

Д.В. Макаров, А.Д. Ряхин

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗ ЕГО СВЕРТКИ С НЕИЗВЕСТНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ОТКЛИКОМ

Предложен новый метод восстановления изображения из его свертки с неизвестным импульсным откликом, основанный на решении «фазовой проблемы». Показана его работоспособность. Приведены результаты численного моделирования.

В различных областях прикладной физики актуальна проблема восстановления изображений объекта. Как правило, зарегистрированное изображение $J(\mathbf{x})$ представляет собой свертку истинного изображения $O(\mathbf{x})$ с импульсным откликом $H(\mathbf{x})$ системы формирования и регистрации изображения

$$J(\mathbf{x}) = \int O(\mathbf{x}') H(\mathbf{x} - \mathbf{x}') d\mathbf{x}'. \quad (1)$$

Таким образом, задача восстановления изображения эквивалентна задаче решения уравнения свертки.

Распространенные методы восстановления основаны на использовании априорной информации об изображении $O(\mathbf{x})$ либо импульсном отклике $H(\mathbf{x})$ или на усреднении большого числа зарегистрированных изображений при постоянном $O(\mathbf{x})$ и случайно изменяющемся $H(\mathbf{x})$ [1]. Вместе с тем особый интерес представляет исследование возможности восстановления истинного изображения непосредственно из зарегистрированного изображения. Известен ряд подобных методов восстановления [2, 3]. Однако они чрезвычайно чувствительны к шумам и требуют точного знания размеров изображения и импульсного отклика.

Предлагаемый метод восстановления изображения основан на решении «фазовой проблемы», суть которой сводится к восстановлению пространственно-ограниченной функции по модулю ее пространственного спектра.

Осуществляя двумерное Фурье преобразование уравнения свертки (1), получаем

$$\tilde{J}(\mathbf{f}) = \tilde{O}(\mathbf{f}) \tilde{H}(\mathbf{f}), \quad (2)$$

где $\tilde{J}(\mathbf{f})$ — пространственный спектр зарегистрированного изображения; $\tilde{O}(\mathbf{f})$ — пространственный спектр истинного изображения, а $\tilde{H}(\mathbf{f})$ — оптическая передаточная функция.

Известно [4], что в двумерном случае задача восстановления фазы пространственного спектра финитной функции по его модулю, как правило, решается однозначно. В то же время в данном конкретном случае, когда пространственный спектр зарегистрированного изображения $\tilde{J}(\mathbf{f})$ представляет собой произведение двух функций $\tilde{O}(\mathbf{f})$ и $\tilde{H}(\mathbf{f})$ по его модулю $|\tilde{J}(\mathbf{f})|$ можно восстановить четыре возможных спектра $\tilde{J}(\mathbf{f})$, $\tilde{J}^*(\mathbf{f})$, $\tilde{O}^*(\mathbf{f})\tilde{H}(\mathbf{f})$ и $\tilde{O}(\mathbf{f})\tilde{H}^*(\mathbf{f})$. Причем изображения, соответствующие первому и второму, а также аналогично третьему и четвертому спектрам, будут отличаться друг от друга только поворотом на 180° .

Таким образом, используя известные итерационные алгоритмы восстановления пространственного спектра финитной функции по ее модулю, можно по $|\tilde{J}(\mathbf{f})|$ восстановить функцию $\tilde{O}^*(\mathbf{f})\tilde{H}(\mathbf{f})$ либо комплексно сопряженную ей. Не ограничивая общности будем считать, что получена функция $\tilde{O}^*(\mathbf{f})\tilde{H}(\mathbf{f})$. Составляя отношение пространственного спектра зарегистрированного изображения к восстановленной функции, имеем

