

УДК 681.51

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ
СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

С.В. Воронов (*s.voronov@ulstu.ru*)

В.Е. Дементьев (*vitawed@mail.ru*)

С.С. Логинов (*ss7loginov@gmail.com*)

Ульяновский Государственный Технический
Университет

В работе рассмотрено решение задачи управления беспилотным летательным аппаратом, основанное на использовании комплексирования инерциальных систем навигации и данных, поступающих с бортовой видеокамеры. Приведено описание программного комплекса управления.

В последнее время все больше внимания уделяется разработке беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Это связано с несколькими факторами, а именно их низкой эксплуатационной стоимостью, простотой использования, а также широким спектром решаемых задач. Среди множества реализаций БЛА особый интерес представляют мультикоптеры – летательные аппараты с несколькими несущими винтами, вращающимися диагонально в противоположных направлениях. Мультикоптеры обладают высокой скоростью, маневренностью, легкостью конструкции, а также простотой в эксплуатации. Некоторые образцы способны до часа находиться в полете и поднимать вес до 10 кг. Они незаменимы для съемки с воздуха. Современные мультикоптеры обладают сложной бортовой микропроцессорной системой, сопряженной с множеством разнообразных датчиков.

Проблемой автоматического управления БЛА занимаются как в нашей стране, так и за рубежом. На данный момент большинство программных решений по автоматическому пилотированию БЛА осуществляется с помощью систем глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС. К недостаткам таких систем можно отнести относительно низкую точность позиционирования, значительные задержки сигналов со спутника, невозможность работы внутри помещений, отсутствие реакции на препятствия и т.д. Кроме того, существенной проблемой, препятствующей появлению и распространению роботов-мультикоптеров, является

отсутствие эффективных быстродействующих алгоритмов управления, позволяющих роботу перемещаться в условиях ветровых возмущений и сложного рельефа местности. Для решения этих и других задач в настоящей работе предлагается использовать механизмы комплексирования навигационных систем, разработанные нами при решении различных задач управления автономными объектами [Vasil'ev et al., 2013], [Васильев, 2011].

Разрабатываемые нами алгоритмы предполагают проведение совместной обработки данных с датчиков, установленных на борту БЛА. Среди этих датчиков ключевыми являются: бортовой гироскоп, позволяющий определять элементарные угловые смещения аппарата, магнитный компас, дающий информацию об абсолютных углах наклона, инерциальная навигационная система, оценивающая относительные смещения аппарата, датчики высоты. Получаемый с этих устройств поток данных комплексировается с результатами обработки видеопотока с бортовой видеокамеры. Обработка выполняется с помощью быстродействующих псевдоградиентных алгоритмов, позволяющих БЛА определять свое местоположение относительно наблюдаемых объектов. Координаты текущего местоположения сравниваются с координатами цели, после чего происходит корректировка курса.

При реализации данных алгоритмов нами использовался квадрокоптер Ar Drone 2.0.

Программный комплекс представляет собой набор функциональных модулей, выполненных в виде отдельных исполняемых файлов и взаимодействующих между собой посредством UDP-протокола.

Модуль планирования миссии позволяет задавать в пространстве маршрут движения БЛА, а также служит для запуска и остановки процесса моделирования всего программного комплекса. При запуске процесса моделирования сформированный маршрут движения БЛА передается по UDP-протоколу блоку контроля исполнения миссии.

У каждого блока имеются порты на передачу и прием информации, которые связаны с соответствующими портами других блоков. В результате получается множество независимых информационных потоков между блоками, каждый из которых работает в отдельном программном потоке.

При передаче блоку контроля исполнения миссии управления движением команды на начало полетной программы, выполняется начальная инициализация данного блока и запускается процесс управления движением.

Блок контроля исполнения миссии и управления движением служит для контроля и выполнения команд миссии, которые представляют собой указания для блока управления движением о требуемом изменении

положения БЛА, таких как, перейти к указанной точке, встать на заданный курс, остановиться и т. п. В случае возникновения препятствий на пути движения БЛА оператор имеет возможность экстренно посадить БЛА.

Для определения координат текущего положения агента в пространстве используются навигационные устройства БЛА, которые принимаются по UDP-протоколу и имеют следующую структуру:

Header	Drone state	Sequence number	Vision flag	Option 1			...	Checksum block		
0x55667788	32-bit int.	32-bit int.	32-bit int.	16-bit int.	16-bit int.	16-bit int.	16-bit int.	32-bit int.

Рис.1. Структура данных поступающих с БЛА

Затем, в блоке комплексирования строится оценка координат положения на основе текущей сенсорной информации. Вычисленная оценка передается блоку управления движением и служит для определения достижения агентом заданной координаты.

Блок обработки данных по серии ТВ изображений определяет изменение положения БЛА по смещениям изображений в кадрах ТВ-системы, с последующей передачей информации блоку комплексирования.

Блок распознавания осуществляет идентификацию объектов на пути движения БЛА. Распознавание осуществляется на основе цветовой фильтрации поступающих изображений. При этом фильтрация может выполняться как в цветовом пространстве RGB, так и в пространстве HSV, выбор между которыми основывается на характеристиках выделяемого объекта.

