

УДК 621.384.3

## Результаты практического моделирования коррекции неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены

*В. Н. Соляков, С. И. Жегалов, В. Г. Морозова*

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

E-mail: orion@orion-ir.ru

*Представлены результаты моделирования коррекции дефектов и неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств (ФПУ) по сигналам сцены. Рассмотрены сканирующие и матричные ФПУ. Моделировалась коррекция по имитационным и реальным данным. Модель подтверждает теоретические оценки и дает материал для настройки параметров практических алгоритмов коррекции.*

PACS: 85.60.-q

### Введение

Цель моделирования — исследование коррекции неоднородности по сигналам сцены, уточнение теоретических оценок точности и настройка параметров алгоритмов коррекции.

Работа является продолжением в направлении реализации метода, описанного в [1], и модели коррекции [2, 3]. Представленные результаты по микросканированию основываются на данных работы [4].

Модель обеспечивает имитацию сигналов или ввод реальных, моделирует калибровку по сцене и

корректирование сигналов для различных вариантов ФПУ, сканирования и условий обработки.

Модель реализована программой в среде MATLAB, обеспечивающей удобное представление результатов в табличной и графической формах. При необходимости несложно произвести дополнительную обработку результатов.

### Состав модели

Модель (рис. 1) включает в себя следующие модели: сцены, сканера, ФПУ и обработки.

Для исследований используется имитационная модель сигналов сцены. Наряду с имитационной предусмотрен ввод записанных в файлы реальных

сигналов ФПУ. На схеме длинная стрелка показывает поток анализируемых данных при имитации,

короткая — обработку реальных данных.

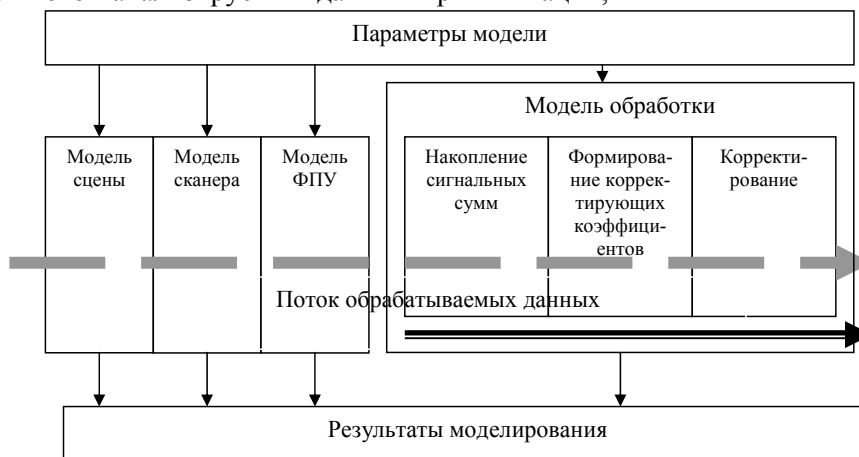


Рис. 1. Блок-схема модели

- *Модель сцены* создает набор сцен, используемых для калибровки и оценки качества изображения. Сигнал сцены представляется как меняющийся во времени двухмерный образ (экран), отображаемый в виде множества потоков;  $PS(x,y,t)$  — поток для точки экрана с дискретными координатами по ширине и высоте,  $x$  и  $y$  — соответственно, в моменты времени  $t, t = 1, 2, \dots$ . Координатная сетка  $x, y$  согласуется с возможными сдвигами сканера.

- *Модель сканера* обеспечивает последовательную подачу столбцов сцены со смещением соответственно значению параметра сдвига сканера — четных полукадров по высоте линейки ФПУ относительно положения нечетных полукадров.

- *Модель ФПУ* преобразует входной поток в выходной сигнал в соответствии с моделью преобразования и добавляет шумовой сигнал. Собственно неоднородность ФПУ генерируется в этой модели случайным распределением коэффициентов полинома: второй степени — для линейной модели, третьей степени — для квадратичной. На выходе сигнал пропускается через модель аналого-цифрового преобразования.

