

УДК 004.02

## ПОИСК НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Н.В. Ким (*nkim2011@list.ru*)

Н.Е. Бодунков (*boduncov63@hotmail.com*)

И.Г. Крылов (*Krylov\_I@mail.ru*)

Московский авиационный институт, Москва

**Аннотация.** Работа посвящена решению целевых задач наблюдения автономных беспилотных летательных аппаратов на основе использования бортовых систем технического зрения. Рассматриваются подходы, обеспечивающие повышение эффективности поиска наземных объектов.

### Введение

В современных разведывательных беспилотных летательных аппаратах (БЛА) одной из основных составляющих целевой нагрузки является система наблюдения или комплекс аппаратуры наблюдения: радиолокационной, телевизионной, тепловизионной или мультиспектральной.

Аппаратура наблюдения и бортовые вычислители, реализующие алгоритмы обработки и анализа видеоинформации, представляют систему технического зрения (СТЗ) БЛА. Основой поиска объектов интереса являются технологии обнаружения (распознавания) и оценки координат, базирующиеся на автоматической обработке и анализе видеоинформации.

Особенности поиска наземных объектов связаны с необходимостью выделения и идентификации признаков объектов интереса в различных условиях наблюдения и на фоне различных подстилающих поверхностей.

Расширение условий применения и усложнение решаемых БЛА целевых задач требует перспективного совершенствования функциональных возможностей СТЗ БЛА.

Рассмотрим, некоторые проблемы, снижающие эффективность применения СТЗ БЛА, и способы их решения.

#### *1. Неопределенные и изменяемые условия наблюдения.*

Суть данной проблемы состоит в том, что принятие решения об обнаружении или распознавании наблюдаемого объекта производится на основании сопоставления некоторых описаний (или совокупности признаков: распределения яркости, текстуры, формы и пр.) объектов на

принятом (текущем) изображении (ТИ) с запомненными ранее эталонными описаниями объекта, в частности, эталонным изображением (ЭИ) [Визильтер и др., 2010]. В случае изменения условий наблюдения ТИ и ЭИ одного и того же объекта будут отличаться и, соответственно, возрастут ошибки принятого решения.

2. *Недостаточная информативность атрибутов объектов поиска.*

В ряде ситуаций исходная информация о возможном положении объектов поиска, а также информативность их признаков на наблюдаемых ТИ, например, при частичном загораживании объекта, являются недостаточными для организации эффективного обнаружения.

3. *Недостаточная производительность поиска.*

Данная проблема возникает при необходимости обследования заданных областей поиска за ограниченное время, в сложных условиях наблюдения, например, при ведении поиска в городских условиях, при необходимости наблюдения (слежения) объектов, перемещающихся по различным траекториям, с различными скоростями и т.д.

## **1 Формирование адаптивных описаний объектов**

Решение 1-й проблемы может быть реализовано за счет использования эталонных описаний, адаптивных к изменению текущих условий наблюдения, в частности:

- С помощью использования подготовленного заранее набора ЭИ или словаря признаков для возможных условий наблюдения. Однако данный подход сложно реализуем, т.к. требует подготовки и препарирования слишком большого (даже для современных вычислительных средств) множества разноразмерных изображений объекта интереса на различных подстилающих поверхностях и при изменяемых условиях освещения;

- Другим вариантом является подход, основанный на моделировании возможных эталонных описаний искомых объектов. Сложность реализации подхода состоит в том, что необходимо формировать модели визуализации объектов наблюдаемой сцены (на основе известных физических законов) с учетом множества трудно формализуемых факторов, связанных с отражающими свойствами различных текстур, условиями освещенности и пр.

Здесь предлагается использовать подход к формированию адаптивных эталонных описаний на основе интерполяции имеющихся описаний, полученных для других условий. Для интерполяции описаний используется нейронечеткий подход. Преимуществами подхода являются: возможность получения описаний в широком диапазоне изменения текущих условий, существенное сокращение количества требуемых

эталонных описаний по сравнению с первым подходом и упрощение методики формирования текущих описаний по сравнению со вторым подходом.

Рассмотрим задачу распознавания объекта интереса [Форсайт и др., 2004].

