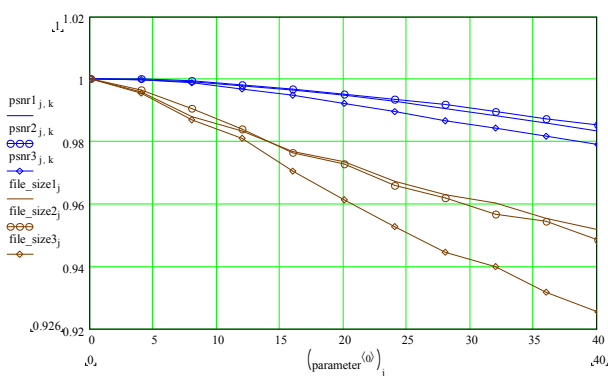


Рисунок 3. 1 – Border Lapped Adaptive Hadamard 2 – Lapped Adaptive Hadamard, 3 – Cross Border Lapped Adaptive DCT

Приведенный на рисунке 3 график хорошо иллюстрирует некоторое преимущество DCT фильтров над аналогичными, основанными на преобразовании Адамара. В целом при уменьшении PSNR на 2% наблюдается уменьшение размера файла на 7.5%. Как уже говорилось, основное преимущество фильтрации заключается в том, что прирост сжатия осуществляется за счет сравнительно гладких участков, т.е. визуально при таком падении PSNR даже при увеличении изображения воспринимаются практически одинаковыми.

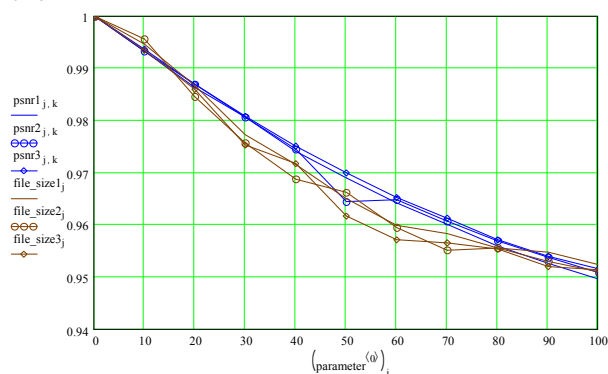


Рисунок 4. 1-ый фильтр HLBT(var) 1 – 2-ой фильтр Wiener 5, 2 – 2-ой фильтр Wiener 10, 3 – 2-ой фильтр Wiener 20

Применение Wiener-фильтра с HLBT, как видим, дает слишком большое падение PSNR.

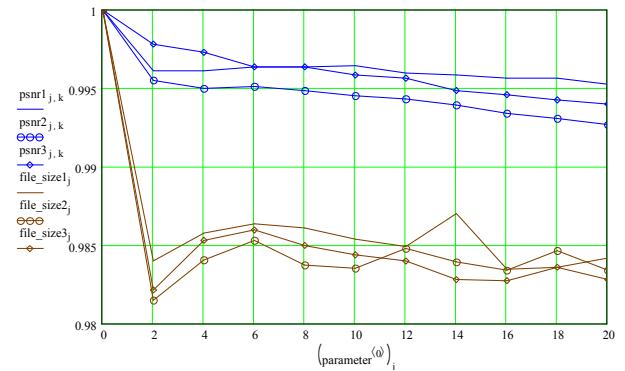


Рисунок 5. 2-ой фильтр Wiener, 1 – 1-ый фильтр HLBT 100, 2 – 1-ый фильтр HLBT 20, 3 – 1-ый фильтр NULL

В то же время, применение того же Wiener-фильтра с HLBT при малых значениях параметра дает прирост практически в 2% при весьма незначительном падении PSNR. Однако, такая фильтрация актуальна лишь для высокого качества (низких степеней сжатия).

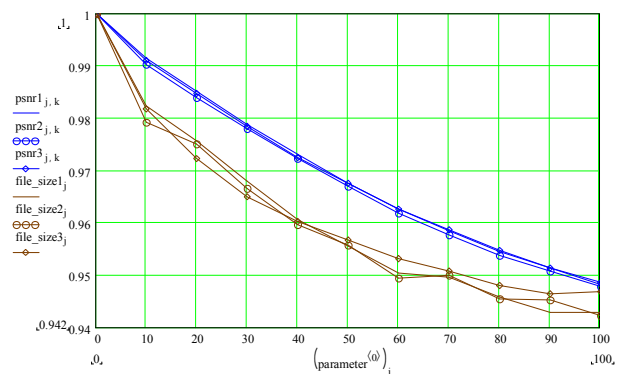


Рисунок 6. 1-ый HLBT(var), 1 – 2-ой фильтр Gaussian 5, 2 – 2-ой фильтр Gaussian 10, 3 – 2-ой фильтр Gaussian 20

Применение HLBT в паре с Gaussian-фильтром показывает не лучшие результаты.

