

УДК 681.3.01:519.67

Обнаружение динамических малоразмерных объектов в различных спектральных диапазонах

*И. В. Борисова, Р. Э. Ерошкин, А. А. Кузнецов, А. Н. Опарин,
А. Н. Осьминко, П. Г. Попов, В. А. Шишкин*
ФГУП "Сибирский научно-исследовательский институт оптических систем",
г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены методы выделения и опознавания малоразмерных летающих объектов. Обнаружение динамических объектов на последовательности входных изображений осуществляется на основе анализа каждого кадра и межкадровой разности. Алгоритмы обнаружения ориентированы на обработку изображений различных спектральных диапазонов. Рассмотрены методы классификации истинных и ложных целей, которые опираются как на статические, геометрические, так и динамические характеристики малоразмерных объектов.

В последнее время особое внимание уделяется решению задачи автоматического обнаружения и опознавания малоразмерных объектов, в том числе авиатехники. Естественный фон, на котором наблюдается объект, дает большое количество ложных тревог. Задача обнаружения усложняется необходимостью ведения поиска на большом расстоянии, в том числе в условиях ограниченной прозрачности атмосферы, камуфлирующей окраской самой цели и возможностью ее частичного закрытия элементами окружающего фона, низким контрастом целей. Во многом это можно устранить при использовании каналов наблюдения, работающих в нескольких спектральных диапазонах.

Малоразмерный объект, если рассматривать его как изображение реального объекта на дальних рубежах, имеет всего несколько элементов разложения и по своим характеристикам близок к характеристикам случайного шума. Признаковое пространство для выделения малоразмерных объектов должно формироваться в целях отделения объектов как от шумовых образований, так и от подстилающего фона и крупноразмерных объектов. Как правило, статических признаков недостаточно для выделения истинных малоразмерных объектов, особенно при низких контрастах целей и высоком уровне шумов. Поэтому необходимо задействовать не только пространственные, но и динамические признаки, т. е. учитывать не только наличие корреляции в про-

странстве, но, и это имеет принципиальное значение, — корреляции во времени.

Специфика решаемой задачи обуславливает перспективность локально-адаптивных методов обработки, для реализации которых необходимы соответствующие алгоритмы и аппаратура.

До обработки существует некоторая исходная (априорная) информация об обрабатываемом изображении, точнее, о модели изображения, диапазоне возможных значений измеряемых величин, распределении значений измеряемой величины внутри этого диапазона и т. п. Уровень априорной информации колеблется в широких пределах и является одним из основных факторов, определяющих стратегию решения. Априорная неопределенность обуславливает три уровня иерархии в принятии решения:

на первом — определяется набор признаков, которые могут быть использованы. Из этого набора методами таксономии, опираясь на априорные знания, выделяется оптимальный набор признаков для разделения на классы; во второй — попадают задачи выделения объектов заданного класса, когда модель изображения и объекта имеет конечное число неизвестных, случайных или неслучайных параметров; третий — заключается в принятии решения об истинности найденного объекта.

Общая схема алгоритма обработки изображений системой обнаружения и классификации динамических малоразмерных объектов приведена на рис. 1.

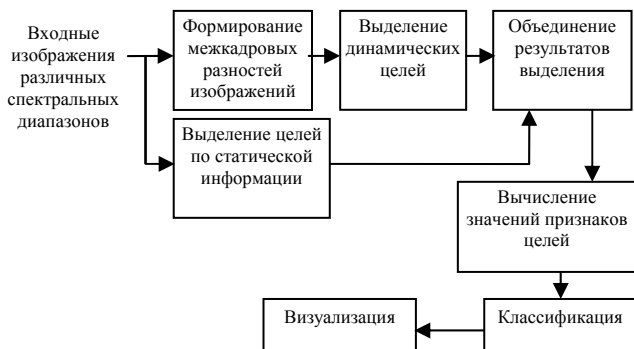


Рис. 1. Схема алгоритма обработки изображений системой обнаружения и классификации малоразмерных объектов

Выделение малоразмерных объектов по статической информации

Использование видеoinформации от приборов, основанных на различных физических принципах действия, позволяет увеличить число характерных признаков наблюдаемого объекта (яркостных, контрастных, структурных) и уменьшить число ложных тревог. Особое внимание следует уделять возможности и эффективности работы алгоритмов обнаружения объектов с изображениями различных спектральных диапазонов, поскольку для сокращения объема вычислений и аппаратуры желательно производить их обработку с помощью одного и того же алгоритма. Исследовались ТВ-видимый, ТВ-низкоуровневый и ИК 8—12-мкм каналы.

