

## СЛЕПАЯ КОРРЕКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ВЕКТОРНОМ КАНАЛЕ С НЕИЗВЕСТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

© 2011 А. А. Березовский, О. В. Горячкин

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

В работе получен алгоритм для слепой коррекции изображений, искажённых в векторном канале. Произведено сравнение полученного алгоритма с одним из ранее существовавших алгоритмов, представлены результаты моделирования. Показаны тестовые изображения, восстановленные сравниваемыми алгоритмами при различных уровнях аддитивных шумов.

*Слепая деконволюция, линейные искажения изображений, векторный канал, метод взаимных отношений, влияние аддитивных шумов.*

### Введение

Коррекция линейных искажений изображений различного происхождения (радиометрических, радиоастрономических, оптических, акустических, рентгеновских, инфракрасных) - это задача восстановления двумерного, пространственно ограниченного, неотрицательного сигнала [1], искажённого линейным оператором.

Источники линейных искажений - это, например, дефокусировка объектива оптической системы формирования изображения, скоростной сдвиг (смаз) изображения вследствие движения объекта в процессе экспозиции, различного рода дифракционные ограничения (т.е. ограничение пространственного спектра изображения регистрирующим устройством), влияние среды распространения (например, атмосферная турбулентность).

Часто исследователю известна форма импульсной характеристики искажающего изображения канала [2], тогда коррекция изображения может быть осуществлена линейным оптимальным или субоптимальным фильтром, построенным в соответствии с той или иной стратегией регуляризации [3].

Слепая коррекция изображений - задача, возникающая в случае отсутствия априорной информации об импульсной характеристике (ИХ) канала формирования. Особенно актуальна задача слепой коррекции линейных искажений изображений в задачах

дистанционного зондирования Земли, астрономии, в медицине.

Возможности слепой идентификации векторного канала формирования изображений несколько шире, чем скалярного. Это обстоятельство не раз отмечалось в литературе [4] по слепой обработке сигналов и исторически привело к более широкому применению методов слепой идентификации в данном случае.

### Алгоритм слепой коррекции многомерных сигналов

Для случая, когда имеется модель системы SIMO, т.е. имеется несколько реализаций искажённого изображения, прошедшего каналы с разной функцией рассеяния точки (ФРТ), можно применить метод, известный в литературе по слепой идентификации одномерных сигналов как метод взаимных отношений [4].

Пусть наблюдаемые искаженные изображения заданы  $M$  двумерными дискретными свертками, искажёнными независимыми аддитивными помехами:

$$y^i(k, m) = \sum_l \sum_n h^i(k-l, m-n)x(l, n) + v^i(k, m),$$

$$i = 1, \dots, M. \quad (1)$$

В отсутствии шума очевидна справедливость следующего равенства для неизвестных отсчётов импульсных характеристик:

$$\sum_{k, m} h^i(l-k, n-m)y^j(k, m) - \sum_{k, m} h^j(l-k, n-m)y^i(k, m) = 0,$$

$$i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, M. \quad (2)$$

Наличие шума нарушает равенство, поэтому будем искать решение, применяя универсальный метод наименьших квадратов, т.е.

$$\hat{h} = \underset{h}{\operatorname{argmin}} \sum_i \sum_j d_{i,j},$$

$$\sum_i \sum_n \left| \sum_k \sum_m h^i(l-k, n-m) y^j(k, m) - \sum_k \sum_m h^i(l-k, n-m) y^j(k, m) \right|^2;$$

(3)

при дополнительном условии, исключающем тривиальное нулевое решение:

$$\sum_i \sum_k \sum_m |h^i(k, m)|^2 = M, \quad (4)$$

где  $d_{i,j}$  - нормирующие множители, необходимые в случае различия дисперсии аддитивного шума в подканалах;  $c$  – константа.

