

Моделирование адаптивного выравнивания параметров линейки фотоприемников с использованием микросканирования

Д. Г. Лебедев, К. Т. Лыонг

Институт проблем передачи информации, Российская академия наук, Москва, Россия
Поступила в редколлегию 05.03.2007

Аннотация—В работе рассмотрены 2 примера известных безэталонных методов выравнивания параметров фотоприемной линейки и показано резкое повышение эффективности при использовании по сути тех же алгоритмов, но с микросканированием. Для объективной и визуальной оценки качества выравнивания проводился компьютерный эксперимент с моделью приемной линейки и набором из 3^X изображений.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в оптимальном для тепловидения диапазоне $8 \div 14$ мкм преобладают приборы, использующие сканирующие матрицы фотоприемников на базе соединения “кадмий–ртуть–теллур” (КРТ). Для уменьшения структурного (или “геометрического”) шума, перед началом или в процессе работы практически любой ИК-системы производится ее калибровка и корректировка неоднородности, целью которых является получение с каждого пиксела ФПУ сигнала одного того же уровня (при условии их равномерной облученности). Однако в большинстве случаев проведение успешной коррекции не представляется возможным (особенно у ФПУ на базе КРТ) и приходится считаться с так называемой “остаточной неоднородностью” так, что проблема устранения геометрического шума остается актуальной. [1]

В данной работе ставилась задача разработки эффективных алгоритмов фильтрации указанной неоднородности. При этом надежды возлагались на методы со сдвигом изображения относительно линейки фотоприемников в направлении перпендикулярном оптико-механическому сканированию (микросканирование).

2. АДАПТИВНОЕ ВЫРАВНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ БЕЗ МИКРОСКАНИРОВАНИЯ

2.1. Модель приемного устройства

Пусть формируемый фотодатчиком видеосигнал определяется зависимостью:

$$U_i(x) = S_i E_i(x) + C_i, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N; \quad (2.1)$$

где: S_i — чувствительность i -го фотодатчика ($0 < S_i \leq 1$);

C_i — составляющая видеосигнала, обусловленная темновым током i -го фотодатчика ($i \geq 0$);

$E_i(x)$ — функция яркости оптического изображения, сканируемого по оси x i -м фотодатчиком ($E_i(x) \geq 0$);

N — число фотодатчиков линейки.

Неравномерность видеосигнала, т.е. несоответствие выходного сигнала $U_i(x)$ изображению $E_i(x)$, возникает вследствие разброса значений чувствительности $\{S_i\}$ и значений темновой составляющей $\{C_i\}$ фотодатчиков. Данное явление принято называть структурным или “геометрическим” шумом многоэлементного приёмника излучения.

Компенсация неравномерности видеосигнала осуществляется посредством выравнивания, т.е. регулировкой усиления сигнала, снимаемого с каждого фотодатчика. Скорректированный видеосигнал:

$$U'_i(x) = K_i \cdot [U_i(x) + R_i], \text{ для } i = 1, 2, \dots, N; \quad (2.2)$$

где: R_i — аддитивный корректирующий сигнал, компенсирующий неравномерность темновых составляющих видеосигнала C_i ;

K_i — коэффициент усиления i -го усилителя, компенсирующий неравномерность чувствительности S_i .

Учитывая линейный характер модели фотодатчика (2.1) можно использовать коэффициент усиления, обратно пропорциональный чувствительности i -го фотодатчика:

$$K_i = a/S_i, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N; \quad (2.3)$$

а аддитивный корректирующий сигнал:

$$R_i = -C_i, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N, \quad (2.4)$$

Тогда, согласно (2.1)–(2.4) выходной видеосигнал $U'_i(x)$ с точностью до коэффициента пропорциональности (a) будет соответствовать функции яркости оптического изображения:

$$U'_i(x) = a \cdot E_i(x), \text{ для } i = 1, 2, \dots, N.$$

Таким образом, определив тем или иным способом параметры S_i и C_i для всех N фотодатчиков линейки, легко осуществить их выравнивание путем соответствующей коррекции значений видеосигнала.

Необходимо отметить, что в процессе эксплуатации линейки фотодатчиков происходит изменение параметров $\{S_i\}$ и $\{C_i\}$ под воздействием целого ряда факторов: старение, изменение окружающей температуры, изменение питающих напряжений и т.п. Иначе говоря, параметры $\{S_i\}$ и $\{C_i\}$ есть функция времени, причём эту функцию можно считать случайной. Однако известно, что изменение этих параметров происходит плавно и медленно. Во всяком случае время, в течение которого чувствительность фотодатчика изменится на величину, соизмеримую с пороговой чувствительностью для приемников на базе КРТ составляет 5 мин [1, стр. 264], т.е. во много раз больше времени сканирования одного кадра изображения.

