

ИТЕРАЦИОННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Карнаухов А.В., Мерзляков Н.С., Милукова О.П.

Институт проблем передачи информации Российской академии наук
101447, ГСП-4, Россия, Москва, Большой Каретный пер. 19.
(avk@iitp.ru, nick@iitp.ru, milukova@iitp.ru)

Представлен итерационный подход к решению задачи восстановления искаженных цветных изображений. Описана разработанная многофункциональная модель системы искажения и восстановления, которая используется как основной инструмент для реализации описанных алгоритмов и сравнения результатов их применения.

Введение

Восстановление изображений часто определяется как процесс оценки исходного изображения по искаженному. Всякий раз, когда точное восстановление невозможно, задача восстановления становится задачей аппроксимации. Задача восстановления обычно формулируется следующим образом: необходимо найти исходное неискаженное изображение $z(x, y)$ из уравнения

$$Az + n = u(x, y) + n(x, y) = \tilde{u}(x, y), (x, y) \in W \quad (1)$$

где A - линейный оператор, $n(x, y)$ - шум, $\tilde{u}(x, y)$ - наблюдаемое искаженное изображение, $u \in U$, и $z \in Z$.

Большинство методов, разработанных на ранних этапах исследования проблемы обработки изображений, основаны на использовании методов обработки сигналов [1]. Подход, применяемый в этих методах, обычно использует модель системы формирования изображения с однородным оператором A и для описания наблюдаемого изображения использует следующие выражение:

$$\tilde{u}(x, y) = \iint h(x - \xi, y - \eta) z(\xi, \eta) d\xi d\eta + n(x, y), \quad (2)$$

где $h(x - \xi, y - \eta)$ - функция рассеяния точки системы формирования изображения, $n(x, y)$ - шум и $z(\xi, \eta)$ - искомое, исходное изображение. Вид уравнения (2) подразумевает, что его эквивалентное Фурье-представление может быть записано в следующем виде:

$$\tilde{U}(f_x, f_y) = Z(f_x, f_y)H(f_x, f_y) + N(f_x, f_y). \quad (3)$$

Известно, что общее линейное решение уравнения (2) может быть записано как

$$\hat{z}(\xi, \eta) = \iint K(\xi - s, \eta - t) \tilde{u}(s, t) ds dt,$$

где ядро инверсии имеет следующую форму:

$$K(s, t) = \frac{1}{4\pi^2} \iint R(f_x, f_y) e^{i(sf_x + tf_y)} df_x df_y = \frac{1}{4\pi^2} \iint \frac{H^*(f_x, f_y) e^{i(sf_x + tf_y)}}{|H(f_x, f_y)|^2 + \Psi(f_x, f_y)} df_x df_y, \quad (4)$$

а $\Psi(f_x, f_y)$ - некоторая заданная функция. Тогда, $z(\xi, \eta)$ может быть найдена, путём обратного преобразования Фурье выражения:

$$Z(f_x, f_y) = R(f_x, f_y) \tilde{U}(f_x, f_y). \quad (5)$$

Универсальные методы решения этой проблемы дают регуляризационный [2-4] и статистический подходы. В обоих случаях, решение проблемы восстановления состоит в нахождении или условного, или безусловного экстремума, и в частности в поиске минимума следующего функционала:

$$\tilde{z}_\alpha = \inf_{z \in Z} M(z) = \inf_{z \in Z} \{ \rho_U(Az, \tilde{u}) + \alpha \Phi(z) \},$$

где $\Phi(z)$ является или стабилизатором $\Omega(z)$ (в детерминированном подходе), или Гиббсовым потенциалом $\Gamma(z)$ с $\alpha = 1$ (в статистическом подходе). К сожалению, прямое решение задачи минимизации в общем, двумерном случае представляет собой сложную проблему. Возможность упрощения задачи минимизации обычно базируется на использовании особых свойств интегрального оператора A . Во многих случаях, система отображения описывается однородным оператором, и смазанное изображение определяется уравнением (2). Если искаженное изображение $u(x, y)$ задано на всем участке $(x, y) \in (-\infty, \infty)$, уравнение (1) является уравнением типа свертки и может быть решено с использованием метода преобразования Фурье. Следует подчеркнуть, что искаженное изображение $u(x, y)$ определено на ограниченной области W . Это не позволяет применять преобразование Фурье непосредственно к уравнению (1). Чтобы преодолеть это ограничение, требуется дополнительная процедура, для расширения определения искаженного изображения на весь диапазон $(x, y) \in (-\infty, \infty)$ [3].

Итерационное восстановление цветных изображений

Решение задачи восстановления в виде, определяемом выражениями (3)-(5) предполагает, в частности, наличие точных данных о функциях, описывающих искажения, которым подверглось изображение на стадии формирования и регистрации. Такая информация во многих практических случаях отсутствует, что ограничивает применение этого простого и эффективного метода.

