АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЦВЕТНЫХ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Карасев О.Е., Володин Д.Е.

Муромский институт Владимирского государственного университета, каф. Э и ВТ

Изображения в процессе регистрации и передачи по каналам связи обычно искажаются случайными помехами. Если неискаженный сигнал с выхода датчика подать непосредственно на вход монитора, то даже и в этом случае воспроизводимое изображение будет иметь некоторую зернистость, структура которой имеет случайный характер. Обычно вклад шума учитывается как аддитивный случайный процесс, некоррелированный с изображением [1]. Практически можно считать, что источники изображения вырабатывают гауссов шум. Каналы передачи аналоговой информации вносят шум, который также можно считать гауссовым [2]. Таким образом, процесс формирования изображения математически можно представить в виде

$$\overline{S}'(i,j) = \overline{S}(i,j) + \overline{N}(i,j), \tag{1}$$

где $i = \overline{1,K}$;

$j = \overline{1,L}$;

K и L – размеры изображения по горизонтали и вертикали;

$\overline{S}(i,j) = \begin{vmatrix} S_R(i,j) \\ S_G(i,j) \\ S_B(i,j) \end{vmatrix}$ – неискаженное шумом цветное изображение;

$S_R(i,j)$, $S_G(i,j)$, $S_B(i,j)$ – составляющие цветного изображения, представляющие собой значения яркости соответственно в красной, зеленой и синей цветовых плоскостях пространства RGB;

$\overline{N}(i,j) = \begin{vmatrix} N_R(i,j) \\ N_G(i,j) \\ N_B(i,j) \end{vmatrix}$ – аддитивный шум – многомерный гауссов процесс с независимыми составляющими, нулевым средним и дисперсией $\overline{\sigma}_N^2$;

$\overline{\sigma}_N^2 = \begin{vmatrix} \sigma_{NR}^2 \\ \sigma_{NG}^2 \\ \sigma_{NB}^2 \end{vmatrix}$;

σ_{NR}^2, σ_{NG}^2, σ_{NB}^2 – дисперсии аддитивного шума соответственно в красной, зеленой и синей цветовых плоскостях пространства RGB.

На практике изображение часто бывает искажено также помехами локального (импульсного) типа. С учетом этого процесс формирования изображения (1) примет вид

$$\overline{S}'(i,j) = \begin{cases} \overline{S}(i,j) + \overline{N}(i,j) & \textit{с вероятностью } 1 - p_I \\ \overline{N}_I(i,j) & \textit{с вероятностью } p_I \end{cases}, \tag{2}$$

где $\overline{N}_I(i,j)$ – многомерный импульсный шум, имеющий большую или меньшую амплитуду относительно соседних точек изображения по крайней мере в одной из цветовых плоскостей.

Предположим, что процесс формирования изображения (2) справедлив и для системы “эндоскопический аппарат – ПЭВМ”.

Естественный подход к фильтрации цветного изображения заключается в обработке составляющих $S_R(i,j)$, $S_G(i,j)$, $S_B(i,j)$ отдельно. В реальных случаях составляющие цветного изображения обычно коррелированы. И если каждая составляющая обрабатывается независимо, то эта корреляция не используется. Таким образом, раздельная обработка компонент цветного изображения приводит к искажениям.

Для устранения помех импульсного типа в обработке изображений эффективно применяется медианная фильтрация. Для цветных изображений существует процедура определения векторной медианы, позволяющая учитывать взаимную корреляцию составляющих изображения.

Простейшим методом устранения аддитивного шума является арифметическое усреднение, при котором осуществляется замена значения каждого элемента изображения средним значением, найденным по его окрестности.

Для принятой модели формирования изображения (2) можно использовать алгоритм адаптивной гибридной фильтрации [3], который, учитывая взаимную корреляцию составляющих цветного изображения и используя комбинацию векторной медианной процедуры и метода арифметического усреднения, позволяет эффективно устранять аддитивный и импульсный шумы.

