

СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММЫ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА)

В.В. Ганченко, А.А. Дудкин, Е.Е. Марушко, Л.П. Поденок
Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук Беларуси»,
Минск, Беларусь

Представлена система формирования программы автономного полета (ПП) БПЛА самолетной схемы из входного набора узловых точек маршрута. ПП представляет собой последовательность команд траекторного управления БПЛА, а также функциональных команд, предназначенных для выполнения некоторого протяженного во времени и/или пространстве процесса, не связанного с траекторным управлением. ПП формируется с учетом основных динамических характеристик БПЛА, физических и конструкционных ограничений, а также аэродинамических характеристик планера.

Введение

Развитие БПЛА идет по пути повышения эффективности эксплуатации и, как следствие, современные БПЛА становятся дорогостоящими и специализированными [1]. Эта тенденция требует повышения безопасности полетов и оптимизации полетных заданий.

Основой полетного задания БПЛА является программа полета, которая представляет собой временную последовательность геопривязанных путевых точек, в каждой из которых помимо геодезических координат (долгота, широта, высота), задаются время ее прохождения, параметры полета (режим, скорость, допустимые траекторные и временные отклонения), функциональная нагрузка (сброс груза, фото и видеосъемка, доставка тепла и света) и прочее.

Критерием качества полетного задания является оценка точности его выполнения, в первую очередь, точности выполнения программы полета (прохождения всех путевых точек и участков между ними, а также исполнения функциональных событий) с минимальным траекторным и временным отклонениями в условиях возмущенной атмосферы (ветер, турбулентность).

В случае пилотируемой авиации пилот является частью управляющей системы (УС) и в динамическом режиме с необходимым упреждением эффективно решает существенно нелинейные задачи управления, выбирая моменты и параметры исполнения маневров и активации событий, реализующих предписанную программу полетного задания согласно заданным критериям качества. Этот выбор, как правило, осуществляется на основе теоретических знаний и опыта пилота.

В случае БПЛА более надежным и эффективным является делать такой выбор на Земле и формировать куда более детальную ПП, чем те, которые используются в пилотируемой авиации. С этой целью применяются методы имитационного моделирования маневров с учетом аэродинамики БПЛА, его динамических свойств и возможностей УС, а также прогнозируемых на момент исполнения ПП метеоусловий. ПП, составленные без учета вышеназванных факторов зачастую не могут быть выполнены с заданной траекторной и временной точностью, что создает определенные сложности при решении групповых задач.

Автономный полет БПЛА по программе характеризуется тем, что основные навигационные измерения, необходимые для траекторного управления, осуществляются исключительно по геофизическим полям. В качестве источника таких измерений обычно выступает инерциальная навигационная система (ИНС). В зависимости от требований к точности траекторного управления и характеристик ИНС в ряде случаев осуществляется периодическая корректировка положения собственной системы координат ИНС по результатам внешних навигационных измерений.

Чаще всего под программой полета имеют в виду просто последовательность узловых точек маршрута (УТМ), в которых БПЛА изменяет курс, высоту или инициирует те или иные события. В рамках настоящей работы под программой автономного полета понимается последовательность команд траекторного управления и функциональных команд, предназначенных для выполнения некоторого протяженного во времени и/или пространстве процесса, не связанного с траекторным управлением (далее — путевые точки). Последовательность путевых точек (ПТ) дополняет множество УТМ. В них изменяются состояния актуаторов, что приводит к выполнению той или иной фазы маневра. Последовательность таких ПТ и составляет суть программы [автономного] полета.

1. Формирование ПП

Предполагается, что БПЛА выполнен по классической самолетной схеме [2] и включает следующие аэродинамические элементы управления (актуаторы) — руль высоты (стабилизатор), руль направления, элероны, двигательная установка и интерцептор (используется в модели для расширения диапазона углов снижения с постоянной скоростью).

