

Система предварительной обработки изображений на основе матриц фоточувствительных приборов с зарядовой связью

В.М. Строев, Ю.А. Гладышева, И.В. Жилина, А.В. Михина

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Аннотация: В данной работе предлагается способ расширения функционального диапазона систем предварительной обработки изображений и повышения чувствительности, за счёт уменьшения времени обработки. Достижение данного результата предполагается за счёт совмещения обработки для симметричных коэффициентов импульсной характеристики нерекурсивного фильтра.

Ключевые слова: предварительная обработка, пространственно – временная, изображения, фоточувствительные приборы с зарядовой связью, нерекурсивный фильтр.

Основное преимущество реализации предварительной обработки на фоточувствительных приборах с зарядовой связью (ФПЗС) заключается в осуществлении пространственно-временной дискретно-аналоговой обработки (ПВДО) одновременно с формированием изображения [1].

Недостатком известных способов реализации систем предварительной обработки изображений является низкое быстродействие ПВДО обусловленное тем, что обработка осуществляется такт за тактом и число тактов всегда максимально независимо от условий наблюдения. Цель работы расширить функциональный диапазон систем предварительной обработки изображений (СПОИ) и повысить чувствительность, за счёт уменьшения времени обработки. Достижение данной цели предполагается за счёт совмещения обработки для симметричных коэффициентов импульсной характеристики нерекурсивного фильтра.

На рис. 1 приведена классическая структурная схема СПОИ [2], используемого в телевизионной системе.

Введение в схему устройств взаимного смещения матриц фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) и сцены позволяет уменьшить помехи, возникающие при смещении в самих

матрицах, а также осуществлять произвольное направление взаимного смещения [3].

Дополнительно были внесены следующие изменения между оптической системой и светоделительной системой включены: две светоделительные системы, два устройства взаимного смещения, поэлементный оптический сумматор, при этом выход оптической системы оптически соединен со второй светоделительной системой, оптические выходы которой соединены с входами первого и второго устройства взаимного смещения, электрические входы которых соединены с выходами устройства управления, оптические выходы первого и второго устройств взаимного смещения (УВС) соединены с оптическими входами поэлементного оптического сумматора (ПОС), выход которого оптически соединен с входом первой светоделительной системы.

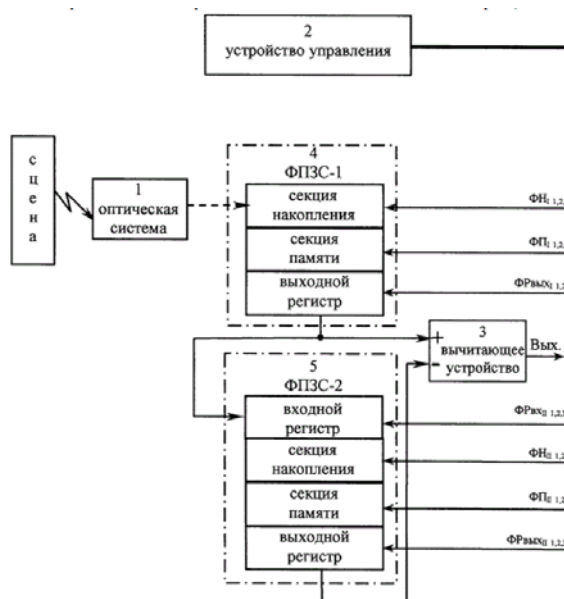


Рис. 1. – Структурная схема СПОИ

На рис. 2а приведена модель исходной СПОИ, а на рис.2б – измененной СПОИ.

Измененная СПОИ включает формирование суммарного изображения с помощью УВС-1, УВС-2 и ПОС, что позволяет уменьшить время обработки.

Анализ исходной модели СПОИ показал, что она включает все элементы дискретно - аналогового нерекурсивного фильтра.

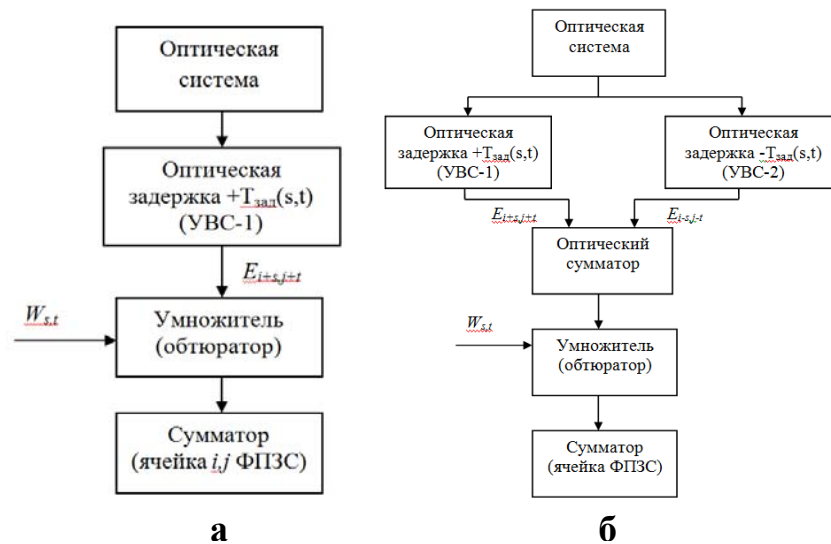


Рис. 2. – Модель СПОИ: а - исходная, б – измененная

Выражение для свёртки с помощью нерекурсивного фильтра [4,5] следующее:

$$G_{i,j} = \sum_{s=-\frac{(m-1)}{2}}^{(m-2)/2} \sum_{t=-\frac{(n-1)}{2}}^{(n-1)/2} W_{s,t} \cdot E_{i+s,j+t} \quad (1)$$

где i, j – дискретные пространственные координаты, $G_{i,j}$ – элемент матрицы изображения после фильтрации; $W_{s,t}$ – маска размером $m \times n$; $E_{i,j}$ – элемент матрицы исходного изображения.

Для получения неискаженных изображений необходимо выполнить требование - симметричные коэффициенты масок равны. В [6-9] показано, что вид обработки меняется в зависимости от вида маски (импульсной характеристики). Приведены виды масок Лапласиана и фильтра для

улучшения изображений. Анализ этих масок показывает, что симметричные коэффициенты равны.

Для пояснения распишем выражение (1) для $n = m = 3$.

$$\begin{aligned} G_{i,j} = & W_{-1,-1} \cdot E_{i-1,j-1} + W_{-1,0} \cdot E_{i-1,j} + W_{-1,1} \cdot E_{i-1,j+1} + \\ & + W_{0,-1} \cdot E_{i,j-1} + W_{0,0} \cdot E_{i,j} + W_{0,1} \cdot E_{i,j+1} + \\ & + W_{1,-1} \cdot E_{i+1,j-1} + W_{1,0} \cdot E_{i+1,j} + W_{1,1} \cdot E_{i+1,j+1} \end{aligned} \quad (2)$$

Для измененной модели СПОИ (рис.2б) возьмём маску фильтра, используемую для реализации дискретного Лапласиана, в которой $W_{-1,-1} = 0$, $W_{0,-1} = 1$, $W_{1,-1} = 0$, $W_{-1,0} = 1$, $W_{0,0} = -4$, $W_{1,0} = 1$, $W_{-1,1} = 0$, $W_{0,1} = 1$, $W_{1,1} = 0$. Отсюда видно, что $W_{-1,-1} = W_{1,1}$, $W_{0,-1} = W_{0,1}$, $W_{1,-1} = W_{-1,1}$, $W_{-1,0} = W_{1,0}$. Тогда выражение для $G_{i,j}$ примет вид:

$$\begin{aligned} G_{i,j} = & W_{0,0} \cdot E_{i,j} + W_{1,1} \cdot (E_{i+1,j+1} + E_{i-1,j-1}) + W_{1,0} \cdot (E_{i+1,j} + E_{i-1,j}) + \\ & + W_{1,-1} \cdot (E_{i+1,j-1} + E_{i-1,j+1}) + W_{0,1} \cdot (E_{i,j-1} + E_{i,j+1}) \end{aligned} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что перед обработкой производится суммирование двух изображений, сдвинутых с помощью УВС на одинаковое расстояние, но в разные стороны. При этом следует учитывать, что индекс i, j указывает номер пикселя изображения, индекс $i+1, j$ указывает номер пикселя изображения смещенного по пространству относительно пикселя с номером i, j на Δx , а индекс $i, j+1$ указывает номер пикселя изображения смещенного по пространству относительно пикселя с номером i, j на Δy .

Для реализации первого, слагаемого сдвиг в УВС-1 и УВС-2 по $x = 0$, по $y = 0$, время накопления пропорционально $\frac{W_{0,0}}{2}$. Деление на 2 обусловлено тем, что в этом случае происходит суммирование двух несмещенных изображений, следовательно, яркость каждого пикселя увеличивается в 2

раза. Для реализации второго слагаемого сдвиг в УВС-1 по $x = \Delta x$, по $y = \Delta y$ и УВС-2 по $x = -\Delta x$, по $y = -\Delta y$, время накопления пропорционально $W_{1,1}$. Для реализации третьего слагаемого сдвиг в УВС-1 по $x = \Delta x$, по $y = 0$ и УВС-2 по $x = -\Delta x$, по $y = 0$, время накопления пропорционально $W_{1,0}$. Для реализации четвертого слагаемого сдвиг в УВС-1 по $x = \Delta x$, по $y = -\Delta y$ и УВС-2 по $x = -\Delta x$, по $y = \Delta y$, время накопления пропорционально $W_{1,-1}$. Для реализации пятого слагаемого сдвиг в УВС-1 по $x = 0$, по $y = -\Delta y$ и УВС-2 по $x = 0$, по $y = \Delta y$, время накопления пропорционально $W_{0,1}$.

