

УДК 621.397

Применение фотоприемных устройств с режимом ВЗН для регистрации точечных источников излучения

П.С. Лазарев, И.С. Кондюшин, Н.Ф. Кощавцев, В.Н. Соляков,
И.И. Таубкин, К.А. Хамидуллин

Проведен анализ особенностей применения многорядных фотоприемных устройств с режимом ВЗН для регистрации точечных источников излучения. Определены зависимости регистрируемого сигнала и отношения сигнал/шум от размера фоточувствительных элементов, размера и положения пятна в фокальной плоскости, времени интегрирования фототока. Проведена оценка требований на синхронность скорости сканирования и опроса матрицы чувствительных элементов.

PACS: 42.79.Sz; 8530.— Z

Ключевые слова: ВЗН, МФПУ, функция рассеяния точки, FPA, TDI.

Введение

Для достижения предельных значений по чувствительности и пространственному разрешению при регистрации излучения в различных спектральных диапазонах широко используются многорядные фотоприемные устройства (МФПУ) с режимом временной задержки и накопления (ВЗН) [1–6]. При регистрации тепловизионных изображений инфракрасного диапазона спектра имеется возможность оптимизировать топологию фоточувствительных элементов (ФЧЭ) МФПУ для повышения характеристик тепловизионной аппаратуры [7]. При регистрации точечных источников излучения условия оптимизации меняются. Регистрация точечных источников матричными фотоприемными устройствами «смотрящего» типа при условии неподвижности изображения источника относительно фоточувствительных элементов исследована достаточно полно, например [8, 9].

В настоящей работе рассмотрены возможности оптимизации топологии ФЧЭ при применении МФПУ для регистрации точечных источников излучения в условиях сканирования и суммирования сигналов в режиме ВЗН. Определены зависимости сигнала и отношения сигнал/шум

от размера фоточувствительных элементов (ФЧЭ), размера и положения пятна в фокальной плоскости, времени интегрирования фототока. Проведена оценка требований на синхронность скорости сканирования и опроса матрицы чувствительных элементов.

Регистрация неподвижных точечных источников излучения

При регистрации точечных источников излучения в фокальной плоскости формируется распределение интенсивности (пятно) излучения, которое не зависит от размеров источника излучения, а определяется свойствами оптической системы и трассы прохождения излучения. Изображение характеризуется функцией рассеяния точки (point spread function — PSF). Так как количество независимых факторов, определяющих распределение интенсивности в пятне, достаточно велико, то в большинстве случаев это распределение можно аппроксимировать гауссовой функцией [10]:

$$I(R) = I_0 \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2R^2}\right),$$

где I_0 — интенсивность излучения в центре пятна, R — радиус пятна. На расстоянии R от центра пятна интенсивность составляет $\sim 0,6I_0$.

Будем считать, что регистрация излучения проводится фоточувствительным элементом (ФЧЭ) квадратной формы с размером $2 \times a \times R$ и равномерным распределением чувствительности по площади ФЧЭ. При этом существует оптимальное значение a , при котором достигается максимальное отношение сигнал/шум. На рис. 1 представлены зависимости сигнала (Signal) и отношения сигнал/шум (SNR) от a для случая совпадения центров пятна излучения и ФЧЭ.

Лазарев Павел Сергеевич, ведущий инженер.

Кондюшин Илья Сергеевич, инженер.

Кощавцев Николай Федорович, гл. научн. сотр.

Соляков Владимир Николаевич, гл. научн. сотр.

Таубкин Игорь Исакович, гл. научн. сотр.

Хамидуллин Камиль Алиевич, и. о. нач. отдела

ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, ш. Энтузиастов. 46/2.

E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2013 г.

