

УДК 519.67 : 681.327

Н. К. Белых, А. Н. Касперович, Ю. В. Шалагинов*(Новосибирск)***О ВЫДЕЛЕНИИ ОБЪЕКТОВ НА ФОТОМАТРИЧНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ИХ КРУГОВОМ СКАНИРОВАНИИ**

Исследуются возможности метода кругового сканирования для выделения малоразмерных объектов на зашумленных изображениях, получаемых с помощью фотоматриц. Показывается, что оптимальное детектирование объекта достигается, если осуществлять фильтрацию непосредственно по данным, получаемым в цикле сканирования на разных его фазах.

Один из способов повышения качества изображений при их получении с помощью фотоматриц заключается в использовании этих фотоматриц в режиме сканирования. В этом случае формируется совокупность изображений при параллельных сдвигах фотоматрицы относительно исходного изображения с шагом, равным долям элемента фотоматрицы, поочередно по строкам и столбцам [1, 2]. При выполнении подобного сканирования более надежным и простым в реализации оказывается способ кругового сканирования, при котором перемещение матрицы происходит не по прямоугольной, а по круговой траектории.

Период вращения разбивается на F интервалов, и формируется F изображений, соответствующих каждому из этих интервалов. По полученной совокупности изображений можно сформировать изображение с большим разрешением, чем разрешение самой фотоматрицы. Это может быть осуществлено общепринятыми методами: матричным решением уравнений или винеровской фильтрацией.

Для задач выделения малоразмерных объектов из шума использование таких изображений с высоким разрешением малопродуктивно вследствие значительного усиления шума вышеперечисленными процедурами восстановления изображений. Помимо этого, если точечный объект «распределен» между двумя или четырьмя субэлементами высокого разрешения, вероятность обнаружения заметно падает [3]. Это особенно усугубляется при наличии зазоров между фотоприемными элементами. Поэтому выделение объектов целесообразно осуществлять по полученной в результате сканирования совокупности изображений методами, альтернативными вышеупомянутым. Следует иметь в виду, что при сохранении общего времени измерения сканирование приводит к тому, что время накопления в каждом элементе фотоматрицы уменьшается, и, следовательно, отношение сигнал/шум будет ухудшаться из-за воздействия шумов в фотоприемниках. Исследованию возмож-

ностей выделения объектов в такой ситуации при круговом сканировании и посвящена работа.

Опишем исследуемую ситуацию более подробно. Пусть фотоматрица, с помощью которой считывается изображение, имеет размерность $N \times N$ элементов. За период сканирования будет получено F кадров и общее число отсчетов составит $F \times N \times N$. Следует подчеркнуть, что эти отсчеты являются сугубо неравномерными (не ложатся на прямоугольную сетку) и представляют собой интеграл энергии по площади элемента (а также, поскольку траектория сканирования непрерывна, то и интеграл по пути движения). Распределение энергии малоразмерного объекта аппроксимируется двумерной гауссоидой, полуширина которой меньше размера фотоприемного элемента, вследствие чего эффективное пятно рассеяния от малоразмерного объекта составляет лишь часть его площади.

Положим, что требуется осуществить детектирование точечного объекта на фоне аддитивного нормального шума с равномерным спектром (близким к белому), а низкочастотная фоновая составляющая отсутствует.

Вообще говоря, в каждой точке изображения необходимо построить отношение правдоподобия и сделать заключение о наличии или отсутствии в данной точке объекта. В основу решения поставленной задачи целесообразно положить метод суммирования фрагментов изображения точечного объекта, полученных в каждом кадре сканирования.

Действительно, пусть имеется обнаруживаемый точечный объект с общей интенсивностью, равной единице, расположенный в какой-либо точке исходного изображения. При проецировании на фотоматрицу этот объект будет представлен в виде пятна рассеяния с некоторым эффективным диаметром. Под эффективным диаметром будем понимать линейный размер пятна рассеяния, в котором сосредоточено 80 % энергии точечного объекта. Данный объект при сканировании «распределится» по ряду элементов фотоматрицы. В полученных кадрах изображения при отсутствии шума будут отличны от нуля отсчеты тех элементов, в которые попадал объект во время цикла сканирования. Значения отсчетов будут определяться энергией той части пятна изображения, которая попадет на соответствующий элемент.

