

ГРУППОВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ЗАДАЧАХ НАБЛЮДЕНИЯ

Н. В. Ким, И. Г. Крылов

Аннотация

Рассмотрены проблемы группового применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА), связанные с организацией согласованного планирования и управления БЛА, выполняющих различные задачи наблюдения.

Ключевые слова

беспилотный летательный аппарат (БЛА); групповое применение; анализ ситуации, поиск объектов

Введение

Одним из важных направлений использования БЛА является применение БЛА в составе смешанных групп, включающих пилотируемые и беспилотные ЛА, или в составе автономно функционирующих, но согласовано управляемых БЛА [1]. Групповое согласованное применение БЛА может существенно повысить производительность процессов наблюдения, таких как разведка, поиск объектов, аэрофотосъемка, мониторинг чрезвычайных ситуаций, мониторинг трубопроводов и линий электропередач и пр.

Сложность управления группой (группами) БЛА связана с решением ряда задач. Например, оперативным планированием полетов отдельных БЛА, в связи с изменением областей интереса, обеспечением безопасности полетов и т.д. Во многих случаях подобные процедуры не могут быть реализованы оператором в реальном времени и требуют сокращения их объема и/или автоматизации.

В представленной работе рассматриваются вопросы, связанные с решением задач:

- автоматического нахождения областей интереса, определяющих требуемые для эффективного наблюдения траектории полетов отдельных БЛА;
- сокращения объема работ оператора при организации планирования и управления БЛА.

Решение задачи поиска наземных мобильных объектов с использованием анализа ситуации

Анализ решаемых задач показал, что сценарий поиска объектов группой БЛА, функционирующей в автономном режиме, должен включать:

1. Прием и анализ условий решения целевой задачи (в рассматриваемом случае – задачи поиска наземных мобильных объектов);
2. Определение областей интереса. В частном случае данная процедура может решаться на основе оценки вероятности присутствия объекта (или объектов) поиска в различных подобластях исходной области поиска;
3. Распределение группы БЛА на подгруппы и постановка подгруппам частных целевых задач. Процедура реализуется, если сравнительный анализ различных стратегий поиска показывает преимущества данного подхода;
4. Планирование согласованных маршрутов полета к областям интереса каждой подгруппе БЛА;
5. Реализация управлений согласованными полетами подгрупп БЛА к областям интереса с облетом препятствий и предотвращением возможных столкновений со стационарными и мобильными объектами;
6. Выполнение целевой задачи, в частности, поиска объектов в областях интереса;
7. Выход и полет в области ожидания с облетом препятствий и предотвращением столкновений.

В соответствие с данным сценарием был разработан комплексный алгоритм поиска наземных мобильных объектов автономной группой БЛА. Структура алгоритма представлена на рис. 1



Рисунок 1. Структура алгоритма

Целевая задача, передаваемая ведущему группы БЛА, представляется в формализованном виде, позволяющем в бортовых вычислителях БЛА планировать и реализовать дальнейшие действия группы, подгрупп и отдельных БЛА.

В результате проведенных исследований был сформирован состав описания типовых целевых задач поиска:

- вид требуемого поиска: на площади, по линии, вторичный поиск (поиск по вызову), слежение;
- описание объектов поиска;
- описание области поиска;
- требования к оценке эффективности поиска;

- дополнительные требования.

Кроме того, в задании на выполнения ЦЗ указываются:

А. Атрибуты объекта поиска:

- предполагаемая стратегия действий объекта поиска;
- типовые и уникальные атрибуты объектов поиска (в т.ч. предельные характеристики для мобильных объектов);
- типовые и уникальные атрибуты наблюдения;
- методы противодействия обнаружению.

Б. Атрибуты области поиска:

- расстояние области поиска от точки старта БЛА;
- конфигурация области поиска;
- предполагаемые рельеф и текстура подстилающей поверхности.

В. Уникальные требования к прохождению маршрута (опасные участки маршрута, высота, скорость и т.д.).

