Прототип алгоритма посадки беспилотного летательного аппарата в условиях сложного рельефа

Landing algorithm prototype for an unmanned aerial vehicle in complex terrain

Чжао Лэй
(zl_2321.student@mail.ru)
ФГАОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (НИУ ИТМО),
аспирант кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Карманов / Karmanov A.
Андрей Геннадиевич
(karmanov.nip@gmail.com)
кандидат технических наук, доцент.
НИУ ИТМО,
доцент кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Конев / Konev A.
Анатолий Сергеевич
(texchip@gmail.com)
НИУ ИТМО,
магистрант кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат – unmanned aerial vehicle; мультикоптер – multicopter; автоматическая навигация – automatic navigation; автоматическая посадка – autolanding; визуализация рельефа – terrain rendering.

В данной статье обобщены сведения о проблемах оцифровки рельефа местности и решения сложных навигационных задач. Описывается разработанный прототип алгоритма посадки мультикоптера в условиях сложного рельефа местности. При использовании на борту БПЛА он способен произвести анализ местности, выбрать оптимальную зону для посадки летательного аппарата и рассчитать оптимальный путь, учитывая техническое состояние устройства.

The article considers problems of terrain digitization and complex navigation challenges solution. Landing algorithm prototype for a multicopter in complex terrain is described. When using onboard the UAV it is capable to make the terrain analysis, to choose an optimum landing zone and to calculate an optimum way, considering device technical condition.

Введение

В последние годы большое распространение получили летательные аппараты мультироторного типа (мультикоптеры). Устройства используются в различных сферах человеческой деятельности от фотосъемки объектов с воздуха до проведения поисковых, спасательных операций [1]. Качество кадров, полученных в процессе съемки, позволяет увидеть реалистичную картину объекта, что упрощает работу во время инженерных мероприятий, археологических раскопок древних поселений или создания топографических карт [2]. Как правило, мультикоптеры обладают массой от 0,35 кг до 4 кг, при этом рекомендованная масса поднимаемого груз колеблется от 0,5 кг до 2–3 кг. Скорость движения мультикопетера может быть от нулевой (зависание в воздухе) до 110 км/ч (в некоторых моделях) [3].

Постановка задачи

Беспилотные летательные аппараты активно используются для изучения горной местности, например при исследовании участков возможного схода лавин; они позволяют специалистам оперативно собрать информацию о характере опасности и принять соответствующие меры. Мультикоптеры незаменимы при съемках горного рельефа, где доступ человека ограничен или вовсе невозможен. В рамках настоящей статьи рассмотрим разработанный прототип алгоритма посадки мультикоптера в условиях горной местности при наступлении аварийной ситуации, например при потере связи с центром управления или при захвате управления, при наступлении другого аварийного случая (низкий уровень заряда батареи и невозможность выполнения заданного ранее маршрута). Предлагаемый прототип алгоритма, при соответствующей адап-

тации на борту ЛА, способен провести анализ местности, выбрать оптимальную зону для посадки летательного аппарата и рассчитать оптимальный путь.

Похожие работы и исследования

В ходе исследований были изучены статьи по схожим тематикам. Особый интерес представляет статья [4]. Эффективный алгоритм построения триангуляции с сильными ограничениями обеспечивает получение кондиционной цифровой модели рельефа в автоматическом режиме, что немаловажно для построения ортофотопланов местности на основе космо- и аэроснимков. Отдельного внимания заслуживает статья [5]. Авторами предложены оригинальные алгоритмы предварительной обработки структурных линий рельефа, полученных на основе методов дистанционного зондирования, позволяющие получать визуально гладкие линии с минимальным числом колебаний и узловых точек и сохраняющие топологическую корректность набора линий, что позволяет избежать ошибок при построении цифровой модели рельефа.

