

УДК 621.391

Локально-адаптивная фильтрация зашумленных изображений на основе дискретного косинусного преобразования в среде MATLAB

05, май 2012

Черный С.А.

Студент,

кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Научный руководитель: Ахияров В.В.,

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Многие отрасли техники, связанные с получением, обработкой, хранением и передачей информации, в настоящее время ориентируются на развитие систем, в которых информация имеет визуальный характер. Изображение, которое можно рассматривать как двумерный сигнал, является значительно более емким носителем информации, чем обычный одномерный (временной) сигнал. Восстановление изображений, искаженных шумами, является одной из наиболее важных и часто встречающихся на практике задач цифровой обработки изображений. Модель процесса искажения предполагает действие некоторого искажающего оператора H и аддитивного шума $\eta(x, y)$ на исходное изображение $f(x, y)$, результатом чего является искаженное изображение $g(x, y)$. Задача восстановления состоит в построении некоторого приближения исходного изображения $\hat{f}(x, y)$ по заданному (искаженному) изображению, с использованием информации об искажающем операторе H и аддитивном шуме $\eta(x, y)$.

Удобной моделью для исследования методов восстановления зашумленных изображений является аддитивное добавление белого гауссовского шума $\eta(x, y)$ к исходному изображению:

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y).$$

Множество подходов к восстановлению изображений распадается на две большие категории: обработка в пространственной или частотной области. Термин пространственная область относится к плоскости изображения, и данная категория объединяет подходы, основанные на прямом манипулировании пикселями изображения. Наиболее универсальными и распространенными методами фильтрации изображений являются методы обработки в частотной области. Они основываются на модификации сигнала, формируемого путем применения к изображению различных ортогональных преобразований, в частности хорошо известного преобразования Фурье.

В данной работе, в качестве ортогонального преобразования предлагается использовать дискретное косинусное преобразование (ДКП), которое является вариантом

косинусного преобразования для вектора действительных чисел. Это преобразование тесно связано с дискретным преобразованием Фурье, но в отличие от него использует только действительные значения. ДКП функции эквивалентно ДПФ, вычисленному от функции, симметрично продолженной относительно исходной функции на количество отсчетов исходной функции (она становится в 2 раза длиннее), которое будет суммироваться только по действительным значениям. В итоге количество отсчетов ДКП будет равно количеству отсчетов исходной функции.

Двумерное дискретное косинусное преобразование матрицы A с размерами $M \times N$ реализуется следующим образом:

$$B_{pq} = \alpha_p \alpha_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N},$$

где $0 \leq p \leq M-1$ и $0 \leq q \leq N-1$,

$$\alpha_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & \text{если } p = 0, \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & \text{если } 1 \leq p \leq M-1, \end{cases} \quad \alpha_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & \text{если } q = 0, \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{если } 1 \leq q \leq N-1, \end{cases}$$

Значения B_{pq} являются коэффициентами дискретного косинусного преобразования матрицы A .

Обратное ДКП имеет следующий вид

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} \alpha_p \alpha_q B_{pq} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}$$

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} \alpha_p \alpha_q B_{pq} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N},$$

где $0 \leq m \leq M-1$ и $0 \leq n \leq N-1$.

Выражение обратного дискретного косинусного преобразования может интерпретироваться как представление матрицы A с размерами $M \times N$ в виде суммы базисных функций дискретного косинусного преобразования. Его коэффициенты B_{pq} можно рассматривать как весовые.

ДКП можно также вычислить, используя матрицу дискретных косинусных преобразований:

$$T_{pq} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & \text{если } p = 0, 0 \leq q \leq M-1 \\ \sqrt{\frac{2}{M}} \cos \frac{\pi(2q+1)p}{2M}, & \text{если } 1 \leq p \leq M-1, 0 \leq q \leq M-1, \end{cases}$$

Для матрицы A с размерами M на M , T^*A представляет собой матрицу с теми же размерами, где каждый столбец содержит одномерное дискретное косинусное преобразование A . Двумерное дискретное косинусное преобразование матрицы A вычисляется как $B = T^*A^*T'$. Обратное двумерное дискретное косинусное преобразование B вычисляется как T'^*B^*T . ($'$ – символ транспонирования).

Перед ДКП-фильтрацией изображение целесообразно разбить на отдельные квадратные блоки пикселей и выполнять преобразование в каждом из них. Это требуется для получения необходимой избирательности пороговой обработки по количеству спектральных и пространственных составляющих, входящих в блок. В частности,

используются блоки размером 8x8 пикселей, для которых алгоритмическая реализация имеет высокое быстродействие и обеспечивается необходимая избирательность.

Обобщенный алгоритм ДКП-фильтрации основывается на исходном предположении, что энергия сигнальной составляющей фрагмента (блока) изображения сосредоточена в небольшом количестве спектральных коэффициентов используемого ортогонального преобразования, имеющих с относительно большой вероятностью значения амплитуд, существенно превышающих по модулю значения остальных коэффициентов ортогонального преобразования. Это происходит потому, что ДКП имеет период $2 \cdot N$, где N – количество отсчетов сигнала, и, в отличие от ДПФ, не имеет разрывов на границах периодов, что позволяет ему избегать появления высокочастотных составляющих разрывов, а, следовательно, бороться с эффектом Гиббса и хранить основную часть энергии изображения в меньшем числе коэффициентов преобразования. В свою очередь, энергия шума «равномерно» распределяется между всеми пространственными частотами ортогонального преобразования. Предположение о «равномерности» справедливо при условии пространственной некоррелированности помех. Поэтому, если абсолютное значение данного коэффициента относительно мало (сравнимо со среднеквадратичным отклонением помехи σ), то этот коэффициент с большой вероятностью соответствует помехе.