- *Модель обработки* определяет корректирующие коэффициенты и производит корректирование. Параметры обработки учитывают изменчивость сцены, топологию ФПУ, режимы сканера и прочее.

Результаты моделирования отображают фазы прохождения сигнала.

### Критерий коррекции и примеры имитационного моделирования

При имитации сигналов критерием показателем качества коррекции является соответствие выходного скорректированного сигнала входному.

Критерий рассчитывается по всей совокупности элементов и нормируется к одному — показывает среднее отклонение скорректированного сиг-

нала элемента от исходного. Рассчитывается по формуле

$$KR_{kor} = \frac{1}{T_{kr} \cdot N_{el}} \cdot \min \times \\ \times \sum_{t \in T_{kr}} \sum_{n,m} [P_{n,m}(t) \cdot A + B - S_{n,m}^K(t)]^2 = \\ = \frac{1}{T_{kr} \cdot N_{el}} \sum_{t \in T_{kr}} \sum_{n,m} [P_{n,m}(t) \cdot A_{kr} + B_{kr} - S_{n,m}^K(t)]^2,$$

где сумма берется по всем элементам в течение интервала  $T_{kr}$  оценивания критерия, минимум находится по переменным  $A$  и  $B$ ;

$A_{kr}$  и  $B_{kr}$  — значения, для которых достигается минимум;

$n \in T_{kr}$  — перебор значений интервала;

$N_{el}$  — число элементов;

$P_{n,m}(t)$  и  $S_{n,m}^K(t)$  — потоки на элементах и скорректированные сигналы, соответственно.

Параметры  $A$  и  $B$  по смыслу соответствуют регулировке яркости и контрастности.

План типового модельного эксперимента состоит в задании параметров модели и прогонке данных с подбором параметров обработки, руководствуясь результатами вариантов эксперимента.

Вариант — это прогонка данных при фиксированном наборе значений параметров, формирование (или ввод — если сигналы реальные) и обработка последовательности сигналов. Каждый элемент последовательности соответствует одному отсчету (моменту времени в модели) с элементов ФПУ, отсчеты последовательности содержат отсчеты для калибровки и отсчеты корректирования.

Критерий коррекции определяется по первым из корректируемых отсчетов. Для реальных сигналов критерием является совместный просмотр скорректированных и нескорректированных изображений или же сопоставление вариантов кор-

рекции по сцене и по опорным источникам. Отдельные оценки качества могут быть получены из массива-формы "Состояние элементов" и сопутствующих этой форме данных.

Отсчет моментов времени является основным циклом в моделирующей программе, к которому привязываются все другие циклы, соответствующие отдельным частям обработки. Этой привязкой обеспечивается синхронизация обработки.

Такой подход к функционированию модели соответствует организации реальной схемы обработки. Если реализация программная, то берется модельная программа обработки и "подгоняется" к языку программирования, оперативной памяти, к производительности и системе прерываний реализующего микропроцессора.

Для схемной реализации массивы и модули моделирующей программы определяют потребную память и схемы обработки реализующего устройства.

Построение модели позволяет калибровать и ее саму естественным способом: прогонка исходного (неискаженного) изображения через модель (в отсутствие шума элементов и неоднородности ФПУ) дает значение критерия порядка 0,0000000003 (минус десять порядков). Этот вычислительный шум модели называем нулевым. Его низкое значение обусловлено сравнительно высокой точностью представления числовых величин в модели — 2 в минус 64-й степени, и в большей степени — способами повышения точности определения меж-

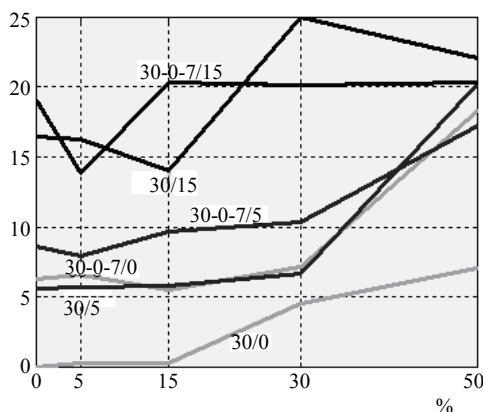
элементных парных связей и методом обхода элементов.

