

Физическая аппаратура и ее элементная база

УДК 681.3:623.55.028:681.782.473

Выделение малоразмерных объектов на предельной дальности

В. Н. Горенок, В. Н. Джигайло, А. Н. Опарин
ФГУП "Сибирский научно-исследовательский институт оптических систем",
г. Новосибирск, Россия

Метод обнаружения объектов различной формы и размерности основан на вычислении меры "отделенности" пикселей изображений объектов от фоновых образований. Использован масочный метод сканирования и вычисления признаков пикселей. "Отделенность" вычислялась по данным центральной и периферийной частей маски. Представлены результаты обнаружения объектов аэрообстановки. Приведены сравнительные данные эффективности метода по критерию вероятности ложной тревоги при использовании масок различной размерности и формы.

Создание высокоточных систем обнаружения, опознавания и наведения требует разработки методов и алгоритмов обнаружения и классификации объектов предельно малой размерности. Размерность изображения объекта в фокальной плоскости матричных приемников излучений в соответствии с критерием Джонсона–Оверингтона должна составлять для обнаружения 1—2 элемента, для опознавания — не менее 8 элементов.

Существуют эвристические методы, которые с той или иной точностью выполняют поставленные задачи. Методики в большой степени основаны на дифференциальных алгоритмах [1, 2]. Выделяются локальные границы объектов по направлениям, при этом слабо учитывается топология изображения объекта, что приводит к значительным величинам ложной тревоги. Опубликовано несколько различных алгоритмов обнаружения (основаны в основном на функциях Габор), уменьшающих выделение ложных целей. Это достигается комбинацией результатов различных алгоритмов [3].

В настоящей работе предлагается сквозной алгоритм обнаружения малоразмерных целей с оценкой эффективности метода по критерию вероятности ложной тревоги, при использовании масок различной размерности и формы.

Формирование изображения контрастов

Малоразмерный объект представляет собой пятно сравнительно малых размеров на изображении, яркость которого отличается от яркости его окрестности [1]. Малоразмерные объекты характеризуются геометрическими свойствами, выделяющими его из фона по большинству направлений.

Чтобы выделение малоразмерных объектов не зависело от применяемой шкалы яркости для элементов изображения и количества элементов по координате, изображение предварительно нормализуется по яркости. Для этого сначала сумма яркостей делается равной нулю, а затем формируется делитель, нормирующий эту яркость. При формировании делителя элемент изображения представляется либо энергией, если изображение комплексное, либо модулем яркости (t), если изображение действительное. В комплексном случае делитель вычисляется под управлением параметра q , измеряемого в процентах и представляющего долю энергии $M\{t^2\}$, по правилу $(M\{t^2 > q\})^{1/2}$. При $q = 0$ получаем значащее обобщение корня квадратного из дисперсии по реализации случайной величины. Данное обобщение обеспечивает согласование "постоянного слагаемого" и "переменного слагаемого" в будущем контрасте. Такая нормализация по яркостям необходима для выделения слабоконтрастных объектов.

Методика обнаружения строится на анализе фрагмента изображения и его окружения. Для этого формируется маска, состоящая из центральной части и ее локального окружения.

Изображение имеет два предельных случая в качественном смысле: постоянный фон и белый шум, образующие коридор возможностей. В коридоре по множеству значений определяются такие базовые операции, как взятие среднего, обозначенного $M\{\bullet\}$, и взятие максимального значения, обозначенного $\max\{\bullet\}$. Применение к двум непересекающимся множествам контрастов даст четыре промежуточные оценки ожидания малоразмерного объекта.

