

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.397:621.383.4

Исследования долговременной стабильности параметров двухточечной коррекции формирователя сигналов изображения на базе МФПУ формата 256×256 элементов

В. Н. Соляков, М. В. Кортиков

Приведены результаты исследований долговременной стабильности параметров двухточечной коррекции неоднородности для формирователя сигналов изображения (ФСИ) на основе охлаждаемого матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 256×256 элементов на спектральный диапазон 3—5 мкм с использованием фотодиодов из InSb. Определены влияние каждого из двух параметров двухточечной калибровки на разность температур, эквивалентную шуму, и ее стабильность.

PACS: 42.79 Sz; 85.30.-Z

Ключевые слова: сигнал, изображение, параметр, стабильность, двухточечная коррекция.

Введение

Одним из доминирующих направлений в совершенствовании и создании новых перспективных тепловизионных и теплопеленгационных приборов является использование матричных фотоприемных устройств на основе фотодиодов из КРТ, InSb и других полупроводниковых материалов, обладающих фоточувствительностью в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра.

Температурное разрешение ИК фокальных матриц ограничивается временными и пространственными шумами. Пространственный шум частично компенсируется с помощью процедур коррекции, которые уменьшают пространственный шум до значений, меньших уровня временного шума.

В известных работах [1, 2] рассматривается переходное ухудшение пространственного шума после коррекции. Для оценки этого явления введен критерий — время долговременной стабильности τ_{ls} . Этот показатель определяет время, в течение которого после проведенной коррекции пространственный шум увеличивается до значений, больших временного шума. При этом анализируется изменение уровня геометрического шума

при постоянном уровне засветки и не оценивается влияние разброса и нестабильности коэффициентов дифференциальной чувствительности, которые могут проявиться при изменении уровня засветки.

Для устранения геометрического шума в некотором диапазоне освещенностей необходимо проводить, как минимум, двухточечную коррекцию сигналов от каждого ФЧЭ, используя две опорные точки энергетической характеристики. Этими опорными точками являются результаты калибровки МФПУ по источникам с двумя опорными температурами — калибровки К1 и К2 (по "холодному" и "горячему" температурному фону, соответственно).

В настоящей работе проведены исследования стабильности величины геометрического шума формирователя сигналов изображения при уровнях засветки, соответствующих двум калибровочным точкам. Таким образом, определена долговременная стабильность как уровня постоянной составляющей сигналов МФПУ, так и дифференциальной чувствительности.

Основные соотношения, определяющие корректируемость МФПУ

Временной и пространственный шумы ограничивают температурное разрешение ИК фокальной матрицы. Пространственный шум связан с неоднородностью детекторной матрицы, возникающей из-за различной чувствительности отдельных элементов. В противоположность временному шуму,

Соляков Владимир Николаевич, начальник НТЦ.
Кортиков Максим Владимирович, инженер 1-й категории.
ФГУП "НПО "Орион".
Россия, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.
Тел. (495) 374-40-41. Факс (495) 373-68-62.
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.

© Соляков В. Н., Кортиков М. В., 2010

который невозможно уменьшить, пространственный шум может быть частично скорректирован обработкой сигнала в реальном масштабе времени.

Основой для оценки временного и пространственного шумов и корректируемости является набор амплитуд сигналов для фокальной матрицы при стандартных рабочих условиях.

Временной шум σ_m в ИК фокальной матрице определяется как среднеквадратичные отклонения (СКО) временных шумов отдельных пикселей. Временной шум $\sigma_{m,i}$ отдельного i -го пикселя матрицы, содержащей n элементов, рассчитывается следующим образом:

$$\sigma_{i,t}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \langle x_i \rangle)^2}{N-1},$$

где N — число кадров, записываемых при некоторой постоянной температуре излучения абсолютно черного тела;

$x_{i,j}$ — амплитуда сигнала i -го пикселя в j -м кадре;

$\langle x_i \rangle$ — среднее значение, определяемое как

$$\langle x_i \rangle = \frac{\sum_{j=1}^N x_{i,j}}{N}.$$

Средний временной шум σ_m всей матрицы определяется как

$$\sigma_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{i,t}^2}{n}.$$

Для введения показателя корректируемости c , характеризующего отношение пространственного шума к временному шуму фокальной матрицы, необходимо рассмотреть долговременную стабильность ИК фокальной детекторной матрицы. Эта стабильность определяется показателем корректируемости детекторной матрицы как функция рабочего времени, следующего за коррекцией неоднородности при $t = 0$. Для оценки временной стабильности вводится следующая процедура измерения.

