

Рис. 3. Автопилот для управления боковым движением с помощью последовательного замыкания контура обратной связи

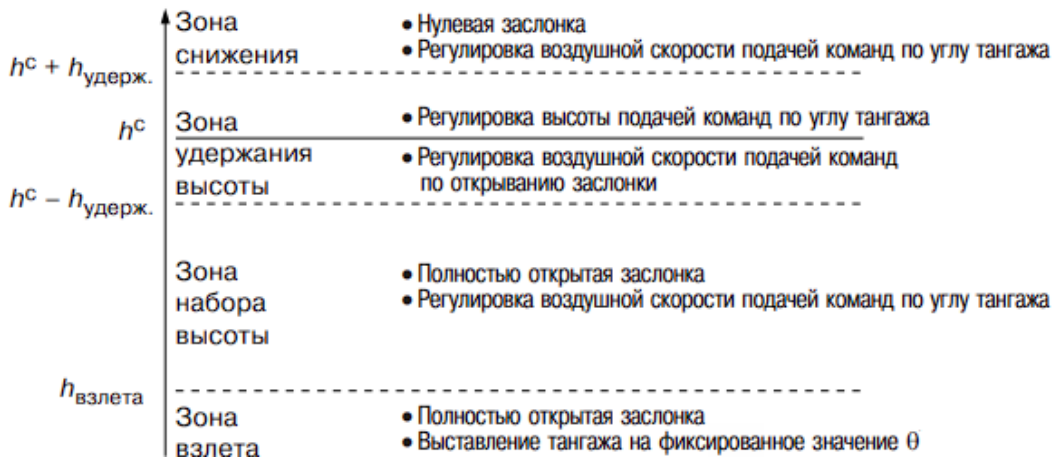


Рис. 4. Режимы полета для автопилота продольного движения

В случае с внутренними контурами обратной связи, можно выбрать собственную частоту и затухание внешнего контура и по этим величинам рассчитать коэффициенты усиления обратной связи k_p и k_i .

Литература

1. Распопов, В. Я. Микросистемная авионика / В. Я. Распопов. – Тула : Гриф и К, 2010. – 248 с.
2. Северцев, Н. А. Исследование операций: принципы принятия решений и обеспечение безопасности / Н. А. Северцев, А. Н. Катулев. – Тверь, 1999. – 310 с.

НАВИГАЦИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОСИСТЕМЫ

Д. Д. Лашкевич, В. В. Мельченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Брель

Предложен алгоритм навигации беспилотного летательного аппарат, оснащенного как традиционным оборудованием, включающим в себя автопилот и бесплатформенную инерциальную навигационную систему, так и бортовым вычислителем и видеокамерой,

расположенной на гиростабилизированной платформе. Алгоритм предназначен для решения задачи возвращения летательного аппарата в начальную точку полета в автономном режиме без использования сигналов внешних навигационных систем во время полета в точку старта. Идея алгоритма заключается в сравнении каждого текущего кадра, снятого при возвращении домой, с кадрами, снятыми во время полета от исходной точки в заданную точку или точку возвращения.

Ключевые слова: БПЛА, автономный полет, навигация, бортовая видеокамера.

В последнее время появилось множество автономных мобильных роботов, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Необходимым условием для функционирования такого рода аппаратов является определение их положения в пространстве. Основным средством глобальной навигации современных БПЛА являются спутниковые системы типа GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BEIDOU, однако системы могут оказаться недостаточно надежными для некоторых задач.

При конструировании БПЛА оборонного назначения наличие систем точного автономного позиционирования аппарата является жизненно необходимым, так как сигналы со спутников навигации легко поддаются блокировке или подмене. Дублирующие системы контроля положения БПЛА оборонного и гражданского назначения также позволят избежать последствий террористических информационных атак.

В работе рассматривается подход к решению задачи точного позиционирования в условиях отсутствия глобальной навигации на основе изображений, получаемых с бортовой видеокамеры БПЛА.

Беспилотный летательный аппарат представляет собой квадрокоптер, который может быстро менять свою траекторию – двигаться практически в любом направлении без необходимости выполнять дополнительные маневры.

Обозначим через I_t последовательность сохраненных частично перекрывающихся кадров, полученных при движении БПЛА по заданной траектории от исходной точки до точки, в которой возникла необходимость применить алгоритм автономной навигации (например, до точки, в которой пропал внешний навигационный сигнал), а кадры, полученные при возвращении в исходную точку, – через J_τ . Степень перекрытия сохраненных соседних кадров I_t , которые используются для навигации, зависит от качества видеопоследовательности, свойств ландшафта, над которым пролетал аппарат, и объема памяти бортового запоминающего устройства. Нетрудно убедиться в том, что для запоминания маршрута длиной около сотни километров перекрывающихся кадров достаточно нескольких гигабайт памяти, поэтому для хранения кадров достаточно иметь обычный малоразмерный флэш-накопитель.

