

## Коррекция неоднородности чувствительности матричных фотоприемных устройств с использованием нейронной схемы

С. И. Жегалов

*Рассматриваются варианты применения нейронной схемы для коррекции неоднородности и дефектов фотоприемных устройств. Анализируются варианты с использованием корректирующих коэффициентов и вариант без коэффициентов. Рассматривается альтернатива микросканера и опорных сигналов. Варианты сопоставляются с коррекцией с использованием для калибровки двух опорных сигналов. Вариант без коэффициентов – нейронная схема формирует выходные сигналы по градиентам входных сигналов. В других вариантах нейронная схема используется для формирования коэффициентов по чувствительности и по смещению. Улучшение коэффициентов достигается распараллеливанием их вычисления. Варианты сопоставляются по коэффициенту корреляции входных и выходных кадров. Совокупные показатели качества вариантов – это наличие микросканирования/опорных сигналов, использование корректирующих коэффициентов, кадровая частота, непрерывность/прерывность работы, корреляция входных и выходных кадров. С увеличением кадровой частоты нейронная схема с использованием микросканера позволяет обеспечить непрерывный режим работы с соизмеримым с двухточечной коррекцией качеством изображения и более простой обработкой.*

*Ключевые слова:* варианты применения, нейронная схема, градиентный метод, формирование изображения, микросканирование, опорные сигналы, корректирующие коэффициенты, показатели качества, сопоставление.

### Введение

Возрастающий интерес в различных областях техники к применению нейронных схем затронул и задачи коррекции неоднородности фотоприемных устройств.

К первым работам по коррекции с использованием нейронной схемы можно отнести [1, 2]. В них рассматривается коррекция по сцене с использованием обратной связи. Обратная связь [3] – это использование выходных, скорректированных сигналов, в определении корректирующих коэффициентов. Однако использование методов с обратной связью в коррекции неоднородности проблематично. Эти методы приносят неустойчивость решения, которая ввиду сложности надежно не может быть оценена.

Целью данной работы является сравнительный анализ вариантов использования нейронной

схемы для коррекции ФПУ в интересах выбора наиболее эффективного в зависимости от характеристик ФПУ и условий его применения.

### Нейронные схемы для ФПУ

Нейронная схема формирования изображения для ФПУ с микросканированием определена в [4], где она реализует градиентный метод [5, 6] обработки изображения с распараллельным процессом формирования изображения.

В [7] возможности такого метода сопоставляются с возможностями двухточечной коррекции с использованием для калибровки 2-х уровней опорных сигналов.

Основным выводом [7] является то, что хотя нейронная схема привлекательна простотой операций, однородностью структуры, но ахиллесовой пятой метода является возникающий шум микросканирования [7], когда нейронная схема формирует выходной кадр по градиентам нескольких кадров, входящих в цикл микросканирования. Этот недостаток органически присущ данному методу. По этой причине нейронный метод с формированием выходных кадров по градиентам

Жегалов Станислав Иванович, главный специалист, к.т.н.  
АО «НПО «Орион».  
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.  
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 18 августа 2017 г.

входных становится соизмеримым по качеству с методом 2-калибровки только с увеличением кадровой скорости ФПУ.

Такое применение нейронной схемы осуществляется без использования для коррекции неоднородности и дефектов корректирующих коэффициентов, и, естественно, возникла мысль применить нейронную схему не прямо, сразу формируя изображение по градиентам, а с ее помощью вначале сформировать корректирующие коэффициенты, а по ним уже проводить корректирование.

Замысел основывается на том, что поэлементные средние и поэлементные среднеквадратичные отклонения сигналов, из которых определяются корректирующие коэффициенты по смещению и чувствительности, с увеличением интервала усреднения меньше зависят от шума микросканирования.

Использование нейронной схемы для формирования корректирующих коэффициентов, как и прямое использование схемы, лежат в плоскости подхода к коррекции по сигналам сцены, условия и возможности которой анализируются для методов с использованием корректирующих коэффициентов в [8].

Выяснилось, что для формирования корректирующих коэффициентов по чувствительности микросканирование не является необходимым, причем градиенты необходимы только для определения корректур по смещению.

Следуя дальше в этом направлении и учитывая, что определение корректур по смещению можно осуществить с использованием одного уровня опорного сигнала, приходим к схеме коррекции с одним опорным сигналом.

### Варианты применения нейронной схемы для коррекции неоднородности

Варианты использования нейронной схемы для коррекции иллюстрируют рис. 1 и 2.