Г. Условия поиска:

- требования к выполнению поиска;
- дополнительные требования и ограничения.

В соответствие с приведенным составом требуемой информации, была выбрана форма представления ЦЗ в виде набора записей следующего вида:

1. Общее описание ЦЗ.

ЦЗ: вид поиска (на площади – код 01, по линии - 02, вторичный поиск (поиск по вызову) - 03, слежение - 04) ^ объект поиска: вид объекта (стационарный - 01, мобильный - 02) ^ область поиска: вид описания (координаты угловых точек - 01, номера участков на цифровой карте местности (ЦКМ) - 02, координаты начальной точки и размеры области - 03, пр. – 04, ...);

2. Описание объекта.

Объект (Ob): тип (грузовой автомобиль – 01, легковой автомобиль – 02 и т.д.) ^ марка (01, ... ВАЗ 2109 – 05, ...) ^ цвет (красный – 01, зеленый – 02 и т.д.) ^ уникальные атрибуты; Вид описания стратегии поведения (*Str*) (вероятностные характеристики - 01, возможная ЦЗ – 02 и т.д.) ^ возможные методы противодействия (маскировка - 01, уклонение – 02 и т.д.).

3. Описание области поиска.

В качестве основы описания используются ЦКМ с векторным описанием объектов: дорог, жилых массивов и пр. (*Dm*). На ЦКМ обозначаются особенности рельефа, типы

подстилающих поверхностей и их проходимость для различных типов транспортных средств.

4. Уникальные требования к прохождению маршрута (RT), определяемые на основе информации, не передаваемой БЛА.

5. Требования к эффективности поиска.

Критерий производительности (P) (теоретическая производительность - 01, время поиска - 02, пр. - 03, ...) ^ вид (минимизация - 01, максимизация - 02, ограничение снизу (\geq) - 03, ограничение сверху (\leq) - 04); критерий надежности (R) (вероятность правильного обнаружения - 01, ошибка пропуска цели - 02, ошибка ложной тревоги - 03, пр. - 04, ...).

Описания и значения атрибутов всех типовых объектов и областей поиска хранятся в подготовленных заранее базах данных (БД). Данные в БД соответствуют типовым значениям атрибутов (параметров, характеристик, признаков).

Уникальные значения атрибутов помещаются в специальные разделы описания ЦЗ. Подобными атрибутами могут быть, например, повышенная (для данной марки) проходимость транспортного средства, необычная раскраска и т.д.

Рассмотрим на примере процесс определения областей интереса на основе анализа ситуации. Допустим, в некоторой области находится объект (автомобиль марки ВАЗ 2109, цвет красный), который требуется обнаружить.

Общее описание ЦЗ включает заголовок и соответствующие коды: SG (заголовок): 01(поиск на площади)^ 02 (мобильный объект)^ 02 (номера участков на ЦКМ);

Аналогично формируются остальные описания.

Описание объекта: $Ob: 02^05^01^N$; $Str(N)^N$; Описание области поиска: $Dm: 10$; Уникальные требования: $RT(N)$.

Для выделения областей интереса на основе анализа ситуации используются данные из БД о проходимости объекта на местности. В работе принимается, что типовая проходимость легкового автомобиля оценивается условным показателем $R = 1$ ($1 \leq R \leq 5$).

Анализ ситуации проводится, на основе использования заранее составленного набора правил, например:

- если лес, то объект не пройдет;
- если поле и требуемая проходимость выше проходимости объекта, то объект не пройдет;
- если водоем, то объект не пройдет и пр.

Обследование исходной ЦКМ (с использованием набора правил) производится до начала поиска на основании сопоставления показателя проходимости объекта и возможной проходимости отдельных участков с известной текстурой: лес, поле и пр.

В результате реализации данной процедуры, выделяются области возможного нахождения объекта (области интереса). Примеры выделенных областей интереса представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Выделенные области интереса.