Алгоритм ДКП-фильтрации включает следующие этапы:

- 1) выполнение прямого ДКП в каждом блоке;
- 2) сравнение полученных значений коэффициентов ДКП с порогом и присвоение нулевых значений тем спектральным коэффициентам, которые оказались ниже порога;
- 3) выполнение обратного ДКП с получением фильтрованных значений для всех пикселей данного блока;

Расположения блоков целесообразно выбирать таким образом, чтобы соседние блоки перекрывались. Полным называется перекрытие соседних блоков на половину своих измерений. Это делается для достижения более эффективного подавления помех и для уменьшения «блочного эффекта» (искажения изображений на границах блоков). Тогда в процедуре фильтрации необходима совместная обработка блоков полученных фильтрованных значений для каждого отсчета с учетом того, каким положениям блоков этот пиксель принадлежит. В качестве такой обработки используется усреднение значений яркостей пикселей.

При обычной ДКП-фильтрации порог устанавливается постоянным и равным $T = \beta \cdot \sigma$, если помеха является аддитивной и пространственно-некоррелированной, где σ – СКО шума, а β – настроечный коэффициент, найденный эмпирически и обычно принимаемый равным 2,6. Если σ априорно неизвестно, то используются методы его оценивания, например, находится значение разброса значений пикселей изображения на участке, который был участком однородной яркости на исходном изображении.

При локально-адаптивной ДКП-фильтрации значение порога для разных блоков и входящих в них пикселей разное. Оно варьируется изменением коэффициента β . Так, если пиксель принадлежит области равномерной яркости, то блок, в котором он лежит, должен быть отфильтрован с большим значением β . Если же он принадлежит участку резкого перепада яркости, то значение β для соответствующего блока следует уменьшить. Это делается для более эффективного удаления шума на областях равномерной яркости и меньшего искажения границ и мелких деталей на изображении.

Для обнаружения участков границ площадных объектов, мелких текстур и деталей вводятся показатели локальной активности. С помощью этих показателей пиксели изображения делятся на локально-активные и локально-пассивные. В данной работе в качестве такого показателя используются карты локальной активности, которые имеют значение 1 для локально-активных участков и 0 для локально-пассивных. Предварительно вычисляется локальная дисперсия σ_{loc}^2 для каждого пикселя I_{ij} в скользящем окне 5x5:

$$\sigma^2_{loc} = \frac{1}{25} \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} (I_{kl} - \bar{I})^2, \quad \text{где } \bar{I} = \frac{1}{25} \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} I_{kl}.$$

Зная значение глобальной дисперсии шума на изображении σ^2 можно найти отношение

$$rel = \frac{\sigma^2_{loc}}{\sigma^2}.$$

Далее это отношение, вычисленное для каждого пикселя, сравнивается с порогом T . Если $rel > T$, карте присваивается значение 1, если же $rel \leq T$, то 0. В данной работе используется значение $T=2$, так как установлено, что большинство однородных участков имеют $rel < 1,5$, и такое значение позволяет надежно разделить участки изображения на локально-активные и локально-пассивные.

Затем процедура ДКП-фильтрации проводится для двух разных значений β_1 и β_2 ($\beta_1 > \beta_2$), которые обычно принимаются симметричными относительно среднего значения 2,6. Итоговый результат фильтрации представляет собой совокупность локально-активных пикселей из отфильтрованного изображения с коэффициентом β_2 и локально-пассивных из отфильтрованного изображения с коэффициентом β_1 .

Пример работы локально-адаптивного ДКП-фильтра представлен на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1. Изображение, искаженное белым отфильтрованным локально-гауссовским шумом.



Рисунок 2. Изображение, адаптивным ДКП-фильтром.

Как видно, полученный фильтр показывает хорошие результаты фильтрации белого гауссовского шума. Кроме того, он дает весьма неплохие результаты при искажении изображения другими типами шума и может также использоваться в комбинации с другими фильтрами.

Алгоритм локально-адаптивной ДКП-фильтрации реализован в программной среде MATLAB. Он может быть оптимизирован и интегрирован в программные пакеты по цифровой обработке изображений и с успехом использоваться для восстановления изображений, искаженных шумом.

Литература

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Р. Гонсалес, Р. Вудс., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. Москва: Техносфера, 2006. – 616с.
3. А. Н. Рейда, к.т.н.; Ю. В. Олейник; А. А. Панчук; М. Л. Синенький. Методы улучшения цифрового изображения и восстановления его структуры. Наукові праці ВНТУ, 2010, № 4.

4. В.В. Лукин, Н.Н. Пономаренко, Д.В. Февралев. Исследование потенциальной эффективности фильтрации изображений на основе дискретного косинусного преобразования. - *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2009, № 4 (38)
5. С.С. Кривенко, Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин. Оценка эффективности фильтрации изображения на основе карт локальной активности.- *Системи обробки інформації*, 2008, выпуск 1(68).