Вначале для каждого отдельного пикселя детекторной матрицы определяются соответствующие параметры коррекции в соответствии с процедурой последней, уменьшающей пространственный шум до значений, находящихся ниже уровня временного шума. Затем при постоянной температуре абсолютно черного тела (АЧТ) записывается пакет кадров. Для каждого отдельного кадра рассчитывается СКО средних сигналов от

пикселей матричного фотоприемника (МФП). Затем определяется показатель корректируемости и вычисляется его переходное значение в соответствии со следующим выражением:

$$C = \sqrt{(\sigma_{total}^2 - \sigma_m^2) / \sigma_m^2},$$

где σ_{total} — СКО сигналов отдельных пикселей МФПУ после коррекции.

Оно определяется как

$$\sigma_{total}^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2 / (n-1).$$

Постепенно показатель корректируемости увеличивается до величин, превышающих единицу. Характеристикой корректируемости МФПУ может служить время, за которое показатель c достигает значения 1. При этом отношение $\sigma_{total}^2 / \sigma_m^2 = 2$. Это время определяется как критерий долговременной стабильности τ_{lts} . Этот критерий может применяться для характеристик стабильности только одного параметра коррекции — постоянной составляющей выходных сигналов МФПУ.

Исследование стабильности параметров при двухточечной коррекции

В настоящей работе исследовался формирователь сигналов изображения, в котором использован матричный фотоприемник формата 256×256 на основе InSb фотодиодов с кремниевыми МОП-мультиплексорами.

Измерение и обработка данных для метода двухточечной коррекции проводились по схеме, приведенной на рис. 1.

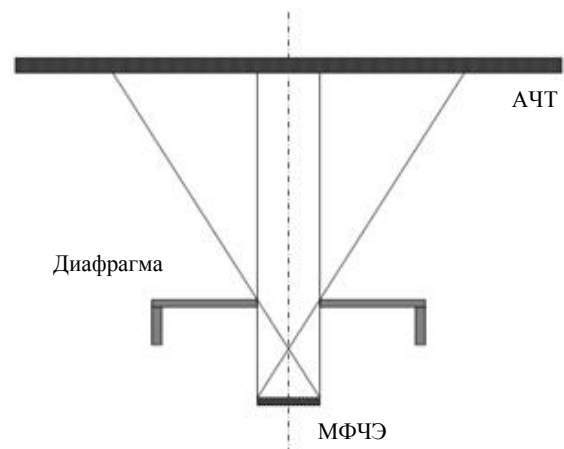


Рис. 1. Схема проведения измерений

Были проведены одновременные измерения параметров, характеризующих двухточечную коррекцию, и их изменение во времени. Фактически

делали замеры сигналов каждого фоточувствительного элемента при двух неизменных уровнях освещения с интервалом в 3 мин. Таким образом, получалась пара кадров изображений с интервалом в 3 мин, соответствующих двум неизменным уровням засветки (минимальному и максимальному). К полученным сигналам применялась процедура двухточечной коррекции с параметрами, полученными при первом замере.

Далее определялось СКО сигналов в каждом полученном кадре, которое нормировалось на разность температур двух источников излучения.

Таким образом, полученное значение является характеристикой геометрического шума, выраженной через разность температур, эквивалентной шуму ($NETD$ — noise equivalent temperature difference). Схематически алгоритм измерения и последующей обработки данных для анализа стабильности параметров коррекции изображен на рис. 2.

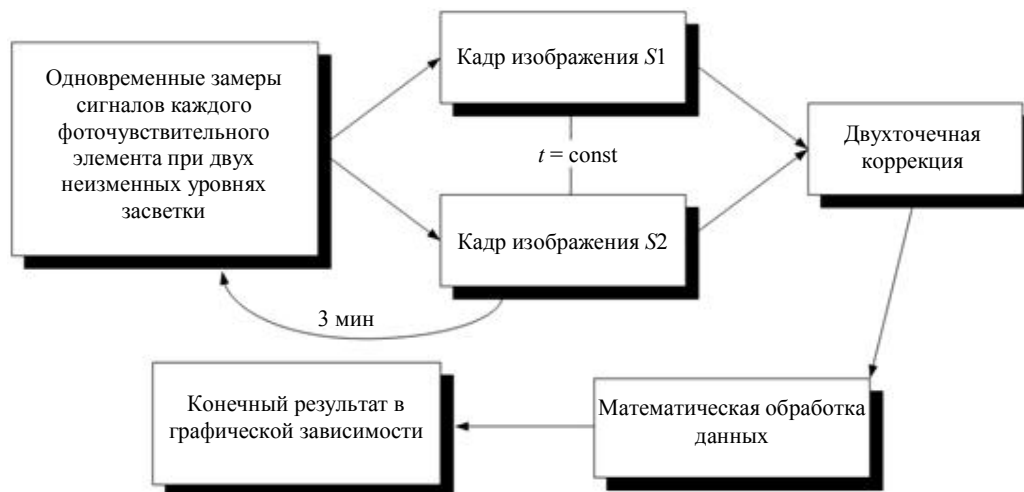


Рис. 2. Алгоритм проведения измерений и последующей обработки результатов

При минимальном уровне засветки скорректированные сигналы определяются по формуле

$$SK1_{i,j}(N) = \frac{S1_{i,j}(N) - K1_{i,j}(0)}{K2_{i,j}(0)},$$

где $SK1_{i,j}(N)$ — скорректированный сигнал;

$S1_{i,j}(N)$ — нескорректированные сигналы;

N — номер проведенного замера (кадра);

$K1_{i,j}(0) = S1_{i,j}(0)$ — параметр коррекции по низкому уровню засветки;

$K2_{i,j}(0) = S2_{i,j}(0) - S1_{i,j}(0)$ — разность сигналов при максимальном и минимальном уровнях засветки в начальном (нулевом) цикле измерений.