Сравнение выражений (2) и (3) показало, что для реализации двумерного нерекурсивного фильтра с маской 3×3 для исходной СПОИ необходимо 9 этапов накопления, а для измененной СПОИ – 5 этапов.

Для оценки возможностей повышения быстродействия предлагаемого способа обработки было произведено моделирование подавления шумов [10] на рентгеновском изображении при применении низкочастотных фильтров с масками размерами 3×3 , 5×5 , 7×7 . По разности исходного и обработанного изображений (рис.3) был сделан вывод о целесообразности использования маски 5×5 .

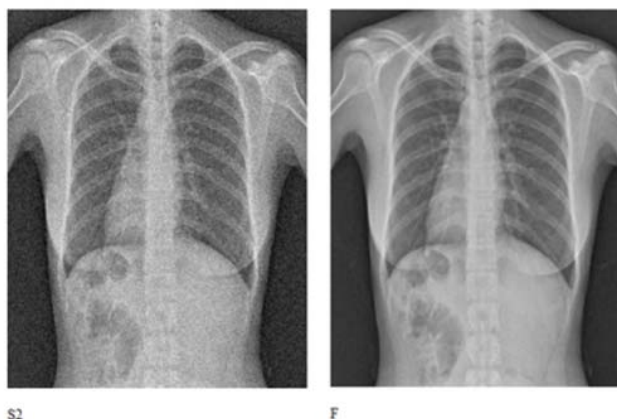


Рис. 3. – Исходное изображения (S2), обработанное изображение (F)

Доказано, что для эффективного подавления шума наиболее подходит маска размерностью 5×5 , что позволяет повысить быстродействие в 2,778 раза и, соответственно, чувствительность СПОИ в 1,339 раза.

Литература

1. Строев В.М., Комбарова И.Н. Дискретно-аналоговый спецпроцессор на основе фоточувствительных КМОП-матриц. // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 2 (22). С. 89-94.

2. Богословский А.В., Строев В.М., Пахомов А.Н., Жигулина И.В. Способ пространственно-временной обработки изображений на основе матриц фоточувствительных приборов с зарядовой связью и устройство для его реализации. // Патент на изобретение RUS 2313189 17.01.2006.

3. Строев В.М., Куликов А.Ю., Буслаев А.Б. Устройство для реализации пространственно-временной обработки изображений на основе матриц фоточувствительных приборов с зарядовой связью. // Патент на изобретение RUS 2486690 03.08.2011.

4. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. - 1072 с.

5. Bianchi G., Sorrentino R. Electronic filter simulation and design. Mc Graw-Hill Professional, 2007. – pp. 17-20.

6. Стругайло В.В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений // Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. // Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 2012. - С. 270-281.

7. Хрящев Д.А. Повышение качества изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1796

8. Яна Д.В. Компьютерное моделирование зрительных механизмов группирования, избирательных к пространственным модуляциям контраста. // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2009

9. Tomasi C., Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images. In proc. IEEE Int. Conf on Computer Vision. 1998. – pp. 836-846.

10. Tappen M. F., Liu C., Adelson E. H., and Freeman W. T. Learning Gaussian conditional random fields for low-level vision. In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. – pp. 69–73.

References

1. Stroeв V.M., Kombarova I.N. Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2018. № 2 (22). pp. 89-94.

2. Bogoslovskij A.V., Stroeв V.M., Pahomov A.N., Zhigulina I.V. Sposob prostranstvenno-vremennoj obrabotki izobrazhenij na osnove matric fotochuvstvitel'nyh priborov s zarjadovoj svjaz'ju i ustrojstvo dlja ego realizacii. [A method of space-time image processing based on matrices of photosensitive devices with charge coupling and a device for its implementation]. Patent na izobretenie RUS 2313189 17.01.2006.

3. Stroeв V.M., Kulikov A.Ju., Buslaev A.B. Ustrojstvo dlja realizacii prostranstvenno-vremennoj obrabotki izobrazhenij na osnove matric fotochuvstvitel'nyh priborov s zarjadovoj svjaz'ju. [Device for realization of space-time image processing based on matrices of photosensitive devices with charge coupling]. Patent na izobretenie RUS 2486690 03.08.2011.

4. R. Gonsales, R. Vuds. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. [Digital image processing]. Moskva: Tehnosfera, 2005. 1072 p.

5. Bianchi G., Sorrentino R. Electronic filter simulation and design. Mc Graw-Hill Professional, 2007. pp. 17-20.



6. Strugajlo V.V. Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, 2012. pp. 270-281
7. Hrjashhev D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1796
8. Jana D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2009
9. Tomasi C., Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images. In proc. IEEE Int. Conf on Computer Vision. 1998. – pp. 836-846.
10. Tappen M. F., Liu C., Adelson E. H., and Freeman W. T. Learning Gaussian conditional random fields for low-level vision. In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. pp. 69–73.