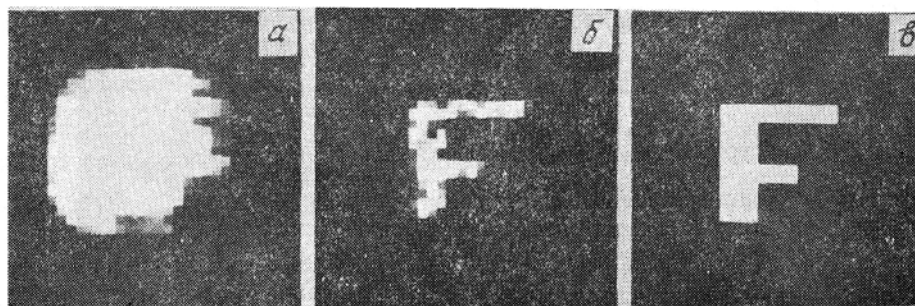
$$\frac{\tilde{J}(\mathbf{f})}{\tilde{O}^*(\mathbf{f})\tilde{H}(\mathbf{f})} = \exp[i2\arg \tilde{O}(\mathbf{f})]. \quad (3)$$

Логарифмируя (3), выделяем удвоенную фазу пространственного спектра истинного изображения, из которой легко получить тангенс фазы, а знание тангенса фазы позволяет определить саму фазу пространственного спектра изображения с точностью до π .

Восстановление изображения по фазе или тангенсу фазы его пространственного спектра является более простой задачей, чем решение фазовой проблемы. Соответствующие итерационные алгоритмы восстановления быстро сходятся и достаточно устойчивы к шумам [5, 6].

Следует отметить, что в случае, когда импульсный отклик системы формирования и регистрации изображения является центрально симметричной функцией, информация о фазе пространственного спектра истинного изображения может быть получена непосредственно из пространственного спектра зарегистрированного изображения.

Авторами проведено машинное моделирование предложенного метода восстановления изображения. При этом для получения функции $\tilde{O}^*(f)\tilde{H}(f)$ был использован известный итерационный алгоритм восстановления пространственного спектра финитной функции по его модулю, использующий «встряску» — релаксацию [7], а для восстановления истинного изображения по тангенсу фазы его пространственного спектра — итерационный алгоритм, описанный в [6]. При моделировании был реализован импульсный отклик, соответствующий многократному смазыванию изображения.



Результаты моделирования: *a* — искаженное изображение; *b* — изображение, восстановленное после 30 итераций; *v* — истинное изображение

Результаты моделирования показали, что для получения функции $\tilde{O}^*(f)\tilde{H}(f)$ с 10%-й точностью достаточно, как правило, 50—100 итераций, при этом оптимальный коэффициент релаксации лежит в диапазоне 0,4—0,6. Восстановление же собственно изображения осуществляется за 30—40 итераций. При этом относительная среднеквадратическая ошибка восстановленного изображения составляет около 35%. Для наглядности результаты численного моделирования отражены на рис. 1. Проведенные исследования показали, что данный метод восстановления недостаточно устойчив к шумам. Уже при отношении сигнал/шум, равном 15—20, он не дает удовлетворительной оценки изображения.

Таким образом, установлена принципиальная возможность реализации предложенного метода восстановления. Однако его практическое применение существенно затруднено неизбежными шумами регистрации изображения.

1. Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. М.; Радио и связь, 1986. 304 с.
2. Бакут П. А., Матвеев И. Н., Свиридов К. Н., Устинов Н. Д. // Оптика и спектроскопия. 1984. Т. 57. № 1. С. 135—138.
3. Бакут П. А., Макаров Д. В., Ряхин А. Д., Свиридов К. Н. // Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33. № 11. С. 2422—2424.
4. Бакут П. А., Пахомов А. А., Ряхин А. Д., Свиридов К. Н. // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 60. № 4. С. 788—791.
5. Бакут П. А., Пахомов А. А., Ряхин А. Д., Свиридов К. Н. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 64. № 1. С. 165—469.
6. Oppenheim A. V., Lim J. S. // Proceedings IEEE. 1981. V. 69. № 5. P. 529—541.
7. Бакут П. А., Ряхин А. Д., Свиридов К. Н., Устинов Н. Д. // Оптика и спектроскопия. 1985. Т. 58. № 4. С. 905—907.

Научно-производственное объединение «Астрофизика»,
Москва

Поступила в редакцию
18 декабря 1990 г.

D. V. Makarov, A. D. Ryakhin. **Method of the Image Restoration from its Convolution with an Unknown Pulsed Response.**

Based on the solution of the «phase problem» a new method of the image restoration from its convolution with an unknown pulsed response is proposed. The efficiency of the proposed technique is demonstrated and some results of numerical simulations are presented.