Прогонка с нулевым шумом и практическими значениями неоднородности элементов (в 10—15 %) и однородной калибровочной сценой дает значение критерия порядка 0,3—0,5. Ненулевой вычислительный шум (так его назовем) появляется с неоднородностью и увеличивается с ее ростом. Причина этого шума заключается в необходимости получения скорректированных сигналов через многократное, например для линейки-288 — до 144 крат, умножении случайных величин. В большей части моделируемый метод и "занят" ограничением погрешности этих умножений, и этот шум — погрешность собственно метода коррекции.

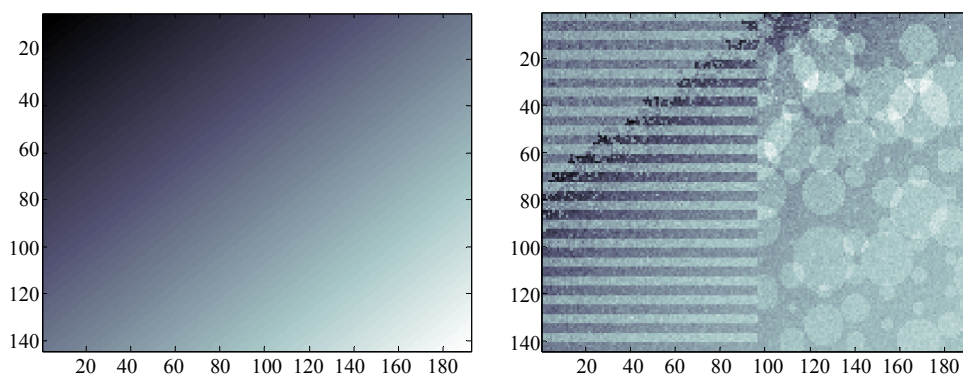
Добавление шума при корректировании (входящий в состав принятого сигнала шум) также подвергается корректированию, определяет полный шум корректирования.

На рис. 2 приведен пример результатов по имитационному моделированию:

- зависимость критерия коррекции от неоднородности ФПУ при однородной и неоднородной сценах калибровки (линейка 4×288. Сдвиг сканера = 0,5);
- коррекция матричного ФПУ при неоднородной сцене калибровки, шум = 5, сигнал калибровки = 29-0-7 (изменения среднего отклонения потока по матрице от 29 к 0 и далее к 7). Критерий коррекции = 16,8277.



а



б

**Рис. 2. Примеры результатов имитационного моделирования:**

*a* — зависимость критерия коррекции от неоднородности ФПУ; *б* — коррекция матричного ФПУ

Пример иллюстрирует влияние на коррекцию по сцене основного фактора — неоднородности калибрующей сцены.

