

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Трубин И.С., Буторин Е.Л.

Вятский государственный университет,
кафедра радиоэлектронных средств
610000, г. Киров, ул. Московская д.36, e-mail: res@riac.ru

Известно, что полутоновые (телевизионные) изображения обладают большой статистической избыточностью как внутри кадра, так и между кадрами. Использование избыточности позволило получить впечатляющие результаты при сжатии изображений. На сегодня достигнут коэффициент сжатия более чем 100:1 [1]. Для эффективного функционирования систем сжатия изображений необходимо устранить из исходного сигнала все факторы, препятствующие сокращению избыточности. В первую очередь это касается шумов видеотракта. В тех случаях, когда мощность шумов на входе кодера сжатия превосходит мощность полезного сигнала необходимо осуществлять предварительную фильтрацию изображения от шумов [1]. Аппроксимация полутоновых изображений марковскими процессами с дискретными аргументами, хорошо согласуется с реальными изображениями и позволяет получить эффективные алгоритмы фильтрации, простые по своей структуре и не требующие большого количества вычислений [2].

Целью данной работы является синтез структуры нелинейного приемного устройства для пространственно-временной фильтрации последовательности кадров цифровых полутоновых изображений, на основе представления последовательности кадров полутонного изображения в виде трехмерного гауссовского марковского поля. В этом случае двум координатам i, j элемента изображения $\mu(i, j, t)$ придается смысл пространственных, определяющих положение точки в кадре, а третьей t – смысл номера кадра или дискретного времени его формирования [3].

При таком представлении последовательности полутоновых изображений для предсказания состояния фильтруемого элемента необходимо знать состояния его ближайшего окружения. Для случая каузальной фильтрации множество ближайших соседних элементов показано на рис. 1, где $v_4 = \mu(i, j, t)$ - фильтруемый элемент изображения; $v_1 = \mu(i, j - 1, t)$ - задержанный по горизонтали; $v_2 = \mu(i - 1, j, t)$ - задержанный по вертикали; $v_3 = \mu(i - 1, j - 1, t)$ - задержанный по диагонали в текущем кадре; $v_4' = \mu(i, j, t - 1)$ - задержанный по времени (соответствует положению фильтруемого элемента в предыдущем кадре); $v_1' = \mu(i, j - 1, t - 1)$, $v_2' = \mu(i - 1, j, t - 1)$, $v_3' = \mu(i - 1, j - 1, t - 1)$ – соответственно, задержанные по горизонтали, вертикали и диагонали в предыдущем кадре (т.е. задержанные дополнительно по времени).

Элемент изображения текущего кадра $\mu(i, j, t)$ после оцифровки может быть представлен последовательностью m – разрядных двоичных чисел $y(i, j, t) = \{y^{(m)}(i, j, t), \dots, y^{(1)}(i, j, t)\}$, где $1 \leq i \leq V, 1 \leq j \leq H, 1 \leq t \leq T$; $y^{(l)}(i, j, t)$ - l -й разряд двоичного числа. Если при этом $y(i, j, t)$ является элементом трехмерного гауссовского марковского поля, то и каждый разряд двоичного числа $y^{(l)}(i, j, t)$ будет также являться элементом марковского поля.

Рис.1 (Fig. 1)

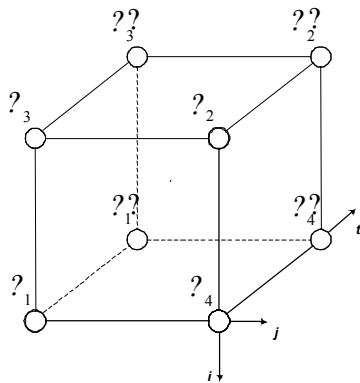
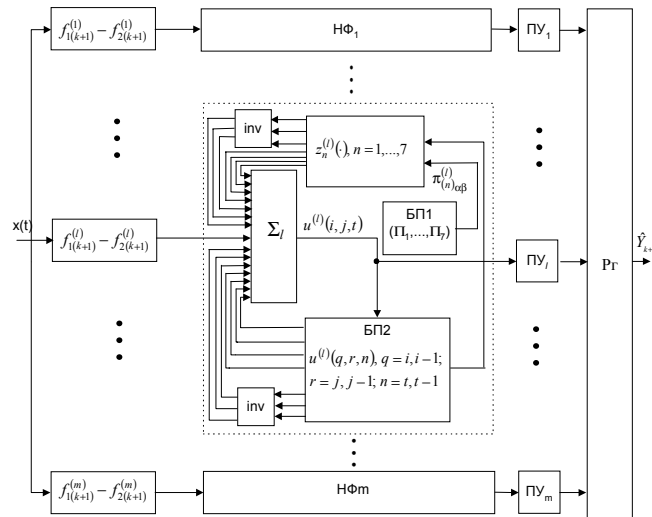


