

# IMAGE FILTERING FOR DETECTION OF SMALL OBJECTS BY A SYSTEM WITH CIRCULAR MICROSCANNING

*Adilbek K. Shakenov, Denis E. Budeev*

Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch, Russian Academy of  
Sciences, Novosibirsk, Russia

## **Abstract**

A model for recording images obtained in a circular microscanning mode is considered. To detect objects on a weak background when using an image recording system based on circular scanning, an approach to image filtering is proposed. The calculation of the noise covariance matrix from the data obtained by the numerical simulation method is used. Then the calculated matrix is used to construct the filter. It is shown that the applied approach makes it possible to increase the signal-to-noise ratio when processing images with a weak background component.

*Keywords: image modeling, circular microscanning, small objects*

# ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ С КРУГОВЫМ МИКРОСКАНИРОВАНИЕМ

Шакенов А.К. <sup>(1)</sup>, Будеев Д.Е. <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Институт автоматизации и электротехники СО РАН, Новосибирск

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск

Рассмотрена модель регистрации изображений, получаемых в режиме кругового микросканирования. Для обнаружения объектов на слабом фоне при использовании системы регистрации изображений основанной на круговом сканировании предложен подход к фильтрации изображений. Использован расчет матрицы ковариации шумов по данным, полученным методом численного моделирования. Затем рассчитанная матрица используется при построении фильтра. Показано, что примененный подход позволяет увеличить отношение сигнал шум при обработке изображений со слабой фоновой составляющей.

*Ключевые слова:* моделирование изображений, круговое микросканирование, малоразмерные объекты.

**Введение.** В настоящее время для решения задачи дистанционного обнаружения движущихся объектов применяются системы, использующие в процессе регистрации данных микросканирование, то есть движение фотоприемной матрицы в плоскости, перпендикулярной к направлению оптического потока [1-5]. Например, модель многорядного фотоприемника с режимом временной задержки накоплением (ВЗН) описана в работах [6-10]. В работе [11] описана модель камеры, использующей сканирование по круговой траектории.

Известен подход, позволяющий получить оптимальный линейный фильтр для случая стационарного фона с известной ковариационной матрицей [12]. Поскольку статистические характеристики фона, как правило, неизвестны, часто применяются различные алгоритмы оценки и фильтрации фона по наблюдаемой локальной окрестности, например, билатеральная [13], медианная [14] фильтрация, оптимальный линейный прогноз [15,16], другие эвристические методы [17-18].

В случае наблюдения объекта на слабом фоне основной помехой являются некоррелированные шумы датчиков. В этом случае ковариационная матрица шума является диагональной, а оптимальный линейный фильтр определяется исключительно формой объекта [12], что позволяет эффективно проводить обработку таких данных. Однако при микросканировании и последующем восстановлении изображения шумы могут стать коррелированными, что не позволяет проводить обработку указанным выше способом. С другой стороны, возникающая корреляция обусловлена системой сканирования и восстановления изображений и поэтому может быть заранее учтена при построении алгоритмов обнаружения.

**Постановка задачи.** Для рассмотренной системы регистрации изображений необходимо оценить влияние процедуры микросканирования на независимые шумы фоточувствительных датчиков и предложить способы фильтрации изображений для ситуации, когда помеха обусловлена преимущественно этими шумами.

**Фильтрация изображений.** Подробное описание рассматриваемой системы микросканирования приведено в работе [11]. Предложенный алгоритм основывается на предположении, что стационарным фоном с низкими перепадами интенсивности можно пренебречь и в качестве фоновой помехи рассматривать коррелированный шум системы.