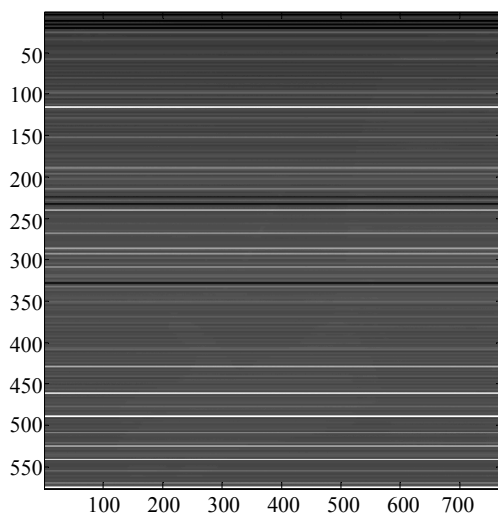
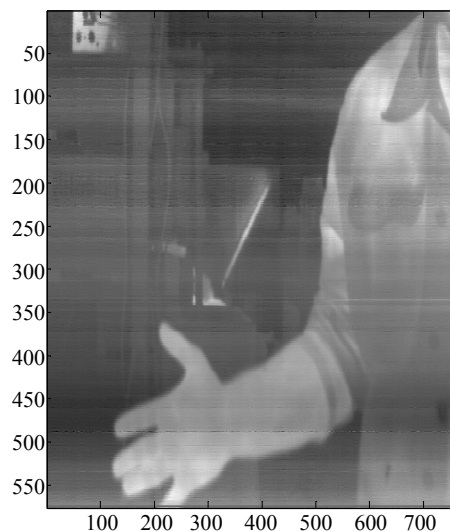
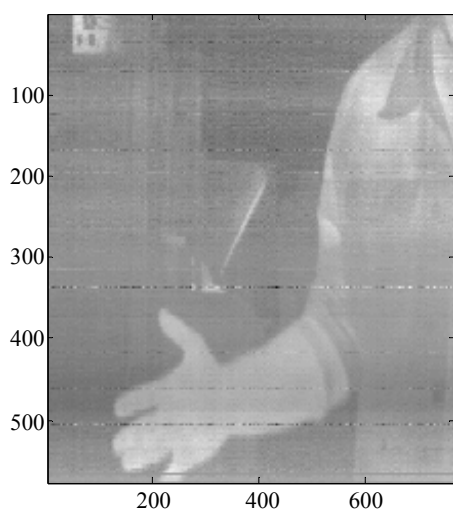
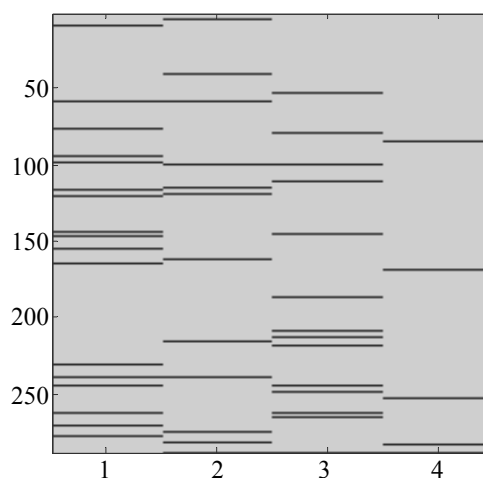
### Коррекция дефектов и неоднородности элементов ФПУ по реальным данным

Моделировалась коррекция сигналов сканирующего ФПУ  $4 \times 288$ , пример которого приведен на рис. 3, и матричного  $128 \times 128$  — нескорректированный и скорректированный кадры и карта дефектов (рис. 4).

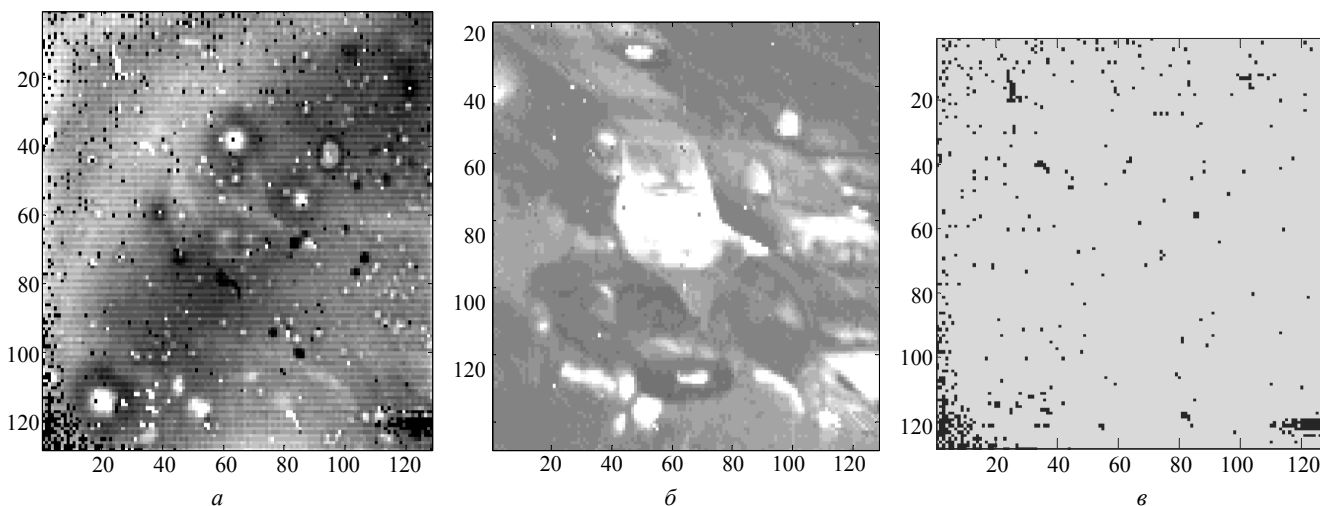
Нескорректированный кадр (см. рис. 3, *a*) снят с одного из четырех рядов линейки. Скорректиро-