Рис.2 (Fig. 2)



При одновременной и независимой передаче разрядов $y^{(l)}(i, j, t)$ по каналу связи, применяя подход, использованный в [2] при синтезе алгоритма пространственной обработки полутоновых изображений марковского типа, можно записать уравнение фильтрации дискретных параметров сигналов элементов полутоновых изображений $y(i, j, t)$, представленных в цифровой форме:

$$\begin{aligned}
 u^{(l)}(i, j, t) = & f(\Phi_1^{(l)}(i, j, t)) - f(\Phi_2^{(l)}(i, j, t)) + u^{(l)}(i-1, j, t) + z_1^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j, t), \pi_{(1)\alpha\beta}^{(l)}) + \\
 & + u^{(l)}(i, j-1, t) + z_2^{(l)}(u^{(l)}(i, j-1, t), \pi_{(2)\alpha\beta}^{(l)}) - u^{(l)}(i-1, j-1, t) - \\
 & - z_3^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j-1, t), \pi_{(3)\alpha\beta}^{(l)}) + u^{(l)}(i, j, t-1) + z_4^{(l)}(u^{(l)}(i, j, t-1), \pi_{(4)\alpha\beta}^{(l)}) - \\
 & - u^{(l)}(i-1, j, t-1) - z_5^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j, t-1), \pi_{(5)\alpha\beta}^{(l)}) - u^{(l)}(i, j-1, t-1) - \\
 & - z_6^{(l)}(u^{(l)}(i, j-1, t-1), \pi_{(6)\alpha\beta}^{(l)}) + u^{(l)}(i-1, j-1, t-1) + z_7^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j-1, t-1), \pi_{(7)\alpha\beta}^{(l)})
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $u^{(l)}(q, r, n) = \ln(p_1^{(l)}(q, r, n)/p_2^{(l)}(q, r, n))$, - логарифм отношения апостериорных вероятностей состояний дискретного параметра сигнала элемента изображения в l -м разряде элемента изображения $y(q, r, n)$, соответствующего q -й строке и r -му столбцу n -го кадра; $f(\Phi_1^{(l)}(i, j, t)) - f(\Phi_2^{(l)}(i, j, t))$ - разность логарифмов функций правдоподобия состояний дискретного параметра двоичного сигнала l -го разряда числа $y(i, j, t)$;

$$Z_v^{(l)}(u^{(l)}(q, r, n), \pi_{(v)\alpha\beta}^{(l)}) = \ln \frac{\pi_{(v)\alpha\alpha}^{(l)} + \pi_{(v)\beta\alpha}^{(l)} \exp\{-u^{(l)}(q, r, n)\}}{\pi_{(v)\beta\beta}^{(l)} + \pi_{(v)\alpha\beta}^{(l)} \exp\{u^{(l)}(q, r, n)\}}, \tag{2}$$

где $\pi_{(v)\alpha\beta}^{(l)} (\alpha, \beta, = 1, 2; v = 1 - 7)$ - элементы матриц одномерных вероятностей переходов $\Pi_v^{(l)}$ для $v = 1 - 7$, соответственно, связанных между собой соотношениями

$$\Pi_3^{(l)} = \Pi_1^{(l)} \Pi_2^{(l)}; \Pi_5^{(l)} = \Pi_1^{(l)} \Pi_4^{(l)}; \Pi_6^{(l)} = \Pi_2^{(l)} \Pi_4^{(l)}; \Pi_7^{(l)} = \Pi_1^{(l)} \Pi_2^{(l)} \Pi_4^{(l)}.$$

Данному уравнению соответствует достаточно простое по структуре приемное устройство пространственно-временной фильтрации. В его состав входят: дискриминаторы двоичных сигналов, реализующие операции вычисления разности логарифмов функций правдоподобия $[f_{1(k+1)}^{(l)} - f_{2(k+1)}^{(l)}]$ ($l = 1, m$); нелинейные разрядные фильтры $НФ_1, \dots, НФ_m$, включающие в себя блоки памяти (БП1), для хранения элементов матриц вероятностей переходов, и (БП2), для хранения задержанных элементов изображения текущего и предшествующего кадров; сумматоры; блоки вычисления нелинейной

функции $z_v(\cdot)$, $v = \overline{1,7}$; инверторы знака (inv); пороговые устройства ($ПУ_1, \dots, ПУ_m$); регистр (Pr) оценки двоичного числа \hat{Y}_{k+1} .

