

КОРРЕКЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ПРИЕМНИКОВ

БРАШЕВАН Ю.В., Зинис К.А., Утенков А.А., Чернокожин В.В.,
Певцов Е.Ф., Пыжов Ю.А., Шубин А.А.

В настоящее время во многих странах ведутся исследования и разработка новых и улучшению характеристик матричных приемников теплового изображения в фокальной плоскости [1-4]. Одной из главных проблем, ограничивающей возможности этих систем, является неоднородность характеристик отдельных элементов матрицы или линейки приемников. Для получения качественного изображения неоднородность чувствительности не должна превышать 1-2%. Технологически это требование весьма жесткое и поэтому приходится использовать корректирующую систему, которая уменьшает так называемые пространственные шумы теплового изображения.

Современная элементная база позволяет реализовать эффективные алгоритмы коррекции, компенсирующие неоднородность чувствительности многоэлементных фотоприемников и обеспечивающие визуализацию теплового изображения с характеристиками, достаточными для применения в различных системах наблюдения в реальном масштабе времени. Примером такого технического решения служит система, разработанная в Государственном научно-исследовательском институте «ПУЛЬСАР» при участии сотрудников МИРЭА [5].

В состав системы для тепловизионного наблюдения входят:

- телескопическая система, обеспечивающая передачу излучения от объектов в спектральном диапазоне 8-14 мкм (германиевый объектив диаметром 500 мм, просветляющее покрытие, коэффициент пропускания 0,6, относительное отверстие 1:2);
- система сканирования с качающимся зеркалом, обеспечивающая механическую развертку изображения по горизонтали с частотой 25 Гц;
- линейка из 256 фотоприемников, представляющих собой фоторезисторы на основе легированного галлием кремния с размерами одного приемного элемента 50×50 мкм² и шагом между элементами 10 мкм;
- два ПЗС-коммутатора (по 128 входов), обеспечивающих прямоинжекционный ввод токов, протекающих через фоторезисторы, и их преобразование в последовательность аналоговых сигналов в форме напряжений на выходе с частотой вывода сигнала 2 МГц;
- схему предварительной обработки, включающую предусилитель и схему двойной коррелированной выборки, подавляющую перекрестные помехи и наводки на выходном узле ПЗС;
- схему обработки и аналого-цифрового преобразования, формирующую 10-разрядные слова данных, соответствующих каждому пикселю изображения, выводимого затем на экран видеоконтрольного устройства или монитора.

В основу выполненной разработки положен метод автокалибровки, реализуемый посредством введения обратной связи по 12-разрядному цифровому каналу (рис.1). В процессе калибровки схемы при равномерной освещенности

приемников из сигнала от каждого элемента вычитается напряжение, сформированное схемой ЦАП из данных, хранящихся в ОЗУ по определенному адресу, соответствующему каждому элементу линейки. Непосредственно коррекция аддитивной составляющей для каждого элемента осуществляется за счет компарирования сигнала на выходе устройства и заданного сигнала сравнения. По результатам этого сравнения происходит инкрементирование или декрементирование счетчиков, загружаемых предварительно данными, от предыдущего шага итерации. После этого происходит перезапись выходных данных счетчиков в ОЗУ.