Пусть x и y — элементы изображения, принадлежащие, соответственно, центру маски и локальному его окружению, x и y принадлежат двум непересекающимся

ся множествам. Определим контраст фрагмента изображения относительно постоянного фона

$$a = |M\{x\} - M\{y\}|$$

и контраст относительно белого шума

$$b = M\{|x - y|\}.$$

Контраст фрагмента изображения относительно его окружения определим на основе признаков a и b формулой

$$K(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если } a \text{ и } b = 0; \\ (1+a) \times (1+b) - \text{ в остальных случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

Маской определенного размера сканируется исследуемое изображение, вычисляется для каждого элемента контраст по формуле (1) и формируется новое представление изображения. Множество контрастов сдвигается в состояние $M\{K(x, y)\} = 0$. Данный сдвиг придает знак контрасту $K(x, y)$.

Именно это представление используется для дальнейших исследований. Каждой позиции маски контрастов на изображении контрастов ставятся в соответствие четыре признака, характеризующих центр маски и локальное окружение центра. Признаки вычисляются в соответствии с формулами

$$A_c = M\{K(x)\},$$

$$A_{la} = M\{K(y)\},$$

$$B_c = \max\{K(x)\},$$

$$B_{la} = \max\{K(y)\},$$

где A_c и A_{la} — математическое ожидание по центру и локальной окрестности маски, соответственно;

B_c и B_{la} — максимальные значения контрастов по центру и локальной окрестности маски, соответственно.

Усреднение по множеству контрастов описывает однородность объекта, а не сам объект. Оценка на основе признаков A_c и A_{la} может использоваться как подтверждение присутствия гипотетического объекта в данном месте изображения. Оценка по знаку предлагается в виде $A_c > 0$. Оценка по значению предлагается под управлением параметра $t > 1$ в видах $A_c > (t-1) A_{la}$ и $(A_c - A_{la}) > A_c / t$ ($t = 3^2 + 1$). Соответственно вычисляется условие для признака B_c и B_{la} . Если одно из этих условий не выполняется, то степень отделенности объекта считается равной нулю.

При обработке всего изображения интерес представляет момент изменения размера объекта. Чем больше объект отличается от окружения, тем выше контраст. Размер маски, при котором определен максимальный контраст, определяет размер объекта.

Выделение малоразмерных объектов

Для обработки рассматриваемых ниже типов изображений обстановки используется оценка отделенности, обозначаемая символом C и вычисляемая по формуле

$$C(i, j) = \frac{\langle B_c - B_{la} \rangle^2}{B_c}, \quad (2)$$

где $\langle \bullet \rangle$ — операция усечения действительного числа до неотрицательного значения;

i, j — координаты центра маски.

Формула (2) учитывает два арифметических фактора: "во сколько раз" и "насколько". Фактор "во сколько раз" имеет относительную единицу измерения и дает оценку в вероятностном интервале от 0 до 1. Фактор "насколько" имеет абсолютную единицу измерения и дает ограниченную оценку для нормализованных яркостей. Результирующая оценка отделенности C позволяет усилить признак для слабоконтрастного объекта.

Каждому элементу изображения присваивается оценка отделенности (2), которая показывает степень отделения локальной группы яркостных элементов (исходного изображения) от других топологических группировок яркостного изображения. Оценка отделенности указывает на группу элементов яркостного изображения, часть из которых образует объект. В дальнейшем будем считать элементы группы $C(i, j)$, указывающими на объект, если

$$C(i, j) > M\{C(k) > M\{C(l) > 0\}\}, \quad (3)$$

где l — любая точка центра маски на первичном этапе вычисления формулы (3);

k — любая точка центра маски на следующем этапе вычисления формулы (3);

i, j — координаты точки объекта выделенного объекта.

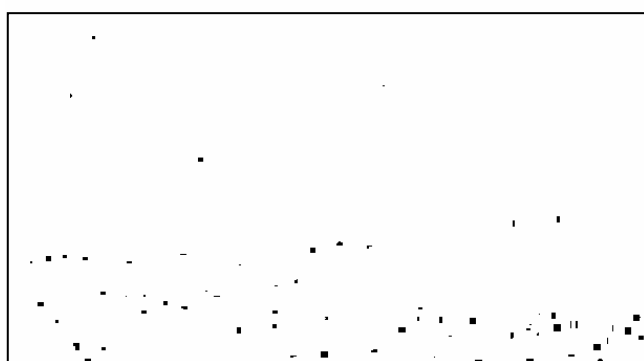
Условие (3) будем называть усечением по Зеннону с уровнем 2.