Будем называть номера кадров t , τ еще и дискретным временем, считая, что БПЛА летел по заданной траектории до момента времени t_0 , а с момента времени $t_0 + 1$ он начал полет в автономном режиме так, что $t \leq t_0 < \tau$, и предполагать, что размер кадров I_t , J_τ равен $m \times n$ (камера упомянутого квадрокоптера, приведенного для примера, имеет разрешения 1280×720 и 1920×1080 пикселей).

В предлагаемом алгоритме навигации БПЛА (предназначенном для возвращения в исходную точку без корректирующих навигационных сигналов), в отличие от большинства известных, не обязательно оценивать его координаты в какой-либо неподвижной глобальной системе координат или «интегрировать» траекторию на основе ее локальных характеристик (обычно, скорости и ускорения), так как такие

интегральные оценки, как правило, вычисляются с заметными погрешностями. Вместо этого предлагается оценивать координаты аппарата по его расположению относительно кадров I_t видео, снятого при полете по заданной траектории от исходной точки до момента времени t_0 . В таком случае не нужно производить какие-либо геометрические преобразования кадров I_t или строить мозаику путем их сшивки, что является плюсом алгоритма из-за заметного снижения нагрузки на бортовой вычислитель и уменьшения влияния геометрических искажений.

Упомянутые принципы навигации аналогичны принципам ориентирования на местности человека и животных, которые не хранят в памяти траекторию движения в виде цифровой кривой или последовательности координат, а вместо этого оценивают свое местоположение и направление движения на основе окружающей их в данный момент обстановки. Люди и животные находят знакомые им особенности окружающей их сцены и двигаются в направлении ближайших известных им особенностей, характеризующих выбранный маршрут.

Применяемые в настоящее время бортовые камеры имеют угол зрения, равный примерно 90° , поэтому можно считать, что радиус реальной сцены, наблюдаемой камерой, равен высоте. Камера БПЛА, находящегося на высоте 100 метров, видит область ландшафта диаметром около 200 метров. На большей высоте область местности, наблюдаемой камерой, будет еще больше, поэтому далее для навигации будет использоваться центральная часть кадра J_τ в виде круга или квадрата, которая будет обозначаться W_τ (рис. 1).



Рис. 1. Кадр, снятый при возвращении беспилотного летательного аппарата в начальную точку

В силу сделанных упрощающих предположений в момент времени $t_0 + 1$ (потери внешнего навигационного сигнала) аппарат находится над областью местности, большая часть которой присутствует на нескольких кадрах $I_t, I_{t_0}, I_{t_0-1}, \dots, I_{t_0-k}$.

Для перехода в режим автономной навигации обычно используется один из двух маневров: либо аппарат поднимается вверх, либо опускается вниз. Каждый из предлагаемых маневров имеет свои преимущества и недостатки. После подъема аппарата вверх его камера видит большую территорию, следовательно, больше информации может быть использовано для оценки его положения относительно одного из кадров $I_t, I_{t_0}, I_{t_0-1}, \dots, I_{t_0-k}$. Однако на большей высоте полет может стать неустойчивым из-за усиления движения воздуха. Если опустить аппарат ниже, на кадрах бортовой видеокамеры будет отображаться меньшая территория, но в этом случае изображение

наблюдаемой в текущий момент времени местности, лежащей под БПЛА, будет расположено, по крайней мере, внутри части кадров $I_t, I_{t_0}, I_{t_0-1}, \dots, I_{t_0-k}$.

Далее будет предполагаться, что БПЛА в момент времени t_0 опустится до некоторой допустимой высоты h_{t_0+1} (например, до половины или трети высоты h_{t_0}).

Входными данными алгоритма являются:

- последовательность перекрывающихся кадров $I_1, \dots, I_t, \dots, I_{t_0}$, снятых бортовой камерой при полете по заданной траектории;
- последовательность высот H_{t_0+1} , на которых были сделаны кадры;
- текущий кадр J_τ .

Работа алгоритма начинается в момент дискретного времени $t_0 + 1$ с оценки положения аппарата по нескольким последним кадрам $I_t, I_{t_0}, I_{t_0-1}, \dots, I_{t_0-k}$, снятым при полете по заданной траектории (рис. 2). На указанной последовательности кадров вычисляется область U_{t_0+1} , ($U_{t_0+1} \in I_t, t_0 - k \leq t \leq t_0$) наибольшего соответствия локальной центральной области W_{t_0+1} кадра J_{t_0+1} , лежащего непосредственно под БПЛА в текущий момент времени. Поиск области наибольшего соответствия осуществляется на заранее заданном расстоянии от границ кадров I_t для того, чтобы избежать ошибок, связанных с возможными граничными эффектами. Для поиска соответствия между областями кадров и W_τ могут использоваться разные методы, в том числе корреляционные или основанные на сравнении характерных точек (key points). Вычислительные эксперименты с реальными видеоследовательностями, снятыми с борта БПЛА, показали применимость тех и других методов.

