

УДК 623.618.2

В.А. Павлий, Г.В. Худов

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ СМАЗОМ

В статье перечислены основные причины, приводящие к смазу оптико-электронных изображений. Проводится анализ известных методов восстановления изображений, искаженных смазом. Анализируются случаи, когда известна функция размытия точки, и случаи при неизвестной функции размытия точки. В последнем случае проанализированы методы слепой деконволюции при восстановлении оптико-электронных изображений.

Ключевые слова: изображение, восстановление, функция размытия точки, смаз, деконволюция, фильтрация.

Введение

Постановка проблемы в общем виде. Известно [1-4], что в настоящее время возрастают требования к качеству обработки изображений, особенно полученных с летательных аппаратов дистанционного зондирования Земли. Восстановление искаженных изображений является одной из наиболее интересных и важных проблем в задачах обработки изображений – как с теоретической, так и с практической точек зрения.

При дистанционном зондировании изображение подвергается различным видам искажений, таких как шум, неправильная экспозиция, дисторсия, влияние аддитивных и мультипликативных помех и т.д. Частными случаями искажений являются размытие из-за неправильного фокуса и смаз – эти дефекты очень сложны в исправлении.

Цель статьи – проанализировать известные методы восстановления оптико-электронных изображений, искаженных смазом.

Анализ последних достижений и публикаций. Современное состояние теории обработки оптико-электронных изображений характеризуется дальнейшим развитием и совершенствованием статистических методов, а также использованием новых физических идей и широким использованием классических и нестандартных разделов математики [5].

Наиболее актуальной задачей является задача обработки изображения, искаженного смазом [5]. Эта задача возникает при наблюдении и регистрации практически любого типа изображений, начиная от искаженных изображений, полученных с борта космического аппарата и кончая обработкой фотоснимков. Решению этой задачи посвящено большое количество работ, отличающиеся постановкой задачи, видом функции размытия точки, выбором критериев и показателей эффективности обработки изображений [5 – 9]. Рассмотрим основные методы восстановления оптико-электронных изображений, искаженных смазом.

Постановка задачи и изложение материалов исследования

При рассмотрении материала статьи будем рассматривать только полутоновые черно-белые изображения в предположении, что для обработки полноцветного изображения достаточно повторить все необходимые шаги для каждого из цветовых каналов RGB. Введем следующие обозначения:

$f(x, y)$ – исходное неискаженное изображение;

$h(x, y)$ – искажающая функция;

$n(x, y)$ – аддитивный шум;

$g(x, y)$ – искаженное изображение (смазанное или расфокусированное изображение).

Сформулируем модель процесса искажения следующим образом:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j) f(x+i, y+j) + n(x, y), \quad (1)$$

где $a = \frac{m-1}{2}$, $b = \frac{n-1}{2}$; $(m \times n)$ – размер изображения; * – оператор свёртки.

Задача восстановления искаженного изображения заключается в нахождении наилучшего приближения $f(x, y)$ исходного изображения.

Рассмотрим каждую составляющую более подробно. С функциями $f(x, y)$ и $g(x, y)$ вопросов не возникает. Основное внимание уделим функции $h(x, y)$. В процессе искажения каждый пиксель исходного изображения превращается в пятно для случая расфокусировки и в отрезок для случая простого смаза. Либо же можно сказать наоборот, что каждый пиксель искаженного изображения «собирается» из пикселей некоторой окрестности исходного изображения. Все это друг на друга накладывается и в результате получается искаженное изображение. То, по какому закону размазывается или собирается один пиксель называется функцией искажения (другие

синонимы – PSF (Point spread function), ФПТ (функция размытия точки)), ядро искажающего оператора, kernel и другие [5]. Размерность этой функции, как правило, меньше размерности самого изображения. Приведем примеры типовых искажающих функций. На рис. 1 приведена гауссова функция искажения, на рис. 2 – линейная искажающая функция.