Используя метод множителей Лагранжа и равенство Парсеваля для двумерного дискретного преобразования Фурье, получим следующее выражение:

$$\hat{h} = \underset{h}{\operatorname{argmin}} J(h),$$

$$J(h) = \sum_i \sum_j d_{i,j} \sum_l \sum_n |h_\omega^j(l, n) y_\omega^i(l, n) - h_\omega^i(l, n) y_\omega^j(k, m)|^2 + \lambda \sum_i \sum_k \sum_m |h_\omega^i(k, m)|^2.$$

(5)

Одним из основных методов решения задач типа (5) является метод градиентного спуска. В рамках этого метода минимизация функционала  $J(h)$  проводится в рамках итерационного процесса:

$$h^k = h^{k-1} - \beta_k \operatorname{grad}(J(h^{k-1})). \quad (6)$$

Вычисляя градиент выражения (5), получим следующую формулу для расчёта спектральных отсчётов импульсных характеристик на  $k$ -м шаге итерации:

$$h_\omega^{j,k}(l, n) = (1 - \beta_k) h_\omega^{j,k-1}(l, n) + \beta_k \frac{y_\omega^j(l, n) \sum_{i, j \neq i} d_{i,j} h_\omega^{i,k-1}(l, n) y_\omega^{*j}(l, n)}{\sum_{i, j \neq i} d_{i,j} |y_\omega^j(l, n)|^2 + \lambda}.$$

(7)

На каждом шаге итерации используется тот же оператор проектирования, что и в [5].

### Экспериментальные результаты

В результате проведенного математического моделирования работы описанных алгоритмов получена зависимость относи-

тельной погрешности восстановления изображения от отношения сигнал/шум, показанная на рис. 1. Для качественного анализа эффективности работы алгоритмов на рис. 2 показаны результаты моделирования линейных искажений в 3-х канальной системе регистрации изображений.

### Заключение

В статье выведен и исследован алгоритм слепой коррекции векторных изображений, который включает в себя критерий для минимизации и формулы, оценивающие ФРТ.

В результате проведенного моделирования установлено, что полученный нами алгоритм по евклидовому расстоянию остается ближе к истинному изображению, чем алгоритм Катковника [5], при различных уровнях шумов. Были продемонстрированы изображения, восстановленные обоими алгоритмами при разных уровнях шумов, из которых видно, что при больших шумах в алгоритме теряются малоразмерные детали, в то же время у представленного алгоритма этого эффекта не наблюдается.

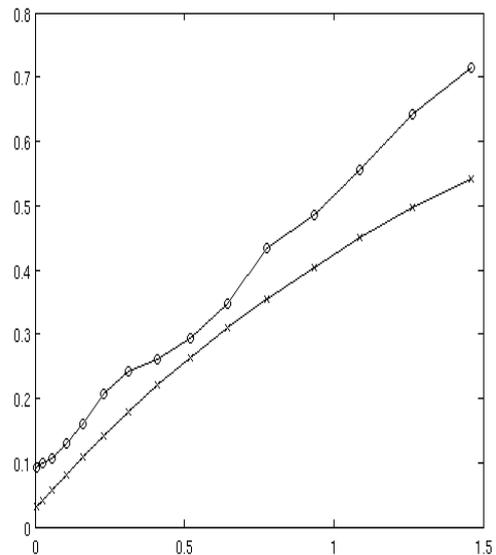


Рис. 1. Зависимость относительной погрешности восстановления изображения от дисперсии шума: O - алгоритм Катковника [5]; X - предлагаемый модифицированный алгоритм

