

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИТЕРАЦИОННОЙ СХЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА

Дроздов М.А., Зимин Д.И.

Институт систем обработки изображений
Самарский государственный аэрокосмический университет

Постановка задачи

В работе [1] рассматривалась технология обработки больших изображений, в которой для восстановления изображений используются фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры). Основные этапы этой технологии – выбор на исходном изображении тестовых образцов для обучения алгоритмов обработки, обучение алгоритмов обработки изображения на тестовых фрагментах, обработка исходного искаженного изображения. Алгоритмы, реализующие указанные этапы технологии, описаны в работе [1]. Одной из проблем, возникающих на этапе обработки изображений, является обеспечение вычислительной устойчивости итерационной схемы реализации фильтра.

Существо проблемы состоит в следующем. Для записи итерационной вычислительной схемы передаточную функцию БИХ-фильтра

$$H(\omega_1, \omega_2) = \frac{A(\omega_1, \omega_2)}{B(\omega_1, \omega_2)} \quad (1)$$

представляют в виде:

$$H(\omega_1, \omega_2) = \frac{Y(\omega_1, \omega_2)}{X(\omega_1, \omega_2)} = \frac{A(\omega_1, \omega_2)}{1 - C(\omega_1, \omega_2)}, \quad (2)$$

где $C(\omega_1, \omega_2) = 1 - B(\omega_1, \omega_2)$ и с использованием соотношения (2) итерационную схему в частотной области записывают в виде [2]

$$Y_i(\omega_1, \omega_2) = A(\omega_1, \omega_2)X(\omega_1, \omega_2) + C(\omega_1, \omega_2)Y_{i-1}(\omega_1, \omega_2). \quad (3)$$

Существенным ограничением этой итерационной схемы, является существование устойчивых БИХ-фильтров, не удовлетворяющих условию сходимости: $|C(\omega_1, \omega_2)| < 1$.

Для обеспечения вычислительной устойчивости вводят дополнительный параметр λ :

$$H(\omega_1, \omega_2) = \frac{\lambda A(\omega_1, \omega_2)}{\lambda B(\omega_1, \omega_2)} \quad \text{и переопределяют}$$

$$C(\omega_1, \omega_2) \text{ в виде } C_\lambda(\omega_1, \omega_2) = 1 - \lambda B(\omega_1, \omega_2).$$

Тогда (3) переписывается в виде:

$$Y_i(\omega_1, \omega_2) = \lambda A(\omega_1, \omega_2)X(\omega_1, \omega_2) + C_\lambda(\omega_1, \omega_2)Y_{i-1}(\omega_1, \omega_2) \quad (4)$$

или в пространственной области

$$y(n_1, n_2) = \lambda a(n_1, n_2) ** x(n_1, n_2) + c_\lambda(n_1, n_2) ** y(n_1, n_2) \quad (5)$$

где $**$ – двумерная свертка.

Ясно, что теперь соответствующим выбором параметра λ всегда можно обеспечить выполнение ус-

ловия сходимости итерационной схемы. Однако параметр λ оказывает заметное влияние на качество фильтрации. Поэтому возникает задача определения наилучшего, в некотором смысле, значения этого параметра. При этом выбор должен осуществляться также с учетом обеспечения вычислительной эффективности алгоритма.

В настоящей работе рассматривается методика определения параметра λ , обеспечивающего устойчивость итерационной схемы реализации восстанавливающего БИХ-фильтра, важной особенностью которой является использование сформированных на начальном этапе технологии тестовых фрагментов. При этом достигается высокое качество восстановления без привлечения дополнительной априорной информации.

1. Критерий для определения параметра, обеспечивающего устойчивость

Значение параметра λ , при котором достигается наилучшее качество восстановления, будет зависеть от числа итераций. Неправильный выбор λ может привести либо к появлению артефактов, которые будут усиливаться при увеличении числа итераций, либо к недостаточному восстановлению изображения. Следовательно, необходимо осуществить выбор параметра λ таким образом, чтобы обеспечивалась минимальная ошибка восстановления изображения при заданном числе итераций.

В качестве тестовых для этой цели будем использовать фрагменты, у которых изменение функции яркости имеет вид ступенчатой функции с размытием вдоль средней линии фрагмента [1]. Каждый отобранный таким образом фрагмент подвергается компьютерному ретушированию так, как описано в работе [1], чтобы обеспечивалось требуемое качество изображения. Теперь поставим задачу нахождения параметра λ , при котором исходный искаженный фрагмент оказывается максимально «похожим» на желаемый отретушированный фрагмент.

Для этого введем в рассмотрение критерий вида:

$$F(\lambda) = \sum_i \sum_j |\hat{y}_{i,j}(\lambda) - y_{i,j}|, \quad (6)$$

где $\hat{y}_{i,j}(\lambda)$ – отсчеты восстановленного изображения с использованием алгоритма типа (5), а $y_{i,j}$ – отсчеты неискаженного изображения. Суммирование ведется по всем соответствующим отсчетам фрагментов изображений. Восстановлению подвергается тестовый фрагмент исходного изображения, при этом в качестве отсчетов неискаженного изображения должны браться те же отсчеты фрагмента, но уже после компьютерного ретуширования. Будем искать:

$$\lambda^* : F(\lambda^*) = \min_{\lambda \in \Lambda} F(\lambda),$$

где Λ – область допустимых значений параметра λ [2].

