

УДК 621.397

Особенности регистрации точечных источников излучения фотоприемными устройствами с режимом ВЗН

В.Н. Соляков, Б.Н. Дразжников, К.А. Хамидуллин, П.С. Лазарев

Проведен анализ особенностей регистрации точечных источников излучения многорядными фотоприемными устройствами с режимом ВЗН. 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: 42.79Sz, 8530.-Z

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

Введение

Многорядные фотоприемные устройства (МФПУ) с режимом временной задержки и накопления (ВЗН) широко используются для регистрации излучения в различных спектральных диапазонах для достижения предельных значений по чувствительности и пространственному разрешению [1–5]. Регистрация точечных источников матричными фотоприемными устройствами «смотрящего» типа при условии неподвижности изображения источника относительно фоточувствительных элементов исследована достаточно полно, например, в [6, 7].

В настоящей работе рассмотрены особенности применения 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 распре-

деление интенсивности (пятно) излучения, которое не зависит от размеров источника излучения, а определяется свойствами оптической системы и трассы прохождения излучения и 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 представить в виде гауссовой функции [8]:

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

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

Будем считать, что регистрация излучения проводится фоточувствительным элементом (ФЧЭ) квадратной формы с размером $2 \times a \times R$ и равномерным распределением чувствительности по пло-

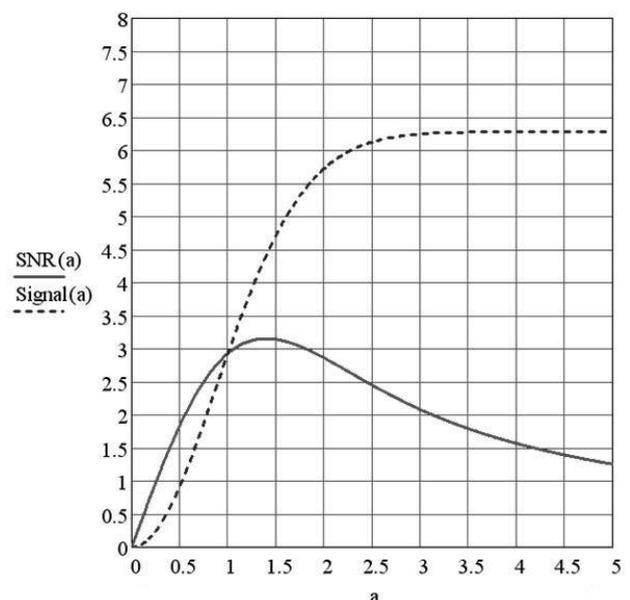


Рис. 1. Зависимость сигнала и отношения сигнал/шум от размера ФЧЭ для неподвижного источника

Соляков Владимир Николаевич, гл. научн. сотр.
 Дразжников Борис Николаевич, начальник НТЦ
 Хамидуллин Камиль Алиевич, инженер 2 кат.
 Лазарев Павел Сергеевич, инженер 2 кат,
 ОАО «НПО «Орион».
 Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2
 E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 30 июля 2013 г.

© Соляков В.Н., Дразжников Б.Н., Хамидуллин К.А., Лазарев П.С., 2013

щади 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.

Оптимальное значение a составляет $\approx 1,5$, при этом на ФЧЭ попадает $\approx 0,75$ 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 фокальной 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,

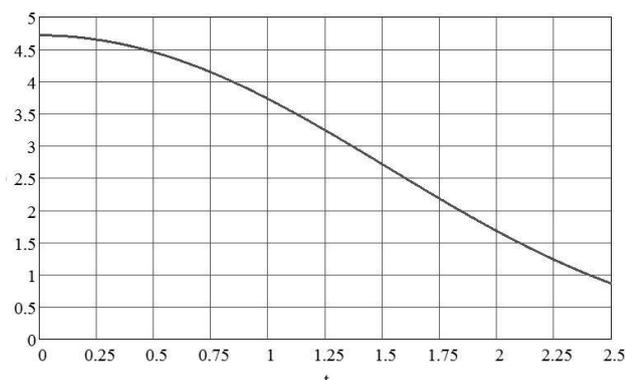


Рис. 2. Зависимость сигнала от перемещения светового пятна относительно центра ФЧЭ

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 от максимальных значений при перемещении пятна как вдоль направления сканирования, так и в перпендикулярном направлении.