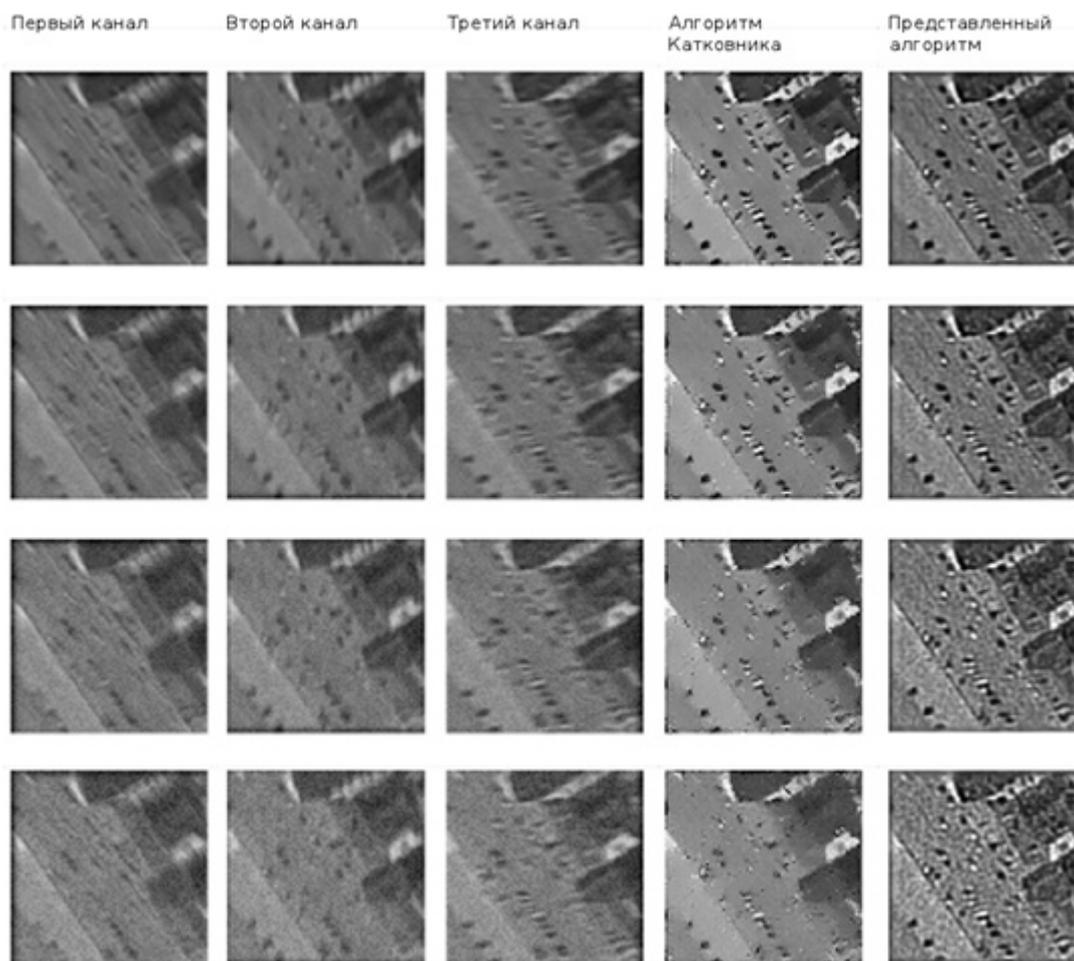


Рис. 2. Результаты моделирования, представленные для качественного анализа

#### Библиографический список

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с.
2. Василенко, Г. И. Восстановление изображений [Текст] / Г. И. Василенко, А. М. Тараторин. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
3. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач [Текст] / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 320 с.
4. Горячкин, О. В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи [Текст] / О. В. Горячкин. – М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
5. Katkovnik V., Paliy D., Egiazarian K., Astola J. Frequency domain blind deconvolution in multiframe imaging using anisotropic spatially-adaptive denoising // Proceedings of EUSIPCO, 2006. – 5p.

## MULTICHANNEL BLIND IMAGE DECONVOLUTION ALGORITHM

© 2011 A. A. Berezowskii, O. V. Goryachkin

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Information

The paper deals with blind deconvolution algorithm for the images distorted in the vector channel. The obtained algorithm is compared to one of the most effective pre-existing algorithms. The article shows the results of the simulation and the images of different noise levels restored by each of the algorithms.

*Blind deconvolution, SIMO, image deblurring, additive noise.*

### Информация об авторах

**Березовский Андрей Андреевич**, аспирант, м.н.с. центра радиолокационного зондирования Земли (ЦРДЗЗ), Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. E-mail: [andrey.berezowskiy@gmail.com](mailto:andrey.berezowskiy@gmail.com). Область научных интересов: слепая коррекция изображений.

**Горячкин Олег Валериевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. E-mail: [gor@psati.ru](mailto:gor@psati.ru). Область научных интересов: цифровая обработка сигналов в системах радиотехники и связи, радиофизические методы дистанционного зондирования Земли, радиолокация с синтезированием апертуры антенны, слепая идентификация систем, прикладная статистика.

**Berezowskiy Andrey Andreevich**, post-graduate student, junior center of the radar sensing (TSRDZZ), Volga state university of telecommunications and informatki. E-mail: [andrey.berezowskiy@gmail.com](mailto:andrey.berezowskiy@gmail.com). Scientific interests: focus on blind image deconvolution.

**Goryachkin Oleg Valerievich**, doctor of technical sciences, professor, head of the theoretical foundations of radio engineering and communication, Volga State University of Telecommunications and Information. E-mail: [gor@psati.ru](mailto:gor@psati.ru). Scientific interests: digital processing of signals in the systems of radio engineering and communications, the radiophysics methods of the remote sensing of the Earth, radar with the synthesizing of the aperture of antenna, the blind identification of systems, applied statistics.