Для каждого положения объекта на изображении можно заранее вычислить значения отсчетов, которые должны быть получены при сканировании. Эти отсчеты и образуют коэффициенты оптимального фильтра: A_1, A_2, \dots, A_M , где индекс M зависит от радиуса сканирования и числа кадров F , удовлетворяет соотношению $F \leq M \leq N \times N \times F$ и, вообще, для каждого положения объекта этот индекс может быть различным. Заметим, что $\sum A_m = \text{const}$ при условии, что элементы покрывают всю поверхность без зазоров.

Допустим теперь, что отсчеты реального изображения $A_1^*, A_2^*, \dots, A_M^*$ при произвольном положении объекта содержат нормальный белый шум. Тогда для детектирования сигнала необходимо вычислить $\sum A_m^* A_m$ и сравнить результат со значением порога, полученным в соответствии с соотношением максимального правдоподобия. Образно говоря, имея «снимок, след» объекта (т. е. $A_1^*, A_2^*, \dots, A_M^*$), следует «наложить» его на полученную картину (вычислить $\sum A_m^* A_m$).

Значение сигнала при этом определяется выражением $S = \sum A_m^* A_m$, а среднеквадратическое отклонение шума (СКО) $\sigma = \sigma_0 \sqrt{\sum A_m^2}$, где σ_0 – СКО

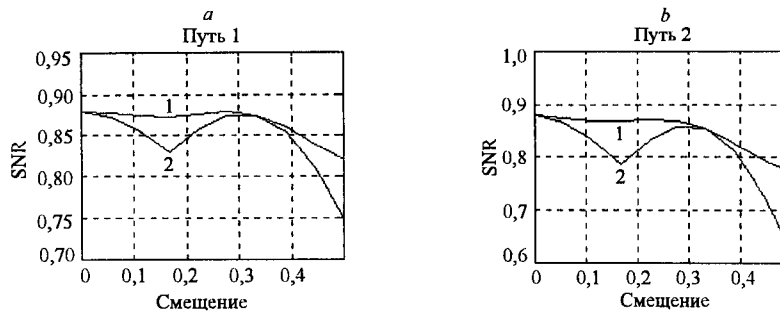


Рис. 1

шума элемента изображения при сканировании. Отношение сигнал/шум для сигнала, совпадающего с «образцом», составит $SNR = \frac{\sqrt{\sum A_m^2}}{\sigma_0}$.

Для того чтобы эта процедура соответствовала согласованной фильтрации в ее классическом понимании, необходимо вычислять взвешенную сумму всех отсчетов, в которые попадал объект во время цикла сканирования. Однако можно выбирать лишь те элементы, в которых сосредоточена львиная доля энергии пятна рассеяния, поскольку члены с малыми коэффициентами не вносят заметного вклада во взвешенную сумму.

Вся возможность «улучшения» отношения SNR состоит в выборе такого распределения сигнала между интенсивностями A_1, A_2, \dots, A_M , которое максимизировало бы его при произвольном положении малоразмерного объекта внутри элемента. Оптимизировать распределение сигнала можно, например, путем изменения радиуса сканирования.

Для оценки эффективности процедуры детектирования (по величине SNR) и определения оптимального радиуса сканирования проведено компьютерное моделирование при F , равном 16. Эффективный диаметр пятна рассеяния принят равным третьей части линейного размера фотоприемного элемента. Проведенное моделирование позволило также оценить влияние выбора числа точек, взятых на изображении для фильтрации, на SNR. SNR нормирован. За «единицу» принято значение SNR для положения объекта в центре фотоприемного элемента и нулевого радиуса сканирования. Описание модели изображения и способа проекции его на фотоматрицу даны в приложении.