Алфавит классов распознаваемых объектов (ориентиров) обозначается как:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_M),$$

а вектор признаков –

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n, \dots, y_N),$$

где  $M$  – количество распознаваемых классов,  $N$  – количество анализируемых признаков, при 2-х распознаваемых классах решается задача обнаружения.

Принятие решения о принадлежности объекта (или фрагмента изображения) к тому или иному классу производится на основании определения области, к которой относятся значения признаков объектов, полученных ТИ. Будем считать, что статистическая связь между полученными значениями признаков и классами определяется условными плотностями распределения  $p(Y|x_m)$ , которые и являются искомыми эталонными описаниями.

Пусть классами объектов являются: объект ( $x_2$ ) и фон ( $x_1$ ). Тогда условием обнаружения объекта  $x_2$  будет:

$$\lambda_0 = \frac{R_{21} P(x_1)}{R_{12} P(x_2)} \leq \frac{p(Y|x_2)}{p(Y|x_1)},$$

где  $\lambda_0$  – порог;  $R_{21}$ ,  $R_{12}$  – потери от неправильного обнаружения;  $P(x_1)$ ,  $P(x_2)$  – априорные вероятности наблюдения объектов  $x_1$ ,  $x_2$ .

При решении задач обнаружения или распознавания объектов возникает необходимость построения адаптивных плотностей распределения, учитывающих текущие условия наблюдения -  $p(Y|x_m, Q_k)$ , где  $Q_k = (q_1, q_2, \dots, q_r, \dots, q_R)$  – вектор -х условий наблюдения. Под условиями наблюдения могут пониматься различные факторы, например, характеристики освещенности наблюдаемой сцены, время года, регион и т.п.

Предлагаемый подход к построению адаптивных плотностей распределения  $p(Y|x_m, Q_k)$ , основанный на использовании нейронечетких систем, позволяет сократить набор требуемых типовых плотностей за счет использования экспертных правил и свойств нечетких систем, а также дает возможность их коррекции за счет использования механизмов обучения по ограниченной выборке.

## 2 Повышение эффективности обнаружения при недостаточной информативности атрибутов объектов

Компенсация недостаточной информативности атрибутов может быть реализована с помощью использования дополнительных поисковых средств, в частности, при организации согласованного наблюдения группой БЛА [Ким и др., 2014].

Пусть на полученном изображении выделен фрагмент неизвестного частично загороженного объекта. Этот фрагмент может принадлежать как объекту поиска, так и другому (ложному) объекту. Если возможные риски (потери) ошибочных решений выше допустимых, то необходимо использовать дополнительные источники информации.

В частности, увеличение объема принимаемой полезной информации может быть реализовано с помощью дополнительного использования других БЛА, оснащенных ТВ-камерами, или использованием систем наблюдения, работающих в других спектральных диапазонах.

На рис. 1 представлен пример поиска грузового автомобиля с помощью 3-х БЛА, наблюдающих один и тот же участок местности.

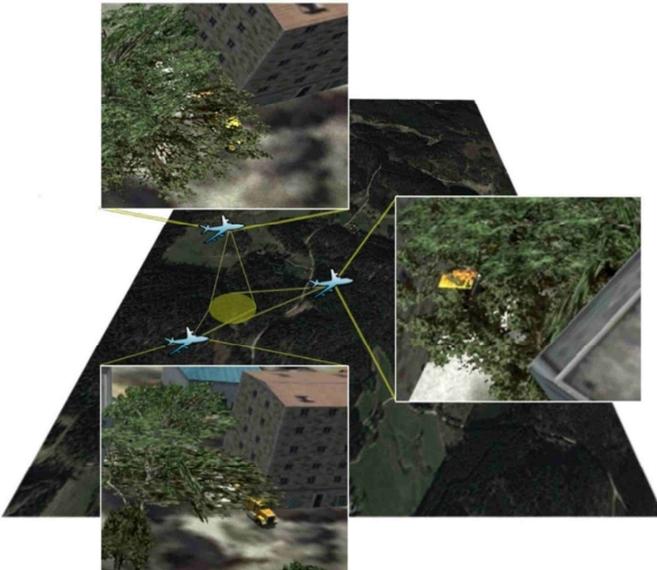


Рис. 1. Групповой поиск автомобиля

На верхнем левом и правом фрагментах показаны модельные изображения, получаемые БЛА<sub>1</sub> и БЛА<sub>2</sub> (индексы обозначают номер

соответствующего БЛА). Данные изображения недостаточно информативны, т.к. объект поиска (грузовой автомобиль) частично загорожен.