Реализация и тестирование алгоритма

Разработанный прототип алгоритма представляет собой вычислительный алгоритм, основанный, в основном, на линейной алгебре и матричных вычислениях, производящий операции над координатами летательного аппарата. Входными данными алгоритма является двумерный массив относительных высот рельефа предполагаемой зоны полёта, а также параметры траектории летательного аппарата, такие как текущая координата (широта, долгота, высота либо декартовы координаты относительно предполагаемой области полёта), габаритные размеры летательного аппарата и радиус, ограничивающий рассчитанное место посадки. Выходными данными алгоритма является посадочная кривая, представленная массивом трёхмерных координат. Ход вычислений представлен на рис. 1.

Построенная трёхмерная модель рельефа представляет собой массив треугольных плоскостей с координатами, рассчитанными на основании входного массива относительных высот. Для каждых соседних четырёх ячеек входного массива, представляющих собой квадрат, рассчитываются две треугольные плоскости как минимальное число треугольников, отражающих четыре координаты в декартовом пространстве. На основании текущей координаты летательного аппарата и найденной координаты посадки рассчитывается уравнение плоскости посадки, которая перпендикулярна горизонтальной плоскости. Соответственно, для выведения канонического уравнения плоскости (1) по трём точкам достаточно к двум известным координатам (текущая координата аппарата и вычисленная координата посадки) добавить проекцию одной из координат на горизонтальную плоскость.