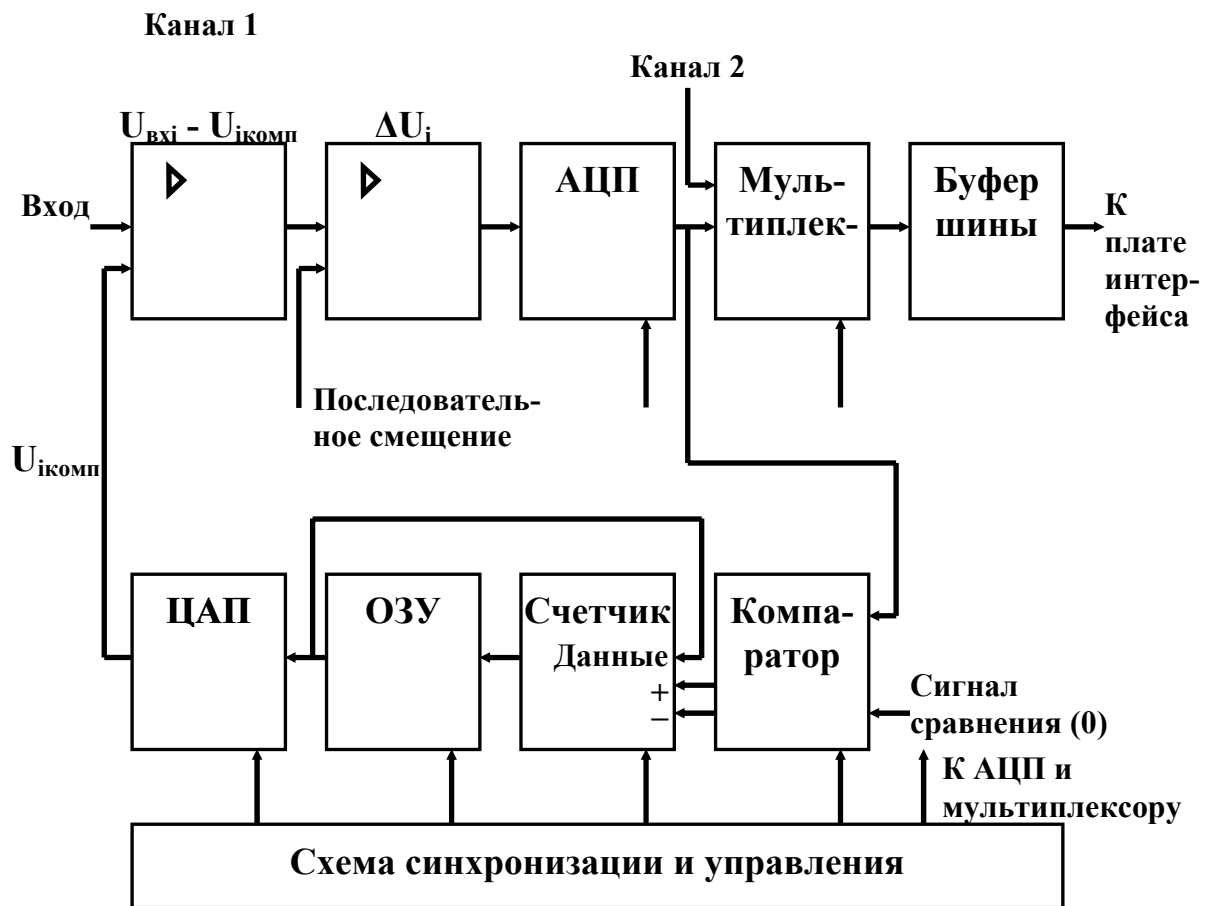


Рис. 1. Функциональная схема устройства обработки и преобразования с аналоговой коррекцией неоднородности фотоприемников

Во время работы системы происходит также вычитание записанных значений из поступающего сигнала с выхода тепловизора и таким образом уменьшается влияние разброса характеристик приемных элементов линейки на получаемое тепловизионное изображение.

При заданном уровне фонового сигнала достаточно только коррекции аддитивной составляющей, но при его сильном изменении полученное изображение ухудшается и требуется повторная перекалибровка системы. Таким образом, необходима процедура коррекции мультипликативной составляющей пространственного шума в реальном масштабе времени. Эта операция требует больших аппаратных ресурсов и выполнять ее целесообразно с использованием цифрового сигнального процессора (рис.2).