ванный кадр (см. рис. 3, *б*) сформирован комбинированием скорректированных кадров с четырех рядов. Пример скорректированного кадра одного ряда линейки приведен на рис. 3, *в*. При комбинировании устраняются дефекты, и происходит сглаживание изображения за счет суммирования строк скорректированных кадров с рядов. Карта дефектов линейки изображена на рис. 3, *г*.

Корректирующие коэффициенты и дефекты элементов линейки определялись по одному кадру и этот же кадр корректировался. Размер кадра  $576 \times 768$ , ширина кадра (768) определяет основной статистический параметр коррекции — интервал накопления.

*a**б**в**г***Рис. 3. Коррекция сигналов сканирующего ФПУ  $4 \times 288$ :**

*a* — нескорректированный кадр; *б* — скорректированный кадр из четырех рядов; *в* — скорректированный кадр из одного ряда; *г* — карта дефектов линейки



**Рис. 4. Коррекция сигналов матрицы 128×128:**  
*a* — нескорректированный кадр; *б* — скорректированный кадр; *в* — карта дефектов

Для матрицы определение коэффициентов и дефектов происходило на интервале порядка 200 кадров. Карта дефектных элементов, как видно из рис. 4, *в*, близка к "карте" черных и белых точек на примере нескорректированного кадра (см. рис. 4, *а*).

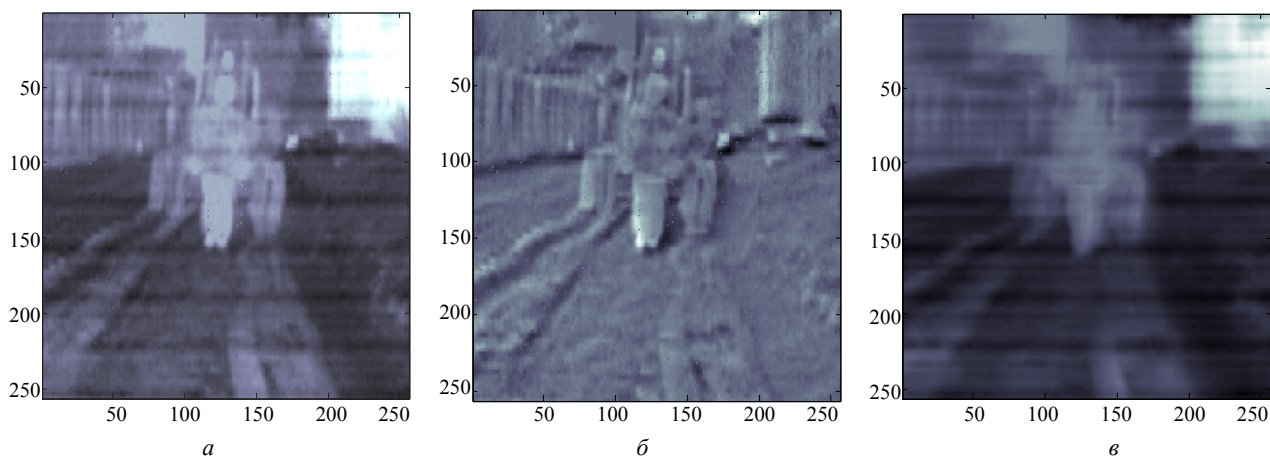
**Моделирование коррекции дефектов и неоднородности матричного ФПУ с микросканированием**