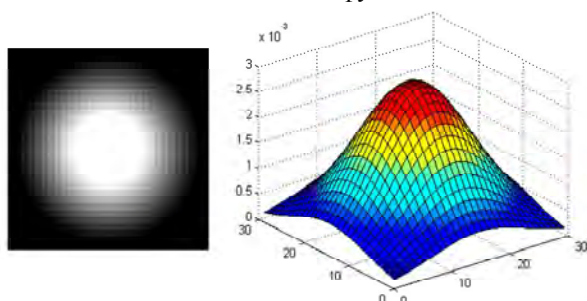


Рис. 1. Гауссова функция искажения изображения

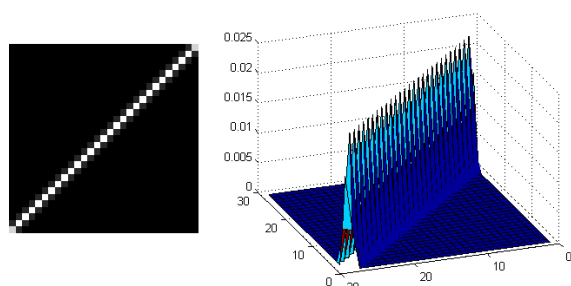


Рис. 2. Линейная Гауссова функция искажения изображения

Рассматривая слагаемое $p(x,y)$ в выражение (1), отметим, что причины шума в цифровых сенсорах могут быть самыми разными, но основные это – тепловые колебания и темновые токи. На величину шума также влияет ряд факторов, таких как тип матрицы, размер пикселя, температура, электромагнитные наводки и прочее. В большинстве случаев шум является Гауссовым (который задается двумя параметрами – средним и дисперсией), а также является аддитивным, не коррелирует с изображением и не зависит координат пикселя. Последние три предположения являются очень важными для дальнейшей работы.

Таким образом, задача восстановления исходного изображения состоит в получении функции $f(x,y)$ из функции $g(x,y)$. Если решать уравнение (1), то для получения функции $f(x,y)$ (восстановления изображения) получится огромная система уравнений. Для упрощения процедуры восстановления используют преобразование Фурье [5, 9], а именно – теорему о свёртке [9], которая гласит, что операция свёртки в пространственной области эквивалентна обычному умножению в частотной области. Соответственно, операция, обратная свёртке, эквивалентна делению в частотной области, т.е. [5, 9]:

$$h(x,y)*f(x,y) = H(u,v)F(u,v), \quad (2)$$

где $H(u,v), F(u,v)$ - Фурье-образы соответствующих функций.

С учётом (1) и (2) процесс искажения изображения можно переписать в частотной области как

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) + N(u,v). \quad (3)$$

Для получения функции $F(u,v)$ из (3) разделим обе его части на $H(u,v)$ и получим следующую

оценку $\hat{F}(u,v)$ исходного изображения

$$\hat{F}(u,v) = F(u,v) + \frac{N(u,v)}{H(u,v)}. \quad (4)$$

Выражение (4) определяет инверсную фильтрацию искаженного изображения. Однако на практике инверсная фильтрация не применяется ввиду больших значений функции $H(u,v)$. Следовательно, инверсная фильтрация будет работать только при нулевых или практически нулевых значениях шума. Добавление даже очень небольшого значения шума приводит к значительным помехам на изображении, что сильно ограничивает практическое применение метода инверсной фильтрации изображения [9].

Одним из известных методов восстановления смазанного изображения, учитывающих наличие шума, является фильтр Винера [6-9]. В указанном фильтре изображение и шум рассматриваются как случайные процессы, и находится такая оценка $\hat{f}(x,y)$ для неискаженного изображения $f(x,y)$, что среднеквадратическое отклонение этих величин минимально. Минимум этого отклонения достигается и в частотной области при

$$\hat{F}(u,v) = \left(\frac{|H(u,v)|^2}{H(u,v)(|H(u,v)|^2 + \frac{S_n(u,v)}{S_f(u,v)})} \right) G(u,v), \quad (5)$$

где $S_n(u,v)$ - энергетический спектр шума $p(x,y)$; $S_f(u,v)$ - энергетический спектр исходного изображения $f(x,y)$.