Траекторное движение рассматривается как последовательность элементарных движений и маневров, выполняемых отдельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В результате траектория ПП состоит из участков прямолинейного движения (вдоль ортодромии) под углом к горизонту в вертикальной плоскости и координированных разворотов в горизонтальной. Исходные данные для формирования ПП представляют собой последовательность УТМ, которая формируется вне рассматриваемой системы (рисунок 1).

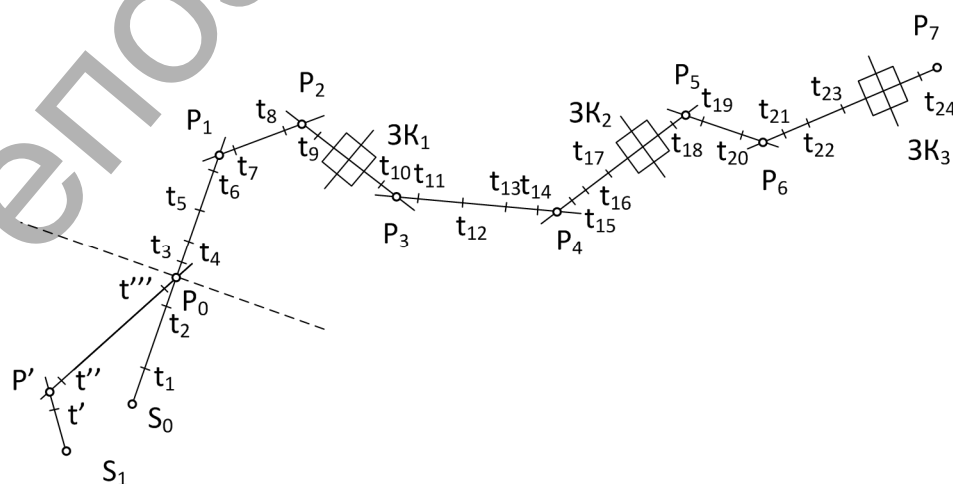


Рисунок 1 – Последовательность узловых точек маршрута

Каждая УТМ характеризуется типом, положением в выбранной геодезической системе координат и скоростью. Узловые точки делятся на три класса — точки изменения вертикального режима полета (ВУТ), отмеченные на рисунке как t_k , точки разворотов (УТР), отмеченные на рисунке как P_k , и узловые точки событий (УТС), отмеченные на рисунке как ZK_k . Между УТР БПЛА движется по ортодромии, вдоль которой в произвольном порядке и располагаются все ВУТ и УТС.

Сформированная ПП представляет собой последовательность ПТ. ПТ смены режима полета (ПТР) формируются из УТР и ВУТ с учетом динамических характеристик и УС БПЛА. ПТ событий (ПТС) формируются из УТС с учетом временных и пространственных требований.

Каждой УТР соответствует аэродинамический маневр координированного разворота в горизонтальной плоскости, состоящий из конечных по времени фаз входа, исполнения и выхода, для которых в ПП формируются соответствующие ПТ, а также ПТ выхода на новую ортодромию.

Каждой ВУТ соответствует аэродинамический маневр изменения угла наклона траектории, состоящий из фаз начала и завершения, для которых формируются соответствующие ПТ, а также ПТ начала нового вертикального режима.

Каждой УТС соответствует выполнение некоторого протяженного во времени и/или пространстве процесса, не связанного с изменением режима движения. Для такой УТС формируется комплементарная пара путевых точек начала и завершения события.

Расчет положения ПП и режимов полета в процессе выполнения маневров выполняется на основе динамической модели (ДМ) БПЛА, которая включает ДМ продольного движения, ДМ вращения вокруг продольной оси, ДМ балансировки, выработку топлива, а также ДМ УС. На рисунке 2 представлена схема выполнения вертикального маневра «снижение — набор высоты».