От этих недостатков свободны итерационные алгоритмы, которые для решения задачи восстановления обычно используют некоторые общие оптико-физические свойства изображений [5]. Известно что, эффективность того или иного итерационного алгоритма восстановления существенно зависит от совокупности ограничений, которым должно удовлетворять восстановленное изображение. Эти ограничения определяются априорной информацией о свойствах самого изображения и свойствах систем его формирования и регистрации. Итерационные методы были первоначально разработаны для восстановления многоградационных черно-белых изображений и в качестве ограничений использовали неотрицательность значений восстановленного изображения $\tilde{u}(x, y) \geq 0; (x, y) \in W$ где W - область задания изображения. Для астрономических изображений широко используется ограничение: $\tilde{u}(x, y) \equiv 0; (x, y) \notin W_0$, т.е. ограничение на нулевое значение восстановленного изображения вне области локализации исследуемого небесного объекта W_0 .

Применение итерационных методов для восстановления цветных изображений позволяет определить новый вид ограничений. Действительно, в задачах цифрового восстановления цветные изображения представлены обычно в виде трех компонент $u_i(x, y); i = 1, 2, 3$, соответствующих красной, зеленой и синей составляющим обрабатываемого изображения. При разработке итерационных алгоритмов восстановления в данной работе наряду с перечисленными выше традиционными ограничениями на каждую из компонент восстанавливаемого изображения были определены ограничения на величину цветового баланса восстановленного изображения в заданных областях восстановленного изображения. Эти ограничения определяются с помощью весовых многоградационных изображений-масок.

Цифровая модель системы формирования, искажения и восстановления изображений

Эффективное нахождение общего решения задачи восстановления изображений, представляет собой весьма сложную задачу, в частности, из-за большой размерности изображений и как следствие, большого количества вычислений. Этот недостаток значительно ограничивает широкое использование этого подхода.

Обзор публикаций последних лет показывает, что метод Фурье до сих пор является наиболее широко используемым в задачах восстановления изображений. Хорошо известно, что метод Фурье имеет, по крайней мере, два недостатка: (а) метод применим только для решения уравнений типа свертки и (б) он может использоваться только в линейных алгоритмах восстановления. Использование быстрого преобразования Фурье для решения этой проблемы делает Фурье-подход самым быстрым и дешевым инструментом для решения задачи восстановления. С этой точки зрения, линейные алгоритмы очень важны, поскольку они имеют общую схему основных операций, аналогичную для всех их. Это подобие даёт нам возможность создать многофункциональную цифровую модель процессов искажения/восстановления изображений и использовать ее как основной программный инструмент для разработки, выполнения и сравнения результатов применения этих алгоритмов.

Основные функциональные блоки разработанной модели выполняют следующие процедуры по обработке данных:

- Формирование исходного изображения.
- Дефокусировка исходного изображения.
- Наложение шума на дефокусированное изображение.
- Расчет восстанавливающего фильтра.
- Восстановление.
- Вычисление ошибок.
- Визуализация изображений и данных.

Разработанная цифровая модель содержит, наряду с наиболее широко используемыми искажающими функциями, различными видами шума и восстанавливающими фильтрами, набор итеративных алгоритмов для восстановления изображений. Она работает под управлением операционных систем Windows 95/98/NT4/2000 или выше. Взаимодействие пользователя с системой реализовано через графический интерфейс пользователя.

Обработка данных организована по типу конвейерной обработки. Поток данных обрабатывается последовательно "блок за блоком" со встроенными и программно-изменяемыми значениями параметров. Каждый функциональный блок может быть переконфигурирован на этапе выполнения.

Практическое использование разработанной модели продемонстрировано на рисунке 1, где показана копия экрана пользователя при работе с моделью. Они содержат следующие графические формы:

- Главная управляющая форма модели, расположена на правой стороне экрана. На ней находится семь панелей, расположенных вертикально на форме: "Исходное изображение", "Искажающая функция", "Шум", "Фильтр", "Итерации", "Параметры" и "Выходное изображение".
- Другие графические формы используются для необязательной визуализации обрабатываемых данных на разных стадиях процесса обработки изображений.