Задача детектирования объекта на коррелированном фоне хорошо изучена и подробно описана в литературе [12]. Изображение повышенного разрешения, восстановленное по нескольким суб-кадрам низкого разрешения в процессе микросканирования можно представить в векторной форме следующим образом:

$$f_{src} = f_o + n,$$

где  $f_o$  – вектор объекта,  $n$  – вектор шума. Пусть  $K$  – матрица ковариации шума. Тогда оптимальный в смысле увеличения отношения сигнал/шум линейный фильтр  $m$ , имеет вид [12]:

$$m = K^{-1}f_o. \quad (1)$$

На практике ковариационная матрица  $K$ , как правило, не известна. Если изображение наблюдаемого фона стационарно в пространстве, то можно оценить эту матрицу непосредственно по входному кадру ( $K = K_{est}$ ). Такой подход дает наилучшие результаты, однако его существенным недостатком является большие вычислительные затраты, необходимые для оценки ковариационной матрицы. В случае слабого фона, который возникает, например, при наблюдении в ночное время или обнаружении объектов на фоне космоса, дисперсия наблюдаемого фона невелика (меньше дисперсии шума датчиков), соответственно можно считать помеху некоррелированной. В этом случае ковариационную матрицу можно аппроксимировать единичной матрицей ( $K = E$ ).

При регистрации изображений в режиме кругового микросканирования входными данными является набор изображений низкого разрешения, полученных в течение одного полного оборота матрицы. Затем по полученному набору строится изображение повышенного разрешения, которое используется для обнаружения объектов. При микросканировании и последующем восстановлении изображения возникает корреляция между отсчетами восстановленного изображения, даже в случае наблюдения слабого фона. Это происходит из-за того, что значение каждого отсчета восстановленного изображения представляет собой взвешенную сумму нескольких отсчетов соответствующих изображений низкого разрешения. Таким образом в пределах радиуса сканирования соседние отсчеты восстановленного изображения становятся коррелированными. В этом случае аппроксимировать матрицу шума единичной матрицей не удастся. При этом, можно рассчитать или оценить экспериментально матрицу ковариации регистрирующей системы и затем использовать полученную матрицу на этапе подавления фона ( $K = K_{sys}$ ).

Для проверки эффективности предложенного подхода был поставлен следующий модельный эксперимент. В проведенном эксперименте был использован алгоритм обработки данных, состоящий из двух частей. Первая часть заключается в оценивании ковариационной матрицы шума, характерного для данной системы. Эта часть выполняется предварительно, по результатам моделирования регистрирующей системы. Для этого используется следующий алгоритм:

- 1) формирование входной последовательности изображений низкого разрешения, моделирующей сигнал, содержащий только шум датчиков;
- 2) восстановление изображения повышенного разрешения по полученному набору;
- 3) оценка ковариационной матрицы восстановленного изображения  $K_{sys}$  и сохранение ее на диск.

Вторая часть выполняется непосредственно при обработке изображений в процессе обнаружения объектов. Эта часть состоит из двух шагов:

- 1) чтение с диска ковариационной матрицы  $K_{sys}$  и расчёт фильтра по формуле (1);
- 2) фильтрация изображения путем его свертки с полученным фильтром.

**Экспериментальные результаты.** Для исследования рассмотренных алгоритмов фильтрации были использованы изображения Земли, полученные со спутника Электро-Л №1 [19]. Исходное изображение было использовано в качестве фона в процессе моделирования регистрации изображений с использованием кругового микросканирования изложенным выше способом. Сначала из исходного кадра были получены изображения пониженного разрешения. Затем используя алгоритм, изложенный в работе [11], по изображениям низкого разрешения было восстановлено изображение повышенного разрешения, которое и использовалось в процессе эксперимента.

Параметры модели выбирались таким образом, чтобы максимально соответствовать реальным системам наблюдения и в тоже время отразить специфику микросканирования. При параметрах модели отличных от использованных, а также других статистических параметрах фонов количественные показатели улучшения от предложенного алгоритма значительно ва-

рируются. При этом остаются верными следующие утверждения: 1) при уменьшении дисперсии фона предлагаемый алгоритм приближается к оптимальному; 2) фильтрация, согласованная только с формой объекта, дает результаты хуже, чем предложенный алгоритм. Приведенный ниже эксперимент наглядно демонстрирует указанные зависимости.