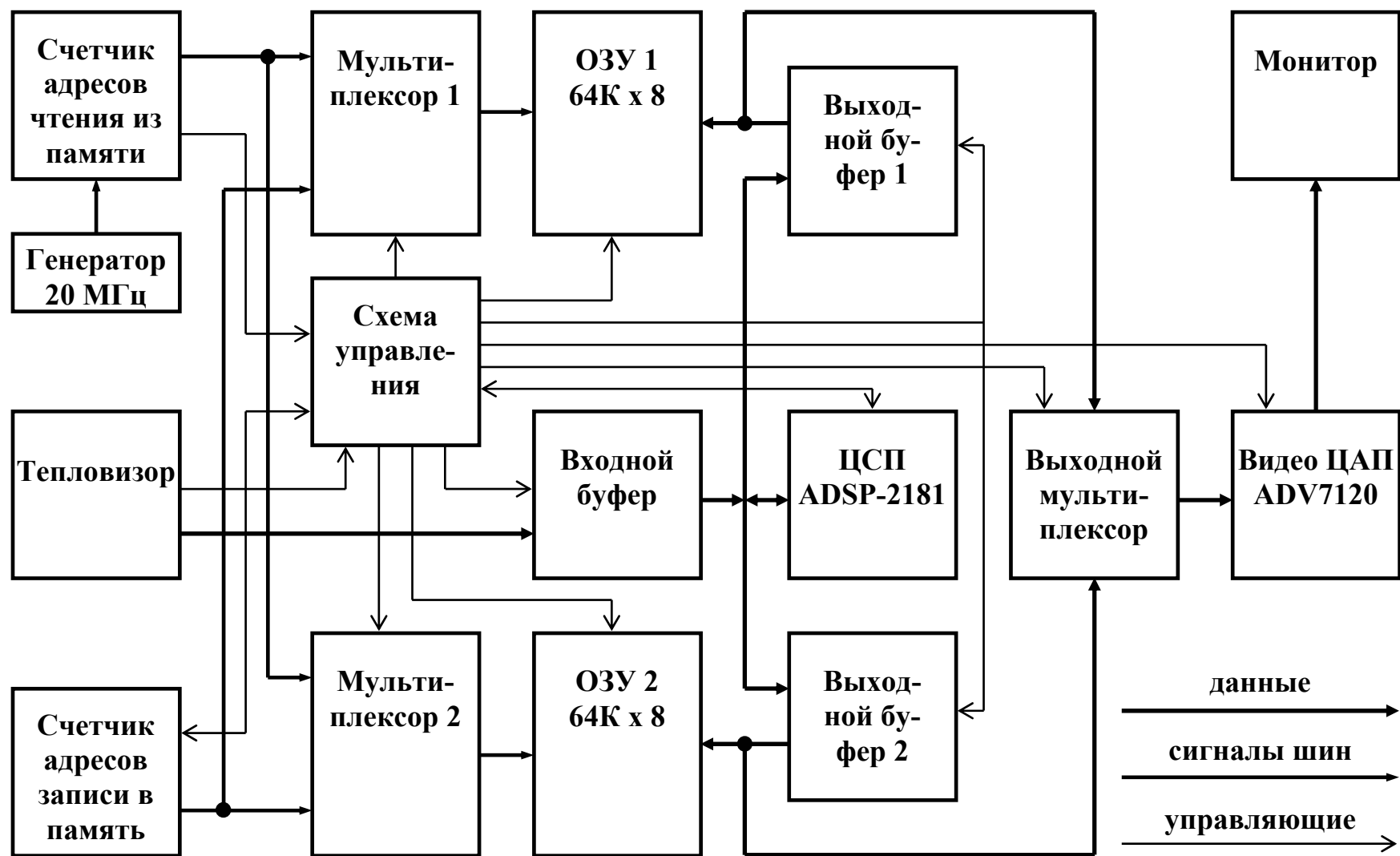


Рис. 2. Функциональная схема устройства коррекции неоднородности на основе ЦСП

Цифровой сигнальный процессор ADSP 2181 обрабатывает поступающие данные по заданному алгоритму, записанному предварительно во внутреннюю память программ. В простейшем случае это преобразование сигнала от каждого приемного элемента по линейному закону с индивидуально подобранными коэффициентами, также загружаемыми в память процессора после запуска программы калибровки. После обработки данные программно переставляются в нужном порядке и записываются в одно из двух буферных статических ОЗУ объемом 64к x 8. Адреса ОЗУ формируются специальной схемой, работающей синхронно с сигналами управления тепловизора, которая по моменту окончания записи одного полного кадра также выдает сигнал прерывания работы процессора, инициирующий программу подготовки приема следующего блока данных. Одновременно данные из другого буферного ОЗУ поступают на вход специального видео-ЦАП, который формирует стандартные сигналы для видеомонитора.