ВЫВОД: Процесс выравнивания разделяется естественным образом на две части: одна — это собственно компенсация искажений видеосигнала вызванных неоднородностью параметров линейки (2.2), которую следует осуществлять с частотой опроса фотодатчиков линейки, другая — это вычисление параметров $\{S_i\}$ и $\{C_i\}$ фотодатчиков линейки, которое можно выполнять с некоторой периодичностью за достаточно большое время.

2.2. Постановка задачи выравнивания

После дискретизации по направлению сканирования (дискретизация в направлении, перпендикулярном сканированию, осуществляется за счет большого количества фотодатчиков) и учитывая наличие геометрического шума, приходим к следующей дискретной линейной модели фотоприемника:

$$U_{i,j} = E_{i,j} \times S_i + C_i, \quad (2.5)$$

где: $E_{i,j}$ — значение яркости j -го элемента i -й строки исходного изображения;

$U_{i,j}$ — видеосигнал i -го фотодатчика для j -го элемента i -й строки наблюдаемого изображения;

S_i — значение чувствительности i -го фотодатчика ($0 < S_{min} \leq S_i \leq 1$);

C_i — значение темновой составляющей сигнала i -го фотодатчика;

Задача выравнивания состоит в следующем:

По нескольким кадрам, полученным с помощью одной и той же линейки фотоприёмных элементов $\{U_{i,j}^{(n)}\}$, где n — номер кадра, вычислить значения параметров линейки $\{(S'_i, C'_i)\}$.

Используя полученные значения параметров линейки, установить согласно (2.3, 1.4) соответствующие коэффициенты $\{K_i\}$ усиления сигнала и аддитивные поправки $\{R_i\}$ для каждого из N каналов.

2.3. Адаптивный способ выравнивание по чувствительности [2]

Модель фотодатчика

$$U_i(x) = S_i E_i(x), \text{ для } i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.6)$$

Для определения значений $\{S_i\}$ используются статистические свойства изображения. Изображение рассматривается как случайная функция яркости переменных x и y , обладающая свойством эргодичности. Поэтому, любая статистическая характеристика изображения, полученная усреднением по множеству возможных реализаций, с вероятностью, сколь угодно близкой к единице, может быть получена усреднением по одной единственной реализации достаточно большой длины.

При сканировании оптического изображения $E(x, y)$ вдоль оси x линейкой фотодатчиков, расположенных по оси y , изображение разбивается на N строк шириной dy в соответствии с числом фотодатчиков в линейке. Поэтому двумерную функцию яркости изображения $E(x, y)$ можно представить как N одномерных реализаций случайной функции $E_i(x)$, где i — номер строки. Тогда из свойства эргодичности вытекает, что с вероятностью сколь угодно близкой к единице

$$\overline{E_1} = \overline{E_2} = \dots = \overline{E_n} = \overline{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overline{E_i}, \quad (2.7)$$

где: $\overline{E} = \int_{[0,X]} E_i(x) dx$, при $X \rightarrow \infty$.

Условие (2.7) используют для формирования корректирующего сигнала. С этой целью вначале определяют опорный k -й фотодатчик по критерию:

$$k = \arg \max_i \bar{U}_i,$$

где:

$$\bar{U}_i = \int_{[0,X]} U_i(x) dx,$$

а затем определяют переходные коэффициенты:

$$G_{i,k} = \frac{\bar{U}_i}{\bar{U}_k}, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.8)$$

Учитывая (2.6) можно записать

$$G_{i,k} = b \times \frac{S_i}{S_k}, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.9)$$

где $b = \frac{\bar{E}_i}{\bar{E}_k}$.

Если условие (2.7) соблюдается, то $b = 1$ для всех N фотодатчиков, и переходной коэффициент отражает соотношение между значениями чувствительности фотодатчиков в линейке

$$G_{i,k} = \frac{S_i}{S_k}, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.10)$$

Тогда значения чувствительности для всех фотодатчиков в линейке получаются из выражения:

$$S_i = G_{i,k} \times S_k, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N.$$

Компенсация неравномерности видеосигнала осуществляется посредством следующей операции:

$$U'_i(x) = \frac{U_i(x)}{S_i}, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N.$$

После соответствующих преобразований, с учетом (2.6), (2.8) и (2.9) получим

$$U'_i(x) = D \times E_i(x), \text{ для } i = 1, 2, \dots, N,$$

где $D = S_k$, т.е. выходной видеосигнал $U'_i(x)$ с точностью до множителя D соответствует функции яркости оптического изображения $E_i(x)$.

Таким образом, использование статистических свойств изображения для выравнивания параметров фотодатчиков позволяет отказаться от источника эталонного излучения. Кроме того, использование статистических характеристик позволяет (благодаря накоплению) существенно снизить воздействие флуктуационных шумов фотодатчиков на точность выравнивания.