Для фильтрации в качестве изображений со слабыми фонами были взяты фрагменты изображения ночной части Земли слева от терминатора (см Рис. 1). Смещение фрагментов по оси  $X$  было использовано для того, чтобы оценить работу алгоритма при увеличении дисперсии фона подстилающей поверхности.

На обрабатываемые изображения добавлялось изображение объекта. В качестве объекта была использована гауссова функция с максимальной интенсивностью равной пяти среднеквадратичным отклонениям фоновой составляющей обрабатываемого фрагмента и параметром  $\sigma$  равным 4.

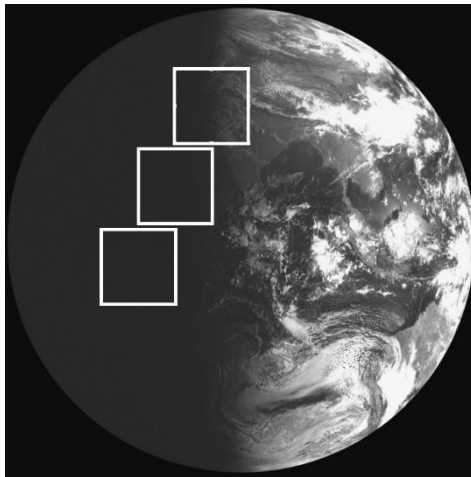


Рис. 1. Восстановленное изображение Земли и выбранные фрагменты.

В таблице представлены результаты сравнения разных методов фильтрации. Для каждой текстуры приведено значение максимальной интенсивности объекта до обработки  $A_0$  и значение СКО яркости фона изображения  $\sigma_0$ , а также значение отношения величины максимальной интенсивности объекта к СКО яркости фона. Обработка проводилась тремя фильтрами с соответствующей оценкой ковариационной матрицы: фильтр 1 –  $K = K_{est}$ ; фильтр 2 –  $K = E$ ; фильтр 3 –  $K = K_{sys}$ .

Для каждого фильтра после обработки определялись значение  $A_1$  отклика объекта на фильтр и значение СКО яркости  $\sigma_1$  обработанного изображения, значение отношения величины отклика объекта на фильтр к величине СКО яркости обработанного фона, а также  $\gamma$ -коэффициент улучшения после фильтрации.

Из таблицы видно, наилучшие результаты дает фильтр 1. Фильтр 2 дает неудовлетворительные результаты. Это происходит из-за того, что в этом алгоритме предполагается, что наблюдаемый шум является некоррелированным, а его ковариационная матрица является диагональной. В данной ситуации – это допущение является неверным, поскольку в процессе восстановления изображения повышенного разрешения шум становится коррелированным. При возрастании СКО фона улучшение от применения фильтра 3 уменьшается, поэтому применение этого фильтра при наблюдении фонов со значительной дисперсией не целесообразно и может привести к ухудшению отношения сигнал/фон, относительно исходных данных. Корректный учет возникающей в процессе сканирования ковариации шума при наблюдении объектов на различных неоднородных в пространстве фонах может являться темой дальнейшего исследования. На слабых фонах предложенный алгоритм дает результаты близкие к результатам фильтрации оптимальным фильтром, поскольку наблюдаемый фон в данном случае практически постоянен внутри кадра.

Для определения границ применимости предложенного подхода был проведен следующий эксперимент. Был сгенерирован набор текстур с различными СКО  $\sigma_{tex}$ . Значение шумов

системы регистрации  $\sigma_{noise}$  оставалось постоянным. В качестве объекта была использована функция Гаусса с параметром  $\sigma = 5$ . Обработка проводилась описанным выше образом с использованием Фильтра 3. На рисунке 3 представлен график зависимости улучшения после фильтрации  $\gamma$  от отношения СКО текстуры и шума датчиков. На графике видно, что при увеличении СКО текстуры выигрыш от применения предложенного алгоритма падает. При этом отношение сигнал/шум увеличивается, когда СКО текстуры меньше чем 0.85 СКО шума датчиков.

