

Коррекция неоднородности в сканирующих матричных фотоприемных устройствах

Ю.А. Ольховая¹, В.М. Сапцин¹, А.А. Глебов¹

Annotation – In this article the analysis of a problem of suppression of geometrical noise in the matrix photoreceiving devices is spent. Results of numerical experiments show working capacity of the offered procedures and algorithms, as well as specify availability and an indispensability of search of optimum conditions of their realization.

Ключевые слова – Матричные фотоприемные устройства, геометрический шум, микросканирование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Технологии, используемые в фотоэлектронике, за последнее десятилетие значительно обновились. Вследствие этого, появились проблемы, требующие своего решения.

Одной из проблем является зашумление полезного сигнала при работе матричных фотоприемных устройств (МФПУ), причины которого кроются в: дискретной природе вещества, из которого сделаны фотоприемные элементы (ФПЭ) матрицы (разброс характеристик ФПЭ, далее – геометрические шумы); зернистости матрицы (битые пиксели); излучении (атомы, фотоны); тепловом движении частиц (быстрые флуктуации относительно среднего значения сигнала)[1]; недостаточной коррекции неоднородности ФПЭ сканирующей матрицы и, как следствие, нарушение точности восстановления изображений.

Возможности подавления геометрических шумов рассматриваются как на аппаратном, так и на программном уровне. В настоящей работе сделан акцент на борьбу с геометрическими шумами на программном уровне, который позволяет в значительной мере компенсировать неравномерность облучения при калибровке; отклонение реальных приемников от линейной модели, используемой при коррекции видеосигнала, а также уход значений параметров приемников за время, прошедшее после окончания последней калибровки [2].

II. ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ

Традиционный подход к подавлению геометрических шумов в работе МФПУ связан с использованием эталонных площадных излучателей [3], дающих достаточно высокую по полю зрения однородность интенсивности излучения. Это реализуется так: регистрируются два эталонных изображения с различными интенсивностями, по ним в линейном приближении для каждого ФПЭ вычисляются поправочные коэффициенты (мультипликативные и

аддитивные), которые запоминаются в памяти вычислительного устройства и далее используются для цифровой коррекции сигналов сцены. Этот подход не лишен недостатков, которые связаны со следующим:

- необходимость использования эталонных излучателей (как минимум два);
- высокие требования к их однородности по полю зрения;
- необходимость использования в процессе калибровки набора эталонных излучателей, если динамический диапазон сигналов достаточно велик или существенно меняется в пространстве или во времени;
- необходимость периодического повторения процедуры калибровки, если спектральный состав сцены ФПЭ или каналов параллельной передачи и обработки сигналов меняются во времени;
- неадаптивный в целом характер процедуры как к характеристикам регистрируемой в динамике сцены, так и к характеристикам матрицы ФПЭ, которые также могут меняться во времени.

В работах [4,5] нами реализуется новый подход к подавлению геометрического шума, обеспечивающий его коррекцию в режиме максимально возможной адаптации к условиям измерений – в процессе наблюдения сцены непосредственно по ее сигналам.

Сущность реализованного метода состоит во введении двумерного малоамплитудного сканирования со специально подобранным законом, по которому матрица ФПЭ смещается относительно изображения, регистрации соответствующей последовательности кадров и их цифровая обработка. Идея модуляции тех или иных параметров системы (или сигнала) с целью ее идентификации уже реализовывалась другими исследователями, но, как впервые показано в [6] и подтверждено в численных экспериментах [4,5], именно двумерное сканирование позволяет решить проблему безэталонного подавления геометрического шума по сигналам сцены.

III. МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нашей работе исходным материалом является квадратная матрица ФПЭ с числом элементов в строке (столбце) $N = 2^M$ и в линейном приближении оцифрованный сигнал $A_{i,j}$ от (i, j) -го ФПЭ:

$$A_{ij} = g_{ij}I_{ij} + h_{ij} + e_{ij}(t), \quad (1)$$

¹ Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, УКРАИНА, E-mail: juva404@rambler.ru

где I_{ij} - интенсивность излучения, падающего на ФПЭ, h_{ij} и g_{ij} - коэффициенты преобразования (в данной работе $g_{ij}=1$), $e_{ij}(t)$, - случайная составляющая сигнала (шум).

Осуществляем сканирование дискретно: на пиксель вниз-вверх и пиксель вправо-влево относительно исходного положения с достаточно малыми промежутками времени. Регистрируем полученные кадры:

$$\begin{aligned} (F_{0,0})_{ij} &\equiv A_{ij} = I_{ij} + h_{ij} + e_{ij}(t_1) \\ (F_{1,0})_{ij} &\equiv B_{ij} = I_{i+1,j} + h_{ij} + e_{ij}(t_2) \\ (F_{0,0})_{ij} &\equiv A_{ij} = I_{ij} + h_{ij} + e_{ij}(t_3) \\ (F_{0,1})_{ij} &\equiv C_{ij} = I_{i,j+1} + h_{ij} + e_{ij}(t_4), \quad 1 \leq i, j \leq N \end{aligned} \quad (2)$$

относящиеся к одному циклу сканирования, но учитывая при этом, что случайные величины $e_{ij}(t_1)$, $e_{ij}(t_2)$, $e_{ij}(t_3)$, $e_{ij}(t_4)$ не коррелированы и имеют нулевые средние, а матрицы $[I_{ij}]$, $[h_{ij}]$ на протяжении цикла сканирования остаются неизменными.