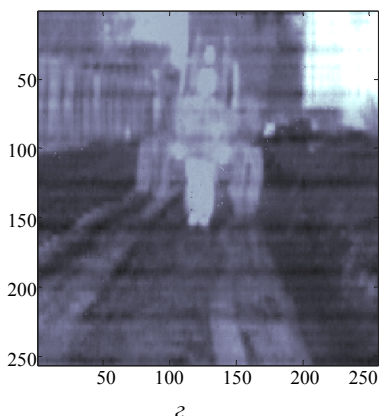
Эксперимент заключался в следующем:

- первый вариант: бралась тепловизионная сцена (пример кадра на рис. 5, *а*), на нее накладывали смоделированные неоднородность, дефекты

и временной шум, затем осуществляли коррекцию — пример кадра дан на рис. 5, *б*;

- второй вариант: для той же тепловизионной сцены моделировалось микросканирование — пок кадрово на основе соотношений по соседним кадрам. Моделировался сдвиг на полпиксела вверх и на полпиксела вправо. Неоднородность и дефекты элементов принимались теми же, что и для первого варианта. Временной шум тот же, затем осуществляли коррекцию. Пример скорректированного кадра дан на рис. 5, *г*.





**Рис. 5. Коррекция с микросканированием:**  
*a* — тепловизионная сцена; *b* — скорректированный кадр по первому варианту; *в* — корректура кадра по смещению, обеспечиваемая микросканированием; *г* — скорректированный кадр по второму варианту

Разница между скорректированными кадрами по обоим вариантам близка к аддитивной составляющей — корректуре по смещению, обеспечиваемой микросканированием. Эта корректура представлена на рис. 5, *в*.

### Выводы

1. Модель коррекции неоднородности и дефектов ФПУ по сцене является средством исследования и оценивания возможностей такой коррекции.
2. Модель подтвердила оценки метода [1] и позволила обосновать улучшение точности коррекции при использовании микросканирования.
3. Имитационная составляющая модели в совокупности с обработкой реальных данных обеспечивает подробный анализ коррекции и позволяет подбирать параметры практических алгоритмов.
4. Блок обработки модели является прототипом практической реализации коррекции по сцене. Требования по производительности и памяти лежат в пределах возможностей современных микропроцессоров.

5. Актуальной является разработка модели реальных сцен с тем, чтобы проверить практические алгоритмы и определить потенциальные возможности коррекции неоднородности по сцене.

### Литература

1. Соляков В. Н., Жегалов С. И., Сагинов Л. Д. и др. Метод коррекции неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены // Прикладная физика. 2008. № 1.
2. Морозова В. Г., Жегалов С. И., Соляков В. Н., Сагинов Л. Д. Математическое моделирование коррекции неоднородности матричных фотоприемных устройств по сигналам сцены: 19-я Междунар. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М., 2006.
3. Морозова В. Г., Жегалов С. И., Соляков В. Н., Сагинов Л. Д. Математическое моделирование коррекции неоднородности сканирующих многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены: 19-я Междунар. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М., 2006.
4. Соляков В. Н., Морозова В. Г., Жегалов С. И. Метод коррекции неоднородности по сигналам сцены многоэлементных фотоприемных устройств с микросканированием: 20-я Междунар. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М., 2008.

Статья поступила в редакцию 19 января 2009 г.

## Practical modelling of FPA nonuniformity scene-based correction

*W. N. Solyakov, S. I. Zhegalov, V. G. Morozova*  
 Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia  
 E-mail: orion@orion-ir.ru

*Results of FPA nonuniformity scene-based correction modelling are given. Scanning and staring FPA are considered. Correction on the imitating and real data was modelled. The model confirms theoretical estimations and gives a material for practical algorithms.*

PACS: 85.60.-q

\* \* \*