

АДАПТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Трубин И.С., Тихонов И.Е., Петров Е.П.

Вятский государственный университет, кафедра радиоэлектронных средств
610000, г. Киров, ул. Московская, 36,
тел. (833-2)-693295, факс (833-2)-626578, e-mail: trubin@vgtu.riac.ru

В данной работе на основе представления полутоновых изображений случайными двумерными марковскими процессами с дискретными аргументами получен алгоритм адаптивной фильтрации полутоновых изображений, искаженных белым гауссовским шумом.

Методы обработки и передачи полутоновых (телевизионных) изображений развиваются в основном в двух направлениях, определяемых приложением и ограниченностью технических и временных ресурсов. Первое – сжатие полутоновых изображений за счет устранения статистической избыточности, второе – фильтрация (восстановление) изображений искаженных шумами за счет использования статистической избыточности.

Сжатие изображений позволяет существенно сократить объем данных, об очередном кадре изображения, передаваемых по каналу связи практически без потерь качества. Примером могут служить системы, использующие стандарт MPEG. Сжатию полутоновых изображений посвящено большое количество работ, в том числе и отечественных [1], что позволило получить впечатляющие результаты. Условием успешной работы систем сжатия изображений является большое отношение сигнал/шум (не менее 10...12 дБ по мощности).

Достижения в области цифровой фильтрации полутоновых изображений, особенно нелинейной, скромнее. Несмотря на то, что существует несколько методов восстановления изображений, неадекватных по вычислительной сложности, структуре алгоритмов и чувствительности к статистике параметров [2], большинство из них требуют для своей реализации значительных временных и технических ресурсов. Аппроксимация полутоновых изображений двумерными марковскими процессами с дискретными аргументами, в некоторых случаях позволяет получить эффективные алгоритмы фильтрации, простые по своей структуре и малым количеством вычислений и объемом памяти. В данной работе рассматривается нелинейная цифровая фильтрация полутоновых изображений марковского типа, искаженных белым гауссовским шумом $n(t)$ с параметрами $(0, \sigma_n^2)$

Для создания и исследования алгоритмов обработки изображений необходимо располагать математической моделью изображения. Будем считать, что алгоритм фильтрации полутоновых изображений работает в темпе поступления данных об изображении, т.е. в реальном масштабе времени. Ограничимся рассмотрением полутонового изображения, полученного последовательной разверткой от левого верхнего угла вниз по мере поступления элементов изображения. Модель изображения в этом случае должна быть каузальным случайным полем. Выберем в качестве математической модели изображения одностороннее марковское случайное поле (ОМСП) [2], которое называется также двумерной марковской цепью на несимметричной полуплоскости (НСПП). Сформируем искусственное полутоновое изображение по алгоритму [3]

$$\mu(i, j) = r_g \mu(i-1, j) + r_z \mu(i, j-1) - r_g r_z \mu(i-1, j-1) + \sqrt{(1-r_g^2)(1-r_z^2)} \xi(i, j), \quad (1)$$

с разделимой корреляционной функцией $r = \sigma_\mu^2 \exp\{-\alpha_z |\tau_z| - \alpha_g |\tau_g|\}$, где r_g, r_z - коэффициенты корреляции между соседними элементами изображения по вертикали и горизонтали, соответственно. $\xi(i, j)$ представляет собой выборку независимого гауссовского случайного процесса.

Статистическая избыточность, свойственная типичным полутоновым изображениям, присуща также и бинарным сечениям, на которые оно разбивается при цифровом представлении элементов полутонового изображения. Если оцифрованная выборка изображения (m -разрядное двоичное число) представляет собой возможное состояние однородной цепи Маркова с 2^m состояниями, то каждый двоичный разряд является простой однородной цепью Маркова с двумя состояниями. Тогда, используя результаты, полученные в [4] запишем уравнения фильтрации полутоновых изображений, представленных в цифровой форме:

$$\begin{aligned} u_{k+1}^{(i)}(i, j) &= f_{k+1}(\Phi_1^{(i)}(i, j)) - f_{k+1}(\Phi_2^{(i)}(i, j)) + u_k^{(i)}(i-1, j) + \\ &+ z_1^{(i)}(u_k^{(i)}(i-1, j), p_{\alpha\beta}^{\prime(i)}) + u_k^{(i)}(i, j-1) + z_2^{(i)}(u_k^{(i)}(i, j-1), p_{\alpha\beta}^{\prime\prime(i)}) - \end{aligned} \quad (2)$$

$$-u_k^{(l)}(i-1, j-1) - z_3^{(l)}(u_k^{(l)}(i-1, j-1), p_{\alpha\beta}^{(l)}), \quad l = \overline{1, m}; \alpha, \beta = 1, 2.$$

В тех случаях, когда априорная информация о степени корреляции между элементами изображения на приемной стороне неизвестна, целесообразно использовать адаптивные методы фильтрации изображений.

Представление полутоновых изображений двоичными сечениями позволяет, используя результаты работы [5] по адаптивной фильтрации двоичных коррелированных сигналов, построить адаптивный алгоритм фильтрации полутоновых изображений с минимальным количеством вычислений и объемом памяти для хранения элементов изображения размером одной строки.

Для вычисления оценок коэффициентов корреляции по горизонтали \hat{r}_2 и вертикали \hat{r}_6 или, соответственно, оценок вероятностей перехода \hat{p}'_{ii} и \hat{p}''_{ii} , можно воспользоваться методом, предложенным в [4]. Для большинства полутоновых изображений $\hat{r}_2 = \hat{r}_6$.

Тогда адаптивный алгоритм цифровой фильтрации многоуровневых полутоновых изображений будет состоять из (2), в котором

$$Z_v^{(l)}(u_k^{(l)}(q, r), p_{\alpha\beta}^{(l)}) = \ln \frac{\hat{p}_{\alpha\alpha}^{(l)} + \hat{p}_{\beta\alpha}^{(l)} \exp\{-u_k^{(l)}(q, r)\}}{\hat{p}_{\beta\beta}^{(l)} + \hat{p}_{\alpha\beta}^{(l)} \exp\{u_k^{(l)}(q, r)\}}, \quad q = (i-1, i), r = (j-1, j) \quad (3)$$

и соотношений, вычисляющих оценку $\hat{p}'_{iv}^{(l)}$ на v -м шаге адаптации в l -ном разряде,

$$\hat{\chi}_{zv}^{(l)} = \frac{k_{av}^{(l)}}{2\hat{\lambda}_{zv}^{(l)}}; \hat{p}'_{ivv}^{(l)} = 1 - \frac{P_i}{\hat{\chi}_z^{(l)}}, \quad \varepsilon_{zv}^{(l)} = \hat{p}'_{ivv}^{(l)} - \hat{p}'_{iiv}^{(l-1)}; \varepsilon_{zv}^{(l)} \leq \varepsilon_{zv}^{(l-1)}, \quad (4)$$

$\hat{\chi}_z^{(l,r)}$ - оценка средней длины цуга l -го разряда, состоящего из одинаковых символов 0 или 1 на r -ном шаге адаптации по строкам изображения; $\varepsilon_{zv}^{(l)}$ - заданная точность вычисления оценки $\hat{p}'_{ivv}^{(l)}$ по горизонтали. Элементы матрицы $P^{(l)}$, входящие в (3), вычисляются в соответствии с $\hat{P}^{(l)} = \hat{P}'^{(l)} \hat{P}''^{(l)}$.

Эффективность алгоритма фильтрации реальных полутоновых изображений, оцифрованных 8-ю разрядами ($m=8$), подтверждается выигрышем по мощности сигнала, (рис.1), где 1-выигрыш при точных значениях r_2 и r_6 , 2-при адаптивной фильтрации.