© Лазарев П.С., Кондюшин И.С., Кощавцев Н.Ф., Соляков В.Н., Таубкин И.И., Хамидуллин К.А., 2013

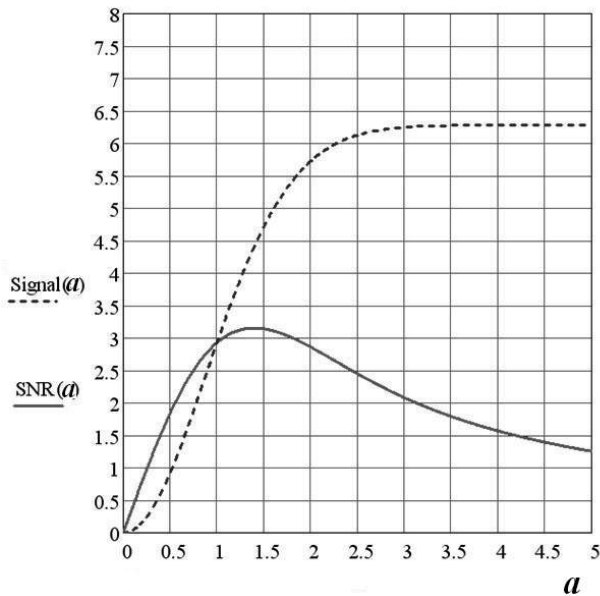


Рис. 1. Зависимость сигнала и отношения сигнал/шум от размера ФЧЭ для неподвижного источника

Оптимальное значение a составляет $\sim 1,5$, при этом на ФЧЭ попадает $\sim 0,75$ полной мощности излучения в пятне.

Регистрация точечных источников при сканировании изображения

В режиме ВЗН пятно излучения при регистрации точечного источника перемещается относительно матрицы ФЧЭ и последовательно регистрируется всеми ФЧЭ, входящими в один канал МФПУ. Это приводит к изменению фототока за время регистрации даже при неизменной мощности источника излучения. На рис. 2 представлена зависимость сигнала от величины смещения t центра пятна относительно центра фоточувствительной площадки (смещение выражено в единицах R) для оптимального значения $a = 1,5$.

Результирующий сигнал каждого ФЧЭ формируется путем интегрирования фототока за время перемещения пятна излучения относительно ФЧЭ на расстояние дискретизации изображения в фо-

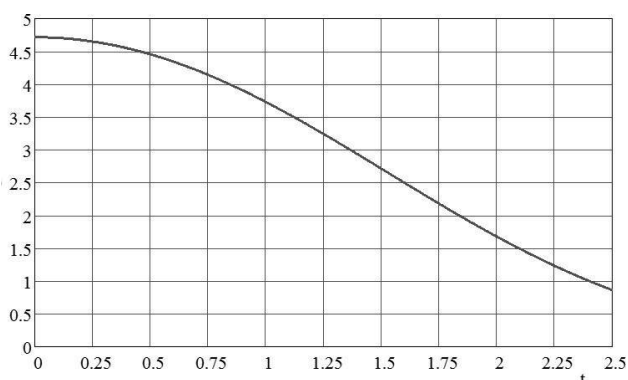


Рис. 2. Зависимость сигнала от перемещения светового пятна относительно центра ФЧЭ

кальной плоскости, которое составляет, обычно, половину размера ФЧЭ, и последующим суммированием сигналов от отдельных ФЧЭ.

Для определения оптимального размера ФЧЭ при заданном периоде дискретизации изображения и определения модуляционной характеристики приемника проведен расчет зависимостей сигнала и отношения сигнал/шум от размеров ФЧЭ и положения светового пятна относительно фоточувствительного элемента.

На рис. 3 приведена зависимость сигнала ВЗН и отношения сигнал/шум от размера ФЧЭ в направлении сканирования. При увеличении размера ФЧЭ наблюдается монотонный рост сигнала, а зависимость отношения сигнал/шум имеет максимум, при этом оптимальным значением размера ФЧЭ следует считать $a \approx 1,7$.

На рис. 4 представлена зависимость сигнала и отношения сигнал/шум от положения пятна в момент начала интегрирования вдоль направления сканирования, а на рис. 5 от положения пятна в направлении, перпендикулярном сканированию. При отклонении положения пятна от оптимального на половину оптимального размера ФЧЭ ($a = 1,5$) сигнал и отношение сигнал/шум уменьшаются до значения $0,58-0,58$ от максимальных значений при перемещении пятна как вдоль направления сканирования, так и в перпендикулярном направлении.