На рис. 1 приведено исходное изображение аэрообстановки, а на рис. 2 представлены результаты выделения изображений объектов масками с ядрами различной размерности.

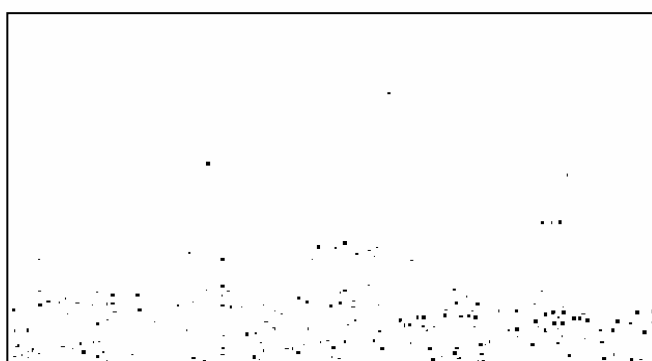
Из рис. 1 и 2 видно, что размерность центрального ядра маски играет существенную роль в обнаружении объекта. Искомые объекты на видеокadre № 50 выделяются при размере ядра маски 8×8 . В то же время маска с ядром размером 4×4 позволяет выделить объекты с минимумом ложных целей (одна ложная цель без учета поверхности Земли). Используемая база данных (серия панорамных изображений), методы обработки результатов позволяют провести сравнение этого метода обнаружения для разных размеров маски. Результаты обнаружения малоразмерных объектов (вероятность ложной тревоги при отсутствии пропуска цели) представлены в таблице.



Рис. 1. Исходное изображение панорамного кадра аэрообстановки (кадр № 50)



а



б

Рис. 2. Выделение малоразмерных объектов целеуказателем:
а — с ядром 8×8; б — с ядром 4×4

Размер ядра маски, элемент	Вероятность ложной тревоги, %					
	на 55-м кадре (размеры объекта 12×4)		на 50-м кадре (размеры объектов 7×3 и 2×1)		на 46-м кадре (размеры объекта 4×5)	
	все изображение	без учета поверхности Земли	все изображение	без учета поверхности Земли	все изображение	без учета поверхности Земли
2×2	0,34	0,67	0,45	0,78	0,38	0,92
4×4	0,24	0,54	0,28	0,07	0,21	0,88
8×8	0,002	0,0007	0,03	0,059	0,002	0,003

Максимальный размер маски, при котором еще отсутствует пропуск цели, определяет наилучшие значения по вероятности ложной тревоги.

Количество ложных тревог и пропуск цели осуществляют обратную связь к способу обнаружения малоразмерных объектов для более точного определения размеров маски.

Проведено моделирование выделения объектов, пересекающих эффективный уровень атмосферы. В качестве базы данных взят видеоматериал ТВ-эфира катастрофы многоэтажного корабля-челнока типа "Колумбия". Выбран сю-

жет полета корабля в космических условиях в начальный период входа корабля в атмосферу. Изображение малоразмерного объекта в этой короткой серии нестабильно, изменяет форму и размер, следовательно, не может быть выделено с помощью одной маски. Работа в целом по изображению различными размерами показала, что минимальное количество ложных целеподобных объектов выделяется с применением масок: 2×2 — 3×3. Причем эти ложные объекты наблюдаются только в областях служебных символов (логотипов). На рис. 3 приведены исходное изображение и результат обработки маской 3×3.