Исследования работы приемного устройства проводили путем моделирования на ЭВМ. В качестве предмета обработки была взята последовательности из 1000 кадров искусственных изображений размером 512x512 пикселей, сформированная в соответствии с алгоритмом формирования трехмерного гауссовского марковского поля, предложенным в [3]. Средние коэффициенты корреляции синтезированной видеопоследовательности составляли: по горизонтали $\rho_h = 0,95$, по вертикали $\rho_v = 0,95$, по времени $\rho_t = 0,95$. В качестве помехи, присутствующей в канале связи, использовали гауссовский шум $\eta(t)$ с параметрами $(0, \sigma_\eta^2)$. На рис.3 показаны n-й кадр исходной видеопоследовательности (рис.3 а), тот же кадр в присутствии шума при соотношении сигнал/шум – 6 дБ (рис.3 б) и отфильтрованное изображение (рис. 3 в).

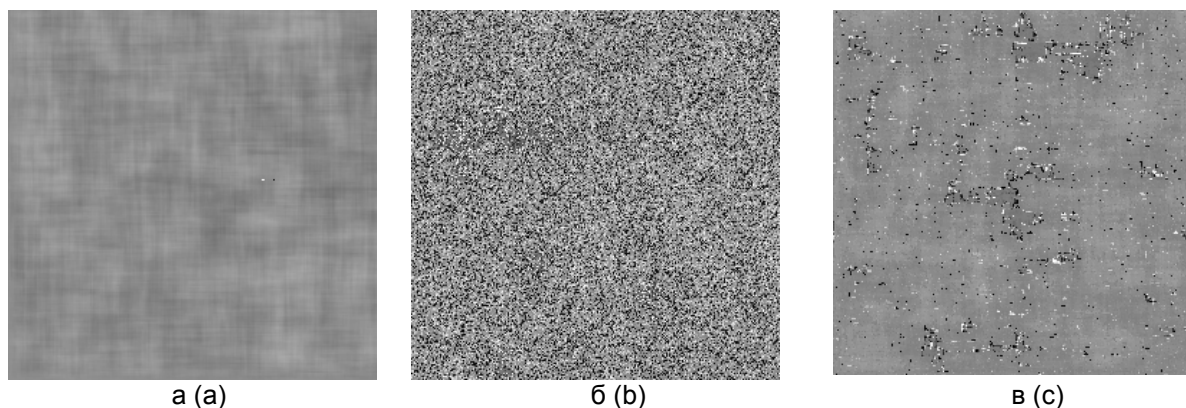


Рис.3 (Fig.3)

Из рисунка видно, что исследуемое приемное устройство обеспечивает хорошее, с точки зрения восприятия человеком, качество отфильтрованного изображения. Это доказывает работоспособность синтезированного приемного устройства. Выигрыш по мощности сигнала в данном случае составил порядка 4 дБ. Структура устройства такова, что позволяет синтезировать на ее основе квазиоптимальные устройства, обладающие скоростью обработки, сопоставимой со скоростью поступления информации о текущем символе изображения.

Литература

1. Локшин Б.А. Цифровое вещание: от студии к зрителю - М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.
2. Петров Е.П., Трубин И.С. Алгоритм цифровой фильтрации марковских полутоновых изображений // 56-я Научная сессия, посвященная Дню радио, труды. - Москва: Изд. предпр. ред. журнала "Радиотехника", 2001. - т. 2. - с.334-335.
3. Спектор А.А. Гауссовские дискретные поля с разделимыми спектрально-корреляционными характеристиками // В кн. Прикладная теория случайных процессов и полей / Под ред. К.К. Васильева и Б.А. Омельченко - Ульяновск, 1995.

SPATIAL-TEMPORAL NONLINEAR FILTERING OF A SEQUENCE OF THE DIGITAL HALF-TONE IMAGES

Trubin I., Butorin E.

Vyatka State University
36 Moscow str., Kirov, 610000, Russia
e-mail: res@riac.ru

When the power of input noises of the coder of compression exceeds power of a signal it is necessary to remove noises from image [1].

