

Исследование метода шумоподавления на основе разреженного представления

Д. В. Архипова

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
mazyaikinadasha@gmail.com

Е.В. Гошин

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
goshine@ssau.ru

Аннотация — Настоящая статья посвящена исследованию восстановления изображений с использованием разреженного представления. Разреженное представление представляет собой описание изображения в форме коэффициентов для фрагментов, выбранных из заранее заданного словаря. В настоящей статье предлагается общий подход к восстановлению изображений с использованием разреженного представления и приводятся результаты экспериментов для простейшей реализации этого подхода

Ключевые слова: разреженное кодирование, методы шумоподавления, анализ Прокруста

1. ВВЕДЕНИЕ

Шум на изображении неизбежно возникает вследствие влияния окружающей среды, канала передачи и других факторов, что приводит к искажению и потере информации об изображении. Шум можно рассматривать как некоторую избыточную информацию о помехах цифрового изображения. Избыток такой информации может привести к нечеткому изображению и отрицательно сказывается на возможных последующих задачах обработки изображений, таких как обработка видео, анализ изображений и отслеживание.

Шумоподавление изображения улучшает качество изображения с помощью ряда методов, максимально сохраняя исходную информацию и удаляя бесполезную информацию из сигнала. Основная задача подавления шума заключается в уменьшении шума на изображениях при минимизации потери исходных характеристик и улучшении отношения сигнала к шуму (PSNR).

Появление шума на изображении нельзя предсказать теоретически. Поэтому для описания процесса зашумления изображения обычно используют функцию распределения вероятностей. Функция плотности вероятности лежит в основе описания статистических характеристик шума при обработке изображений, и по ней устанавливается соответствующая модель данных.

Существующие методы шумоподавления могут быть разделены на две группы: на основе анализа некоторой окрестности (методы пространственной области) и на основе преобразования изображения в другую область (методы пространственно-частотной области) [1].

Методы пространственной области используют избыточную информацию в естественных изображениях и направлены на удаление шума путем вычисления значения серого для каждого пикселя на основе корреляции между пикселями/областями изображения в исходном изображении. Методы пространственно-частотной области работают следующим образом: сначала сигнал отделяется от шума в области

преобразования, затем шум отфильтровывается, после чего остается свободный от шума сигнал.

В данной работе для подавления шума используется метод разреженных представлений, который в последнее время широко применяется как в задачах обработки сигналов [2,3], так и в задачах обработки изображений [4].

2. РАЗРЕЖЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

В настоящем исследовании в качестве основы для разработки был использован алгоритм, использующий разреженное представление изображений.

Данный алгоритм предполагает, что изображение возможно разложить следующим образом:

$$x = Da.$$

Здесь D – словарь (матрица) размером $N \times K$, N – размерность моделируемого сигнала, K – размер словаря, a – вектор с малым числом ненулевых элементов не более L .

Тогда процесс шумоподавления может быть записан в следующей форме:

$$f(x) = \frac{1}{2} \|x - y\|_2^2 + \sum_{j=1}^K |a|^p,$$

Каждый фрагмент изображения может быть представлен как линейная комбинация нескольких фрагментов из избыточного словаря D :

3. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

По аналогии с методом, основанным на преобразовании Фурье, можно представить процесс разреженного представления изображения в следующей форме:

$$\hat{a} = S_D(y),$$

где y – исходное изображение.

В силу того, что словарь D является переопределённым, существует такое преобразование S_D что:

$$y = S_D^{-1}(\hat{a}).$$

Оно достигается присвоением $T_0 = 0$ в выражении

$$\hat{a} = \min_a \|a\|_0, \|Da - y\|_2^2 \leq T_0.$$

По этому же выражению очевидно, что S^{-1} при этом имеет вид:

$$S_D^{-1}(\hat{a}) = \sum a_d.$$

Рассмотрим класс фильтров, представленных в форме преобразования в пространстве A разреженных представлений. Результатом применения такого фильтра является новое изображение, получаемое как:

$$\hat{Y} = S^{-1}(G(S(Y))),$$

где $G()$ преобразование в пространстве разреженных представлений.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В работе было проведено сравнительное исследование с другими подходами: байесовским подходом, подходом основанном на преобразование Фурье, медианной фильтрацией и фильтром Винера.

В качестве алгоритмов для вычисления разреженного представления использован ортонормированный поиск совпадений из-за его простоты и эффективности. В качестве шума был использован аддитивный гауссов шум. Ниже представлены полученные результаты.