Однако, использовать свойство эргодичности можно лишь в случае, когда “отрезки сообщений” достаточно длинные, т.е. когда это совокупность нескольких тысяч кадров. Например, в работе [3] моделировался метод адаптивной коррекции также основанный на эргодичности изображений. Для удовлетворительного выравнивания потребовалось последовательность в 4300 кадров.

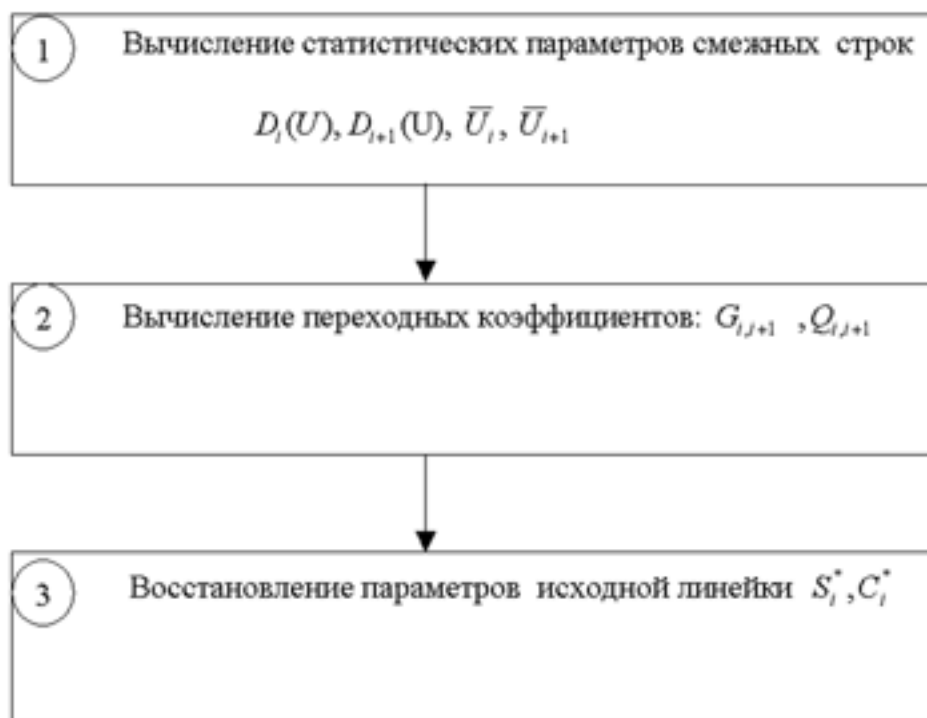
2.4. Адаптивный способ выравнивания по чувствительности и темновым составляющим сигнала

Сократить выборку кадров удастся в способе адаптивного выравнивания основанного на корреляционной зависимости смежных строк изображения.

Предлагается использовать простой алгоритм вычисления параметров $\{S_i^*, C_i^*\}$ исходной линейки фотодатчиков, по значениям которых выставляют корректирующие коэффициенты $\{K_i\}$ и корректирующие добавки $\{R_i\}$ в каждом из N каналов. Используется дискретная линейная модель (2.5) фотоприемника:

$$U_{i,j} = E_{i,j} \cdot S_i + C_i;$$

Алгоритм реализуется по следующий схеме:



Блоки приведенной выше схемы используют известные выражения, а также, получаемые несложными выкладками:

1)

$$D_i(U) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (U_{i,j} - \bar{U}_i)^2, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

$$\bar{U}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N U_{i,j}.$$

2)

$$G_{i,i+1} = \sqrt{\frac{D_i(U)}{D_{i+1}(U)}}, \quad (2.11)$$

$$Q_{i,i+1} = \bar{U}_i - \bar{U}_{i+1} \times G_{i,i+1}. \quad (2.12)$$

Восстановление параметров линейки фотодатчиков естественным образом разбивается на два этапа: вычисление темновых составляющих и вычисление чувствительностей.

1 этап: вычисление темновых составляющих.

C'_N — устанавливается произвольно, остальные параметры последовательно рассчитываются

$$C'_i = Q_{i,i+1} + G_{i,i+1} \times C'_{i+1}, \quad i = N-1, N-2, \dots, 1; \quad (2.13)$$

Определяется номер (k) опорного фотодатчика из условия:

$$\min_i C'_i = C'_k$$

После чего ему присваивается нулевое значение:

$$C'_k = 0$$

и используется итерационная формула для определения значений темнового параметра.

$$C_i^* = \begin{cases} C'_k = 0, & \text{для } i = k \\ Q_{i,i+1} + G_{i,i+1} \cdot C'_{i+1}, & \text{для } i > k \\ (C'_{i-1} - Q_{i-1,i}) / G_{i-1,i}, & \text{для } i < k \end{cases}$$

где k — номер опорного фотодатчика.

