

УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРАМИ В СОСТАВЕ ГРУППЫ ЛИДЕР-ВЕДОМЫЕ

К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, А.П. Ян

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

Ключевые слова: квадрокоптер, управление группировкой, вынужденное движение.

Abstract

In this paper the task of formation control of quadcopters in leader-followers group is considered. The proposed method allow one to form control inputs for robots-followers only on the basis of information about the relative positions of the followers and the leader. The effectiveness of the proposed method is confirmed by the results of experiments.

Введение

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к управлению группировками компактных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультироторных конфигураций, что объясняется простотой и гибкостью конструкции, надежностью и управляемостью таких аппаратов [1-3]. Для таких задач как поиск, наблюдение, транспортировка, аварийно-спасательные и военные операции, исследования местности использование группы роботов более эффективно, чем применение одного робота.

В настоящее время можно выделить три основных подхода к управлению группой подвижных объектов: лидер-ведомый [4], ситуационный подход [5], виртуальные структуры [6]. В данной работе используется подход лидер-ведомые, предполагающий разделение членов группы на объекты-лидеры и объекты-ведомые.

В отличие от работ [5], [7], где для вычисления требуемого положения ведомого необходимо знать абсолютное положение и/или курс лидера, мы используем метод, в котором положение ведомого задается только в системе координат ведомого с привлечением информации об относительном взаимном расположении лидера и ведомого. Применение такого подхода более оправдано с точки зрения практических приложений. Как правило, мобильный робот в группе может обладать данными сенсоров только о взаимном расположении по отношению к другим роботам группы.

В данной работе используется метод организации вынужденного движения по желаемой траектории в пространстве состояний объекта [7-9] в задаче управления движением однородной группы мобильных роботов квадаторного типа.

Численные эксперименты подтверждают работоспособность системы управления в присутствии шумов измерений и внешних возмущений.

1 Постановка задачи и алгоритм управления

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 [10].

Считаем, что квадрокоптер обладает собственной системой управления, обеспечивающей движение аппарата с заданной «пилотом» ориентацией ψ_{ref} , ϕ_{ref} , θ_{ref} . Стабилизация по высоте выполняется посредством команды на изменение вертикальной скорости. 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) [11]. Упрощенные уравнения динамики, описывающие движение i -го квадрокоптера в координатах (x, y) имеют следующий вид:

$$(1) \begin{cases} \ddot{x}_i = c_{1i}(\cos\psi_i \sin\phi_i \cos\theta_i - \sin\psi_i \sin\theta_i) - c_{2i}\dot{x}_i, \\ \ddot{y}_i = c_{1i}(\sin\psi_i \sin\phi_i \cos\theta_i - \cos\psi_i \sin\theta_i) - c_{2i}\dot{y}_i, \\ \dot{\phi}_i = c_{3i}\phi_{i_ref} - c_{4i}\phi_i, \\ \dot{\theta}_i = c_{3i}\theta_{i_ref} - c_{4i}\theta_i, \\ \ddot{\psi}_i = c_{5i}\dot{\psi}_{i_ref} - c_{6i}\dot{\psi}_i, \\ \ddot{z}_i = c_{7i}\dot{z}_{i_ref} - c_{8i}\dot{z}_i. \end{cases}$$

Здесь $c_{1i}-c_{8i}$ – постоянные коэффициенты, определенные экспериментально.

Выделим в группе объект-лидер, относительно которого остальные члены группы определяют свое положение и за которым следуют. Будем полагать, что движение лидера по предписанной траектории осуществляется согласно некоторому закону управления, например изложенному в [7]. Для описания движения остальных членов группы необходимо указать их место в группе относительно лидера. Считаем, что навигационная система робота-ведомого может определять следующие параметры расположения ведомого относительно лидера: d_i – расстояние до лидера, α_i – направление на лидера относительно направления движения ведомого [8]. Такие данные являются дальнометрической информацией и могут быть получены, например, с помощью лазерных сканеров.

Поставим перед роботом-ведомым задачу выхода в целевое положение, заданное параметрами d_{i_ref} , α_{i_ref} , относительного положения ведомого и лидера.