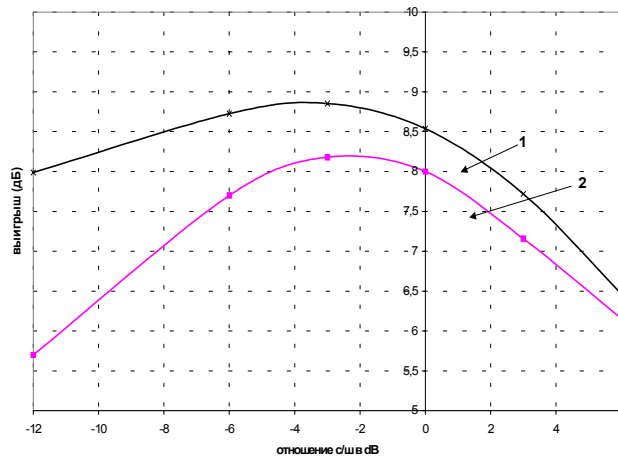
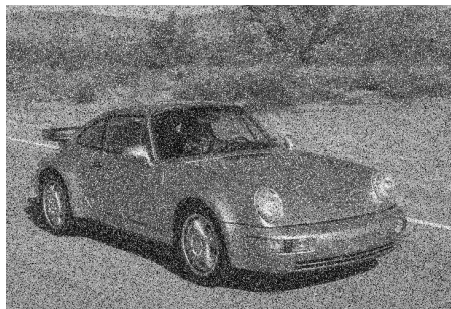


Рис.1.

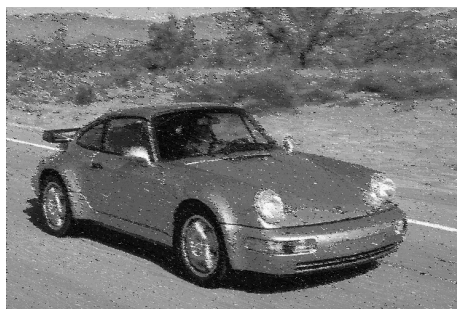
Анализ результатов исследования алгоритма фильтрации полутоновых изображений показывает, что: представление полутонового изображения его двоичными сечениями позволяет существенно улучшить качество изображения искаженного шумом, сократить объем вычислений и памяти, размер которой не превышает количества элементов одной строки изображения. На рисунке 2 представлен пример фильтрации полутонового изображения 2 (а), искаженного шумом, при отношении сигнал/шум по мощности -6 дБ 2 (б), оптимальным 2 (в) и адаптивным 2 (г) алгоритмами.



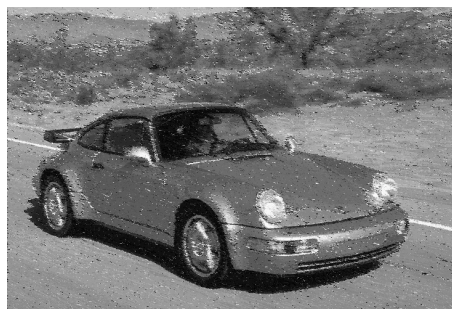
(а)



(б)



(в)



(г)

Рис.2.

Литература

1. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений/ Под ред. В.П.Дворковича и Ю.П.Зубарева. - М.:Междунар. центр научн. и технич. информации. - 1997. - 214 с.
2. Джайн А.К. Успехи в области математических моделей для обработки изображений// ТИИЭР, 1981, т. 69, № 5. - с. 9 - 39.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн. - М.: Мир, 1982.- 792 с.
4. Петров Е.П. Фильтрация марковских бинарных изображений. - Актуальные проблемы электронного приборостроения. Труды третьей международной научно-технической конференции. - Новосибирск, в 11 т. Т.7, 1996 г, с. 29.
5. Петров Е.П., Частиков А.В. Адаптивная фильтрация дискретного параметра последовательности импульсных коррелированных сигналов - Вестник Вятского научного центра Верхне-Волжского отделения Академии технологических наук Российской Федерации, серия Проблемы обработки информации Выпуск 1/98 – Киров, 1998 с. 98-103.



ADAPTIVE DIGITAL FILTERING OF MARKOV HALF-TONE IMAGES

Trubin I., Tihonov I., Petrov E.

Vyatka State University
36 Moscow str., Kirov 610000, Russia
Phone (+7-833-2) -693295, Fax (+7-833-2) -626578, E-mail: trubin@vgtu.riac.ru

Abstract. On the basis of appreciation of half-tone images by Markov two-dimensional processes with discrete arguments algorithm of an adaptive filtration of half-tone images deformed by "white" gauss noise was received.

