

Коррекция дефокусировки с идентификацией модели типа БИХ-фильтра на неравномерной системе отсчетов

В.А. Фурсов^{1,2}, Т.В. Савченко²

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

Рассматривается технология многошаговой обработки изображений с целью устранения искажений типа дефокусировки. С использованием свойства центральной симметрии искажений двумерный фильтр сводится к одномерному с отсчетами на системе окружностей с различными радиусами. В произвольном направлении от центра опорной области формируется неравномерная последовательность отсчетов, принадлежащих этим окружностям. На неравномерной системе отсчетов строится модель типа БИХ-фильтра. Параметры модели определяются путем идентификации по прецедентам. Технология реализуется путем многократного повторения этапов идентификации и оценивания. На каждом следующем этапе идентификации восстановленное изображение, полученное на предыдущем этапе, используется в качестве искаженного. Приводятся результаты экспериментов, подтверждающие возможность достижения высокого качества.

Ключевые слова

Обработка изображений, дефокусировка, цифровой фильтр, идентификация

1. Введение

Проблема восстановления изображений с использованием линейных фильтров имеет большую историю [1], тем не менее, остается актуальной. Простейшим способом восстановления искаженных изображений является обработка инверсным фильтром [2]. Задача построения инверсного фильтра сводится к нахождению некоторого приближения к обратному оператору. Общепринятым является мнение, что инверсная фильтрация обладает низкой помехоустойчивостью. Однако этот недостаток преодолевается, если параметры фильтра определяются путем идентификации по искаженному и образцовому изображениям [3]. Поскольку искаженное изображение содержит шум, в результате идентификации подбираются наилучшие, в смысле заданного критерия, параметры фильтра с учетом реальных помех.

В рамках указанного идентификационного подхода ключевым является вопрос задания подходящей модели фильтра и определения параметров этой модели. Наиболее широко при решении задач коррекции искаженных изображений используются КИХ-фильтры. Однако качество восстановления при этом имеет предел, связанный с ограниченностью импульсного отклика [4]. В этом отношении более эффективными являются фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры). Однако при реализации двумерных БИХ-фильтров сталкиваются с проблемами устойчивости и физической реализуемости. В настоящей работе в предположении центральной симметрии искажений двумерный фильтр сводится к одномерному с отсчетами на системе окружностей с различными радиусами. На неравномерной системе отсчетов, принадлежащих этим окружностям, строится модель типа БИХ-фильтра. Параметры модели определяются путем идентификации по прецедентам. Технология реализуется путем многократного повторения этапов идентификации и оценивания. На каждом следующем этапе идентификации восстановленное изображение, полученное на предыдущем этапе, используется в качестве искаженного. Результаты экспериментов подтвердили высокое качество.

2. Описание технологии

Для простоты рассмотрим случай, когда размеры опорных областей на искаженном Y и эталонном X изображениях одинаковы и содержат по n окружностей с одинаковыми значениями импульсного отклика. Обозначим $r_i, i = \overline{1, n}$ радиусы этих окружностей. Модель восстанавливающего фильтра типа БИХ-фильтра представим в виде разностного уравнения

$$\hat{x}(r_0) = -\hat{\beta}_1 x(r_1) - \dots - \hat{\beta}_{n-1} x(r_{n-1}) - \hat{\beta}_n x(r_n) + \hat{\alpha}_0 y(r_0) + \hat{\alpha}_1 y(r_1) + \dots + \hat{\alpha}_{n-1} y(r_{n-1}) + \hat{\alpha}_n y(r_n). \quad (1)$$

Здесь $\hat{\beta}_i, i = \overline{1, n}, \hat{\alpha}_j, j = \overline{1, n}$ – оценки параметров фильтра, полученные в результате решения задачи идентификации по N наблюдениям (положениям) опорных областей:

$$\hat{\mathbf{c}} = [\mathbf{X}^T \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}, \quad (2)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1(r_1) \dots & \dots x_1(r_n) & y_1(r_0) \dots & \dots y_1(r_n) \\ x_2(r_1) \dots & \dots x_2(r_n) & y_2(r_0) \dots & \dots y_2(r_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N(r_1) \dots & \dots x_N(r_n) & y_N(r_0) \dots & \dots y_N(r_n) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{c} = [\hat{\beta}_1 \quad \hat{\beta}_2 \quad \dots \quad \hat{\beta}_{n-1} \quad \hat{\beta}_n \quad \hat{\alpha}_0 \quad \hat{\alpha}_1 \quad \dots \quad \hat{\alpha}_{n-1} \quad \hat{\alpha}_n]^T,$$

$$\mathbf{Y} = [x_1(r_0) \quad x_2(r_0) \quad \dots \quad \dots \quad x_{N-1}(r_0) \quad x_N(r_0)]^T,$$

где $x_j(r_i), i = \overline{0, n}, j = \overline{1, N}$ – средние значения отсчетов функции распределения яркости на соответствующих окружностях в окрестности центра опорной области.

Нетрудно заметить, что для вычисления центрального отсчета в опорной области восстанавливаемого изображения отсчета в соответствии с (1) необходимо знать отсчеты, которые еще не известны. В данном случае эта трудность преодолевается применением итерационной схемы, в которой для вычисления отсчетов на каждом шаге используются отсчеты восстановленного изображения, полученного на предыдущей итерации.

Технология в целом также является итерационной. На первом этапе решается задача идентификации (2). Затем с применением многошаговой схемы реализации разностного уравнения (1) определяется восстановленное изображение. Далее эти этапы повторяются. На каждом следующем этапе идентификации восстановленное изображение, полученное на предыдущем этапе, используется в качестве искаженного.

В докладе будут приведены результаты экспериментов, подтверждающие возможность достижения высокого качества.

3. Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект № 17-29-03112

4. Литература

- [1] Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. Кн.2. – М.: Мир, 1982. – 480 p.
- [2] Soifer, V.A. Computer Image Processing. Part II: Methods and algorithms (Chapter 10: Estimation by a small number of observations) / V.A. Soifer. – VDM Verlag, 2009. – 584 p.
- [3] Баврина, А.Ю. Метод параметрического оценивания оптико-электронного тракта / А.Ю. Баврина, В.В. Мясников, А.В. Сергеев // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 4. – С. 500-507.
- [4] Fursov, V. Two-step technology for improving details of images captured with mobile devices / V. Fursov, Y. Goshin // Proc. SPIE Twelfth International Conference on Machine Vision (ICMV). – 2019. – Vol. 11433. – P. 114332X. DOI: 10.1117/12.2557034.