**Вариант а) на рис. 1:** коррекция неоднородности ФПУ с микросканированием без использования корректирующих коэффициентов исследован в [4], в частности, на зависимость от шума микросканирования. Формирование выходных кадров начинается по истечении приема первых 6-ти (при микросканировании по 4-м направлениям: влево, вверх, вправо, вниз, кадр без микросканирования и т. д.), формируются все кадры. Режим работы непрерывный. Определения дефектов не требуется.

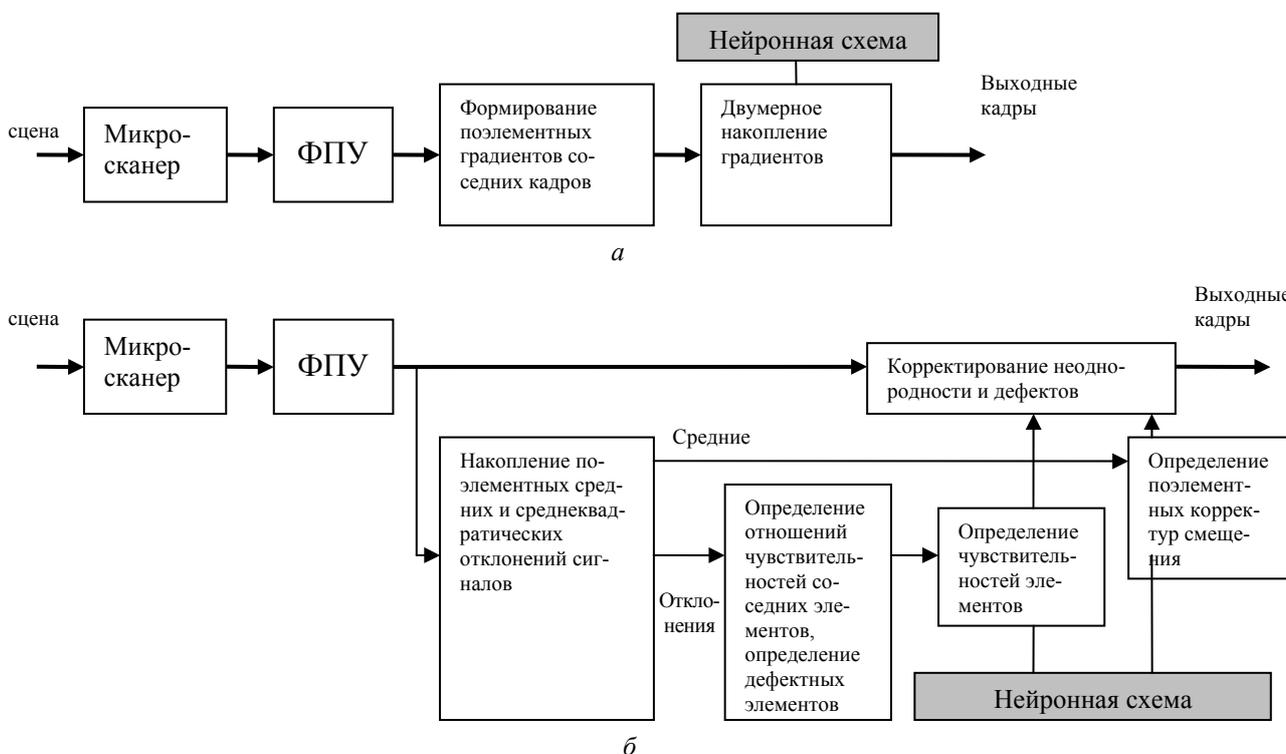


Рис. 1. Коррекция неоднородности ФПУ с микросканированием: а – без использования корректирующих коэффициентов; б – с использованием корректирующих коэффициентов

**Вариант б) на рис. 1:** коррекция неоднородности ФПУ с микросканированием с использованием корректирующих коэффициентов. Коэффициенты по чувствительности не используют фактор микросканирования (моделирование показало, что использование микросканирования не улучшает оценки коэффициентов), корректуры по смещению слабо зависят от микросканирования. Зависимость убывает с ростом кадровой частоты. Формирование выходных кадров начинается после приема нескольких сот кадров для первичного формирования корректирующих коэффициентов,

далее кадры формируются без перерывов – последующие оценки корректирующих коэффициентов осуществляются параллельно. Определение дефектов требуется.

**Вариант на рис. 2:** коррекции неоднородности ФПУ с использованием сигнала опорного источника не использует микросканирование, для него требуется один уровень опорного сигнала. Формирование выходных кадров начинается после приема опорного сигнала и прерывается на время приема последующих опорных сигналов. Определение дефектов требуется.