Таблица. Сравнение алгоритмов фильтрации.

Текстура	$A_0$	$\sigma_0$	$A_0/\sigma_0$	Тип фильтра	$A_1$	$\sigma_1$	$A_1/\sigma_1$	$\gamma$
t1.tif	6.561	1.312	5.0	1	9.51483	1.66611	5.71079	1,14
				2	3.28271	0.695928	4.71702	0,94
				3	6.69626	1.183	5.66039	1,13
t2.tif	12.148	2.4296	5.0	1	715.924	73.0568	9.79954	1,96
				2	6.07747	2.13822	2.8423	0,57
				3	12.3972	2.36447	5.2431	1,05
t3.tif	78.208	15.641	5.0	1	667.457	15.7669	42.3329	8,47
				2	39.1262	15.4691	2.52931	0,51
				3	79.8119	15.6586	5.09701	1,02

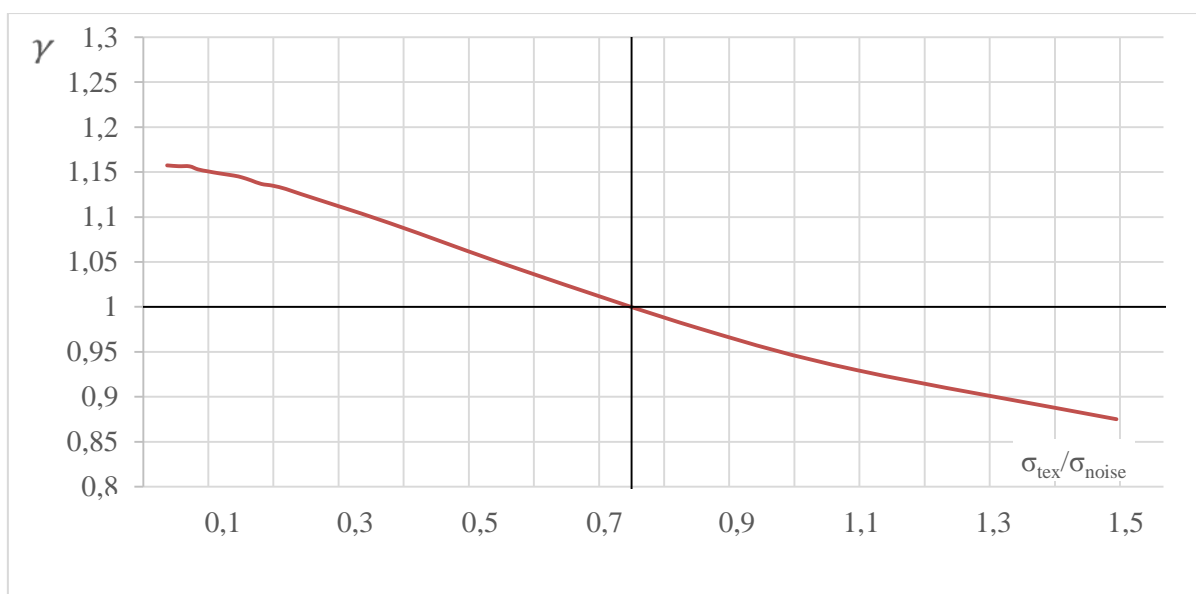


Рис. 2. График зависимости  $\gamma$  от отношения СКО текстуры и шума датчиков.