На рис. 1 приведены зависимости SNR от положения объекта при его движении (начиная от центра) вдоль одной из сторон (рис. 1, а) и по диагонали элемента фотоматрицы (рис. 1, б). Радиус сканирования равен линейному размеру элемента. Кривые 1 соответствуют случаю фильтрации в мелкой сетке (рис. 2), а кривые 2 – фильтрации в грубой сетке. Результаты указывают на целесообразность детектирования в мелкой сетке.

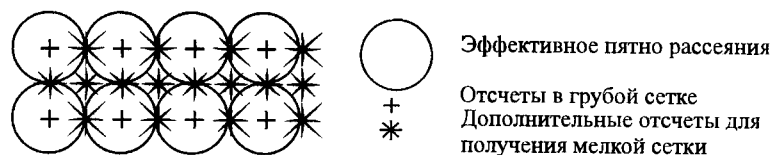


Рис. 2

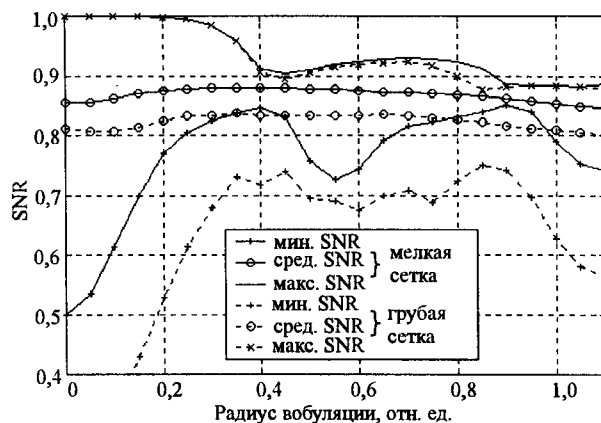


Рис. 3

Зависимости SNR (минимальное, максимальное и среднее) от радиуса сканирования приведены на рис. 3. Из графика видно, что наиболее оптимальны (для исходных условий моделирования) значения радиуса сканирования, равные 0,4 и 0,9.

Более наглядное представление дает приведенный на рис. 4 двумерный график зависимости SNR от положения объекта внутри элемента при радиусе сканирования, равном 0,9. Здесь координаты 10, 10; 0, 0; 0, 20; 20, 0 и 20, 20 соответствуют центрам элементов фотоматрицы, а координаты 5, 5; 5, 15; 15, 5 и 15, 15 – их углам.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать заключение о высокой эффективности предложенного метода детектирования.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Рассмотрим методы построения модели исходного изображения и способ его проекции на фотоматрицу.

Примем, что изображение состоит из набора пикселей, размещенных на равномерной прямоугольной сетке $\{x_0\}$. Полагаем, что это изображение в