Влияние несинхронности скорости сканирования и периода опроса МФЧЭ

Дополнительное уменьшение регистрируемого сигнала может возникать при несоответствии скорости сканирования и периода опроса линейки ВЗН фотоприемника. Это связано с тем, что даже при незначительном рассогласовании скорости сканирования и периода опроса линейки изображение пятна сдвигается относительно площадки, с которой проводится интегрирование и суммирование сигналов в режиме ВЗН. Так, если число элементов суммирования составляет 10 и расстояние между центрами соседних площадок одного ВЗН канала составляет 3 периода дискретизации изображения, то расстояние между центрами первого и последнего элементов ВЗН канала составляет 27 периодов дискретизации. Если рассогласование скорости сканирования и периода опроса линейки составит $1/27$, т.е. $3,7\%$, то начало интегрирования фототока в каждом последующем ФЧЭ будет начинаться при положении пятна, смещенном относительно первого ФЧЭ в канале, так что на последнем элементе начало интегрирования будет соответствовать положению центра пятна на границе ФЧЭ. Проинтегрированный сиг-

нал от последнего ФЧЭ будет примерно в 3 раза меньше, чем с первого, при условии совпадения центра пятна с центром первого ФЧЭ. Суммарный ВЗН сигнал при этом составит, примерно, 0,66 от значения при полной синхронности скорости сканирования и периода опроса линейки ФЧЭ. Таким образом, для того, чтобы уменьшение сигнала не превышало 10%, необходимо обеспечить синхронность сканирования и периода опроса не хуже 1%.

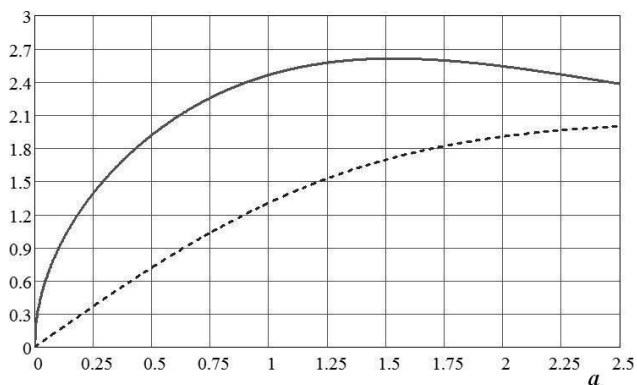


Рис. 3. Зависимость сигнала ВЗН (штриховая линия) и отношения сигнал/шум (сплошная линия) от размера ФЧЭ в направлении сканирования

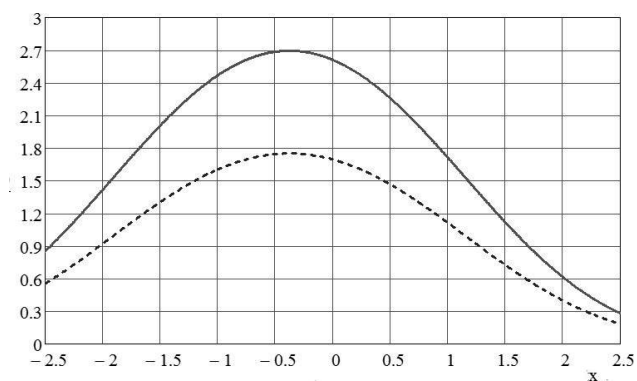


Рис. 4. Зависимость сигнала ВЗН (штриховая линия) и отношения сигнал/шум (сплошная линия) от положения светового пятна в направлении сканирования