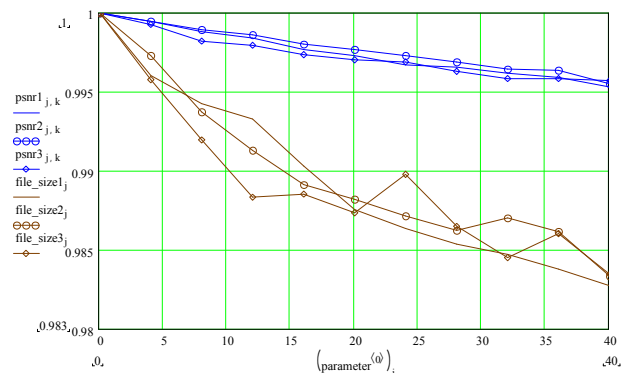


Рисунок 7. 1-й фильтр Cross Border Lapped Adaptive DCT, 2-й фильтр – Gaussian24(var), 1 – DCT-20, 2 – DCT-40, 3 – DCT-60

Параметр фильтра зависит от дисперсии блока и потому размер меняется недостаточно плавно.

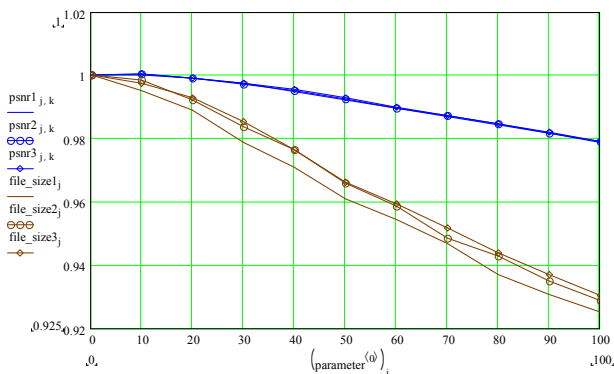


Рисунок 8. 1-й фильтр – Cross Border Lapped Adaptive DCT, 2-й фильтр Gaussian24 (var). 1 Gaussian24-5, 2 – Gaussian24-10, 3 – Gaussian24-20

Применение же того же Gaussian фильтра с DCT при малых значениях параметров дает даже небольшой прирост PSNR при уменьшении размера файла. Наилучшие результаты дает слабое адаптивное размывание после применения адаптивного фильтра на основе DCT.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение префильтрации позволяет на потоках 600-1000 Кбит/с до 7% увеличить степень сжатия фильма при равном визуальном качестве и незначительной (вызванной подавлением шумов и мелких деталей) потерей по PSNR.

При использовании системы субоптимального управления параметрами фильтра, преобразований с перекрытием и адаптивности разные фильтры начинают показывать качественно близкие, неплохие результаты. При этом эффективность фильтра будет зависеть от требований конкретной задачи, которые, как правило, сводятся к следующим пунктам:

1. Скорость работы фильтра;
2. Качество работы при слабом сжатии;
3. Качество работы при сильном сжатии.

Если время сжатия не критично, то наилучшие результаты показывают Lapped Adapted Cross Border DCT и Lapped Adapted Cross Border Hadamard Transform.

Дальнейшее улучшение результатов возможно с использованием третьего измерения — фильтрации во временной области. При этом PSNR мера становится менее адекватной для оценки изменяющегося визуального качества изображения.

5. БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает свою признательность Александру Жиркову за ценные идеи, способствовавшие улучшению результатов этой работы, а также Константину Смирнову, проделавшему многие тысячи замеров и поставившему сам процесс проведения замеров на поток.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Haikin. *Adaptive Filter Theory*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, second edition, 1991
- [2] Riccardo Bernardini and Guido M. Cortelazzo *A Post-Processing Technique for Noise Removal of Range Data* IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology, Vol. 10, No. 2, March 2000 201
- [3] A.C. Kokaram, *3D Wiener Filtering for Noise Suppression in Motion Picture Sequences using Overlapped Processing*, Signal Processing VII, Vol3, pp 1780-1783, 1994.
- [4] Y. Xinxing and J. Licheng, *Adaptive Multiwavelet Prefilter*, Electronics Letters, vol. 35, pp. 11-13, 1999.
- [5] I. Kim, Y. Jeong, and K. T. Park, *The block-based preprocessing system for the coding performance improvement*, IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 44, pp. 1048–1053, Aug. 1998.
- [6] L. Lentola, G. M. Cortelazzo, E. Malavasi, and A. Baschiroto, *Design of SC Filters for Video Applications*, IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology, Vol. 10, No. 1, February 2000
- [7] H. S. Malvar, *Signal Processing with Lapped Transforms*, Artech House, 1992.
- [8] Elliott, D.F., and Rao, K.R. *Fast Transforms: Algorithms, Analyses, Applications*, New York: Academic Press, 1982.
- [9] A. Hedayat and W. D. Wallis, *Hadamard matrices and their applications*, Ann. Stat., 6 (1978), 1184-1238.
- [10] P.V. Karunaratne, C.A. Segall and A.K. Katsaggelos, *Rate Distortion Optimal Pre-Processing Algorithm*, Proc. 2001 IEEE International Conference on Image Processing, Thessaloniki, Greece, October 7-11, 2001.
- [11] C. A. Segall and A. K. Katsaggelos, *Pre- and Post-Processing Algorithms for Compressed Video Enhancement*, Proc. of the Asilomar Conference on Systems, Signals and Computer, Pacific Grove, CA, Oct.29-Nov.1, 2000.

Об авторе

Дмитрий Ватолин — к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории компьютерной графики ВмиК МГУ. Организатор и один из авторов книги "Методы сжа-

тия данных" (Диалог-МИФИ, 2002). Основатель сервера «Все о сжатии» <http://compression.graphicon.ru/>

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.su