Для восстановления неизвестных величин $[I_{ij}]$ и $[h_{ij}]$ создаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} I_{ij} + h_{ij} &= A_{ij}; \quad I_{i+1,j} + h_{ij} = B_{ij}; \\ I_{ij} + h_{ij} &= A_{ij}; \quad I_{i,j+1} + h_{ij} = C_{ij}; \quad 1 \leq i, j \leq N \end{aligned} \quad (3)$$

в которой число уравнений ($4N^2$) существенно превышает число неизвестных ($2N(N+1)$), при этом погрешности правых частей делают ее некорректной [7]. Исключая из (3) все I_{ij} , получаем также переопределенную и некорректную систему $2N(N-1)$ уравнений для определения N^2 неизвестных h -коэффициентов. Следовательно, систему необходимо дополнить одним из условий нормировки, например: $h_{ij}=0$ для фиксированного (i, j) -го ФПЭ.

На рисунках 1-2 приведены результаты компьютерного моделирования процедур регистрации и восстановления изображений на основе двумерного малоамплитудного сканирования.

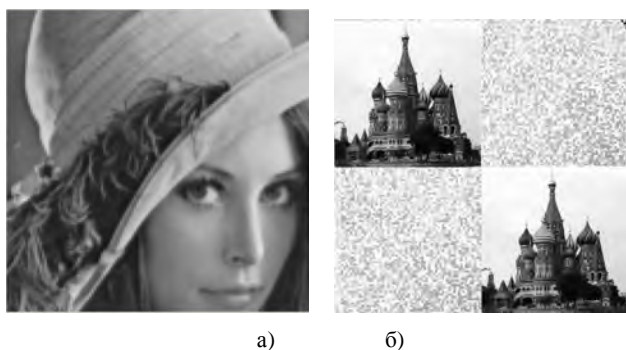


Рис. 1 – Образцы тестовых изображений для моделирования
а – исходное изображение I_{ij} $1 \leq i, j \leq 128$;
б – матрица h_{ij} – коэффициентов.

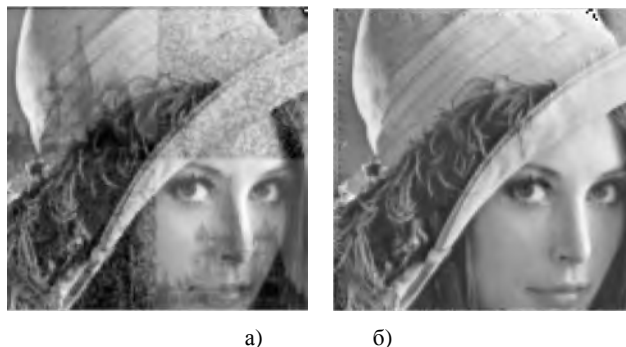


Рис. 2 – Восстановление h_{ij} – коэффициентов:
а - искаженное изображение A_{ij} , $1 \leq i, j \leq 128$;
б – результат восстановления h_{ij} – коэффициентов.

IV. ВЫВОД

Результаты, полученные в настоящей работе, подтвердили эффективность предлагаемого алгоритма, что говорит о целесообразности дальнейших исследований в данной области.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер.с франц. – М.: Мир, 1988. – 416 с., ил.
- [2] Лебедев Д.Г., Льюнг К.Т. Фильтрация остаточного геометрического и аппаратного шумов сканирующей матрицы ИК-диапазона с микросканированием. Информационные процессы, 2007, том 7, № 3, стр. 369-385
- [3] Scribner D.A., Kruer M.R., Sarkady K., Gridley J.C. Spatial noise in staring IR focal plane arrays // Proc. SPIE. – 1989. – V. 930. – P. 56-63.
- [4] Kober V.I, Sapsin V.M., Vavilov V.P. New method of digital modulative adaptive autocalibration of IR-imaging devices. Eurotherm Seminar № 27 QIRT'92 (Chatenay-Malabry, Franes, July 7-9, 1992). – Paris: EETI ed., 1992, p. 3 – 7.
- [5] Сапцин В.М., Ганжа В.Л. Численное моделирование и оптимизация модуляционной автокалибровки матричных ИК-преобразователей. – Мн., 1993. - 48 с. – (Препринт / АНК ИТМО АНБ, № 7).
- [6] Сапцин В.М. К проблеме выравнивания фоточувствительности приемных элементов в тепловизорах с многоэлементными матричными ИК-фотопреобразователями. – М., 1989. – 35 с. – (Препринт / ФИАН, №72).
- [7] Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректно поставленных задач. – М.: Наука, 1986. – 288 с