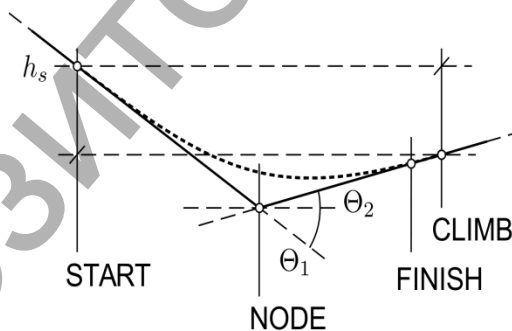


Рисунок 2 – Схема выполнения вертикального маневра

NODE — узловая точка маршрута. START — начало маневра. Для этой ПТ рассчитываются необходимые установки руля высоты и тяги для выполнения наиболее «компактного» в вертикальной плоскости маневра, допустимого ограничениями на прочность крыла. FINISH — завершение маневра, обеспечивающее выход на прямую с заданным углом наклона траектории Θ_2 . CLIMB — точка начала участка набора высоты. В связи с тем, что предельные углы контролируемого снижения ограничиваются аэродинамическим качеством ЛА (чем оно выше, тем углы снижения меньше), с целью расширения диапазона углов снижения в модель для повышения коэффициента лобового сопротивления введен интерцептор.

На рисунке 3 представлена схема выполнения горизонтального маневра. Путьевая точка TURN_START определяет начало маневра. Маневр начинается с отклонения элеронов, что вызывает начало вращения. Отклонение элеронов в обратную сторону останавливает вращение, при этом угол крена устанавливается в положении TURN_WP, которое необходимо для выполнения координированного разворота с заданным радиусом. TURN_FINISH определяет завершение координированного разворота и выход БПЛА в режим прямолинейного горизонтального полета (CRUISE_WP). Расположение путевых точек определяется исходя из динамики угловой скорости вращения и крена.

Разворот на малый угол характеризуется тем, что половина времени его выполнения оказывается меньше, чем время выхода в координированный разворот, и участок дуги постоянного крена отсутствует. В этом случае разворот выполняется переключением ортодромии в точке начала малого разворота, в результате которого разворот будет выполнен управляющей системой, как реакция на боковое отклонение и отклонение по курсу для новой ортодромии. Положение точки начала малого разворота устанавливается исходя из равенства влияния бокового отклонения и отклонения по курсу на отклонение элеронов.

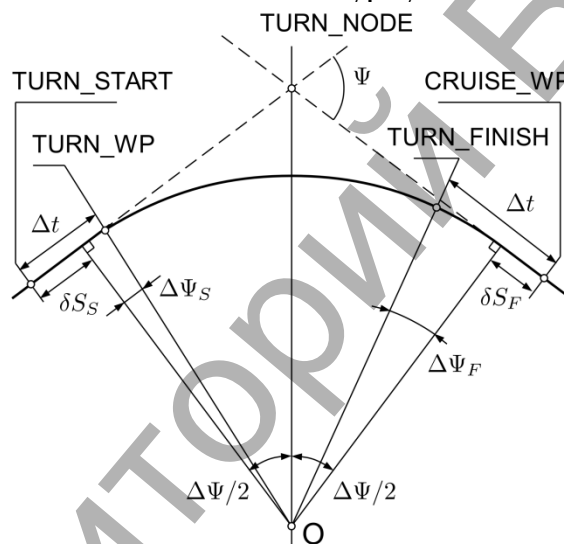


Рисунок 3 – Схема выполнения горизонтального маневра

2. Верификация перечня узловых точек маршрута

Первая фаза верификации выполняется на стадии формирования ПП из перечня УТМ. Контролируются следующие параметры:

- углы подъема и снижения;
- расстояния между узловыми точками;
- возможность выйти на режим прямолинейного горизонтального полета к моменту начала навигационных измерений в зоне коррекции;
- возможность скорректировать траекторию после коррекции ИНС по результатам навигационных измерений до выхода на очередную ПТ;
- достижимость цели по запасу топлива.

Список литературы

1. Kenzo Nonami, et al. Autonomous Flying Robots. Springer 2010. ISBN 978-4-431-53855-4. – 329 P.
2. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета БПЛА. – М.: «Машиностроение», 1973. – 616 С.