2 этап: вычисление чувствительностей.

$S'_N = 1$, остальные значения последовательно рассчитываются:

$$S'_i = S'_{i+1} \times G_{i,i+1}, \quad i = N-1, N-2, \dots, 1; \quad (2.14)$$

затем все вычисленные значения необходимо поделить на $S_{\max} = \max_i S'_i$

$$S_i^* = \frac{S'_i}{S'_{\max}}$$

чтобы выполнялось условие

$$0 < S_i^* \leq 1.$$

Для повышения точности выравнивания переходные коэффициенты $G_{i,i+1}^{(m)}$, $Q_{i,i+1}^{(m)}$ вычисляются для нескольких изображений с различными сюжетами (m — номер кадра (изображения)) и для расчета параметров линейки S_i^* , C_i^* берутся усредненные (по всем взятым изображениям) значения переходных коэффициентов $G_{i,i+1}$, $Q_{i,i+1}$. Параметры линейки $\{S_i^*, C_i^*\}$ полученные с помощью описанного алгоритма выравнивания используются для получения согласно (2.3, 1.4) коэффициентов $\{K_i\}$ усиления и аддитивной корректирующей поправки $\{R_i\}$ для каждого из N -каналов.

$$K_i = \frac{1}{S_i^*}; \quad R_i = -C_i^*$$

Тогда получим следующие выражения для выравнивания значений видеосигнала:

$$U_{i,j}^* = K_i \cdot (U_{i,j} + R_i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.15)$$

3. АДАПТИВНОЕ ВЫРАВНИВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСКАНИРОВАНИЯ

Воспользуемся дискретной $E(i, j)$ моделью изображения $E(x, y)$ используя для этого прямоугольную сетку с шагом:

$$\begin{aligned} \Delta x &= d, & i &= 1, 2, \dots, M \\ \Delta y &= d, & j &= 1, 2, \dots, N. \end{aligned}$$

Линейка фотоприемников расположена вдоль оси y . Она содержит p приемников с шагом $2d$. При этом

$$N = 2p + 1$$

а приемники имеют z -нумерацию.

$$z = 1, 2, \dots, p.$$

Считывание полного кадра производится за 2 прохода линейки.

При первом проходе линейка читает только нечетные строки изображения. Затем линейка сдвигается на величину $\Delta y = d$ и считываются только четные строки.

Таким образом имеем:

$$\begin{cases} U_{z,j}^{(1)} = E_{2z-1,j} \cdot S_z + C_z \\ U_{z,j}^{(2)} = E_{2z,j} \cdot S_z + C_z \end{cases} \quad (3.1)$$

где: $U_{z,j}^{(1)}$ — сигнал с z -го приемника линейки при считывании j -го элемента i -й строки изображения ($i = 2z - 1$) при формировании первого субкадра.

$U_{z,j}^{(2)}$ — сигнал с z -го приемника при считывании j -го элемента i -й строки изображения ($i = 2z$) при формировании второго субкадра.

Описанная система считывания изображения формирует полный кадр удвоенного формата по сравнению с одноразовым сканированием. Этот прием часто используется на практике, т.к. площадь оптического изображения покрывается в современных приемниках только частично (коэффициент заполнения для приемников на КРТ $\approx 0,6 \div 0,9$).

Так, например, с помощью микросканирования фотоприёмной линейкой из 288 приёмников (КРТ) получают полноформатный кадр 576×768 пикселей [4].

Предложение состоит в том, чтобы к двум сканированиям (3.1) добавить еще одно со сдвигом $2d = 2\Delta y$ относительно субкадра, полученного после 1-го сканирования.

$$U_{z,j}^{(3)} = E_{2z+1,j} \cdot S_z + C_z \quad (3.2)$$

Используя (3.1) и (3.2) сравним сигнал от $(l+1)$ -го приемника линейки при первом сканировании с сигналом от l -го приемника при 3 сканировании

$$\begin{cases} U_{l+1,j}^{(1)} = E_{2l+1,j} \cdot S_{l+1} + C_{l+1} \\ U_{l,j}^{(3)} = E_{2l+1,j} \cdot S_l + C_l \end{cases} \quad (3.3)$$

Из (3.3) видно, что одна и та же строка изображения E_{2l+1} читается при первом сканировании $(l+1)$ -м приемником, а при третьем сканировании l -м приемником. Это можно с успехом использовать для более точного определения переходных коэффициентов $G_{i,i+1}$ при выравнивании.