Рассмотрим главную управляющую форму. Первая и последняя панели используются для выбора исходного и выходного изображений. Пять других сделаны в виде панелей с блокнотами-переключателями. Каждая из них имеет набор закладок, при переключении на которые пользователь получает возможность изменения необходимых параметров. Таким образом, последовательность выбранных пользователем закладок определяет конкретную реализацию модели искажения/восстановления изображения. В частности, реализация модели представленная на рисунке, определена следующими параметрами:

- Искажающая функция определена как прямоугольный смаз; т.е. соответствует прямоугольной ФРТ размером 5x7 пикселей.
- Аддитивный шум с дисперсией равной 0.001.
- Восстанавливающим фильтром выбран Тихоновский фильтр с $\alpha = 1.0e - 3$ и $\beta = 1.0e - 6$.
- Итеративный алгоритм не применяется.
- Смазанное, зашумленное изображение и фильтр восстановления будут визуализированы в процессе обработки данных.

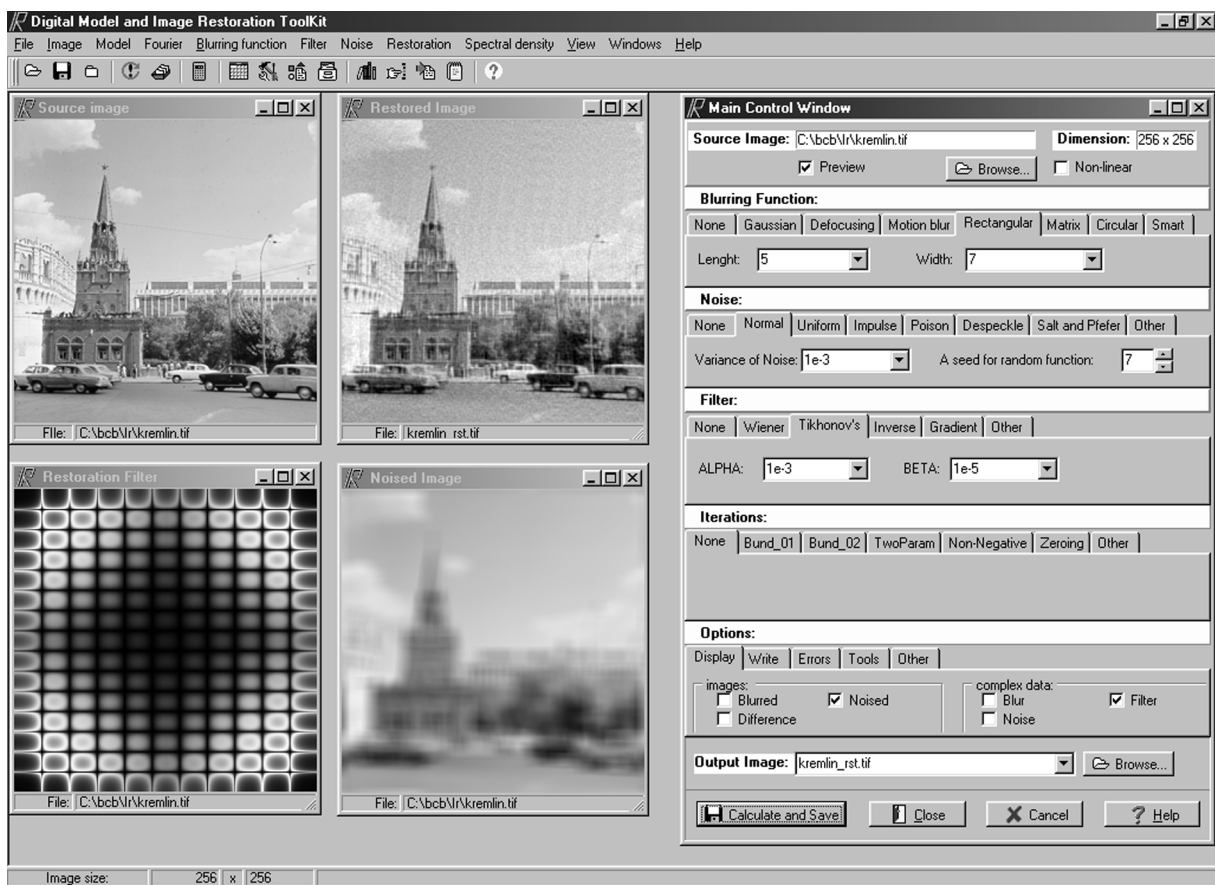


Рис. 1. Копия экрана пользователя.

Заключение

Разработан оригинальный алгоритм итерационного восстановления цветных изображений, позволяющий использовать априорную информацию о цветовом балансе изображения. Разработана многофункциональная цифровая модель системы искажения и восстановления изображений. Модель может использоваться как эффективный инструмент для экспериментального выполнения и сравнения различных алгоритмов восстановления изображения основанных на Фурье-подходе. Все необходимые эксперименты в представленной работе были выполнены на этой модели.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований в рамках проекта 99-01-39039.