**Заключение.** В результате проведенных экспериментов выявлена необходимость учета корреляции случайных шумов, возникающих в процессе кругового микросканирования в задаче обнаружении объектов. Показано, что алгоритм подавления фона, основанный на использовании предварительно оцененной матрицы ковариации, характерной для заданной системы регистрации данных, позволяет эффективно проводить фильтрацию в ситуации, когда основной помехой является шум датчиков регистрации изображения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Некоторые пути совершенствования тепловизионных систем // Специальная техника. 2004. № 2. С. 11 – 19.
- [2] Cabanski W., Breiter R., Mauk K-H. Miniaturized high performance staring thermal imaging system // Proc. SPIE. 2000. 4028. P. 208 – 219.
- [3] Chevrette P., Fortin J. Method and system for fast microscanning // US Patent. № 5774179. 1998.
- [4] Wiltse J. M., Miller J. L. Imagery improvements in staring infrared imagers by employing subpixel microscan //Proc. SPIE. 2005. 44. P. 056401-1 – 056401-9.
- [5] Шакенов А. К., Будеев Д. Е. Алгоритм фильтрации для обнаружения объектов по изображениям, зарегистрированным матричным фотоприемником в режиме микросканирования // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 36. – С. 61 – 72.
- [6] Кузнецов П. А., Мощев И. С., Сало В. В., Кошанцев Н. Ф. Фотоприемные модули с режимом ВЗН для мониторинга земной поверхности в ИК-диапазоне //Успехи прикладной физики, 2014, том 2, № 6 с. 635-638
- [7] Соляков В.Н., Козлов К.В., Кузнецов П.А. Компьютерная модель регистрации точечных источников излучения многорядными ФПУ с режимом ВЗН //Прикладная физика, 2014, №2, с. 54-57
- [8] Козлов К. В. и др. Исследование частотных характеристик многорядного МФПУ с режимом ВЗН // Успехи прикладной физики, 2014, том 2, № 5 с. 528-538
- [9] Соляков В.Н., Дрожников Б.Н., Хамидуллин К.А., Лазарев П.С. Особенности регистрации точечных источников излучения фотоприемными устройствами с режимом ВЗН. //Успехи прикладной физики, 2013, том 1, № 4 с. 506-509
- [10] Громилин Г.И. и др. Моделирование процесса сканирования изображений с использованием матричных фотоприемников // 24-я Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения, 2016
- [11] Киричук В.С., Шакенов А.К. Алгоритм восстановления изображений в задаче обнаружения объектов при круговом микросканировании // Автометрия, 2016, т.52, №1, с. 15 – 21.
- [12] Pratt W. K. Digital image processing: PIKS Scientific Inside // Fourth Edition PixelSoft, Inc. Los Altos, California p. 662
- [13] Tae-Wuk Bae, Kyu-Ik Sohng Small Target Detection Using Bilateral Filter Based on Edge Component // Springer, J Infrared Milli Terahz Waves 2010 Vol. 31, p. 735–743.
- [14] Deshpande S.D., Er M.H., Ronda V., Chan Ph. Max-mean and max-median filters for detection of small-targets // Proc. SPIE 3809 (1999): p. 74 – 83.
- [15] Soni T., Zeidler R., Ku W. H., “Performance evaluation of 2D adaptive prediction filters for detection of small object in image data” IEEE Transactions on Image Processing 1993 2 (3), p. 327–340.
- [16] Ffrench P. A., Zeidler J. R., Ku W. H. Enhanced detectability of small objects in correlated clutter using an improved 2-D adaptive lattice algorithm // IEEE Transactions on Image Processing 1997
- [17] Артемьев В. М., Наумов А. О., Кохан Л. Л. Обнаружение точечных объектов на изображениях в условиях неопределенности // Информатика. 2010. № 2 С. 15 – 24.
- [18] Шакенов А. К. Алгоритмы подавления фона в задаче обнаружения точечных объектов по изображениям // Автометрия, 2014, т.50, №4, с. 81 – 87.
- [19] Информация о спутнике <http://electro.ntsomz.ru/electro/about> (дата обращения 19.06.2017)