В этом случае будем иметь

$$G_{z,z+1} = \sqrt{\frac{D_Z[U^{(3)}]}{D_{Z+1}[U^{(1)}]}} \quad (3.4)$$

Вычисленные подобным образом (с дополнительным микросканированием) переходные коэффициенты (G) практически не зависят от статистических характеристик изображения, использованного для выравнивания. Действительно, в качестве эталона используется одна и та же строка и отпадает необходимость корреляционной связи между соседними строками, как это было при вычислении значений G согласно (2.11).

Некоторые алгоритмы выравнивания неоднородности линейки фотоприемников с использованием микросдвига в свое время были предложены [5]. Однако их описание не сопровождалось компьютерным экспериментом, поэтому судить об эффективности не представлялось возможным. Кроме того, приборы с микросканированием еще не производились, поэтому исследование носило несколько отвлеченный характер.

Сейчас ситуация изменилась в лучшую сторону: дефлектор, встроенный в прибор для осуществления микросканирования с целью увеличения разрешающей способности (например в [6]) в принципе позволяет осуществить микросканирование необходимое для коррекции геометрического шума приемника.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ АДАПТИВНОГО ВЫРАВНИВАНИЯ

4.1. Оценка эффективности методов выравнивания параметров

Описанные способы фильтрации геометрического шума реализуются путем коррекции значений видеосигнала согласно (2.15) или (3.1). Можно представить себе другой способ реали-

зации а именно коррекцию параметров исходной линейки. При этом средства коррекции $\{K_i, R_i\}$ остаются прежними.

$$\tilde{S}_i = K_i \times S_i, \tilde{C}_i = C_i + R_i \quad (4.1)$$

где $\tilde{S}_i$ — чувствительность i -го фотодатчика скорректированной линейки.

$\tilde{C}_i$ — составляющая видеосигнала скорректированной линейки, обусловленная темновым током i -го фотодатчика.

Новая линейка предназначена для чтения оригинала ($E_{i,j}$). В результате будем иметь то же самое изображение, что получается при коррекции видеосигнала. Это следует из (2.15) и (3.1).

Конечно, указанный прием можно осуществить только в рамках моделирования. В реальном процессе параметры исходной линейки, вмонтированной в прибор, вообще говоря, неизвестны. Мы используем возможность получения скорректированной линейки для оценки эффективности метода выравнивания параметров линейки.

Геометрический шум проявляется в возникновении полос, повторяющих строчную структуру изображения. К подобным искажениям глаз человека очень чувствителен. Даже слабый, в $1 \div 2$ градации яркости, протяженный контраст легко обнаруживается наблюдателем. Поэтому, представляется целесообразным ввести критерий качества читающей линейки, построенный на некоторой оценке геометрического шума, связанного с ее использованием. В настоящей работе введена оценка качества (δ) линейки суммирующая среднюю величину контраста, между смежными строками, возникающего как от разброса по чувствительности, так и разброса по темновому току приемников линейки.

$$\delta = 256 \times \Delta S + \Delta C \quad (4.2)$$

где $\Delta S = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |S_i - S_{i+1}|$.

$$\Delta C = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |C_i - C_{i+1}|; \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (4.3)$$

По поводу оценки (4.2) можно дать следующий комментарий: Критерий (4.2) использует особенности формирования кадра линейкой фотоприемников и может быть использован именно в этом случае. Кроме того, он основан на реализации некоторых свойств зрительной системы человека и, поэтому пригоден для оценки качества изображения считанного линейкой в случае визуального наблюдения. Здесь его применение более оправдано, чем, например, оценка основанная на измерении дисперсии геометрического шума. Если же требуется возможно более точная передача значений яркости, то критерий (4.2) ничем не лучше других.

4.2. Модель тепловизионного прибора.

Компьютерный эксперимент проведен с целью апробации алгоритмов адаптивного выравнивания без использования микросдвига изображения относительно линейки приемников и с микросдвигом. Моделирование дает возможность визуальной оценки качества выравненных изображений и определения эффективности указанных методов фильтрации геометрического шума применением оценки (4.2). Эксперименты выполнены на модели тепловизионного прибора, имеющего следующие технические характеристики:

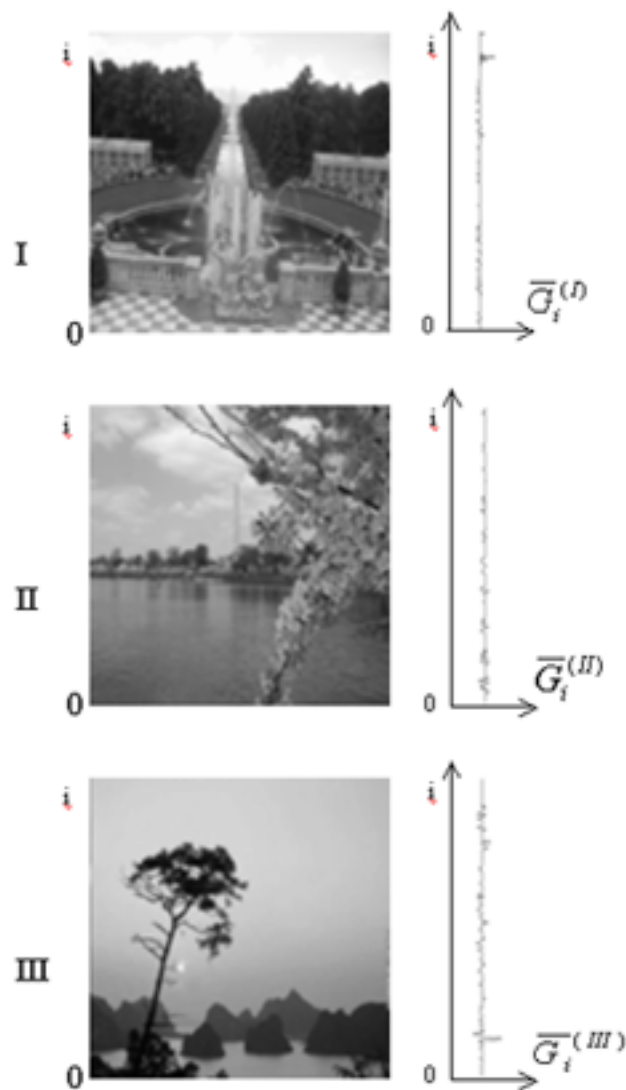


Рис. 1 I, II, III — изображения (оригиналы) используемые при моделировании. G_i — графики переходных коэффициентов по формуле (4.4).

Количество каналов фотоприемного устройства — 256.

Формат изображения — 512×512 пикселей.

Способ формирования кадра — комбинированный (2 последовательных сканирования соответственно нечетных и четных строк изображения).

Количество уровней квантования исходного изображения — 256.

Модель линейки (L1) со случайным разбросом значений чувствительности (S) в диапазоне $0,5 \div 1,0$ и случайной аддитивной добавкой от 0 до 180 уровней. Закон распределения случайных значений в обоих случаях-равномерный.

Количество уровней квантования значений видеосигнала с выхода линейки — 512.

В компьютерном моделировании использовались 3 изображения (I, II, III), представленные на рис.1.

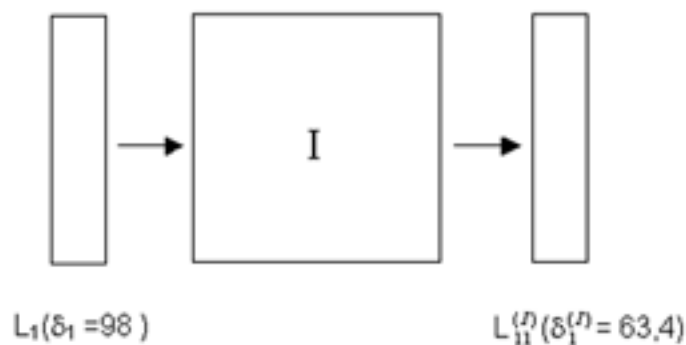


Рис. 2 Схема формирования скорректированной линейки $L_{11}^{(I)}$ с использованием оригинала I . При использовании для корректировки линейки оригиналов Π или III получим $\delta_1^{(II)} = 15,6$ и $\delta_1^{(III)} = 41,8$ соответственно.

4.3. Моделирование метода адаптивного выравнивания параметров фотолинейки без применения дополнительного микросканирования.

Это способ выравнивания использует корреляционные связи смежных строк изображения. Поскольку изображения-оригиналы при компьютерном моделировании доступны (рис.1), то можно проверить, насколько выбранные изображения обладают указанным свойством. Для этого используем оценку неоднородности смежных строк изображения с помощью переходных коэффициентов по аналогии с (3.4).