Для решения задачи (6) можно воспользоваться одним из известных способов нахождения экстремума. В данном случае, учитывая тот факт, что размеры фрагментов изображений невелики, а диапазон значений параметра, при которых обеспечивается устойчивость вычислительной схемы, ограничен, для выбора параметра λ можно осуществлять непосредственный расчет критерия (6) для указанного выше интервала значений λ .

2. Результаты исследования

Методика выбора параметра λ исследовалась для БИХ-фильтра с опорной областью 3×3 вида [3]

$$\begin{aligned} \hat{y}(m,n) = & (1 + \lambda(\hat{b}_0 - \hat{a}_0))x(m,n) + \\ & + \frac{\lambda}{4}(\hat{b}_0\hat{b}_1 - \hat{a}_0\hat{a}_1)[x(m,n-1) + x(m,n+1) + \\ & + x(m-1,n) + x(m+1,n)] + \frac{\lambda}{4}(\hat{b}_0\hat{b}_1 - \hat{a}_0\hat{a}_1) \times \\ & \times [x(m-1,n-1) + x(m-1,n+1) + \\ & + x(m+1,n-1) + x(m+1,n+1)], \end{aligned}$$

где $\hat{y}(m,n)$ – функция яркости восстановленного изображения, $x(m,n)$ – функция яркости исходного изображения.

Исследование проводилось на изображении с текстом (см. рис. 1), полученном путем моделирования размытия Гауссианом с радиусом 7.

Были отобраны информативные фрагменты (на рис. 1 выделены рамкой), и проведено их ретуширование.

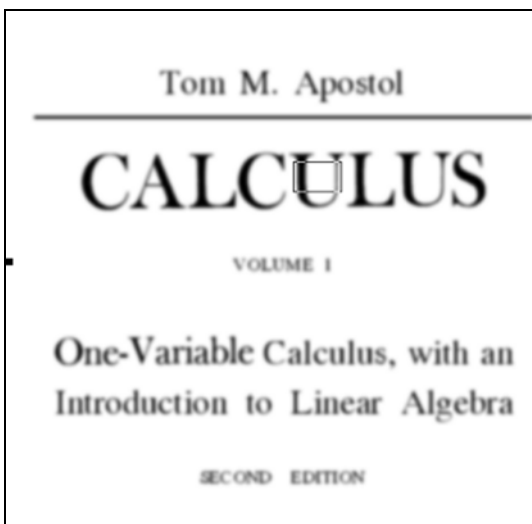


Рис. 1. Искаженное изображение

По указанным фрагментам решалась задача оценивания параметров БИХ-фильтра так, как это описано в работе [1]. Далее с использованием найденных параметров осуществлялась обработка исход-

ного фрагмента (рис. 2с) при различных значениях параметра λ . Затем для каждого λ вычислялись значения критерия (6) по отсчетам обработанного и отретушированного фрагментов.

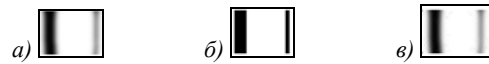


Рис. 2. Фрагменты искаженного (а), отретушированного (б), восстановленного (в) изображений

На рис. 3 приведены зависимости числовых значений критерия (6) от параметра λ для числа итераций 4 и 10. При дальнейшем увеличении числа итераций минимум смещается в сторону малых λ .

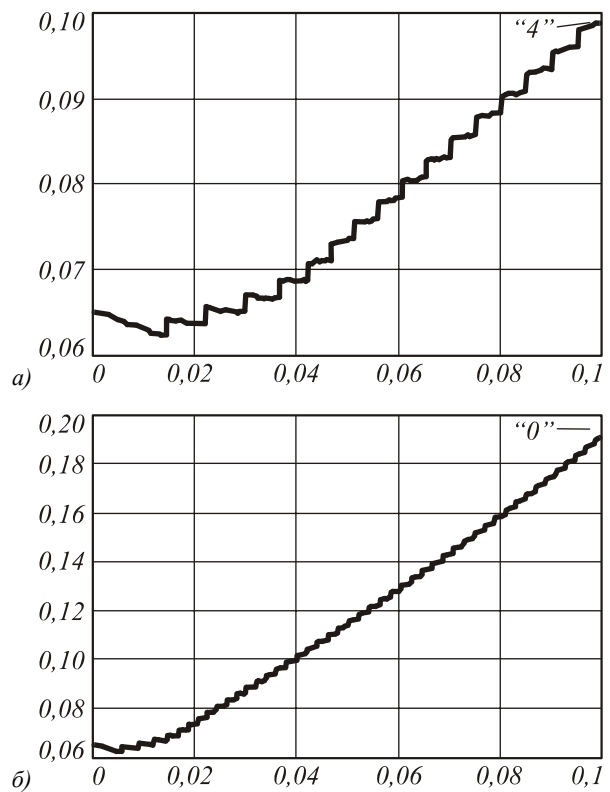


Рис. 3. Зависимость критерия от λ для 4 (а) и 10 (б) итераций

Отобрав множество точек, соответствующих минимальным значениям критерия при различном числе итераций, можно построить зависимость числа λ от числа итераций. Для фильтра указанного класса эта зависимость, полученная по экспериментальным данным, приведена на рис. 4.