Затем определяется СКО сигналов по кадру

$$D1 = \text{stdev}(SK1_{i,j}(0)).$$

Разность температур, эквивалентную шуму, определяют домножением величины $D1$ на разность температур между уровнями засветки при двухточечной калибровке в 20° :

$$NETD1 = D1 \times \Delta T.$$

Выполняются аналогичные действия при максимальном уровне засветки:

$$SK2_{i,j}(N) = \frac{S2_{i,j}(N) - K1_{i,j}(N)}{K2_{i,j}(0)},$$

$$D2 = \text{stdev}(SK2_{i,j}(N));$$

$$NETD2 = D2 \times \Delta T.$$

Зависимости $NETD1$ и $NETD2$ от времени для одного цикла замеров представлены на рис. 3. Аналогичные результаты получены при повторе циклов измерений и для других образцов ФСИ.

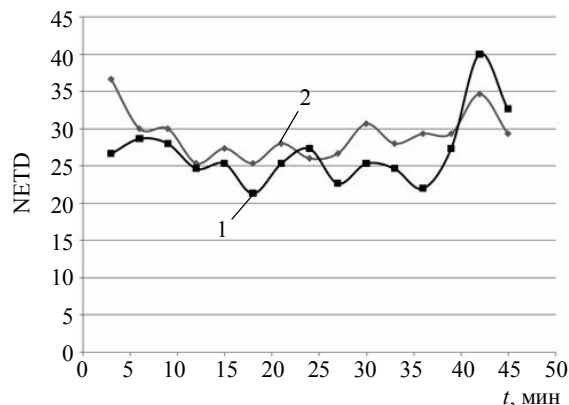


Рис. 3. График зависимости $NETD$ от времени: 1 — $NETD1$; 2 — $NETD2$

За время измерений в 45 мин заметного изменения величин $NETD1$ и $NETD2$ не наблюдалось. Абсолютные значения коэффициентов коррекции $K2$ за все время измерений (в течение 0,5 года) изменялось не более чем на 2 %, что не превышает погрешность установки уровней освещения при калибровке.

Отметим, что в исследуемом ФСИ после проведения двухточечной коррекции значение геометрического шума соответствует величине $NETD$ около 30 мК. Это значение сохраняется в течение не менее 45 мин без изменения корректирующих коэффициентов.

Заключение

В процессе проведения работы отработана методика исследования показателей стабильности параметров двухточечной коррекции применительно к формирователю сигналов изображения на

основе ИК фокальных матриц. Отработано и отлажено программное обеспечение для обработки сигналов и анализа полученных данных.

Установлено, что исследуемый формирователь изображения после проведения двухточечной коррекции сохраняет в течение не менее 45 мин величину геометрического шума, соответствующую значению разности температур, эквивалентной шуму, при всех уровнях регистрируемого ИК-излучения.

Литература

1. Gross W., Hierl T., Schulz M. Correctability and long-term stability of infrared focal plane arrays, Optical Engineering, May 1999.

2. Чижко В. Ф., Дирочка А. И., Касаткин И. Л., Лопухин А. А. Исследование времени корректируемости для МФПУ на основе InSb: Матер. XX Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М.: ФГУП «НПО "Орион"», Россия, 2008.

Researches of long-term stability of two-point nonuniformity correction parameters for 256×256 InSb FPA

V. N. Solyakov, M. V. Kortikov

Orion Research-and-Production Association, 46/2 Enthusiasts road, 111123, Moscow, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

The researches of long-term stability of two-point nonuniformity correction parameters for 256×256 InSb FPA were carried out. Two-point correction implied definition of two parameters for each photosensitive element on signals measurements at two levels of a homogeneous illumination of a photosensitive matrix. Simultaneous measurements of two parameters describing two-point correction, and their changing in time were lead. It was shown, that influence of instability of differential sensitivity leads to occurrence of geometrical noise at the radiation levels close to a level of the second calibration, not smaller, than parameters changing of one-point correction. The value of geometrical noise was unchanged for 45 min.

PACS: 42.79 Sz; 85.30.-Z

Keywords: signal, image, parameter, stability, point-to-point correction.

Bibliography — 2 references.

Received 11 December 2008