Выражение адаптивного гибридного фильтра имеет вид

$$Y = \arg \min_{S(i,j)\in W} (1-\alpha)\beta \left\| \overline{S}(i,j) - \overline{S}_A(u,v) \right\|_2^2 + \alpha\beta \left\| \overline{S}(i,j) - \overline{S}(u,v) \right\|_2^2 +$$
$$+ (1-\beta) \left\| \overline{S}(i,j) - \overline{S}_M(u,v) \right\|_2^2, \qquad (3)$$

где W – окрестность элемента изображения;

$0 \le \alpha \le 1$, $0 \le \beta \le 1$ – весовые коэффициенты, адаптивно меняющие свои значения в соответствии с активностью полезного и шумового сигналов в окрестности элемента изображения;

(u,v) – центр окрестности элемента изображения;

$\overline{S}(i,j)$ – элемент изображения, принадлежащий окрестности;

$\overline{S}(u,v)$ – центральный элемент окрестности;

$\overline{S}_A(u,v)$ – вектор средней яркости, определяемый по элементам изображения, принадлежащим окрестности;

$\overline{S}_M(u,v)$ – вектор медианной яркости, определяемый по элементам изображения, принадлежащим окрестности;

$\|\bullet\|_2$ – норма в пространстве L_2.

Недостатком данного алгоритма является отсутствие метода определения дисперсий шумового сигнала $\overline{\sigma}_N^2$, σ_{NR}^2, σ_{NG}^2, σ_{NB}^2.

Для случая некоррелированного шума воспользуемся методикой, описанной в [4]. Ковариационная функция шума в цветовой плоскости изображения может быть записана в виде

$$C_{Nk}(r,s) = \sigma_{Nk}^2 \cdot \delta(r,s), \qquad (4)$$

где $k = R, G, B$;

$\delta(r,s)$ – дискретный аналог дельта-функции;

$$\delta(r,s) = \begin{cases} 0 & r \ne 0 \quad или \quad s \ne 0 \\ 1 & r = s = 0 \end{cases}.$$

Предполагая, что изображение и шум статистически независимы, для ковариационных функций можно записать

$$C_{S'k}(r,s) = C_{Sk}(r,s) + C_{Nk}(r,s). \qquad (5)$$

Здесь индексы S', S, N обозначают соответственно наблюдаемое изображение, исходное изображение, шум.

Согласно (4 – 5) ковариационная функция наблюдаемого изображения

$$C_{S'k}(r,s) = C_{Sk}(r,s) + \sigma_{Nk}^2 \cdot \delta(r,s)$$

отличается от ковариационной функции исходного изображения $C_{Sk}(r,s)$ только в начале координат, т.е.

$$\sigma_{Nk}^2 = C_{S'k}(0,0) - C_{Sk}(0,0), \qquad (6)$$

и для всех остальных значений $r,s \ne 0$ служит оценкой ковариационной функции исходного изображения

$$C_{S'k}(r,s) = C_{Sk}(r,s).$$

Воспользовавшись оценкой ковариационной функции исходного изображения $C_{Sk}(r,s)$ при значениях $r,s \ne 0$ для интерполяции ее в точке $r = s = 0$, можно вычислить из (6) оценку дисперсии шума σ_{Nk}^2.

В докладе представлены результаты обработки реальных эндоскопических изображений предложенным алгоритмом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бьемон Ж., Лагендейк Л., Мерсеро Р.М. Итерационные методы улучшения изображений // ТИИЭР, т. 78, 1990, № 5, с. 58 – 84.
2. Будрикис З. Критерий верности воспроизведения изображения и его моделирование // ТИИЭР, т. 60, 1972, № 7, с. 19 – 30.
3. Tang K., Astola J., and Neuvo Y. Nonlinear Multivariate Image Filtering Techniques // IEEE Trans. Image Processing, Vol. 4, 1995, No. 6, pp. 788 – 797.
4. Миркин Л.И., Ярославский Л.П. Способ измерения зашумленности изображений. / В сб. Вопросы кибернетики. Выпуск 38. Иконика. Цифровая обработка и фильтрация изображений. Под ред. Д.С. Лебедева. – М.: Научный совет по комплексной проблеме “Кибернетика”, 1978, с. 97 – 107.

———♦———

ADAPTIVE FILTERING OF COLOR ENDOSCOPIC IMAGES

Karasyov O.E., Volodin D.E.