Функции $S_n(u,v)$ и $S_f(u,v)$ практически никогда неизвестны, поэтому их отношение обычно заменяют на некоторую константу, называемую отношением сигнал/шум [6 – 9].

Одним из методов восстановления смазанных изображений является сглаживающая фильтрация методом наименьших квадратов или регуляризации по Тихонову [6 – 9]. В этом случае решение записывается в виде

$$\hat{F}(u,v) = \left(\frac{H^*(u,v)}{|H(u,v)|^2 + \gamma |P(u,v)|^2} \right) G(u,v),$$

где γ - параметр регуляризации; $P(u,v)$ - Фурье-преобразование оператора Лапласа (матрицы (3x3)).

Рассмотренные выше методы восстановления смазанного изображения являются линейными. Нелинейным методом восстановления смазанного изображения является метод Люси-Ричардсона [1]. Отличительной особенностью этого метода, помимо нелинейности, является использование итерационных процедур, что может улучшить качество восстановления изображения. При этом используется метод максимального правдоподобия в предположении, что яркость изображения подчиняется закону Пуассона [9]. Выражение для восстановления изображения имеет следующий вид [9]

$$\hat{f}_{k+1}(x, y) = \hat{f}_k(x, y) \left(h(-x, -y) * \frac{g(x, y)}{h(x, y) * \hat{f}_k(x, y)} \right). \quad (6)$$

Из анализа выражения (6) видно, что в методе Люси-Ричардсона не используется преобразование Фурье – всё делается в пространственной области, что уменьшает вычислительную громоздкость алгоритма восстановления. Однако при использовании метода Люси-Ричардсона сложности возникают с выбором критерия остановки итерационного процесса, что может привести к увеличению времени обработки искаженного изображения.

При рассмотрении всех вышеперечисленных методов предполагается, что искажающая функция (ФРТ) точно известна. На практике, при обработке реальных изображений это не совсем так. Обычно ФРТ известна лишь приблизительно по характеру видимых искажений [5, 9]. Для обработки изображений в случае неизвестной ФРТ разработано целое семейство методов, называемых слепой деконволюцией [9]. При этом выбирается первое приближение ФРТ, далее по одному из методов делается деконволюция, после чего с использованием некоторого критерия определяется степень качества, на основе нее уточняется ФРТ, и итерация повторяется до достижения нужного результата.

В работе [5] предлагаются алгоритмы восстановления изображения, искаженного смазом, когда ни само неискаженное изображение, ни ФРТ неизвестны. Установлено, что в такой общей постановке задачи не удастся в общем виде создать устойчивый сходящийся алгоритм восстановления изображения, искаженного смазом [5]. В [5] показано, что в целом ряде практически важных случаев, например, при наблюдении из космоса с длинной экспозицией или при наличии смазов задача оказывается разрешимой. Суть обработки при этом заключается в выделении недостаточной, но неискаженной информации и восстановлении только по ней неискаженного изображения. В [5] установлено, что фаза спектра неискаженного изображения совпадает с фазой спектра искаженного изображения, т.е. фазовое распределение не искажено, а искажается только амплитудное распределение спектров. Также установ-

лено [5] неискаженное отношение модулей спектров искаженного и неискаженного изображений.

В этом случае задача восстановления неискаженного изображения при искажении, например Гауссовым смазом, переформулирована в задачу восстановления неискаженного изображения только по фазе его Фурье спектра [5] и по отношения модулей спектров искаженного и неискаженного изображений. В работе [5] показаны примеры обработки реальных изображений. Много результатов получено авторами при обработке изображений, наблюдаемых не только через неустойчивую атмосферу Земли, но и через неоднородную морскую и океаническую воду.