$$\tilde{G}_{z,z+1} = \sqrt{\frac{D_z[E]}{D_{z+1}[E]}}$$

Графики γ приведены на рис.1 соответственно для каждого изображения. Видно, что условие $\tilde{G} \rightarrow 1$ выполняется почти для всех пар смежных строк за исключением тех, что прорисовывают границу неба на горизонте. В этом месте значения дисперсий смежных строк существенно различны. Несмотря на то, что отклонение от нормы носит локальный характер, оно не позволяет провести точное выравнивание из-за итерационной процедуры вычисления переходных коэффициентов (G) по формуле (2.11). И это касается значительного числа фотоприемников. На рис.2 приведена схема формирования скорректированной линейки L_1^I из линейки L_1 с участием изображения I . Неоднородность исходной линейки фотоприемников (L_1), вычислена по формулам (4.2) (4.3) довольно велика ($\delta_1 = 98$). У скорректированной линейки (L_1^I) неоднородность заметно ниже ($\delta_1^I = 63,4$). На рис.3 даны примеры чтения изображения III линейкой L_1 и ее скорректированным аналогом L_1^I . Из рисунка видно, что геометрический шум на изображении, считанном скорректированной линейкой, заметно меньше. Примерно такое же качество выравнивания линейки L_1 ($\delta_1^{II} = 15,6$ и $\delta_1^{III} = 41,8$) получается с использованием для выравнивания изображений Π или III соответственно.

Точность выравнивания по первому способу можно существенно повысить если для корректировки параметров линейки L_1 использовать все 3 изображения согласно схеме, приведенной на рис.4.

Показатель неоднородности у скорректированной линейки ($L_1^{I,II,III}$) снижается до $\delta_1^{I,II,III} = 5,05$. Соответственно уменьшается и геометрический шум на изображении, прочитанном этой линейкой (рис.5).

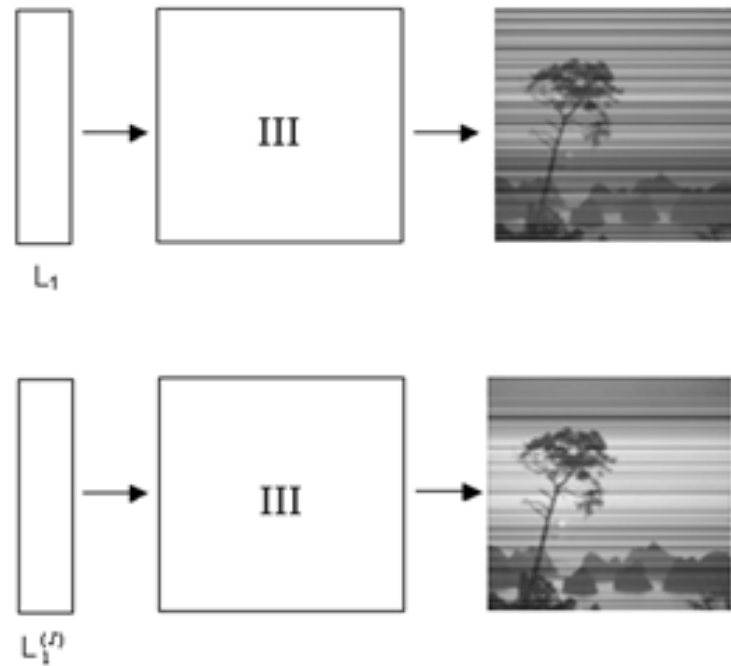


Рис. 3. Примеры чтения оригинала III а) линейкой L_1 и б) ее скорректированным аналогом $L_1^{(I)}(\delta)$



Рис. 4. Схема формирования скорректированной линейки $L_1^{(I,II,III)}$ с использованием оригиналов I,II,III.

4.4. Моделирование метода адаптивного выравнивания параметров фотолинейки с использованием дополнительного микросканирования (описан в разделе 3).

При моделировании метода адаптивного выравнивания, использующего дополнительное микросканирование, выравнивание проводилось по одному из изображений I,II,III причём во всех 3^X случаях получалось одинаково высокое качество выравнивания:

$$\begin{aligned}\delta_1^I &= 0,61 \quad (\Delta = 0,0024; \Delta C = 0) \\ \delta_1^{II} &= 0,358 \quad (\Delta = 0,0014; \Delta C = 0) \\ \delta_1^{III} &= 1,05 \quad (\Delta = 0,0041; \Delta C = 0)\end{aligned}$$

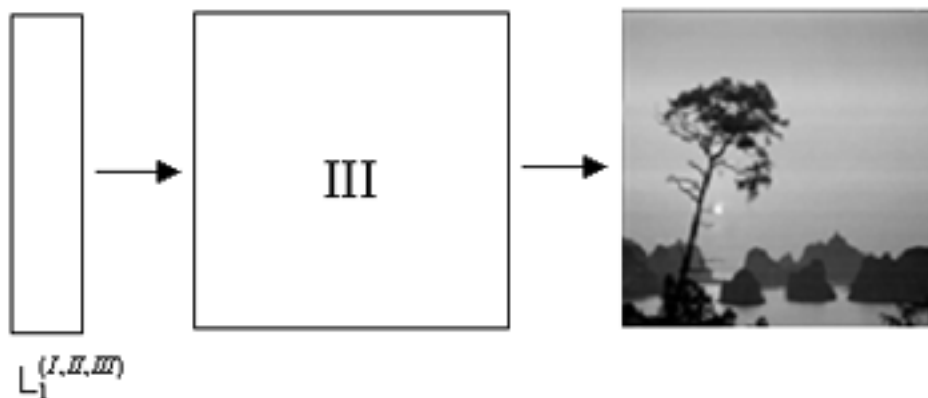


Рис. 5. Пример чтения оригинала III скорректированной линейкой $L_1^{(I,II,III)}$.

