

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Семенова Л.Л.

Семенова Лариса Леонидовна - аспирант, старший преподаватель,
кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики,
Сургутский государственный университет, г. Сургут

Аннотация: основу навигационных систем беспилотных летательных аппаратов составляют приёмники глобальных систем спутниковой навигации (ГССН), комплексированные с блоком инерциальных датчиков пространственной ориентации. Присутствие сигналов ГССН является в настоящее время необходимым условием выполнения беспилотными летательными аппаратами поставленных задач. Отсутствие или намеренное подавление спутниковой системы навигации приводит к невозможности точно определить собственные координаты и, как следствие, выполнить полёт по заданному маршруту.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, глобальные системы спутниковой навигации, инерциальные системы, видеонавигация, фильтр Калмана, пеленгация.

УДК 623

При использовании на БПЛА инерциальной системы сверхнизкой точности (особенно на БПЛА ближнего действия) отсутствие корректирующих сигналов от ГССН может привести к «развалу» инерциальной системы и аварии БПЛА. Поэтому подавление ГССН рассматривается в качестве основного метода борьбы с БПЛА.

Применение высокоточных инерциальных навигационных систем также полностью не решает проблему по следующим причинам [3]:

- такие системы дороги (от 30-50 тыс. долларов);
- масса инерциальной системы «средней точности» на лазерных или волоконно-оптических гироскопах составляет от 8 кг, что делает проблематичным их использование на БПЛА малой и даже средней дальностей;
- принципиальным ограничением инерциальных навигационных систем является рост ошибки определения координат с течением времени автономной работы.

Таким образом, мы имеем типичное противоречие: методы, которые приводят к улучшению точности навигации, одновременно приводят к потере системой автономности и помехоустойчивости [2]. Это противоречие разрешается введением видеонавигации совместно с определением координат БПЛА по пеленгационным измерениям на наблюдаемый объект с известными координатами. Рассмотрим оба метода более подробно.

Видеонавигация

Для использования данного способа необходимо получение изображение местности камерой, затем его анализ бортовым компьютером и, исходя из этого анализа, находятся координаты и ориентация летательного аппарата. Эти методы аналогичны методам, используем человеком для ориентации в пространстве.

Производители беспилотных систем проводят исследования и разработки, направленные на обеспечение автономности применения БПЛА в условиях отсутствия сигналов спутниковой навигации на основе альтернативных источников данных. К таким данным относятся, прежде всего, видовая информация, поступающая с бортовых фото и видеокамер дневного и инфракрасного диапазонов, синтезированное изображение радара, данные цифрового рельефа местности, космические снимки, а также так называемые «сигналы природного происхождения»: вектору силы тяжести, магнитному полю Земли, положению светил. В частности, компания RockwellCollins, производящая аппаратуру навигации и управления полётом для БПЛА различных типов, объявила о завершении разработки Vision Augmented Inertial Navigation System (VAINS), в которой обеспечивается коррекция инерциальной системы по скорости и координатам от видеокамеры в отсутствие сигналов спутниковой навигационной системы [4].

В основу принципа положены 3 базовых способа:

1. Счисление пройденного пути на основе анализа потока видеоданных, поступающего с оптоэлектронных приборов наблюдения. В первом кадре видеопотока находятся характерные точки и далее происходит отслеживание их перемещения в кадре. По характеру перемещения программа определяет, как изменяется положение и ориентация самой камеры. Основным ограничением метода является возможность только относительного определения координат и ориентации, что может привести к росту ошибки навигации со временем. Также могут быть причины, приводящие к невозможности найти соответствующие пары точек на снимках: недостаточная освещенность, невозможность использования в

случае облачности, невозможность использования над гладкой поверхностью без характерных особых точек;

2. Метод точной привязки по рельефу по стереоэффекту, возникающему при движении камеры. Данный способ позволяет частично компенсировать недостатки первого метода. Используя перекрытие потока фото- видеоданных, восстанавливается рельеф, он сравнивается с заложенными в память данными, в случае «узнавания» определяются точные координаты и ориентация. Основное преимущество перед предыдущим методом – возможность найти не только относительное, но и абсолютное положение камеры, поскольку знание карты привязывает камеру к конкретным точкам на местности с известными абсолютными координатами. Это ведет к тому, что ошибка навигации не растет со временем. Основной недостаток метода - чувствительность к слишком большим ошибкам исходных координат камеры, полученных от инерционных навигационных приборов, которые метод должен затем уточнять. Также сохраняется и такой недостаток первого метода, как невозможность работы над водной или песчаной поверхностью и возникновение существенной ошибки в отсутствие явно выраженного рельефа;

3. Метод точной привязки по эталонным фотографиям - кадры видео сравниваются с заложенными в память изображениями участков маршрута, в случае «узнавания» определяются точные координаты и ориентация. Этот метод обеспечивает высокую точность определения абсолютных координат даже при отсутствии рельефа. Он также позволяет найти абсолютное положение камеры, даже когда ее примерные координаты вообще неизвестны. Это достигается путем сканирования всей базы данных со снимками местности и сравнения их с текущим снимком. Кроме того, имея «привязанный» снимок можно с высокой точностью определять координаты наземных объектов, обнаруженных оптико-электронной аппаратурой.