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

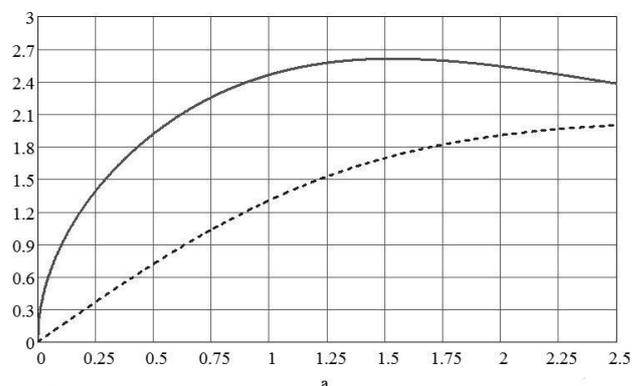


Рис. 3. Зависимость сигнала ВЗН (штриховая линия) и отношения сигнал/шум (сплошная линия) от размера ФЧЭ в направлении сканирования

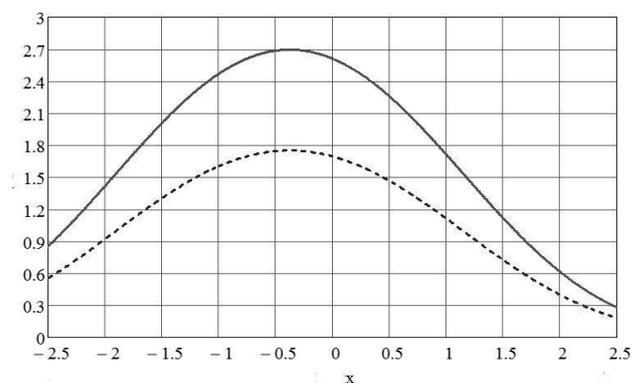


Рис. 4. Зависимость сигнала ВЗН (штриховая линия) и отношения сигнал/шум (сплошная линия) от положения светового пятна в направлении сканирования

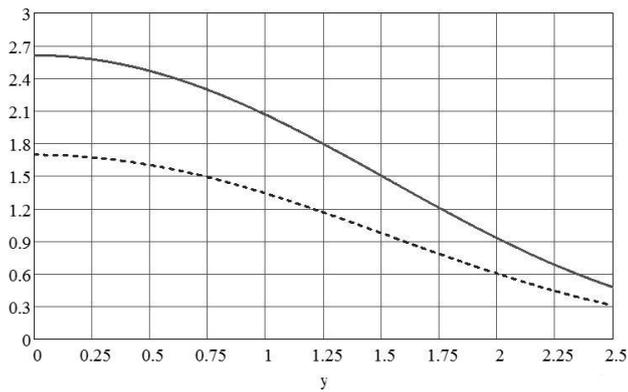


Рис. 5. Зависимость сигнала ВЗН (сплошная линия) и отношения сигнал/шум (штриховая линия) от положения светового пятна в направлении, перпендикулярном сканированию

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 сигнал 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 %.

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

При регистрации точечных источников многорядными фотоприемными устройствами с режимом ВЗН 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 должен составлять $1,7R$, а в перпендикулярном направлении $1,5R$, где R — радиус пятна по уровню 0,6. Также следует учитывать, что несинхронность скорости сканирования и периода опроса матрицы ФЧЭ в 1 % приводит к ухудшению пороговой чувствительности на 10 %.

Литература

1. D'Souza A.I., et al. // Proc. SPIE. 2009. P. 7298
2. Акимов В.М. и др. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 7
3. Аракелов Г.А. и др. // Прикладная физика. 2008. № 6.
4. Mahlein K.— M. et al.// Proc. of SPIE. 2008. P. 7106.
5. Yoanna-Reine Nowicki-Bringuier and Philippe Chotier // Proc. SPIE. 2009. P. 7474.
6. Винецкий Ю.Р. Предельные возможности «смотрящей» ИК-матрицы в режиме тепlopеленгации: оптимальный размер пиксела и ассоциированный инвариант обнаружения.— XXI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Тезисы докладов, 2010.
7. Винецкий Ю.Р., Герасимов И.В. Как выбирать размер пиксела ИК-матрицы тепlopеленгатора при произвольной функции рассеяния оптической системы.— XXII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Труды конференции, 2012.
8. Папулис А., Теория систем и преобразований в оптике,— М.: Мир, 1971

Point sources registration by TDI FPA

V.N. Solyakov, B.N. Drazhnikov, K.A. Khamidullin, and P.S. Lazarev

Orion R&P Association
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion2orion-ir.ru

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 — 8 references

Received July 30, 2013