Существенно большую информативность содержит нижнее изображение, полученное на борту БЛА<sub>3</sub>.

Вероятность правильного обнаружения при групповом согласованном (разноракурсном) наблюдении вычисляется по формуле:

$$P_{по} = 1 - \prod_R (1 - P_{пор}),$$

где  $P_{по}$  – вероятность правильного обнаружения,  $R$  - количество БЛА с системами наблюдения,  $r = 1, \dots, R$  – индекс БЛА.

Так, при  $P_{по1} = 0,2$ ;  $P_{по2} = 0,4$ ;  $P_{по3} = 0,7$ , получим

$$P_{по} = 0,856.$$

Таким образом, разноракурсное наблюдение позволяет увеличить эффективность поиска, в частности, повысить вероятность правильного обнаружения объектов, а также ограничивает возможности целей при их попытках уклониться от наблюдений.

Последний фактор играет существенную роль при организации наблюдений с БЛА в городских условиях.

### 3 Повышение производительности поиска объектов

Повышение производительности поиска может быть получено за счет увеличения поисковых ресурсов - использование группы БЛА. При групповом применении БЛА увеличивается теоретическая производительность поиска:

$$W_{ТГ} = [2MД_{об} - Z(M - 1)]V_{БЛА},$$

где  $M$  – количество БЛА в группе;  $Z$  – перекрытие относительных полос поиска между смежными БЛА;  $V_{БЛА}$  - скорость БЛА.

Однако существенно увеличить производительность поиска возможно за счет согласованного взаимодействия БЛА в группе. В подобном варианте использования БЛА возможно одновременное обследование нескольких областей интереса, выбранных, например, по наибольшей вероятности присутствия объекта поиска. Согласованное применение БЛА обеспечивает эффективное слежение за несколькими объектами. При этом маршруты БЛА строятся согласованно, с учетом предотвращения столкновений. В случае появления новых областей интереса или выхода некоторых БЛА из строя, происходит перераспределения задач с учетом новых данных.

Еще одним подходом к повышению эффективности наблюдений является подход, основанный на анализе наблюдаемых сцен (ситуаций) [Kim и др., 2015], [Ким, 2012].

Результатом анализа сцен является формирование описаний сцены,

включающих описание объектов, их признаков и межобъектных отношений, в частности, каузальных, пространственно-временных и пр. В свою очередь описания отношений могут дать дополнительную полезную информацию о состоянии или положении объектов поиска.

Одними из важных признаков подвижных (мобильных) объектов являются их поведенческие признаки. В рамках данной работы под поведенческими признаками понимаются особенности движения объекта поиска (выбор траектории, скорость и пр.). Если при движении объекта можно выделить признаки, отличающие искомый объект от других участников движения, то эти признаки имеют полезную информативность. Оценка этих признаков позволяет уточнить вероятное положение объекта и, соответственно, повысить производительность поиска.

На рис. 2 а) представлен участок карты местности (КМ), на котором должен производиться поиск мобильного объекта – легкового автомобиля.

Для сокращения областей поиска целесообразно принять некоторую гипотезу о возможном положении объекта. В случае неизвестных целевых функций объекта и его поведенческих признаков, можно принять гипотезу о его вероятном положении на одной из дорог на КМ, например, с учетом загруженности дорог, их расположения и пр. (рис. 2 б, высота поверхностей соответствует вероятностям появления объекта). В рассматриваемом примере на основных магистралях был принят равновероятностный закон распределения.

Эти вероятности существенно изменяются, если известны целевые функции объекта, например, координаты конечного пункта маршрута (КПМ) (рис. 2 в) или стремление объекта к максимально скрытному движению (рис. 2 г).