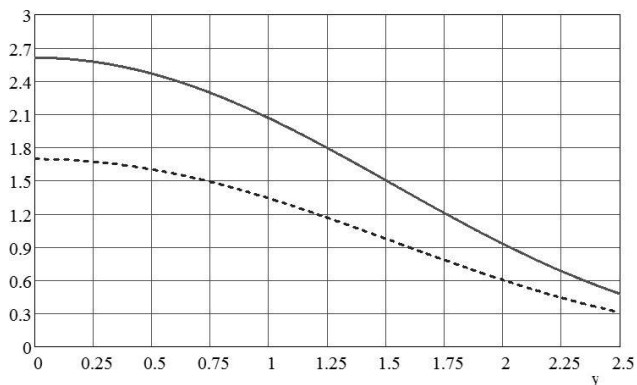


Рис. 5. Зависимость сигнала ВЗН (сплошная линия) и отношения сигнал/шум (штриховая линия) от положения светового пятна в направлении, перпендикулярном сканированию

Следует отметить, что шумовая составляющая сигнала ВЗН фотоприемника не зависит от положения пятна от точечного источника излучения и скорости сканирования этого пятна. Поэтому уменьшение регистрируемого сигнала приводит к соответствующему увеличению порога чувствительности ВЗН фотоприемника при регистрации точечных источников излучения.

Заключение

Применение многорядных фотоприемных устройств с режимом ВЗН для регистрации точечных источников излучения позволяет обеспечить высокие значения пороговой чувствительности при оптимальных значениях пространственного разрешения. Для обеспечения максимального значения отношения сигнал/шум следует выбирать оптимальный размер фоточувствительного элемента в зависимости от размеров пятна оптического излучения, формируемого оптической системой. При этом размер в направлении сканирования будет составлять около $1,7R$, а в перпендикулярном направлении — около $1,5R$, где R — радиус пятна излучения в фокальной плоскости по уровню 0,6. Несинхронность скорости сканирования и периода опроса матрицы ФЧЭ в 1% приводит к ухудшению пороговой чувствительности на 10%.

Литература

1. Стафеев В.И. и др. // Физика и техника полупроводников. 2005. Т. 39. Вып. 10. С. 1257
2. Акимов В.М. и др. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 7
3. Г.А. Аракелов и др. 256-канальные фотоприемные устройства на основе фоточувствительных структур халькогенидов свинца. — Прикладная физика № 6, 2008 г.
4. Mahlein K. — M. et al. // Proc. SPIE. 2008. V. 7106. P. 71061J-1
5. D'Souza A.I., et al. // Proc. SPIE. 2009. V. 7298. P. 72981X
6. Yoanna-Reine Nowicki-Bringuier and Philippe Chorier, // Proc. SPIE. 2009. V. 7474. P. 747417
7. Соляков В.Н. Оптимизация топологии многорядных матричных фотоприемных устройств при использовании их в тепловизионных системах с режимом ВЗН. / XVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, Россия, 2000
8. Винецкий Ю.Р. Предельные возможности «смотрящей» ИК-матрицы в режиме тепловизии: оптимальный размер пиксела и ассоциированный инвариант обнаружения. / XXI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Тезисы докладов, 2010

9. Винецкий Ю.Р., Герасимов И.В. Как выбирать размер пиксела ИК матрицы тепlopеленгатора при произвольной функции рассеяния оптической системы. / XXII Международная научно-техническая конфе-

ренция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Труды конференции, 2012

10. Папулис А., Теория систем и преобразований в оптике. — М: Мир, 1971

TDI FPA application to dot sources registration

*P.S. Lazarev, I.S. Kondjushin, N.F. Koshchavcev, V.N. Solyakov,
I.I. Taubkin, and K.A. Khamidullin*

The analysis of features of registration of dot sources of radiation by TDI FPA is carried out. Dependences of a registered signal and a signal to noise ratio from the size of photosensitive elements, the size and position of a stain in a focal plane, time of integration of a photocurrent are defined. The estimation of requirements of synchronism of scanning velocity and of a FPA readout time is spent.

PACS: 42.79Sz; 8530.— Z

Keywords: FPA, TDI, point spread function.

Bibliography — 10 references

Received November 10, 2013