Литература

1. Прэйтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1974.
3. Milukova O.P. Fourier transform in restoration problem. Proc.SPIE, Vol.2363, 1995, pp.98-103.
4. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В. и Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1990.
5. Katsaggelos A.K., “Iterative image restoration algorithm”, Opt. Eng., vol.28, no.7, pp.735-748, July 1989.

ITERATIVE RESTORATION OF COLOR IMAGES

Karnaikhov A.V., Merzlyakov N.S., Milukova O.P.

Institute of Information Transmission Problems
19, B. Karetny per., Moscow, GSP-4, 101447, Russia
(avk@iitp.ru, nick@iitp.ru, milukova@iitp.ru)

This article deals with image restoration of color images. General techniques for solving of the restoration problem are considered. The developed multifunctional model of image formation and restoration systems is presented. This digital model is used as a main tool for the experimental implementation and comparison of the described restoration methods and algorithms.

Introduction

Image restoration is often defined as a process of recovering an original image from its degraded version. Whenever exact restoration is not feasible, the restoration problem becomes an approximation problem. The image restoration problem is formulated, usually, in the following way: to find (to estimate) an original non-degraded image $z(x, y)$ from the equation

$$Az + n = u(x, y) + n(x, y) = \tilde{u}(x, y), \quad (x, y) \in W, \quad (1)$$

where A is a linear imaging operator, $n(x, y)$ is the noise, $\tilde{u}(x, y)$ is the output degraded image, $u \in U$, and $z \in Z$.

Iterative restoring of color images

The solution of the equation (1) requires exact data about blurring function. However, in most cases, this information is absent, and that restricts the usage of this simple and effective method. The iterative algorithms are free from these defects, because of using some general optical and physical properties of images. It is known that, the efficiency of iterative restoration algorithm essentially depends on a set of restrictions, restored image should satisfy. These restrictions are determined by *a priori* information about properties of the image and image formation system [5].

The usage of iterative methods for restoration of color images allows to define a new kind of restrictions. In image processing, the color images are usually represented by three components $u_i(x, y)$; $i = 1, 2, 3$, i.e. red, green and blue correspondingly. Along with a mentioned above traditional restrictions, in the given work, new restrictions of color balance values in given areas of restored image were defined as well. These restrictions are determined by weighting multichannel masking images.

Digital model of image formation and restoration system

The survey of recent literature shows that the Fourier technique still is the most dominant in the image restoration problem. It is well known that the Fourier technique has at least two drawbacks: (a) this method is only applicable for solving of equations of the convolution type and (b) in a direct way, it can only be used for implementation of linear restoration algorithms. The usage of the fast Fourier transform technique for solving of this problem makes the Fourier approach as the fastest and cheapest tool for the real implementation of the restoration task.

From this point of view, linear algorithms are quite important. These algorithms have a general scheme of basic operations, which is similar for all them. Such similarity gives us an opportunity to create a digital model of the image blurring/restoration processes and use it as a main software toolkit for the development, implementation, and comparison of these algorithms.

The main functional blocks of the designed model makes basic procedures of data processing. They seems to be as follows:

1. Image formation.
2. Blurring of the original source image.
3. Noise corruption of the blurred image.
4. Calculation of the restoration filters.

5. Restoration.
6. Error calculation.
7. Visualization of the images and data

The data processing is organized in a pipe-style mode. Each functional block can be easy re-configured at runtime. So, the data stream is processed in the block-to-block manner with the predefined types and parameter values.

The current version of the model contains, along with the most widely used blurring functions, noise models, and restoration filter, a set of iterative algorithms for restoration of color images.

The developed digital model is implemented on a PC-based platform and runs under Windows 9x/2000/NT 4.0 or higher operating systems.

Summary

The original algorithm for color images restoration has developed. It uses *a priory* information about image color balance. The digital model of image formation, corruption and restoration system has developed as well. This model can be used as an effective tool for the experimental implementation and comparison of different Fourier based algorithms for solving of the color image restoration problem. All required experiments in the presented work were implemented on this model.

Acknowledgements

This work is sponsored by The Russian Foundation for Basic Research under project number 99-01-39039.

References

1. Pratt W.K. Digital Image Processing. John Wiley and Sons, New York, 2nd edition, 1991.
2. Tikhonov A.N. and Arsenin V.J. Methods of solving of ill-posed tasks. Moscow, Nauka, 1983.
3. Milukova O.P. Fourier transform in restoration problem. Proc. SPIE, Vol.2363, 1995, pp.98-103.
4. Tikhonov A.N., Goncharsky A.V., Stepanov V.V., and Yagola A.G. Numerical methods for the solution of ill-posed problems. Nauka, Moscow, 1990
5. Katsaggelos A.K., "Iterative image restoration algorithm", Opt. Eng., vol.28, no. 7, pp. 735-748, July 1989.