

**Ю. Н. Горелов, Л. В. Курганская, А. В. Щербак** (Самара, СамГУ). **Кондиционирование сигналов ПЗС-матрицы оптико-электронной системы дистанционного зондирования в реальном масштабе времени.**

Основной тенденцией развития современных космических оптико-электронных систем (ОЭС) наблюдения является создание малогабаритных фотопреобразующих устройств (ФПУ) на ПЗС-структурах, обеспечивающих получение цифровых изображений в нескольких спектральных диапазонах с высоким разрешением [1], а также сохраняющих высокую стабильность светочувствительных характеристик в течение всего срока эксплуатации, что предъявляет повышенные требования к ПЗС-матрицам и к их устройствам обработки информации. Качество получаемой информации зависит не только от основных характеристик ФПУ, к которым относятся фотоэлектрические и конструктивные характеристики (тип канала переноса, способ считывания, размеры ячеек фотоувствительной области и т. п.) [2], но также от предварительной обработки (кондиционирования) выходных сигналов ФПЗС в реальном масштабе времени, целью которой является выравнивание фотометрических характеристик элементов ПЗС-матрицы.

Светочувствительные характеристики отдельных пикселей фотоприемных зарядовых систем (ФПЗС) практически линейны в широких пределах изменения освещенности, но могут существенно различаться для разных элементов ПЗС-матрицы из-за вариаций параметров соответствующих МОП-накопителей (концентрации примесей в фотодиодных ячейках, размеры светочувствительных элементов и др.). Выходной сигнал, снимаемый с  $k$ -го пикселя в первом приближении можно описать линейной моделью [3]:  $u_k(S_k) = \alpha_k S_k + u_{k0}$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ , где  $S_k$  — освещенность  $k$ -го пикселя,  $\alpha_k$  — коэффициент преобразования светового потока,  $u_{k0}$  — напряжение, вызванное неоднородностью распределения темнового тока,  $N$  — число пикселей в ПЗС-матрице. Вариации светочувствительных характеристик ФПЗС обуславливают появление так называемых *геометрических шумов* [1]–[3]. Поэтому для снижения их влияния на качество получаемой информации необходимо перед сеансами съемки проводить калибровку космической ОЭС, чтобы получать от каждого пикселя ФПЗС сигналы одного и того же уровня при условии их равномерной освещенности. Такая калибровка сводится к определению параметров  $\alpha_k$  и  $u_{k0}$  в модели выходного сигнала, математическое ожидание которых находится из решения следующей системы уравнений:

$$u_k^{(i)} = \alpha_k S^{(i)} + u_{k0}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad n \geq 10,$$

где  $S^{(i)}$  — уровень освещенности элементов ПЗС-матрицы в  $i$ -й засветке ее рабочего поля,  $n$  — число засветок,  $u_k^{(i)}$  — выходной сигнал  $k$ -го пикселя, а  $u_{k0}^{(i)}$  — текущий уровень напряжения темнового тока в момент  $i$ -й засветки. Как правило, полностью скомпенсировать влияние геометрического шума не удастся, что может быть связано с нелинейностью выходного сигнала и неоднородностью облучения при калибровочной засветке. Для большинства практических применений проведение подобной калибровки и последующей коррекции вполне достаточно. Тем не менее, в ряде случаев для повышения информативности снимков требуется повышение разрешающей способности ОЭС по яркости. Поэтому также предлагается выравнивать чувствительность элементов ФПЗС путем адаптации диапазона входного сигнала аналого-цифрового преобразователя (АЦП) к размаху сигнала, поступающего от ФПЗС непосредственно в процессе съемки. Такая адаптация осуществляется аппаратно посредством введения обратной связи, задающей средний уровень сигнала ФПЗС. Например, его можно определить как среднее выходных сигналов всех пикселей матрицы или линейки ФПЗС для  $m$ -го шага ( $m$ -й элементарной полоски сканирования [4]):  $\bar{u}_m = N^{-1} \sum_{k=1}^N u_k^{(m)}$ , либо как среднее значение для максимального и минимального уровня сигнала:  $\bar{u}_m = [\max\{u_k^{(m)}\} + \min\{u_k^{(m)}\}]/2$ . После вычисления  $\bar{u}_m$  можно задать новый диапазон преобразуемых значений в виде интервала от

$\bar{u}_m - \Delta u_m$  до  $\bar{u}_m + \Delta u_m$ , где  $\Delta u_m$  пропорционально модулю максимального значения разности между значением  $\bar{u}_m$  и границами диапазона входного сигнала АЦП, т. е.  $\Delta u_m = K \max[|\max\{u_k^{(m)}\} - \bar{u}_m|, |\min\{u_k^{(m)}\} - \bar{u}_m|]$ , где  $K = 1, 0 \div 1, 2$  — коэффициент, определяющий запас по ширине динамического диапазона выходного сигнала ФПЗС на  $(m + 1)$ -м шаге. Для прогнозирования значений  $\bar{u}_m$  и  $\Delta u_m$  можно применить процедуру экспоненциального сглаживания [5] или адаптивного сглаживания (Adaptive-response-rate single exponential smoothing — ARRSES), которые описываются следующими рекуррентными соотношениями:

$$E_m = \gamma_m \bar{u}_m + (1 - \gamma_m) E_{m-1}, \quad \Delta E_m = \delta_m \Delta \bar{u}_m + (1 - \delta_m) \Delta E_{m-1},$$

где  $E_m$  и  $\Delta E_m$  — соответствующие экспоненциальные средние на  $m$ -м шаге, а  $\gamma_m$  и  $\delta_m$  — постоянные сглаживания (при использовании процедуры ARRSES они также являются соответствующими экспоненциальными средними). Таким образом, на  $(m + 1)$ -м шаге среднее значение диапазона сигнала ФПЗС-матрицы можно принять равным  $E_m$ , а предполагаемый диапазон изменения выходного сигнала ФПЗС задавать интервалом  $[E_m - \Delta E_m, E_m + \Delta E_m]$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакланов А. И. Системы наблюдения и мониторинга. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 234 с.
2. Пресс Ф. П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. М.: Радио и связь, 1991, 264 с.
3. Лебедев Д. Г., Льюнг К. Т. Моделирование адаптивного выравнивания параметров линейки фотоприемников с использованием микросканирования. — Информационные процессы, 2007, т. 7, № 2, с. 124–137.
4. Горелов Ю. Н., Данилов С. Б., Мантуров А. И., Пермяков А. В. Оптимальное управление сканированием маршрутов съемки для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. — Общерос. научно-техн. журнал «Полет», 2009, № 11, с. 49–55.
5. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1998, 1022 с.