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, в настоящее время при решении ряда практических задач актуальной является задача обработки оптико-электронных изображений, искаженных смазом. Стандартным методом устранения подобных искажений является винеровская фильтрация и ее многочисленные модификации. Основным недостатком этих методов - необходимость точного знания ФРТ.

Иным подходом является при обработке изображений, искаженных смазом является выделение недостаточной, но неискаженной информации и восстановлении только по ней неискаженного изображения. Однако, результаты, полученные с использованием известных методов восстановления изображений, искаженных смазом, не всегда удовлетворяют предъявляемым требованиям для решения задач дальнейшей обработки (дешифрации) оптико-электронных изображений. В дальнейшем требуется разработка методов восстановления изображений, искаженных смазом, для дальнейшей дешифрации оптико-электронных изображений с требуемым качеством.

Список литературы

1. Корчагин С. Зарубежные концепции ведения нетрадиционных боевых действий в локальных конфликтах / С. Корчагин // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – Вып. 7. – С. 21-27.
2. Кучеренко Ю.Ф. Головні ознаки ведення мережецентричних війн сучасності / Ю.Ф. Кучеренко // Системи управління, навігації та зв'язку. - № 1 (17). – К.: ЦНДІ НУ, 2011. – С. 190-193.
3. Попов М.О. Можливості й перспективи космічних систем видової розвідки та спостереження в контексті національних інтересів / М.О. Попов, Є.І. Махонін, В.І. Присяжний // Наука і оборона. – 2008. – №2. – С. 41-52.
4. Даник Ю.Г. Концептуальні напрями створення системи космічного забезпечення ЗС України / Ю.Г. Даник, С.О. Тишук // Наука і оборона. – 2008. – № 2. – С. 53-57.
5. Новейшие методы обработки изображений / [А.А.Потапов, Ю.В.Гуляев, С.А.Никитов, А.А.Пахомов, В.А.Герман] под ред. А.А.Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 456 с.
6. Оппенгейм А.В. Цифровая обработка сигналов / А.В.Оппенгейм, Р.В.Шафер. Пер. с англ./ Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.

7. Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений / Р. Бейтс, М. Мак-Доннелл. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 336 с.

8. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.

9. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

10. Коррекция смаза изображений в системах космического наблюдения Земли [Текст] / Н.А. Егошкин, В.В.

Еремеев // Цифровая обработка сигналов. – 2010. – N 4. – С. 28-32 : ил. – Библиогр.: с. 32. – ISSN 1684-2634

Надійшла до редколегії 13.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО СПОТВОРЮЮТЬСЯ ЗМАЗОМ

В.О. Павлій, Г.В. Худов

У статті перераховані основні причини, що приводять до смазу оптико-електронних зображень. Проводиться аналіз відомих методів відновлення зображень, спотворених смазом. Аналізуються випадки, коли відома функція розмиття крапки, і випадки при невідомій функції розмиття крапки. У останньому випадку проаналізовані методи сліпої деконволюції при відновленні оптико-електронних зображень.

Ключові слова: зображення, відновлення, функція розмиття крапки, смаз, деконволюція, фільтрація.

ANALYSIS OF THE KNOWN METHODS OF REGENERATION OF OPTICAL-ELECTRONIC IMAGES, DISTORTED TAILING

V.O. Pavliy, G.V. Khudov

Principal reasons, resulting in tailing of optical-electronic images, are transferred in the article. The analysis of the known methods of regeneration of images is conducted, distorted смазом. Cases are analysed, when the function of tailing of point, and cases, is known at the unknown function of tailing of point. In the last cases are analysed methods of blind deconvolution at the regeneration of optical-electronic images.

Keywords: image, renewal, function of point tailing, tailing, deconvolution, filtration./