После нахождения области U_{t_0+1} , принадлежащей одному из кадров $I_t \in I_{t_0}, I_{t_0-1}, \dots, I_{t_0-k}$, наиболее близкой к W_{t_0+1} , проверяется гипотеза о реальном их соответствии. Это можно сделать, например, на основе коэффициента корреляции или путем сравнения характерных признаков.

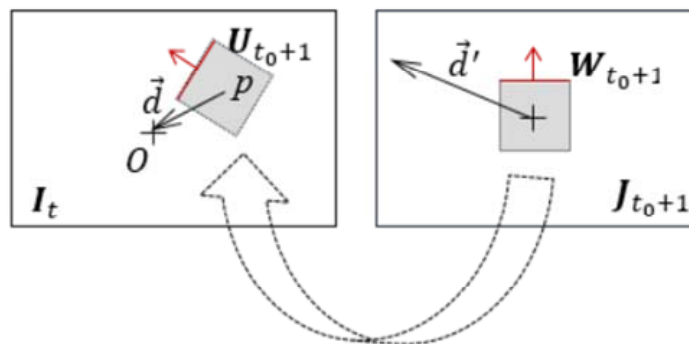


Рис. 2. Первые шаги работы алгоритма

Далее вычисляется вектор $\vec{d} = (dx, dy)$, начинающийся в пикселе p изображения I_t , который соответствует середине найденной области U_{t_0+1} , и оканчивающийся в середине этого изображения O . Полученный вектор преобразуется с помощью масштабирования и порота в вектор $\vec{\Delta}$ реального перемещения БПЛА для его движения в точку местности, соответствующую центру кадра I_t . Длина вектора $\vec{\Delta}$ равна

$\frac{|\vec{d}|}{f} H_{t_{0+1}}$, где f – фокусное расстояние камеры, а его направление выражается через

угол рысканья дрона, который равен углу между вектором \vec{d} и вектором курса дрона относительно кадра I_t .

Таким образом, во всех проведенных вычислительных экспериментах виртуальный квадрокоптер вернулся в исходную точку, при этом погрешность оценки его траектории полета не превосходила одного-двух пикселей, что в пересчете в метрические единицы в худшем случае дает 2–4 м.

Л и т е р а т у р а

1. Бесспутниковая навигация БПЛА : науч.-техн. дайджест. – М-во обороны Рос. Федерации, 2012. – 22 с.
2. Тищенко, И. П. Разработка системы моделирования автономного полета беспилотного летательного аппарата / И. П. Тищенко, Д. Н. Степанов, В. П. Фраленко // Програм. продукты и системы. – 2012. – № 3 (12). – С. 3–21.
3. Степанов, Д. Н. Методы и алгоритмы определения положения и ориентации беспилотного летательного аппарата с применением бортовых видеокамер / Д. Н. Степанов // Програм. продукты и системы. – 2014. – № 1 (105). – С. 150–157.

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

К. В. Мороз, М. В. Зайченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Брель

Описан алгоритм предполетного планирования траектории движения беспилотного летательного аппарата средствами бортовой системы управления с учетом изменения динамических характеристик летательного аппарата вследствие уменьшения запасов топлива и массы полезной нагрузки, а также параметров полета в точке сброса груза. Алгоритм отличается от аналогов повышенной точностью и более низкой вычислительной трудоемкостью расчета баллистико-навигационных задач.

Ключевые слова: БПЛА, баллистико-навигационное обеспечение, планирование траектории, траектория движения.

Использование беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертолетного типа при проведении поисково-спасательных операций в условиях высоких широт и других трудно доступных территорий позволяет повысить эффективность поисковых работ. Трудности обеспечения планирования траектории движения БПЛА связаны в том числе с тем, что в существующих методах глобального (предполетного) и локального (в полете) планирования траектории движения БПЛА переменной массы используются приближенные значения численных методов математического моделирования динамических свойств летательного аппарата, которые не всегда дают необходимую точность и зависят от мощности бортовых вычислителей с точки зрения скорости вычислений в реальном времени. В ходе предполетной подготовки спасательной операции средствами бортовой системы управления БПЛА с встроенной упрощенной динамической моделью летательного аппарата, представленной в виде однородного обыкновенного дифференциального уравнения n -го порядка (системы n управлений первого порядка)