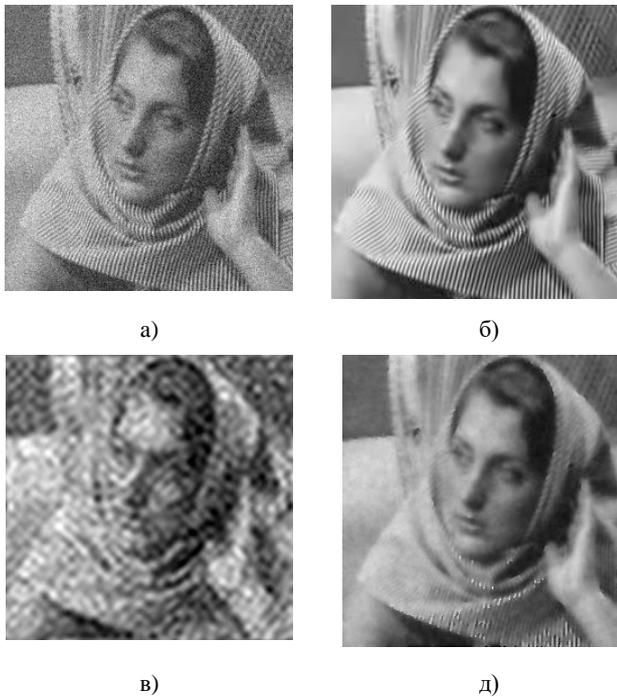


Рис. 1 - Результаты для $\sigma = 20$: а) зашумленное изображение, б) восстановленное изображение с помощью разреженного представления, в) изображение, восстановленное с помощью преобразования Фурье, д) изображение, восстановленное с помощью байесовского подхода

Для сравнения качества восстановления изображения во всех вышеописанных случаях было использовано значение PSNR. На рисунке 2 представлена зависимость значений PSNR.

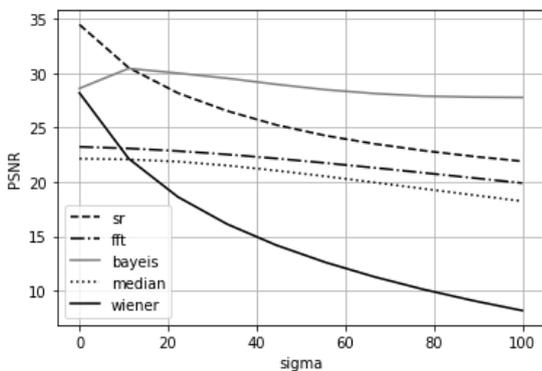


Рис. 2 – Значения PSNR

Из рисунка 2 видно, что восстановление на основе Фурье фильтра, показывает наихудший результат. Так же можно заметить, что результаты байесовского алгоритма постепенно ухудшаются.

Сравнительная таблица представлена ниже.

Таблица 1. ЗНАЧЕНИЯ PSNR

σ	Зашумле нное	Разрежен ное предст ав	Преобраз ование Фурье	Байесов ский под ход	Медиан ный филь тр
8	30.1	35,77	23,26	28,57	22.15
15	24.64	32,16	23,17	29,69	22.11
25	20.2	29,24	22,98	30,27	21.99

Описанные выше экспериментальные результаты показывают преимущества и недостатки каждого метода. На основе экспериментов видно, что разреженное представление имеет явное преимущество при небольшом зашумлении. А восстановление с помощью преобразования Фурье имеет худшие характеристики качества (PSNR, SSIM) среди рассматриваемых методов.

Несмотря на неоднозначность показателей PSNR из приведенных примеров видно, что изображение, восстановленное с помощью разреженного представления, имеет меньше артефактов, чем изображение, восстановленное с помощью байесовского подхода.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассматривается влияние степени зашумленности исходного изображения на результат восстановления, получаемый при помощи разреженного представления, алгоритма основанного на преобразовании Фурье и Байесовского алгоритма.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FSSS-2023-0006.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fang, L. A Review on the Research of Classical Image Denoising Algorithm [J] / L. Fang, P. Zhang // Industrial Control Computers. – 2010. – Т. 23. – P. 73–74
- [2] Mallat, S. A Wavelet tour of signal processing: the sparse way / S. Mallat. – Philadelphia: Elsevier, 2009. – P. 805
- [3] Elad, M. Sparse and redundant representations / M. Elad – New York: Springer, 2010. – 376 p.
- [4] Elad, M. On the role of the sparse and redundant representations in image processing / M. Elad, M.A.T. Figueiredo, Y. Ma // Proceedings of the IEEE. – 2010. – Vol. 98(6). – P. 972–982. – DOI: 10.1109/JPROC.2009.2037655.
- [5] Ivanovich, N. A. Method for Estimating the Noise Level of Missing Images // Computer Optics. – 2021. – Vol. 45 5. – P. 713–720.
- [6] Gorodnitsky, I. F. Sparse signal reconstruction from limited data using FOCUSS: A re-weighted norm minimization algorithm / I. F. Gorodnitsky, B. D. Rao // IEEE Trans. Signal Process. – 1997. – Vol. 45. – P. 600–616.
- [7] Myasnikov, V.V. Reconstruction of functions and digital images using sign representations / V.V Myasnikov // Computer Optics.– 2019.– Vol. 43, №. 6. – P. 1041–1052.
- [8] Wiener, N. Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series: with engineering applications / N. Wiener.– Cambridge:MIT Press, 1949.– P. 174
- [9] Gopinathan, S. Wavelet and FFT Based Image Denoising Using Non-linear Filters / S. Gopinathan, R. Kokila // International Journal of Electrical and Computer Engineering.–2015.– Vol. 5.–P. 1018–1026
- [10] Katsaggelos, A.K. Digital image restoration / A.K. Katsaggelos //IEEE Signal Processing Magazine.–2012.–Vol. 14.– P. 24–41
- [11] Максимов, А. И. Метод оптимального линейного сверхразрешающего восстановления изображений / А. И. Максимов, В. В. Сергеев // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, №. 5. – С. 692–701.