Определение координат БПЛА по пеленгационным измерениям на наблюдаемый объект с известными координатами

Ввиду отсутствия прямых измерений дальности до цели, возникает задача определения ее координат только на основе угловых измерений. Следующим этапом является привязка координат цели к карте местности, для чего необходимо точное определение положения самого БПЛА и в целом реализация метода одновременной локализации и картографирования [3, 5].

Известен целый ряд алгоритмов, используемых для локализации целей по пеленгу. Наиболее распространенный алгоритм использует расширенный фильтр Калмана или даже набор таких фильтров, соответствующих различным диапазонам дальности [1]. Применение специального рандомизированного тестового сигнала во входном канале дает возможность определить параметры объекта управления, когда рассматривается модель объекта с почти произвольными аддитивными помехами. Помехи могут быть не случайными, либо типа белого или коррелированного шума с нулевым средним или со смещением, отношение сигнал/шум может быть высоким или низким. Восстановление неизвестных значений параметров обеспечивается свойствами рандомизированных тестовых сигналов, которые добавляются в контуре управления к собственным сигналам адаптивного управления, поступающим от обратной связи. Возможно использование наиболее простого в реализации калмановского фильтра, использующего метод псевдоизмерений.

Этот метод оценивания сводится к рекуррентному решению системы линейных уравнений с шумами, зависящими от оцениваемых координат. Эта задача может быть приведена к задаче линейной калмановской фильтрации, решение которой дает несмещенные оценки координат целей и значения их ковариационной матрицы, которые пересчитываются рекуррентно аналогично стандартному фильтру Калмана. Наличие текущих оценок матрицы ковариаций позволяет сформулировать задачу планирования траектории БПЛА, обеспечивающей минимизацию ошибок оценивания координат в условиях ограниченных полетных ресурсов.

Для уточнения собственных координат БПЛА необходима привязка к каким-либо наземным ориентирам. Это может быть сеть радиолокационных вышек, пеленгующих положение БПЛА и сообщающих ему пеленг на определенной заранее фиксированной частоте, либо набор характерных элементов ландшафта с точно известными координатами, которые БПЛА распознает и определяет углы на элемент, относительно своего положения в пространстве. В обоих вариантах возможность позиционирования БПЛА сводится к задаче восстановления координат по пеленгационным измерениям.

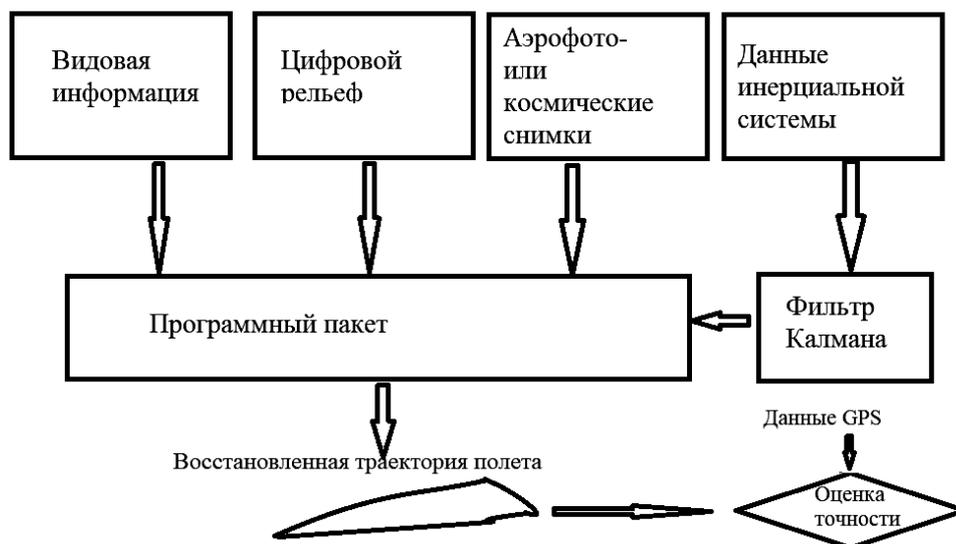


Рис. 1. Обобщенная схема навигации БПЛА

Важно отметить, что разработка математических основ указанных методов уже проведена, и их реализуемость математически обоснована и доказана. Предварительные оценки и компьютерное моделирование показывают, что применение методов определения координат объекта по видовой информации и цифровым геоанализом позволяет определять координаты местоположения с ошибкой не более 30 м независимо от времени. Наилучший результат даёт комплексное использование всех методов в сочетании с «традиционными» системами навигации, например, с инерциальной навигационной системой.

Список литературы

1. Амелин К., Миллер А. Алгоритм уточнения местонахождения легкого БПЛА на основе калмановской фильтрации измерений пеленгационного типа // Информационные процессы, 2013.
2. Копысов О.Э. Инерциальные навигационные системы: лекция. [Электронный ресурс], 2013. Режим доступа: http://olegkor.ucoz.com/InfIzmYstr/lekcija_22.pdf/ (дата обращения: 12.01.2018).
3. Купервассер О.Ю., Рубинштейн А.А. Система навигации беспилотных летательных аппаратов с помощью видео. [Электронный ресурс] // Методолог, 2012. 8 декабря. Режим доступа: <http://www.metodolog.ru/node/1570/> (дата обращения: 27.01.2018).
4. Монаков А.А. Теоретические основы радионавигации: Учеб. пособие/СПбГУАП. СПб., 2002. 70 с.
5. Петров В.Ф., Барунин А.А., Терентьев А.И. Модель системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2014. № 12-2.