Использование традиционных дифференциальных операторов непригодно для обнаружения малоразмерных объектов по причине выделения всех границ протяженных объектов. Интерес в данном случае представляли объекты размером от 2×2 до 16×16 элементов, которые не являются частью более крупного объекта.

Хорошие результаты были получены при выделении малоразмерных объектов с помощью ортонормированной системы несинусоидальных функций $her(i, \theta)$ [1]. Эта система функций построена с помощью первых четырех функций Уолша и принципа сжатия Хаара (каждая новая функция возникает в результате сжатия вдвое на половинном интервале и сдвига предыдущих функций).

Для выделения малоразмерных объектов особый интерес представляют четные функции $her(2t, \theta)$ $t = 1, 2, \dots, 7$, при свертке с которыми формируется максимальный отклик, если объект расположен по центру ненулевой области функции, а его горизонтальный размер близок к количеству ненулевых элементов. Кроме того, у каждой из этих функций есть ортогональная ей нечетная функция $her(2t + 1, \theta)$ $t = 1, 2, \dots, 7$, отвечающая за выделение шума. Поэтому при выделении малоразмерных объектов вводилось требование не

только максимального отклика на четную функцию, но и минимизации отклика на соответствующую нечетную функцию.

С помощью системы несинусоидальных функций удастся осуществить выделение малоразмерных объектов на изображениях различных спектральных диапазонов.

Выделение динамических целей

Реальные изображения (особенно ТВ-изображения) обычно имеют довольно низкий контраст цели относительно окружающего фона. В этих случаях решающую роль играют признаки движения объектов, а обнаружение основано на обработке нескольких кадров, в частности на анализе межкадровой разности. Интервал между кадрами выбирается исходя из предполагаемой скорости движения объекта. Сформированная межкадровая разность рассматривается как новое изображение, на котором выделяются малоразмерные объекты.

К межкадровой разности может быть применен рассмотренный выше алгоритм выделения объектов с помощью системы несинусоидальных функций. При этом за счет избавления от статичного фона понижается вероятность ложной тревоги по сравнению с обработкой одного кадра.

Для выделения динамических малоразмерных объектов был использован простой и эффективный алгоритм: межкадровая разность обрабатывалась дифференциальным одномерным оператором ступенчатого типа размером 4—8 элементов (в зависимости от предполагаемого размера объектов). Полученные значения сглаживались низкочастотным фильтром. Далее определялись параметры нормального распределения, аппроксимирующего полученное распределение, и вычислялся порог для выделения малоразмерных объектов.

Следует иметь в виду, что поскольку площадь целей несоизмеримо мала по сравнению с площадью всего изображения, гистограммный анализ может давать большой процент ложной тревоги, что особенно заметно на ТВ-низкоуровневых изображениях. Избавиться от выделения ложных целей позволяет логическое умножение последовательности результатов обнаружения.

Чтобы предотвратить потерю объекта при кратковременном его пропадании или маскировке используется динамическая мера близости изображения [2, 3], при которой элементы объекта, не изменяющие свое значение от кадра к кадру, имеют больший "вес" по сравнению с остальными.

Стабильность системе обнаружения придается посредством объединения результатов динамической обработки последовательности кадров с результатами статического обнаружения в каждом кадре.

Классификация малоразмерных объектов

Для дальнейшего разделения выделенных объектов на шумовые образования и цели производится просле-

живание траектории целей с предсказанием их местоположения. Для подтвержденных целей формируются векторы признаков, используемые для идентификации класса цели.

В рассматриваемой задаче цели имеют небольшие размеры, и использовать характеристики видимой формы объекта для распознавания не представляется возможным. Опознавание цели приходится осуществлять по признакам движения цели с привлечением данных о видимом размере, площади и яркости объекта. Поскольку признаки динамического объекта измеряются в разных единицах, то векторы признаков объектов представляются в двоичном виде. В качестве функции сходства используется расстояние Хэмминга [4]. Это позволяет построить быстродействующие алгоритмы автоматической классификации целей на основе нейросетевой технологии.