В зависимости от получаемых законов распределения производительность поиска может быть существенно повышена. Так, для встречи с объектом с вероятностью близкой к 0,5 при принятии гипотезы о равновероятностном распределении объекта, необходимо обследовать участок почти в 1,5 раза длиннее, чем при гипотезе с известным КПМ.

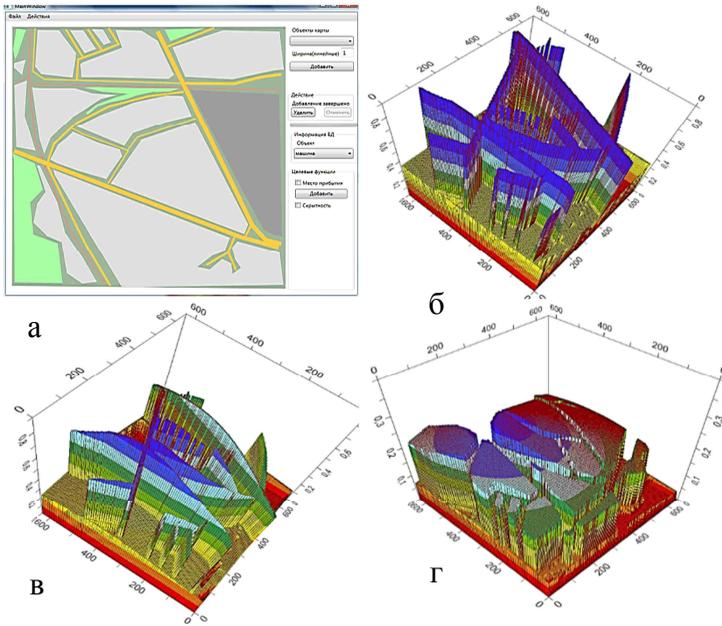


Рис. 2. Оценка вероятности наблюдения при различных целевых задачах объекта

## Заключение

Проблемами, снижающими эффективность использования СТЗ БЛА, можно считать: неопределенные и изменяемые условия наблюдения, недостаточную информативность атрибутов объектов поиска и недостаточную производительность поиска.

Для решения проблемы изменяемых условий наблюдения предложен подход к формированию адаптивных описаний объектов на основе нейронечетких систем. Данный подход при заданных заранее эталонных описаниях для некоторых опорных условий позволяет производить интерполяцию описаний для промежуточных условий. Таким образом, обеспечивается адаптация описаний при малом количестве исходных эталонов. Также к достоинствам подхода можно отнести простоту расчета и возможность дообучения, т.е. коррекции описаний в реальном времени.

Для решения проблемы недостаточной информативности атрибутов объектов рассматривается два подхода. Первый использует привлечение дополнительных поисковых средств, например, группы БЛА, что позволит

получить большее количество полезной информации за счет разноракурсного наблюдения. Второй подход основан на анализе наблюдаемой сцены. При этом дополнительная полезная информация получается при описании объектов сцены и межобъектных отношений.

Проблема недостаточной производительности поиска может быть решена на базе анализа ситуаций и использования группы БЛА.

## Список литературы

- [Визильтер и др., 2010] Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Осоков М.В., Моржин А.В. «Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения», 2010. 689-М.: Физматкнига.
- [Форсайт и др., 2004] Форсайт Дэвид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с.: ил. Парал. тит. англ.
- [Ким и др., 2014] Ким Н.В., Крылов И.Г. Согласованное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов. Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014. Труды конференции. Т.3.- Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. 283-289с.
- [Kim и др., 2015] Nikolay Vladimirovich Kim, Nikolay Evgenievich Bodunkov & Roman Igorevich Cherkezov. Ensuring the Accuracy of Traffic Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles Vision Systems. Published by Canadian Center of Science and Education. Modern Applied Science; Vol. 9, No. 5; 2015.
- [Ким, 2012] Ким Н.В. Использование методов анализа ситуации при решении целевых задач беспилотных летательных аппаратов.// Техническое зрение в системах управления 2012. Сб. тр. научно-техн. конф. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 10 – 15.