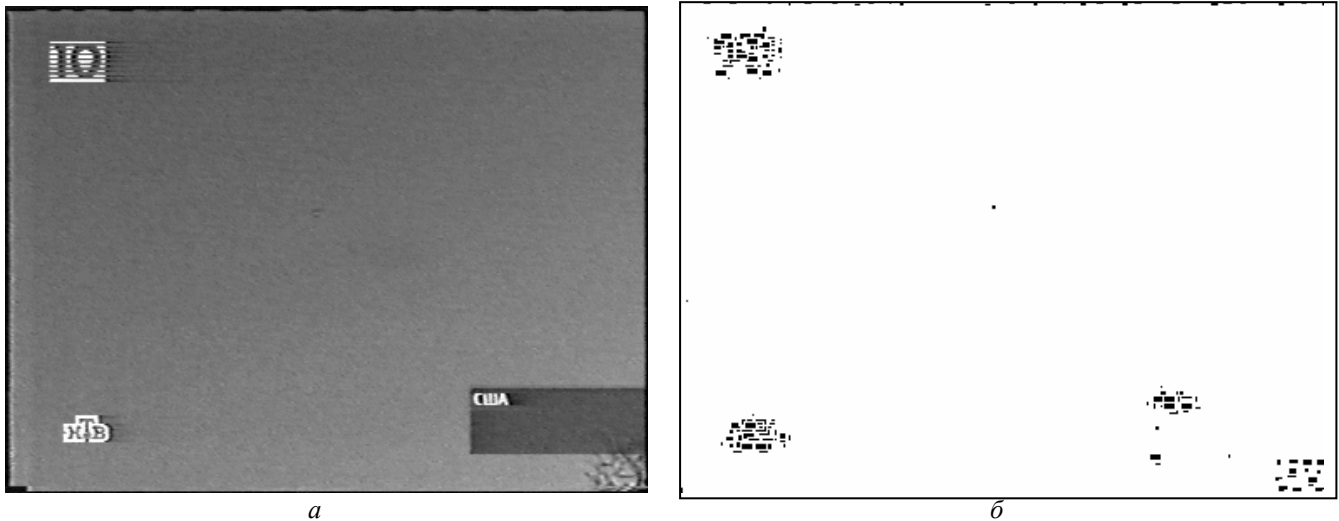


Рис. 3. Выделение изображения объекта с помощью маски:
 а — изображение видеокadra 16587; б — обнаружение объекта маской 6×3

Разработанные методы и алгоритмы позволили реализовать выделение малоразмерных объектов на сценах аэрообстановки, полученных сканирующим ТПВ устройством. На кадрах документального видеосюжета гибели космического летательного аппарата "Колумбия" промоделировано выделение входящего в плотные слои атмосферы целостного объекта.

Оценки "отделенности" используются для обнаружения целеподобных образований на всем изображении с одновременным определением формы и размера маски для наилучшего выделения объектов с минимизацией количества ложных целей.

Построенная методика позволяет получать уточненные образы объектов для автоматического анализа и визуального восприятия, а также проводить сравнение оценок по всему изображению.

Литература

1. Прэнтт В. Цифровая обработка изображений. Кн. 2. — М.: Мир, 1982.
2. Кук, Розенфельд. Схема обнаружения объектов заданных размеров//ТИИЭР, письма, 1970. Т. 58. № 12. С. 109, 110.
3. Casasent D., Ye A., Talukder A. Algorithm fusion for detection with reduced P_{FA} //SPIE. 2003. V. 2752. P. 206—213.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Marking small-dimension objects from far

V. N. Gorenok, V. N. Djigaylo, A. N. Oparin
 Siberian Research Institute of Optical Systems, Novosibirsk, Russia

We describes method of discovery of objects having different dimensions and the forms. This method is based on calculation of a measure "differences" pixels of images from background formations. We used method of mask for scannings and calculations of attributes of pixels. "Differences" calculated according to the central and neighbors parts of a mask. Results of detection of objects of air-conditions are represented. The comparative data of efficiency of a method by criterion of probability of a false alarm are resulted, at use of masks of various dimensions and the form.