In real cases images are corrupted by random noises. Usually noise is evaluated as additive random process which hasn’t correlation with image. In practice, image sources produce Gaussian noise. Transmission channels of analog information add Gaussian noise too. Thus model for an image corrupted by additive noise is

$$\overline{S}'(i,j) = \overline{S}(i,j) + \overline{N}(i,j), \tag{1}$$

where $i = \overline{1,K}$;

$j = \overline{1,L}$;

K and L are horizontal and vertical dimensions of image;

$\overline{S}(i,j) = \begin{vmatrix} S_R(i,j) \\ S_G(i,j) \\ S_B(i,j) \end{vmatrix}$ is noise-free color image;

$S_R(i,j)$, $S_G(i,j)$, $S_B(i,j)$ are color image components, which are intensity values in red, green and blue color planes of the RGB space;

$\overline{N}(i,j) = \begin{vmatrix} N_R(i,j) \\ N_G(i,j) \\ N_B(i,j) \end{vmatrix}$ is additive noise – multivariate Gaussian noise with independent components, zero mean and variance $\overline{\sigma}_N^2$;

$\overline{\sigma}_N^2 = \begin{vmatrix} \sigma_{NR}^2 \\ \sigma_{NG}^2 \\ \sigma_{NB}^2 \end{vmatrix}$;

σ_{NR}^2, σ_{NG}^2, σ_{NB}^2 are variances of additive noise in red, green and blue color planes of the RGB space.

Really image often is corrupted by impulse noise. Finally, we shall use the following model for an image corrupted by the mixed noise

$$\overline{S}'(i,j) = \begin{cases} \overline{S}(i,j) + \overline{N}(i,j) & \textit{with probability } 1 - p_I \\ \overline{N}_I(i,j) & \textit{with probability } p_I \end{cases}, \tag{2}$$

where $\overline{N}_I(i,j)$ is multivariate impulse noise, which has larger or smaller amplitude than the neighboring pixels at least in one of the color planes.

We use this model (2) and adaptive hybrid filtering algorithm for color endoscopic images. This algorithm is combination of the vector median filter and the mean filter.

The output of the adaptive hybrid filter is

$$Y = \arg \min_{S(i,j)\in W} (1-\alpha)\beta \left\| \overline{S}(i,j) - \overline{S}_A(u,v) \right\|_2^2 + \alpha\beta \left\| \overline{S}(i,j) - \overline{S}(u,v) \right\|_2^2 + \\ + (1-\beta) \left\| \overline{S}(i,j) - \overline{S}_M(u,v) \right\|_2^2, \tag{3}$$

where W is image element neighborhood;

$0 \le \alpha \le 1$, $0 \le \beta \le 1$ are weight coefficients which control the output of the filter and are varied adaptively according to activity of the signal and noise in the neighborhood;

(u, v) is the center of the neighborhood;

$\overline{S}(i, j)$ is image element in the neighborhood;

$\overline{S}(u, v)$ is the central element of the neighborhood;

$\overline{S}_A(u, v)$ is mean intensity vector which is calculated from the elements in the neighborhood;

$\overline{S}_M(u, v)$ is median intensity vector which is calculated from the elements in the neighborhood;

$\|\bullet\|_2$ is L_2 norm.

Disadvantage of this algorithm is absence of the evaluation method for the noise variances $\overline{\sigma}_N^2$, σ_{NR}^2, σ_{NG}^2, σ_{NB}^2.

In case of the non-correlated noise we use following approach.

Covariance function of noise in color plane is calculated as

$$C_{Nk}(r,s) = \sigma_{Nk}^2 \cdot \delta(r,s), \tag{4}$$

where $k = R, G, B$;

$\delta(r,s)$ is Δ – function;

$$\delta(r,s) = \begin{cases} 0 & r \ne 0 \quad или \quad s \ne 0 \\ 1 & r = s = 0 \end{cases}.$$

We assume that the image and noise are statistically independent. So for covariance functions we can write

$$C_{S'k}(r,s) = C_{Sk}(r,s) + C_{Nk}(r,s). \tag{5}$$

The indices S', S, N are corrupted image, noise-free image and noise.

According to (4 – 5) covariance function of the corrupted image is

$$C_{S'k}(r,s) = C_{Sk}(r,s) + \sigma_{Nk}^2 \cdot \delta(r,s)$$

and is distinguished from covariance function of the noise-free image $C_{Sk}(r,s)$ in zero point, i.e.

$$\sigma_{Nk}^2 = C_{S'k}(0,0) - C_{Sk}(0,0), \tag{6}$$

and for all values $r, s \ne 0$ is evaluation of covariance function of the noise-free image $C_{S'k}(r,s) = C_{Sk}(r,s)$.

Using evaluation of covariance function of the noise-free image $C_{Sk}(r,s)$ in points $r, s \ne 0$ for its interpolation in point $r = s = 0$, we may calculate noise variances σ_{Nk}^2 according to (6).

In report we show results of real endoscopic images processing by proposed algorithm.