После выделения областей интереса БЛА распределяются на подгруппы для исследования этих областей. При этом для каждой n -й области интереса ($n = 1, 2, \dots, N$) выделяется n -я подгруппа БЛА.

Количество БЛА в каждой подгруппе должно соответствовать площади S_n данной области интереса.

Примем, что производительности всех БЛА равны W_T . Тогда производительность n -й подгруппы будет равна $m_n W_T$, где m_n – количество БЛА в n -й подгруппе ($m = 1, 2, \dots, M$).

В общем случае для распределения БЛА по подгруппам рассчитывается теоретическое время, затрачиваемое каждой n -й подгруппой на выполнение ЦЗ (полет до соответствующей n -й области поиска, исследование области, возврат) при некотором распределении БЛА по подгруппам:

$$T_n = t_{1n} + \frac{S_n}{W_T \cdot m_n} + t_{2n},$$

где t_{1n} – время полета до n -й области, S_n – площадь n -й области, t_{2n} – время возврата из n -й области.

Будем считать, что наилучшим является распределение БЛА по подгруппам, которое удовлетворяет критерию:

$$T_0 = \min_{i \in I_{\max}} \max_{n \in N} \{T_n[m_n(i)]\}, \quad (1)$$

где $T_n[m_n(i)]$ - теоретическое расчетное время, необходимое для выполнения ЦЗ подгруппой n с количеством БЛА m_n при i – м варианте распределения БЛА по подгруппам ($i=1, 2, \dots, I_{\max}$).

БЛА распределяются по подгруппам на основе использования метода перебора и оценки критерия (1).

Для планирования маршрутов каждой подгруппы БЛА в работе используется алгоритм Ли. Разработанный алгоритм и программное обеспечение позволяют планировать маршруты с обходом опасных зон. Параметры маршрута корректируются с учетом динамических характеристик БЛА.

Следующей задачей исследования является оценка возможности реализации разработанных алгоритмов в реальном времени на существующих процессорах.

Известно, что сложность реализации алгоритмов поиска и слежения, ориентированных для работы в условиях реального масштаба времени, определяется необходимостью выполнения большого объема вычислений. Поэтому при разработке алгоритмов предполагалось, что в бортовом вычислителе БЛА будет использован некоторый высокопроизводительный двудерный цифровой сигнальный процессор, например, типа VF-561 (Analog Devices). На рис. 3 изображена структурная схема реализации алгоритма поиска и слежения на двудерном процессоре.

