

УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ AR.DRONE ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ С ОБХОДОМ ПРЕПЯТСТВИЙ

С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев,
М.Н. Филиппов, А.П. Ян

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Коптюга 1, Россия
kotov@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: *испытательный стенд, сервопривод, идентификация*

Abstract

This paper describes the method of trajectory control quadcopter motion while avoiding obstacles. The results of modeling with quadcopter AR. Drone control system confirm efficiency of the proposed algorithm.

Введение

При перемещении робота в заранее неизвестной или сложной среде осуществляется непрерывное планирование и построение траектории движения [1]. Удобным в этом случае является задание траектории опорными точками и дальнейшее представление траектории в параметрическом виде [2]. В случае необходимости соблюдения требований ограниченности производных по времени координат целевого положения или гладкости вырабатываемых управляющих воздействий используются различные методы интерполяции желаемой траектории, например, аппарат сплайнов [3].

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к управлению компактными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) мультироторных конфигураций, что объясняется простотой и гибкостью конструкции, надежностью и управляемостью таких аппаратов [4].

Данная работа посвящена траекторному управлению квадроспиральным БПЛА (далее квадрокоптером) с одновременным обходом препятствий. Для управления квадрокоптером мы используем разработанный нами и успешно примененный в ряде приложений метод организации вынужденного движения по желаемой траектории в пространстве состояний объекта [5],[6]. В данной работе представлен простой алгоритм перепланирования желаемой траектории при обходе препятствий. Алгоритм основан на широко используемом аппарате В-сплайнов [7], [8].

1 Описание объекта и алгоритма управления

В качестве объекта управления используется квадрокоптер AR.Drone, разработанный компанией Parrot (Франция) и построенный по классической четырехвинтовой схеме. Выбор этого устройства в качестве платформы для экспериментов обусловлен приемлемым соотношением цена – технические характеристики, а также полноценной программной поддержкой со стороны производителя и пользователей.

Аппарат AR.Drone обладает собственной многоконтурной системой управления, обеспечивающей движение аппарата с заданной "пилотом" ориентацией $\psi_{ref}, \phi_{ref}, \theta_{ref}$. Стабилизация по высоте выполняется посредством подачи команды на изменение вертикальной скорости \dot{z}_{ref} [9]. Положение квадрокоптера в пространстве характеризуется координатами x, y, z

центра масс аппарата в неподвижной декартовой системе координат и тремя углами поворота вокруг осей связанной системы координат.

По причине того, что управление \dot{z}_{ref} по высоте аппарата всегда направлено вдоль оси z , движение аппарата может быть рассмотрено в виде проекции траектории движения на плоскость (x,y) [9]. Упрощенные уравнения динамики, описывающие движение квадрокоптера в координатах (x,y) имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} = c_1 \cdot (\cos \psi \cdot \sin \phi \cdot \cos \theta - \sin \psi \cdot \sin \theta) - c_2 \cdot \dot{x}; \\ \ddot{y} = c_1 \cdot (\sin \psi \cdot \sin \phi \cdot \cos \theta - \cos \psi \cdot \sin \theta) - c_2 \cdot \dot{y}. \end{cases}$$

Здесь c_1, c_2 – постоянные коэффициенты, определенные экспериментально. Точками над знаками переменных обозначаются производные по времени.

В работе [10] предложена методика определения управляющих параметров и углов ориентации аппарата $\psi_{ref}, \phi_{ref}, \theta_{ref}$, гарантирующих движение квадрокоптера по траектории, определяемой уравнением:

$$l(x(t) - x_0(t), y(t) - y_0(t)) = 0$$

со скоростью

$$v = [\dot{x}, \dot{y}] = v_{ref}(x, y) = [\dot{x}_{ref}, \dot{y}_{ref}]$$

Здесь функция l определяет величину отклонения аппарата от целевого положения $(x_0(t), y_0(t))$.

Для параметрического и гладкого представления траектории используется алгоритм сглаживания N -мерной пространственной кривой однородными B -сплайнами [11]. Следует отметить, что данный алгоритм позволяет использовать сплайны со степенью выше 3, что обеспечивает гладкость первой и второй производных. По причине отсутствия возможности задания извне для данного алгоритма граничных условий на значения производных, необходимо дополнительно управление скоростью объекта. Для этого воспользуемся параметризацией полученной траектории по времени:

$$x_0(\gamma(t)) = X(\gamma(t)); y_0(\gamma(t)) = Y(\gamma(t)).$$

Здесь $\gamma(t)$ – некоторый параметр. С учетом (4) запишем

$$|v_0| = \sqrt{\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2} = \dot{\gamma} \sqrt{X_\gamma^2 + Y_\gamma^2},$$

где X_γ, Y_γ соответствующие частные производные.