Зададим ошибку в положении ведомого относительно целевого положения двумя величинами:

$$(2) \begin{cases} E_{\bar{\alpha}} = d_i \sin(\psi_{vi} + \alpha_i) - d_{i_ref} \sin(\psi_{vi} + \alpha_{i_ref}), \\ E_{ni} = d_i \cos(\psi_{vi} + \alpha_i) - d_{i_ref} \cos(\psi_{vi} + \alpha_{i_ref}). \end{cases}$$

Здесь ψ_{vi} – угол, характеризующий направление движения объекта или ориентацию вектора линейной скорости V_i в плоскости (x, y) .

Аналогично [8] введем функции:

$$(3) \begin{cases} S_{1i} = \dot{E}_{\bar{\alpha}} + k_e E_{\bar{\alpha}}, \\ S_{2i} = \dot{E}_{ni} + k_e E_{ni}, \\ S_i = 0.5(S_{1i}^2 + S_{2i}^2). \end{cases}$$

Потребуем выполнения условий:

$$(4) S_{1i} = 0; \quad S_{2i} = 0,$$

что обеспечивает экспоненциальный выход квадрокоптера в целевое положение с постоянной времени $1/k_e$.

Выбирая управляющие параметры из условия

$$(5) \dot{S}_i \leq 0,$$

обеспечим вынужденное движение системы в окрестности траектории (4).

Дальнейшие расчеты идентичны приведенным в [9], с незначительными изменениями, которые определяются способом задания функций отклонений аппарата от целевого положения, и позволяют вычислить необходимые значения ускорений центра масс квадрокоптера по

осям x , y , z и углы ориентации аппарата ψ_{i_ref} , φ_{i_ref} , θ_{i_ref} из соотношений (1) при движении квадрокоптера по траектории, определяемой уравнениями (4). Задание отклонений от целевого положения в виде проекций на соответствующие оси системы координат обеспечивает возможность непосредственного вычисления желаемых ускорений центра масс, и отсутствие необходимости в дополнительном управлении при приближении ведомого к целевому положению [12].

2 Результаты моделирования

Проверка эффективности предложенного алгоритма управления проводилась посредством численного моделирования. В качестве объекта управления была выбрана модель квадрокоптера AR.Drone с коэффициентами $c_{1i} = 7.0$, $c_{2i} = 0.2$, $c_{3i} = 4.5$, $c_{4i} = 10.0$, $c_{5i} = 10.0$, $c_{6i} = 15.0$, $c_{7i} = 1.40$, $c_{8i} = 1.0$ в уравнениях (1).

На рисунке 1 приведены результаты моделирования движения группы лидер–ведомый с использованием предложенного алгоритма управления.