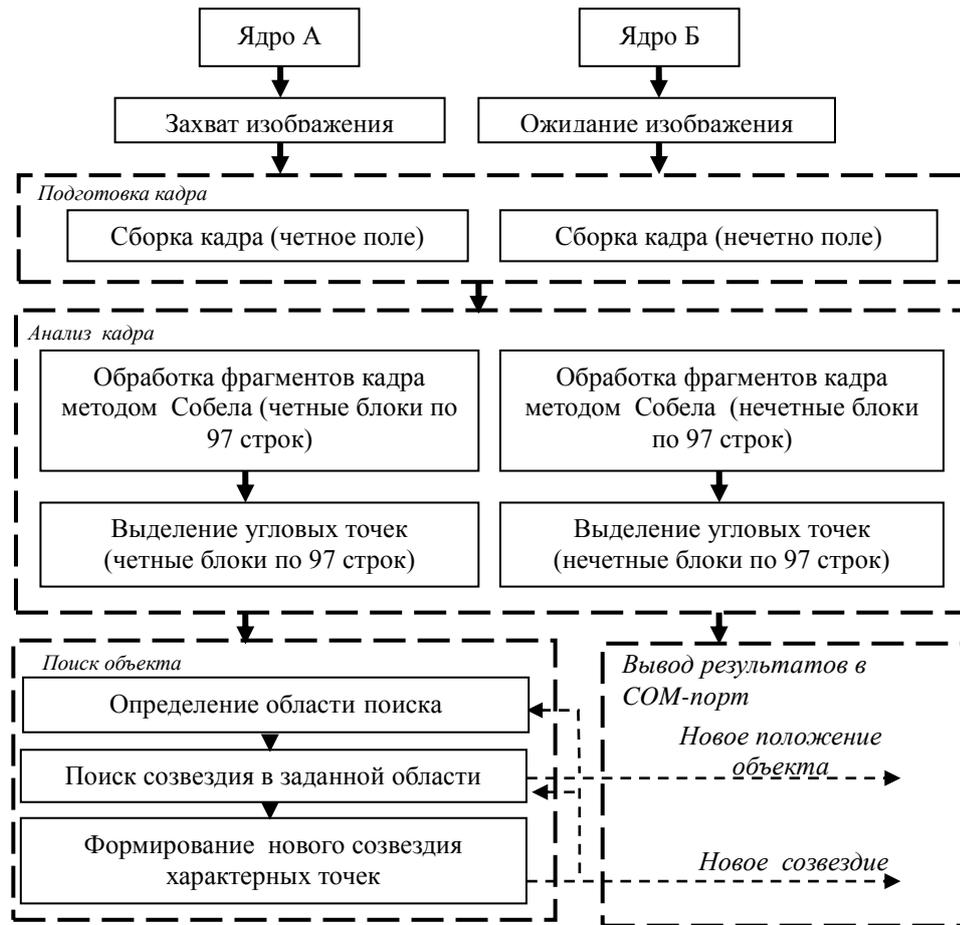


Рисунок 3. Алгоритм поиска и слежения

На рисунке 4 представлена структура бортового оборудования БЛА.



Рисунок 4. Структура бортового оборудования БЛА

Верхний блок, изображенный на рисунке 4, содержит информацию о маршруте группы, в которую входит i -ый БЛА. Эта информация доступна каждому БЛА из группы, а если функционируют несколько групп, то и БЛА из других групп.

В состав бортового оборудования БЛА, как видно на рисунке 4, входит навигационная система, средства связи, для обмена информацией с другими БЛА и командным пунктом, целевая нагрузка (система технического зрения), система автоматического управления и набор типовых режимов, записанных в память БЛА.

БЛА осуществляет обмен информацией с другими членами группы и получает указания с помощью средств связи, установленных на борту. Получив информацию о текущем задании подгруппы, САУ обрабатывает соответствующий типовой режим. Режимы, выделенные жирным шрифтом, обеспечивают безопасный полет группы БЛА.

В рамках данной работы были произведены исследования алгоритмов распределения БЛА по областям интереса, построения маршрутов на основе типовых режимов полета,

полета строем и предотвращение столкновения. Данные исследования подтвердили работоспособность алгоритмов.

Заключение

Предлагаемый подход позволяет осуществлять автоматическое нахождение областей интереса и построение траекторий полета БЛА для эффективного наблюдения. Использование типовых (унифицированных) режимов сокращает объем работ оператора при организации планирования и управления БЛА.

Библиографический список

1. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. / Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.
2. Ким Н.В., Кузнецов А.Г.. Поиск объектов на основе анализа наблюдаемой ситуации// Сб. тезисов докладов на научном семинаре «Системы технического зрения» ИКИ РАН / М.:, 2011.
3. Ким Н.В. К вопросу согласованного применения пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов. Сборник докладов VIII –й Всероссийской юбилейной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования робототехнический и интеллектуальных систем летательных аппаратов». Москва, МАИ-ПРИНТ, 2010.

Информация об авторах

КИМ Николай Владимирович, профессор Московского авиационного института
(национального исследовательского университета), к.т.н.

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993;

тел.: 8-499-1584549; e-mail: NKim2011@list.ru

КРЫЛОВ Иван Геннадьевич, младший научный сотрудник Московского авиационного
института (национального исследовательского университета).

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993;

тел.:8-499-1584549, e-mail: Krylov_I@mail.ru