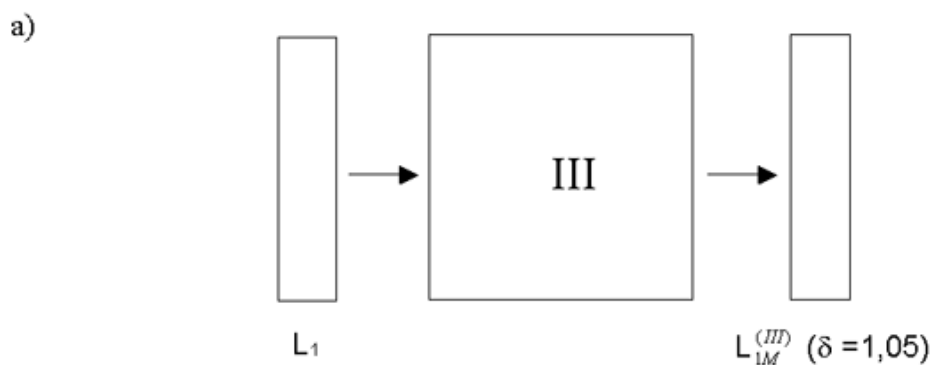


Рис. 6. а) - Формирование скорректированной линейки $L_{1M}^{(III)}$ с использованием микросканирования.

б) - Примеры чтения оригиналов I,II,III скорректированной линейкой $L_{1M}^{(III)}$.

В качестве примера на рис.6 приведены схема коррекции линейки L_1 с участием изображения III и изображения I,II,III, прочитанные самой “плохой” линейкой из выравненных по методу с дополнительным микросканированием. При визуальном сравнении с оригиналами (рис.1) отмечается их полная идентичность.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методы адаптивного выравнивания параметров фотоприемной линейки используют “эталонную засветку” фотоприемников, сформированную из самих сканируемых изображений. Это позволяет проводить постоянное слежение за изменением параметров и осуществлять регулярную автоматическую коррекцию значений видеосигнала.

2. Адаптивное выравнивание избавляет от необходимости встраивать в прибор эталонный источник равномерного облучения фотоприемников, что обычно встречает затруднение, особенно в приборах ИК-диапазона.

3. Известные методы адаптивного выравнивания параметров фотоприемной линейки требуют для составления “эталона” значительного количества разносюжетных изображений (в пределах десятка для методов, рассмотренных в настоящей статье и до нескольких тысяч в методах основанных на эргодичности последовательности изображений).

Предложенный метод адаптивного выравнивания с микросканированием использует в качестве эталона единственное изображение реальной сцены.

Предложенная оценка неоднородности параметров фотоприемной линейки, согласованная со свойствами зрения человека, более близка к визуальной оценке качества считанного линейкой изображения, чем, например, оценка разброса параметров по стандартному отклонению их значений.

Предложенный метод адаптивного выравнивания параметров относительно прост в реализации, поскольку принцип микросканирования с использованием разнообразных технических решений, в настоящее время достаточно освоен в том числе для приборов ИК-диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г., Инфракрасные системы "смотрящего" типа. Москва, “Логос”, 2004.
2. Oremorod D.High. Performance Iermal Imagers. Conf. Proceeding of Intern. Defence Electronics Expo-82, West Germany. 1982, p. 303–327.
3. Seribner D.A., Schuler J.M., Warren P. et al. Image preprocessing for the infrared // SPIE Proc. — 2000.— V. 4028. — p. 222–223.
4. В.М.Акимов, К.О.Болтарь, И.Д.Бурлаков и др. Матричные фотоэлектронные модули среднего и дальнего ИК-диапазонов спектра на основе фотодиодов из $Cd_xHg_{1-x}Te$ для инфракрасной аппаратуры нового поколения. // Прикладная физика №2-2005.
5. В.М Сапцин. К проблеме выравнивания фоточувствительности приемных элементов в тепловизорах с многоэлементными матричными ИК-фотопреобразователями. Препринт ФИДН АН СССР — 72. Москва, 1989.
6. Hyun Soot Kim, Wee Kyung Yu, Young Chan Park et.al. Compact MWIR camera with * 20 zoom optics.// SPIE Proc — 2001 — V4369.

Статью представил к публикации член редколлегии Венец В.И.