Закон управления, предложенный в [12], определяет динамику параметризованного целевого положения $(x_0(\gamma(t)), y_0(\gamma(t)))$ следующим образом:

$$\dot{\gamma} = \frac{v_{nom} \exp(-\alpha p)}{\sqrt{X_\gamma^2 + Y_\gamma^2}},$$

где $v_{nom} > 0$ – предписанная скорость движения целевой точки, $p = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$, $\alpha > 0$.

2 Алгоритм обхода препятствий

Будем полагать, что мобильный робот оборудован системой получения дальнометрической информации, позволяющей обнаруживать специальные ориентиры на местности. Такие системы могут быть представлены ультразвуковыми датчиками, 2D и 3D лазерными сканерами, а также видеокамерами. Для выделения элементов местности будем использовать геометрические примитивы – линии и применим алгоритм RANSAC [13].

Для возможности моделирования задачи обнаружения препятствия разработан программный модуль, имитирующий работу лазерного сканера в 2D плоскости. Положение ска-

нера определялось положением модели (1), имитирующей движение реального робота согласно алгоритму управления, изложенному в работе [14].

После обнаружения пересечения предписанной траектории **AB** движения с препятствием, выполнялось добавление новых опорных точек и перестроение сплайна. Добавление опорной точки **C** может выполняться согласно правилу обхода видимого препятствия с одной стороны относительно направления движения робота, например правой, при этом опорная точка может быть выбрана как точка касания окружности заданного радиуса с центром на правом краю препятствия и линии проведенной из текущего положения робота (точка **A**), рисунок 1.

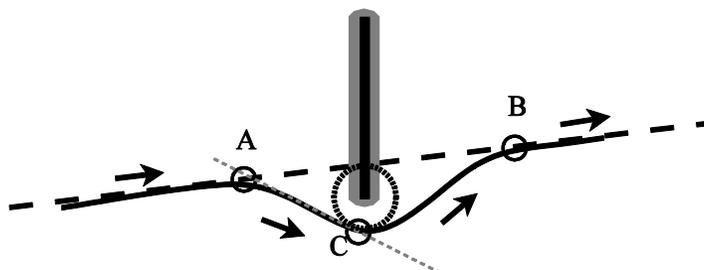


Рисунок 1 – Движение робота по предписанной траектории с обходом препятствий с использованием метода B-сплайнов

Несмотря на то, что такой обход препятствия может привести к неоптимальному, с точки зрения длины пройденного пути, обходу, это гарантирует отсутствие заикливания алгоритма перестроения маршрута на препятствиях сложной формы.

3 Экспериментальные результаты

На рисунке 2 представлены результаты моделирования. Рассматривается движение объекта вдоль спланированной траектории, построенной по фиксированному набору опорных точек. Данный набор точек, может быть получен с помощью одного из известных методов планирования пути. Спланированный путь (пунктирная кривая) проходит через стационарные препятствия различной формы. Обнаружение и построение формы препятствия осуществляется с использованием лазерного сканера. Угловое разрешение сканера составляет 0.5° и на каждом шаге квантования сканируется сектор равный 180° . При приближении объекта к препятствию выполняется деформация ранее построенного пути (сплошная кривая) с помощью предложенного метода. Траектория пройденного пути роботом обозначена штрих-пунктирной кривой. Введенное дополнительное управление скоростью объекта обеспечивает точное отслеживание желаемой траектории даже при существенной деформации ранее спланированного пути.