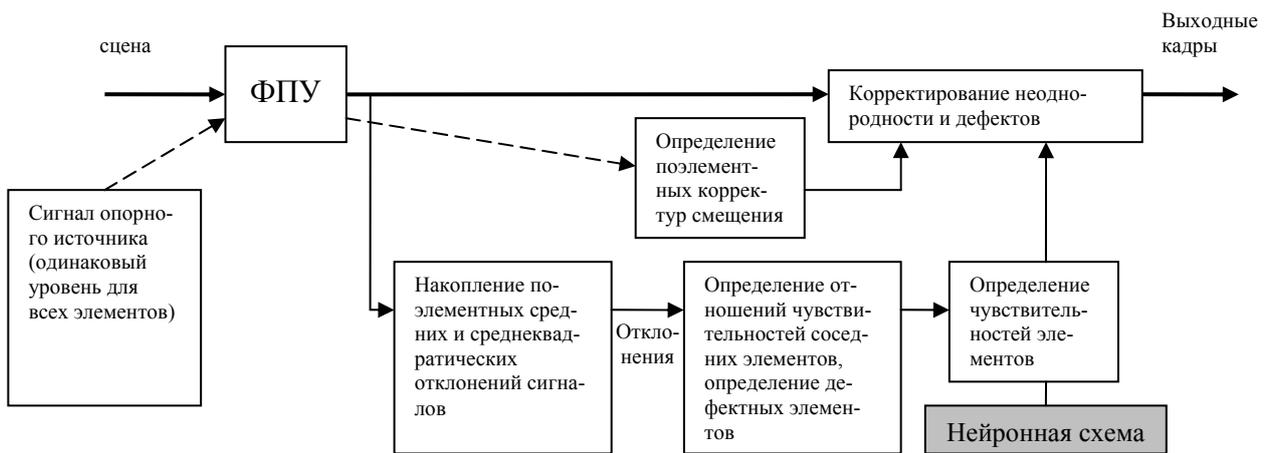


Рис. 2. Коррекция неоднородности ФПУ с использованием сигнала опорного источника одного уровня.

Сопоставимый вариант, а именно, калибровка по двум уровням опорного сигнала, прерывает прием на время приема калибровочных сигналов. Определение дефектов требуется.

Варианты оценены с использованием полунатурной модели [7]. Результаты приведены в таблице.

На рис. 3 приведена нейронная схема определения коэффициентов по чувствительности на

основании отношений среднеквадратичных отношений сигналов соседних элементов. Эти отношения используются как веса на входах сумматоров. Схема параллельная, напротив, сопоставимую схему определения коэффициентов чувствительности в [9] можно определить как последовательно-параллельную.

Таблица

Сопоставление вариантов использования нейронной схемы

Номер варианта	Содержание варианта	Режим работы	Кадровая частота, Гц		
			25	125	500
1	ФПУ с микросканированием без использования корректирующих коэффициентов	непрерывный	0,43	0,95	0,97
2	ФПУ с микросканированием с использованием корректирующих коэффициентов (микросканирование необходимо только для определения корректур по смещению)	непрерывный	0,83	0,98	0,98
3	ФПУ с использованием одного опорного сигнала	прерывание на калибровку	0,97	0,97	0,97
4	ФПУ с использованием двух опорных сигналов	прерывание на калибровку	0,98	0,98	0,97