The sequence of the half-tone image frames was been represented as three-dimensional Gauss Markov field. In this case, two coordinates of picture element (i, j) are defining the point position in the frame, and third -(t) is the frame number or discrete time [3].

For causal filtering the nearest elements is shown in the fig. 1, where $\mu_4 = \mu(i, j, t)$ is a filtered picture element.

The picture element of the current frame $\mu(i, j, t)$ in a digital form can be submitted by binary numbers sequence $y(i, j, t) = \{y^{(m)}(i, j, t), \dots, y^{(l)}(i, j, t)\}$. If the $y(i, j, t)$ is an element three-dimensional Markov field, the each bit $y^{(l)}(i, j, t)$ will be also element of a Markov field.

The equation of a filtering of discrete parameters of signals of elements of the half-tone images $y(i, j, t)$, submitted in a digital form may be written as:

$$\begin{aligned} u^{(l)}(i, j, t) = & f(\Phi_1^{(l)}(i, j, t)) - f(\Phi_2^{(l)}(i, j, t)) + u^{(l)}(i-1, j, t) + z_1^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j, t), \pi_{(1)\alpha\beta}^{(l)}) + \\ & + u^{(l)}(i, j-1, t) + z_2^{(l)}(u^{(l)}(i, j-1, t), \pi_{(2)\alpha\beta}^{(l)}) - u^{(l)}(i-1, j-1, t) - \\ & - z_3^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j-1, t), \pi_{(3)\alpha\beta}^{(l)}) + u^{(l)}(i, j, t-1) + z_4^{(l)}(u^{(l)}(i, j, t-1), \pi_{(4)\alpha\beta}^{(l)}) - \\ & - u^{(l)}(i-1, j, t-1) - z_5^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j, t-1), \pi_{(5)\alpha\beta}^{(l)}) - u^{(l)}(i, j-1, t-1) - \\ & - z_6^{(l)}(u^{(l)}(i, j-1, t-1), \pi_{(6)\alpha\beta}^{(l)}) + u^{(l)}(i-1, j-1, t-1) + z_7^{(l)}(u^{(l)}(i-1, j-1, t-1), \pi_{(7)\alpha\beta}^{(l)}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$Z_v^{(l)}(u^{(l)}(q, r, n), \pi_{(v)\alpha\beta}^{(l)}) = \ln \frac{\pi_{(v)\alpha\alpha}^{(l)} + \pi_{(v)\beta\alpha}^{(l)} \exp\{-u^{(l)}(q, r, n)\}}{\pi_{(v)\beta\beta}^{(l)} + \pi_{(v)\alpha\beta}^{(l)} \exp\{u^{(l)}(q, r, n)\}}, \quad (2)$$

where $\pi_{(v)\alpha\beta}^{(l)}$ ($\alpha, \beta, = 1, 2; v = 1-7$) - elements of arrays of one-dimensional probabilities of transitions - $\Pi_v^{(l)}$, related to each other by relationship

$$\Pi_3^{(l)} = \Pi_1^{(l)}\Pi_2^{(l)}; \Pi_5^{(l)} = \Pi_1^{(l)}\Pi_4^{(l)}; \Pi_6^{(l)} = \Pi_2^{(l)}\Pi_4^{(l)}; \Pi_7^{(l)} = \Pi_1^{(l)}\Pi_2^{(l)}\Pi_4^{(l)}.$$

The corresponding equation (1) structure of a receiving device is shown in a fig. 2. Its consist of: nonlinear filters $H\Phi_1, \dots, H\Phi_m$; memory units (БП1), for a storage of transitions probabilities arrays, and (БП2), for a storage of the delayed picture elements; blocks of an evaluation of nonlinear function $z_v(\cdot)$, $v = \overline{1, 7}$; threshold devices ($ПВ_1, \dots, ПВ_m$); the register (Pr).

The results of a filtering of a sequence from 1000 frames of the artificial images by the size 512x512 of pixels with additive noise $\eta(t)$ with parameters $(0, \sigma_\eta^2)$ are shown in a fig. 3. The coefficients of correlation of a sequence made: $\rho_h = 0,95$, $\rho_v = 0,95$, $\rho_t = 0,95$. In figure are shown n-frame of an initial sequence (fig. 3 a), the same frame at the presence of noise at a signal to noise ratio -6 dB (fig. 3 b) and filtered image (fig. 3 c).