Функционирование сети на этапе распознавания заключается в вычислении сигнала выходных нейронов и выбора нейрона с максимальным значением сигнала. Выходной сигнал нейрона вычисляется по формуле

$$y_j = f \left(\sum_{i=1}^N w_{ij} x_i - b_j \right), \quad 1 \leq j \leq M,$$

где $f(\bullet)$ — линейная с насыщением передаточная функция;

w_{ij} — i -й синаптический вес j -го нейрона;

x_i — i -й элемент входного сигнала сети;

y_j — выход j -го нейрона;

b_j — смещение j -го нейрона;

N — количество элементов (размерность) входного сигнала;

M — количество нейронов в сети.

Рассмотренная нейронная сеть выполняет подсчет совпадающих бит входного вектора и векторов-образцов. Синаптические веса и смещения сети, которая вычисляет расстояние Хэмминга в соответствии с данным выше определением, формируются следующим образом:

$$w_{ij} = -x_i^j, \quad b_j = -N, \quad 1 \leq i \leq N, \quad 1 \leq j \leq M.$$

Сеть Хэмминга дополнена сетью MAXNET, которая определяет, какой из нейронов сети Хэмминга имеет выход с максимальным значением. Решение о классе объекта принимается по максимальному отклику выхода соответствующего нейрона.

По опубликованным данным (журнал "Зарубежное военное обозрение" 2000—2003 гг.) была сформирована первичная база обучающего набора по пяти классам техники. Для расширения тренировочных наборов сце-

нариев аэрообстановки были созданы имитационные фильмы с включением динамических объектов различных классов в реальные видеоматериалы различных спектральных диапазонов. Используя описанный выше метод, была проведена оценка первичной базы данных. В результате сравнения по всей первичной базе безошибочно выделяются три класса целей одновременно. Это класс самолетов, который состоит из 16 объектов, за исключением гиперзвуковых проектируемых самолетов; класс вертолетов, включая и БЛА вертолетного типа; класс крылатых ракет, в том числе управляемых ракет воздух—земля.

Пример классификации динамических целей в имитационном видеофильме приведен на рис. 2.

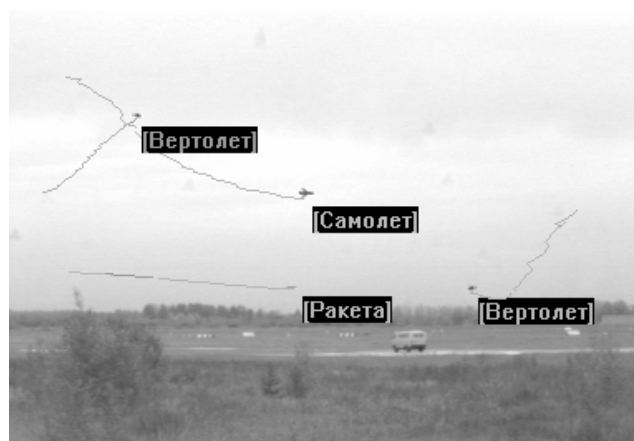


Рис. 2. Пример классификации динамических целей

Предложенные алгоритмы были положены в основу разработанного модуля обнаружения и классификации малоразмерных объектов. Модуль выполнен на нейропроцессорах NM6403 и обеспечивает работу в реальном режиме времени.

Литература

1. Хармут Х. Теория секвентного анализа. Основы и применения. — М.: Мир, 1980.
2. Попов П. Г. Динамическая мера близости изображений: Часть I. Выделение движения//Автометрия. 1994. № 1. С. 60.
3. Попов П. Г. Динамическая мера близости изображений: Часть II. Кратковременная память. Системы контроля//Там же. № 2. С. 47.
4. Фор А. Восприятие и распознавание образов. — М.: Машиностроение, 1989.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Location of dynamic low-sized objects in various spectral ranges

I. V. Borisova, R. E. Eroshkin, A. A. Kuznetsov, A. N. Oparin,
A. N. Osminko, P. G. Popov, V. A. Shishkin
Siberian Research Institute of Optical Systems, Novosibirsk, Russia

Methods of a finding and identification of flying low-sized objects are considered. The detection of dynamic objects in a sequence of the entering images is executed on the basis of the analysis of each frame and analysis of a interframe difference. The algorithms of detection are oriented to processing of the images of various spectral ranges. The methods of classification of the targets on true and false on the basis of statical, geometrical, and dynamic characteristics of low-sized objects are considered.