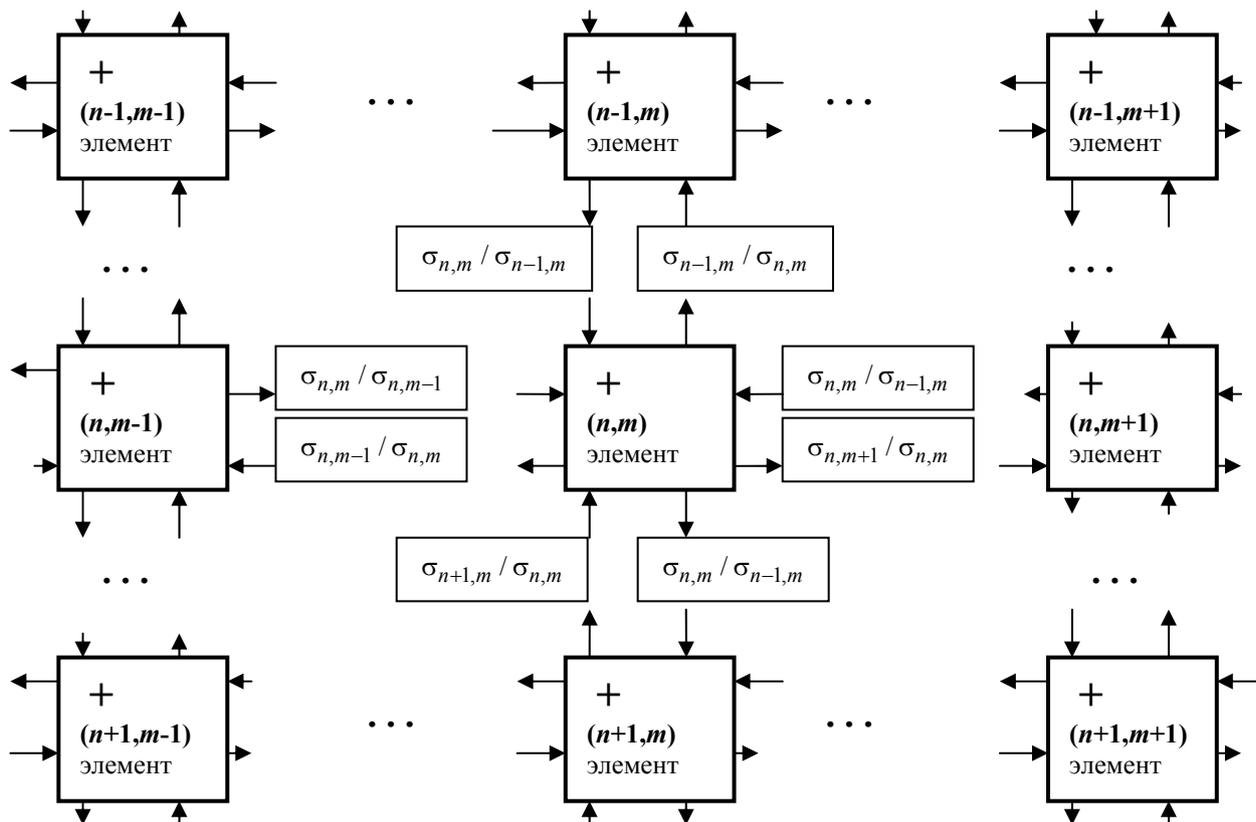


Рис. 3. Нейронная схема для определения корректирующих коэффициентов по чувствительности.

Нейронная схема дает более точный результат за счет следующего. На каждом элементе увеличивающий ошибку фактор, т. е. умножение ошибок значений соседних сумматоров на ошибку отношения среднеквадратичных отклонений, компенсируется (уменьшается) суммированием в каждом элементе 4-х величин. В схеме же из работы [9] суммируются 1, чаще 2 и реже 3 величины. Другими словами, сдерживание увеличивающего ошибку фактора слабее.

Дефекты определялись по поэлементным среднеквадратическим отклонениям сигнала: вначале из каждого отклонения вычиталось среднее (по окрестности (3×3) элементов) отклонение. К полученной матрице разностей применялась пороговая схема: превышение нижнего порога и непревышение верхнего в недефектных элементах.

### Сопоставление вариантов

Сопоставляются выходные кадры с входными по коэффициенту корреляции.

Наиболее интересной является разработка вариантов 2 и 3 в направлении улучшения характеристики изображения варианта 1 и приближения к варианту коррекции по двум опорным сигналам. Однако улучшение значимо только для изменчи-

вых сцен. Ограничение следует из того, что для работоспособности корректирующих коэффициентов в поэлементных среднеквадратичных отклонениях сигналов составляющая изменчивости сцены должна превышать составляющую временного шума, причем чем больше, тем лучше результат.

При работе по сигналам сцены нейронная схема улучшает точность вычисления корректирующих коэффициентов в сравнении с ранее разработанными методами, но присущая коэффициентам зависимость от сцены остается. А именно, следуя тезису непредсказуемости сцены, всегда можно предположить ее вариант, например, «стоячую», т. е. без возможности практической оценки чувствительности.

При рассмотрении таблицы в целом, по совокупности показателей представляет особый интерес вариант 1 (без использования корректирующих коэффициентов), который от сцены практически не зависит. Не требует определения дефектов, обеспечивает непрерывный режим работы, прост в реализации. Ценой преимуществ является шум микросканирования, ограничивающий применимость высокими кадровыми частотами. Заметим, что имеется полезная модель [10], ослабляющая ограничения по частоте.