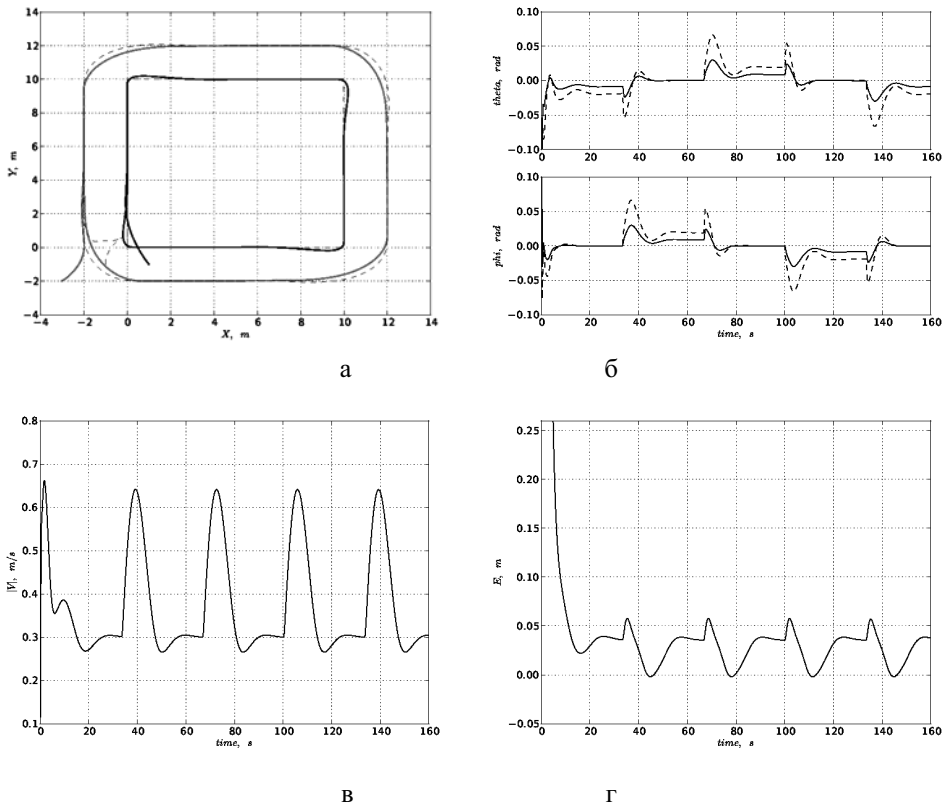


Рисунок 1 – Движение группы лидер–ведомый с использованием предложенного алгоритма: а – траектория движения группы в плоскости (x, y) ; б – управляющие параметры φ_{1_ref} , θ_{1_ref} (пунктирная кривая) и ориентация φ_1 , θ_1 ведомого; в – линейная скорость ведомого; г – величина отклонения ведомого от заданного целевого положения

Показанное на рисунке 1а. заданное целевое положение (пунктирная кривая) для ведомого относительно координат x_0 , y_0 лидера вычислялось как

$$(6) \begin{cases} x_{1_ref} = x_0 - d_{1_ref} \sin(\psi_{v1} + \alpha_{1_ref}), \\ y_{1_ref} = y_0 - d_{1_ref} \cos(\psi_{v1} + \alpha_{1_ref}). \end{cases}$$

Параметры целевого положения ведомого и управляющие параметры следующие:

$$d_{1_ref} = 2 \text{ м}, \alpha_{1_ref} = 1,57 \text{ рад}, k_e = 1, \psi_{1_ref} = z_{1_ref} = 0.$$

3 Заключение

В данной работе предложен алгоритм управления квадрокоптерами в составе однородной группы лидер–ведомый. Предложенный метод позволяет сформировать управляющие воздействия для роботов-ведомых группы только на основе информации относительного расположения ведомых и лидера без привлечения абсолютных пространственных координат квадрокоптеров. Эффективность предложенного метода подтверждается результатами численных экспериментов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-03233).

Список литературы

- [1] Mohammad Rezaei, Hossein Bolandi, Fateme Jamaldoost, SeyedMajid Smailzadeh. A New Obstacle Avoidance Algorithm for Quadrotors Group in the presence of Dynamic and Static Obstacles // Cumhuriyet University Faculty of Science, Science Journal (CSJ), Vol. 36, No: 3 Special Issue 2015. Pp. 105-120.
- [2] Karl E. Wenzel, Andreas Masselli and Andreas Zell. Visual Tracking and Following of a Quadcopter by another Quadcopter // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 7-12 Oct. 2012. Pp. 4993-4998.
- [3] С.А. Скляров. Синергетическое управление группой мобильных роботов // Известия ЮФУ. Технические науки, 2014. – № 8. – С. 147-158.
- [4] A. K. Das, R. Fierro, V. Kumar et al. A vision-based formation control framework // IEEE Trans. Robotics and Automation. 2002, Vol. 18, no. 5. Pp. 813-825.
- [5] J. R. Lawton, R. W. Beard, B. J. Young. A decentralized approach to formation maneuvers // IEEE Trans. Robotics and Automation. 2003, Vol. 19, no. 6. Pp. 933-941.
- [6] M. A. Lewis, K.-H. Tan. High precision formation control of mobile robots using virtual structures // Autonomous Robots. 1997, Vol. 4, no. 4. Pp. 387-403.
- [7] Ю. Н. Золотухин, К. Ю. Котов, А. А. Нестеров. Децентрализованное управление подвижными объектами в составе маневрирующей группы // Автометрия, 2007. – № 3. С. 31-39.
- [8] Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Робастное управление подвижными объектами в группе лидер–ведомые с использованием метода структурного синтеза. // Автометрия, 2015. – № 5. С. 82-91.
- [9] 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.
- [10] J. Kim, M.-S. Kang, S. Park. Accurate modeling and robust hovering control for a Quad-rotor VTOL aircraft // Journ. Intell. Robotics Syst. – 2010. – Vol. 57, no. 1-4. – Pp. 9-26.
- [11] 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 Inern. Conference on Intelligent Robot Systems (IROS). Vilamoura, Algarve, Portugal, oct. 11, 2012. Pp. 43-48.
- [12] 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. // В сборнике: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 3384-3390.