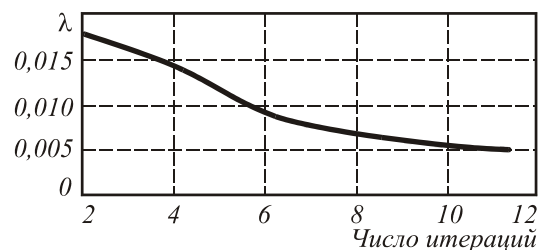


Рис. 4. Зависимость λ от числа итераций

Из графика видно, что при увеличении количества итераций значение параметра λ , доставляющее минимум критерию (6), убывает.

Как указывалось выше, выбор параметров алгоритма должен осуществляться также с учетом вычислительных затрат. Для обоснования решений, обеспечивающих компромисс между качеством восстановления и вычислительной сложностью, было проведено исследование зависимости критерия (6) при различных значениях параметра λ . На рис. 5. приведен характерный вид зависимости, полученной в данной работе при оптимальном, для каждого числа итераций, значении λ . Легко заметить, что, начиная с некоторого числа итераций N (в данном случае $N=4$), уменьшение ошибки восстановления незначительно и не оправдывает вычислительных затрат.

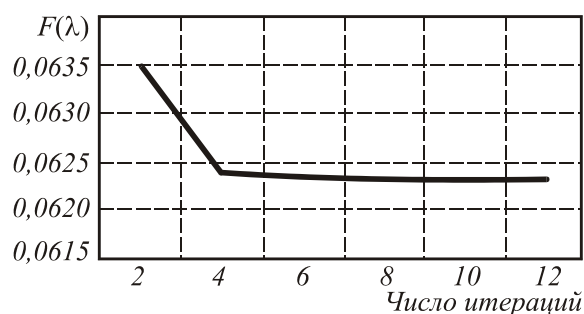


Рис. 5. Зависимость критерия ошибки от числа итераций

3. Пример реализации

Полученные выше зависимости позволяют решить задачу обоснованного выбора значений параметров, обеспечивающих устойчивость вычислительной схемы БИХ-фильтра, и при этом обеспечивается также компромисс между вычислительной сложностью и качеством восстановления изображения. В данном случае было принято $\lambda=0,0143$, а число итераций – 4. С использованием указанных значений была проведена обработка исходного изображения, показанного на рис. 1. Обработанное изображение показано на рис. 6.

Заключение

Ясно, что при выборе БИХ-фильтра другого порядка конкретные значения параметра λ и числа итераций будут отличаться от найденных.

Приведенная методика и пример реализации дают общую схему выбора указанных параметров, которая может быть применена для определения параметров итерационной схемы реализации БИХ-фильтра.

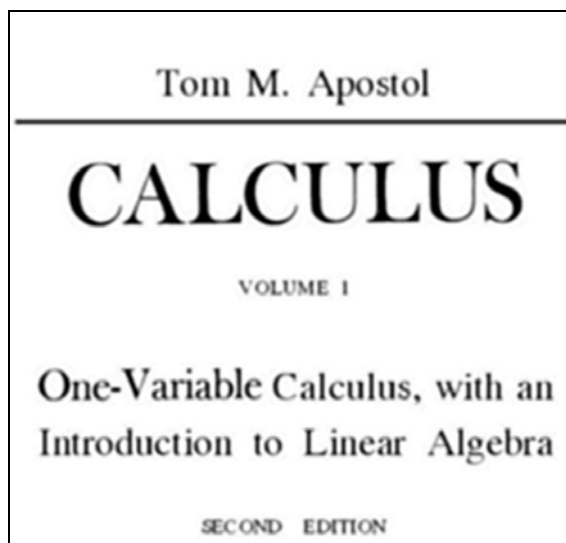


Рис. 6. Восстановленное изображение

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования РФ, Администрации Самарской области и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF Project SA-014-02) в рамках российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE) и РФФИ (гранты № 01-01-00097 № 03-01-00109).

Авторы выражают благодарность профессору Фурсову В.А. за конструктивное обсуждение при написании данной работы.

Литература

1. Попов С.Б., Соيفер В.А., Тараканов А.А., Фурсов В.А. Кластерная технология формирования и параллельной фильтрации больших изображений // Компьютерная оптика. 2002. № 23. С. 75-78.
2. Фурсов В.А. Идентификация моделей систем формирования изображений по малому числу наблюдений // Самара, 1998.
3. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. Соифера В.А.. М.; Физматлит, 2001.