### Заключение

В работе рассматриваются варианты применения нейронной схемы для коррекции неоднородности и дефектов фотоприемных устройств. Анализируются варианты с использованием корректирующих коэффициентов и вариант без коэффициентов. Рассматривается альтернатива микросканера и опорных сигналов. Варианты сопоставляются с коррекцией с использованием для калибровки двух опорных сигналов. Вариант без коэффициентов – нейронная схема формирует выходные сигналы по градиентам входных сигналов. В других вариантах нейронная схема используется для формирования коэффициентов по чувствительности и по смещению. Улучшение коэффициентов достигается распараллеливанием их вычисления. Варианты сопоставляются по коэффициенту корреляции входных и выходных кадров. Совокупные показатели качества вариантов – это наличие микросканирования/опорных сигналов, использование корректирующих коэффициентов, кадровая частота, непрерывность/прерывность работы, корреляция входных и выходных кадров. С увеличением кадровой частоты нейронная схема

с использованием микросканера позволяет обеспечить непрерывный режим работы с соизмеримым с двухточечной коррекцией качеством изображения и более простой обработкой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Scribner D., Sarkady K., Calufield J., Kruer M., Katz G., and Gridley C. // Proc. SPIE. 1993. Vol. 1308. P. 224.
2. Sergio N. Torres, Esteban M. Vera, Rodrigo A. Reeves, Sergio K. Sobarzo // Proc. SPIE. 2003. Vol. 5076, P. 127.
3. Уиндров Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. – Москва: РАДИО И СВЯЗ, 1989.
4. Жегалов С. И., Соляков В. Н. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 4. С. 398.
5. Жегалов С. И., Соляков В. Н., Фетюхина В. Г. // Прикладная физика. 2011. № 6. С. 149.
6. Жегалов С. И., Пиголкина А. М., Соляков В. Н., Фетюхина В. Г. / Тез. докладов XXII Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – М.: ФГУП «НПО «Орион», 2012. С. 88.
7. Жегалов С. И., Фадеев В. В. // Успехи прикладной физики. 2015. Т. 3. № 6. С. 573.
8. Жегалов С. И., Соляков В. Н., Фетюхина В. Г. // Прикладная физика. 2011. № 2. С. 80.
9. Жегалов С. И., Соляков В. Н., Филачев А. М. Патент РФ № 2349053, 10.03.2009.
10. Жегалов С. И., Гринченко Л. Я. Патент на полезную модель № 169458, зарегистрирован 21.03.2017.

PACS: 85.60.-q

## Correction of heterogeneity of FPA sensitivity by using a neural circuit

S. I. Zhegalov

Orion R&P Association  
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received August 18, 2017

*Consideration is given to neural circuits for correction of inhomogeneity and defects of photodetectors. Variants with using correcting coefficients are analyzed. Investigated is the alternative for a microscanner and reference signals. The variants are compared with the correction on the base of two reference signals.*

*Keywords:* neural circuit, gradient method, forming an image, microscanner, reference signals, correcting coefficients, comparison.

### REFERENCES

1. D. Scribner, K. Sarkady, J. Calufield, M. Kruer, G. Katz, and C. Gridley, Proc. SPIE **1308**, 224 (1993).
2. Sergio N. Torres, Esteban M. Vera, Rodrigo A. Reeves, Sergio K. Sobarzo, Proc. SPIE **5076**, 127 (2003).
3. B. Windrow and S. Stirnz, *Adaptive Treatment of Signals* (Radio Svyaz, Moscow, 1989) [in Russian].
4. S. I. Zhegalov and V. N. Solyakov, Usp. Prikl. Fiz. **2** (4), 398 (2014).
5. S. I. Zhegalov, V. N. Solyakov, and V. G. Fetyukhina, Prikl. Fiz., No. 6, 149 (2011).
6. S. I. Zhegalov, A. M. Pigolkina, V. N. Solyakov, and V. G. Fetyukhina, in Proc. XXII Intern. Confer. on Photoelectronics and Night Vision Devices (NPO Orion, Moscow, 2012). P. 88–90.
7. S. I. Zhegalov and V. V. Fadeev, Usp. Prikl. Fiz. **3** (6), 573 (2015).
8. S. I. Zhegalov, V. N. Solyakov, and V. G. Fetyukhina, Prikl. Fiz., No. 2, 80 (2011).
9. S. I. Zhegalov, V. N. Solyakov, and A. M. Filachev, RF Patent No. 2349053, October 3, 2009.
10. S. I. Zhegalov and L. Ya. Grinchenko, RF Patent No. 169458, March 21, 2017.