Эксперименты с этой схемой показали, что разброс сигналов от отдельных пикселей изображения не превышает 0.5-1%, что соответствует уровню электронных шумов преобразования. (сигнал- 0.2 В, шум – 1 мВ) и обеспечивает значительное улучшение качества формируемой тепловизионной картинки (рис. 3).



Рис.3. Примеры тепловизионных изображений: без коррекции неоднородностей и после обработки

Таким образом, разработанная схема позволяет проводить коррекцию неоднородности чувствительности элементов линейки тепловизионной системы в реальном масштабе времени. При этом алгоритм обработки может варьироваться в соответствии с загруженным в процессор программным кодом.

Для измерений характеристик тепловизионной системы применялся комплект специально разработанного оборудования. Вместе с известными методиками определения таких характеристик системы как эквивалентные шуму разность температур и облученность, минимально разрешимая и обнаруживаемая разность температур, градуировочная кривая и пространственное разрешение

при определении характеристик системы были также проведены исследования эффективности различных алгоритмов самокалибровки. Показано, что наилучшие результаты достигаются в случае привязки уровня сигнала к среднему значению фонового излучения и поэлементной коррекции неоднородностей чувствительностей отдельных приемников по мультипликативным и аддитивным коэффициентам (рис. 4).

Основные характеристики усовершенствованной тепловизионной системы: двухуровневая замкнутая система охлаждения Мак-Магона (1-й уровень – 80 К/0,4 Вт, 2-й уровень – 25 К /0,15 Вт), обеспечивающая рабочую температуру фотоприемников 25-28 К и температуру ПЗС-мультиплексора 80 К, размер кадра изображения 256×256 элементов, частота кадров – от малокадровой до 25 Гц, неоднородность по всему полю кадра не превышает 1%, температурная чувствительность составляет 0,05 К; динамический диапазон не менее 3000.

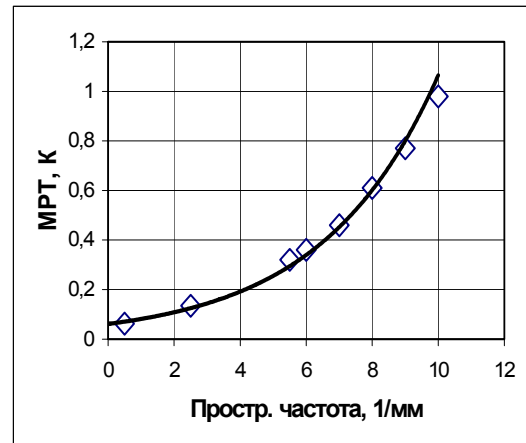


Рис.4. Зависимость минимальной разрешающей способности температуры опытного тепловизора на основе примесного кремния от пространственной частоты изображения миры

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Певцов Е.Ф., Чернокожин В.В. Матричные ИК-приемники для малогабаритных тепловизионных камер // Электронные компоненты. - 2001. (в печ.)
2. Scribner D.A., Schuler J.M., Warren P., Havard J.G., Kruer M.R. Image Preprocessing for the Infrared // Proceeding of SPIE. –2000. - V. 4028. – P.222-232.
3. Villani T., Loesser K. Perna S., McCartly D., Pantuso F. A compact high-performance MWIR camera with exposure control and 12-bit video processor //Proceeding SPIE. – 1998. - V. 3379. - P.307-317.
4. Kilrbitz G., Duchateau R. // Design and development of a very high-resolution thermal imager // Proceeding SPIE. – 1998. - V. 3379. - P.307-317.
5. V.V.Chernokozhin, Yu.I.Zavadskii, I.A.Pelezneva, K.A.Zinis, K.L.Enisherlova Hybrid multielement cooled CCD-based photodetector with increased quantum efficiency for the longwave infrared range // Proceeding of SPIE, 2790 (1996), pp.14-16

Государственное унитарное предприятие «НПП «Пульсар»

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (Технический Университет).