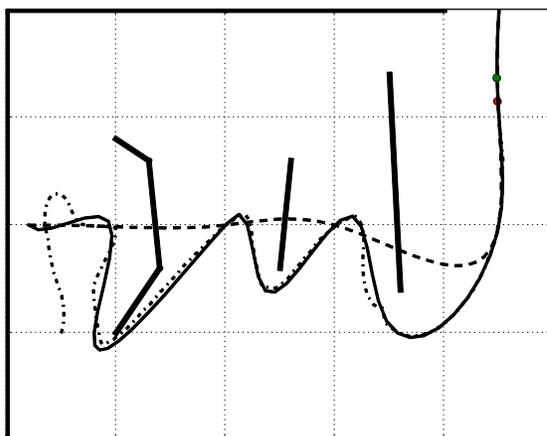


Рисунок 2 – Перепланирование маршрута движения робота при обходе препятствий

Заключение

В данной работе представлен метод перепланирования предписанной траектории при обходе препятствий с использованием аппарата B-сплайнов. Данный подход использован совместно с ранее предложенным методом управления квадрокоптером, предназначенным для реализации движения по заданной траектории с заданной скоростью. Результаты моделирования показывают эффективность алгоритма перестроения маршрута на препятствиях сложной формы.

Список литературы

- [1] Brock Oliver, Khatib Oussama. Real-time replanning in high-dimensional configuration spaces using sets of homotopic paths // ICRA. – IEEE, 2000. – Pp. 550-555.
- [2] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, G. Hoffmann, K. Lau, C. Oakley, M. Palatucci, V. Pratt, P. Stang, S. Strohband, C. Dupond, L.-E. Jendrossek, C. Koelen, C. Markey, C. Rummel, J. van Niekerk, E. Jensen, P. Alessandrini, G. Bradski, B. Davies, S. Ettinger, A. Kaehler, A. Nefian, P. Mahoney. Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. // Journall of Field Robotics. 01/2006, 23. Pp. 661-692.
- [3] J. Connors, G. Elkaim. Analysis of a Spline Based, Obstacle Avoiding Path Planning Algorithm. // IEEE Vehicle Technology Conference, IEEE VTC 2007, Dublin, Ireland, Apr. 22-25, 2007. Pp. 2565-2569.
- [4] Mellinger D., Kumar V. Minimum snap trajectory generation and control for quadrotors // Proc. Of the IEEE Intern. Conference on Robotics and Automation (ICRA). – Shanghai, China: IEEE, May 9-13, 2011. Pp. 2520-2525.
- [5] С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Управление параметрами полета квадрокоптера при движении по заданной траектории // Автометрия, 2012, 5. С. 32-41.
- [6] С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, В.Я. Пивкин, М.А. Соколев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Использование фильтра Калмана в системе управления траекторным движением квадрокоптера // Автометрия, 2013, 6. С. 14-24.
- [7] J. Connors, G. Elkaim. Manipulating B-Spline Based Paths for Obstacle Avoidance in Autonomous Ground Vehicles // Proceedings of the 2007 National Technical Meeting of The Institute of Navigation. San Diego, CA, January 2007. Pp. 1081-1088.

- [8] Р.Ф. Гилимьянов, Л.Б. Рапопорт. Метод деформации пути в задачах планирования движения роботов при наличии препятствий // Проблемы управления. 2012. № 1. С. 70-76.
- [9] J. Engel, J. Sturm, D. Cremers. Accurate figure flying with a quadcopter using onboard visual and inertial sensing // Proc. Of the Workshop on Visual Control of Mobile Robots (ViCoMoR) at the IEEE/RJS Intern. Conference on Intelligent Robot Systems (IROS). Vilamoura, Algarve, Portugal, oct. 11, 2012. Pp. 43-48.
- [10] С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Управление полетом квадрокоптера при параметрическом задании траектории движения // Материалы XII Всероссийское совещание по проблемам управления. Россия, Москва, ИПУ РАН, 16-19 июня 2014 г. (в печати).
- [11] P. Dierckx. Algorithms for smoothing data with periodic and parametric splines // Computer Graphics and Image Processing, 20 (1982). Pp. 171-184.
- [12] M. Egerstedt, X. Hu, A. Stotsky. Control of mobile platforms using a virtual vehicle approach // IEEE Transactions on Automatic Control. 2001, Vol. 46, no. 11. Pp. 1777-1782.
- [13] Fischler M, Bolles R. Random sample consensus: A paradigm for model fitting application to image analysis and automated cartography // Communications of the ACM, 1981, 24(6). Pp. 381-395.
- [14] К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, М.А. Соболев. Метод решения задачи одновременной локализации и построения карты при движении автономного мобильного робота // Труды и пленарные доклады участников конференции УКИ'12 / Научное издание. Электрон. текстовые дан. - М.:ИПУ РАН, 2012 - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) - ISBN 978-5-91450-100-3 - С. 1281-1287.