$$A_x+B_y+C_z+D=0 \qquad (1)$$

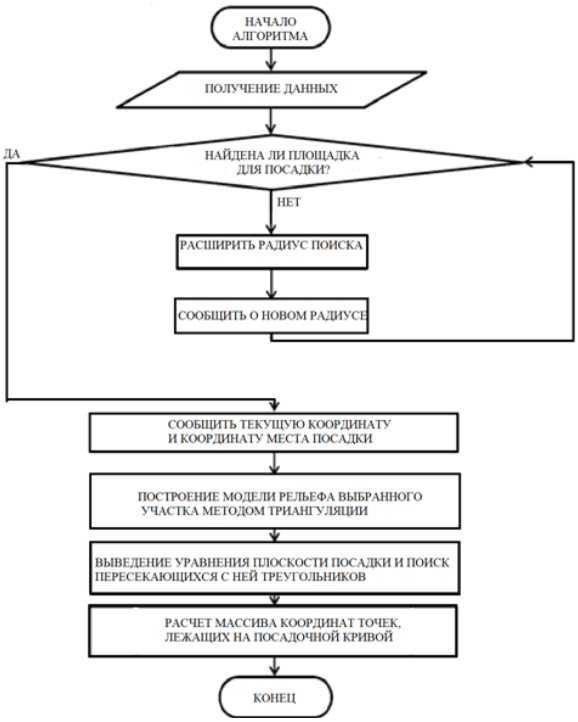

Рис. 1. Алгоритм расчета посадочной кривой

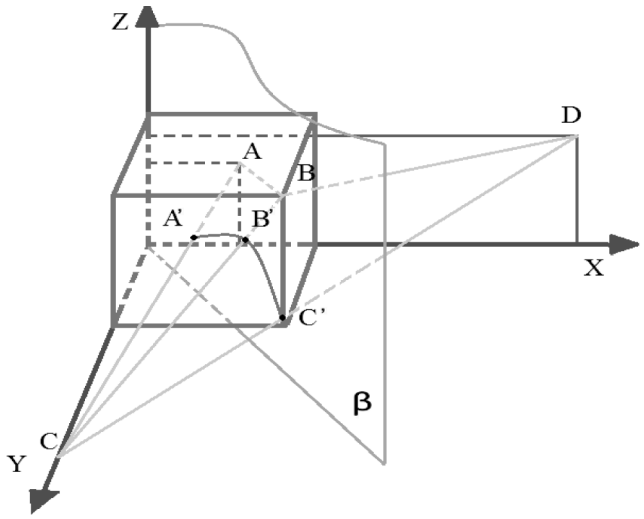

Рис. 2. График, формирующий кинематическую траекторию посадки БПЛА

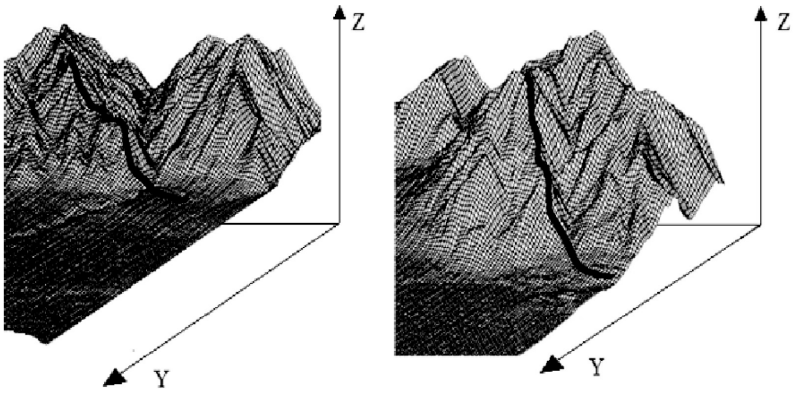

Рис. 3 Визуализация работы алгоритма для двух различных рельефов

Далее, когда построена трёхмерная модель рельефа и найдено уравнение плоскости посадки, несложно перейти к расчету массива координат посадочной кривой. Поскольку модель рельефа представляет собой массив плоскостей, заданных треугольником, а каждый треугольник состоит из трёх отрезков, на основании координат начала и конца отрезков с помощью выражений (2) возможно получить уравнения прямых (3), которым принадлежит каждый из отрезков, пересекающихся с посадочной плоскостью.

$$k=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1};\ b=\frac{y_1(x_2-x_1)-x_1(y_2-y_1)}{x_2-x_1} \quad (2)$$

$$y=kx+b \quad (3)$$

Затем методами линейной алгебры возможно найти точки пересечения каждой из прямых с плоскостью посадки (рис. 2). Найденные точки, с учётом габаритов летательного аппарата и некоторого запаса по высоте, и будут являться точками, лежащими на посадочной кривой.

В рамках тестирования реализованного прототипа алгоритма был разработан инструмент для визуализации хода решения. Инструмент, написанный на JavaScript, производит вычисления по алгоритму на основании входных данных и путём преобразования (4) представляет результат вычислений в виде наглядного аксонометрического изображения (рис. 3), полученного путём проекционных преобразований в ходе расчета. Визуализация работы алгоритма показала, что результатом выполнения алгоритма является кривая, отстоящая на некоторый интервал от профиля рельефа в плоскости посадки, что и требовалось получить в ходе работы алгоритма.

$$3D(x,y,z)\rightarrow 2D(x+\frac{z}{2},\ y+\frac{z}{3}) \quad (4)$$

Заключение и дальнейшие исследования

В ходе исследования был разработан и протестирован прототип алгоритма посадки мультикоптера в условиях сложной горной местности. В работе не рассматривалась физика полета устройства и другие программно-технические характеристики, что не позволяет окончательно внедрить прототип на использование в устройстве. Но полученный результат, описанный в рамках текущей статьи, позволяет создать действующий алгоритм, опираясь на исследования, проведенные в данной работе.

Литература

1. Воронков, Ю. С. Летательный аппарат для доставки спасательных средств / Ю.С. Воронков // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 1. – С. 15–18.

2. Рубин, Д. Т. Разработка квадрокоптеров со специальными свойствами для проведения разведывательных операций / Д.Т. Рубин, В.Н. Конев, А.В. Стариковский // Спецтехника и связь. – 2012. – № 1. – С. 28–30.

3. Алешин, Б. С. Обеспечение безопасности полетов беспилотных авиационных систем в едином воздушном пространстве / Б.С. Алешин, В.Л. Суханов, В.М. Шибаев // Ученые записки ЦАГИ. – 2011. – № 6. – Т. 42. – С. 73–82.

4. Костюк, Ю.Л. Построение цифровой модели рельефа местности на основе структурных линий и высотных отметок / Ю.Л. Костюк, А.Л. Фукс // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 280. – С. 286–289.

5. Костюк, Ю.Л. Предварительная обработка исходных данных для построения цифровой модели рельефа местности / Ю.Л. Костюк, А.Л. Фукс // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 280. – С. 281–285.