In the given work the nonlinear digital filtration of the *Markov* half-tone images deformed white Gaussian noise $n(t)$ with parameters $(0, \sigma_n^2)$ is considered. As a model of image we used

$$\mu(i, j) = r_e \mu(i-1, j) + r_z \mu(i, j-1) - r_e r_z \mu(i-1, j-1) + \sqrt{(1-r_e^2)(1-r_z^2)} \xi(i, j), \quad (1)$$

with function of correlation $r = \sigma_\mu^2 \exp\{-\alpha_z |\tau_z| - \alpha_e |\tau_e|\}$, where r_z, r_e - factors of correlation on a vertical and horizontal, accordingly. $\xi(i, j)$ - selected samples of additive Gaussian noise.

Then, using results received in [1], the equations of a filtration of the half-tone images represented numerically we shall write down

$$\begin{aligned} u_{k+1}^{(l)}(i, j) = & f_{k+1}(\Phi_1^{(l)}(i, j)) - f_{k+1}(\Phi_2^{(l)}(i, j)) + u_k^{(l)}(i-1, j) + \\ & + z_1^{(l)}(u_k^{(l)}(i-1, j), p_{\alpha\beta}^{\prime(l)}) + u_k^{(l)}(i, j-1) + z_2^{(l)}(u_k^{(l)}(i, j-1), p_{\alpha\beta}^{\prime\prime(l)}) - \\ & - u_k^{(l)}(i-1, j-1) - z_3^{(l)}(u_k^{(l)}(i-1, j-1), p_{\alpha\beta}^{\prime\prime\prime(l)}), \quad l = \overline{1, m}, \alpha, \beta = 1, 2. \end{aligned} \quad (2)$$

The most of the half-tone images have $\hat{r}_z = \hat{r}_e$. Then the adaptive algorithm of a digital filtration of the multilevel images will be consist in (2), at which

$$Z_v^{(l)}(u_k^{(l)}(q, r), p_{\alpha\beta}^{(l)}) = \ln \frac{\hat{p}_{\alpha\alpha}^{(l)} + \hat{p}_{\beta\alpha}^{(l)} \exp\{-u_k^{(l)}(q, r)\}}{\hat{p}_{\beta\beta}^{(l)} + \hat{p}_{\alpha\beta}^{(l)} \exp\{u_k^{(l)}(q, r)\}}, \quad q = (i-1, i), r = (j-1, j) \quad (3)$$

and ratio calculating an estimation $\hat{p}_{iiv}^{(l)}$ - on v -step of adaptation in l -bit.

$$\hat{\chi}_{zv}^{(l)} = \frac{k_{av}^{(l)}}{2\lambda_{zv}^{(l)}}; \quad \hat{p}_{iiv}^{\prime(l)} = 1 - \frac{p_i}{\hat{\chi}_z^{(l)}}; \quad \varepsilon_{zv}^{(l)} = \hat{p}_{iiv}^{\prime(l)} - \hat{p}_{iiv}^{\prime(l-1)}; \quad \varepsilon_{zv}^{(l)} \leq \varepsilon_{z0}^{(l)}, \quad (4)$$

$\hat{\chi}_z^{(l,r)}$ - estimation of average length the set of data consisting of identical symbols 0 or 1 on r -step of adaptation at l -category on lines of the image; $\varepsilon_{z0}^{(l)}$ - given accuracy of calculation of an estimation $\hat{p}_{iiv}^{(l)}$ at an horizontal. The elements of a matrix $P^{\prime\prime\prime(l)}$, included in (3), are calculated according to $\hat{P}^{\prime\prime\prime(l)} = \hat{P}^{\prime(l)} \hat{P}^{\prime\prime(l)}$.

The references

1. Петров Е.П. Фильтрация марковских бинарных изображений. - Актуальные проблемы электронного приборостроения. Труды третьей международной научно-технической конференции. - Новосибирск, в 11 т. Т.7, 1996 г, с. 29.