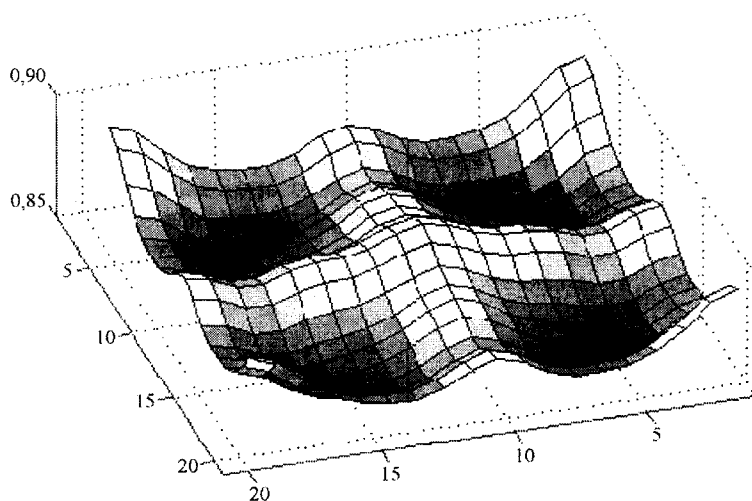


Рис. 4

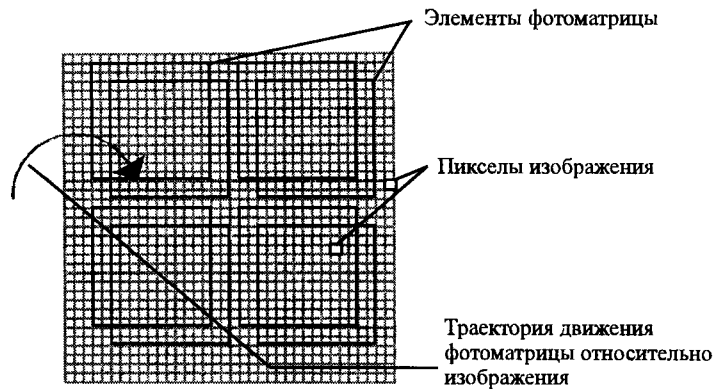


Рис. 5

пределах одного пиксела является кусочно-постоянной функцией, что вполне обосновано, если размер пятна рассеяния от точечного объекта при проецировании его на фотоматрицу существенно больше, чем размер пиксела. В качестве модели изображения берется матрица, состоящая из отсчетов интенсивностей пикселов, т. е. x_0 является матрицей размером $NK \times NK$ элементов, где K – число пикселов в линейном размере элемента. В результате кругового сканирования, процесс которого отображен на рис. 5, получается трехмерная матрица отсчетов $\{a_0\}$ размером $N \times N \times F$.

Весь цикл сканирования разбивается на последовательность кадров, а каждый кадр – на ряд мгновенных снимков (общее число снимков в кадре задается). Этим достигается требуемая точность аппроксимации процедуры непрерывного движения изображения относительно фотоматрицы.

Для получения каждого «снимка» исходное изображение, смещенное в соответствии с законом кругового движения, накладывается на фотоматрицу, а затем для каждого элемента фотоматрицы определяется, какие пиксели сделают в него вклад, т. е. имеют ненулевую площадь пересечения с данным элементом. Далее вычисляются вклады этих пикселов в суммарную интенсивность заданного элемента, при этом вклад каждого пиксела полагается равным площади пересечения его с элементом, умноженной на интенсивность данного пиксела изображения. Общая интенсивность ячейки фотоматрицы одного мгновенного снимка есть сумма вкладов от каждого пиксела. Интенсивность одного кадра изображения получается при суммировании всех составляющих его мгновенных снимков.

В рассматриваемом случае цикл сканирования составляет 16 кадров, а для вычисления каждого кадра используется десять мгновенных снимков, т. е. всего вычисляется 320 снимков.

Формально круговое сканирование может быть представлено как $a = Bx$, где x – вектор исходного изображения; a – вектор полученных отсчетов; B – искомая проецирующая матрица.

Для нахождения матрицы B применен метод, аналогичный получению «импульсного отклика»: если на вход линейной системы подается единичный импульс, ее выход будет представлять собой импульсную характеристику. При расчете матрицы B берется исходное изображение, в котором только один j -й пиксел отличен от нуля, и вычисляется результат его сканирования. Полученный вектор отсчетов, очевидно, будет j -м столбцом матрицы B . Про-

ведя такую процедуру для всех пикселей исходного изображения, находим **В** целиком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Peleg S., Keren D., Schweitzer L.** Improving image resolution using subpixel motion // Pattern Recogn. Lett. 1987. N 5.
2. **Ur H., Gross D.** Improved resolution from subpixel shifted pictures // CVGIP: Graphical Models and Image Process. 1992. **54**, N 2.
3. **Сох J. А.** Advantage of hexagonal detectors and variable focus for point-source location // SPIE. Infrared Systems and Components. 1987. **750**.

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
E-mail: suv@pcs.iae.nsk.su*

*Поступила в редакцию
6 октября 2000 г.*

Реклама продукции в нашем журнале – залог Вашего успеха!