Оценка изменения местоположения БЛА по последовательности кадров строится на основе оценивания межкадровых геометрических деформаций соседних кадров. В качестве алгоритма оценивания используются безидентификационные псевдоградиентные процедуры вида [Ташлинский, 2011]:

$$\hat{\mathbf{a}}_t = \hat{\mathbf{a}}_{t-1} - \Lambda_t \beta_t (J(\hat{\mathbf{a}}_{t-1}, Z_t)),$$

где: β — псевдоградиент целевой функции J ; $t = \overline{1, T}$ - номер итерации; Λ_t — матрица усиления; Z_t — локальная выборка отсчетов исследуемых изображений, используемая для нахождения β на t -й итерации. Эти алгоритмы рекуррентны, позволяют достичь высокую точность оценивания при небольшом объеме вычислительных затрат, не требуют предварительной оценки параметров исследуемых изображений, а также применимы при обработке изображений в условиях априорной неопределенности и устойчивы к различным помехам.

Вследствие высокой скорости поступления кадров, вероятность появления значительных яркостных искажений на паре исследуемых изображений очень мало. Следовательно, в качестве целевой функции

ввиду небольших требований к вычислительным затратам целесообразно использовать средний квадрат межкадровой разности [Taslinskii, 2007]. Существует несколько способов нахождения псевдоградиента данной целевой функции, которые подробно описаны в работе [Ташлинский и др., 2013].

Для поставленной задачи оцениваемыми параметрами для этих алгоритмов будут координаты центра объекта на изображении (вектор пространственного смещения), расстояние до объекта (точнее проекция этого расстояния на горизонтальную плоскость) и угол поворота на объект. Оценив эти параметры и зная фактическое месторасположение эталонного объекта в пространстве, можно однозначно определить текущие координаты БЛА. Выражения для функции искажения координат и процедура нахождения параметров деформации описаны в работе [Дементьев и др., 2013].

Применение указанных процедур позволяет окончательно сформировать следующую функциональную схему совместной обработки навигационной информации (рис. 2).

При этом сама выполняемая миссия представляет собой маршрут движения БЛА и состоит из набора точек с заданными координатами, которые связаны между собой линейными сегментами. При запуске процесса моделирования блоку контроля исполнения миссии и управления движением передается маршрут (миссия), сформированный оператором системы. Целью данного блока является реализация алгоритма по контролю прохождения БЛА переданного маршрута.

Для реализации поставленной задачи, маршрут переводится на уровень команд, передаваемых системе управления движением, представляющие собой указания:

- перейти к заданной точке с требуемой скоростью;
- изменить курс;
- остановиться;
- взлететь/приземлится;

и т.п.

В каждый конкретный момент времени система управления движением может выполнять только одну из команд. При этом, если в момент выполнения текущей команды, от контроллера исполнения миссии поступает новая команда, то система управления движением прерывает выполнение предыдущей и начинает выполнение новой команды. Благодаря такому взаимодействию блок контроля исполнения миссии имеет возможность экстренно прервать выполнение текущей команды и выполнить другие, например, экстренную посадку.

Программа для контроля БЛА работает по следующему алгоритму:

1)Получение координат миссии



Рис.2. Схема взаимодействия блоков управления, распознавания и комплексирования с другими блоками программного комплекса

- 2) Взлет
- В цикле
- 3) Расчет направления движения до следующей точки
- 4) Поворот в заданном направлении
- 5) Расчет длины траектории
- 6) Движение в заданном направлении до следующей точки
- Конец цикла
- 7) Посадка

В реальных условиях возникает сложность реализации алгоритма из-за специфики летающих объектов, а именно наличие инерции при повороте и при остановке аппарата. Для компенсации этих процессов была предусмотрена корректировка положения аппарата.

Алгоритмы не требуют больших вычислительных мощностей, что позволяет использовать их на борту самого аппарата. Так совместная обработка данных датчиков и видео позволяет обеспечить точность позиционирования до 15 см по любой оси. Разработанные алгоритмы могут быть применены для любых моделей мультикоптеров.

Список литературы

[Vasil'ev et al., 2013] Vasil'ev K.K., Dement'ev V.E., Luchkov N.V., Analysis of Efficiency of Detecting Extended Signals on Multidimensional Grids // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2013. – Vol.23. No. 1 – pp. 1-10.

[Васильев, 2011] Васильев К.К., Разработка алгоритмов навигации автономного аппарата, «Интегрированные автоматизированные системы управления». – Ульяновск: ФНЦП ОАО «Марс, 2011, с.93-96».

[Ташлинский, 2011] Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей. – Ульяновск: издательство УлГТУ, 2000.

[Taslinskii, 2007] Taslinskii A.G. Pseudogradient Estimation of Digital Images Interframe Geometrical Deformations. // Vision Systems: Segmentation & Pattern Recognition. - Vienna, Austria: I-Tech Education and Publishing, 2007.

[Ташлинский и др., 2013] Ташлинский А.Г., Воронов С.В., Анализ целевых функций при рекуррентном оценивании межкадровых геометрических деформаций изображений. // Научно-технические проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2013. – Т. 14. – № 5.

[Дементьев и др., 2013] Дементьев В.Е., Воронов С.В. Применение алгоритмов цифровой обработки видеоизображений для управления автономным роботизированным аппаратом, Труды Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения «INTERMATIC– 2013», ч.4.