

УПРАВЛЕНИЕ СОВМЕСТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО РОБОТА И БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
Новосибирский государственный университет, г Новосибирск,
e.prishlyak@g.nsu.ru*

Введение

Сейчас значительное внимание уделяется системам управления совместными действиями группы автономных роботизированных устройств, решающих единую задачу наподобие разведки местности, наблюдения, измерений [1]. Использование в составе группы аппаратов разного класса позволяет расширить область применения такой системы. Наземные роботы отличаются повышенной грузоподъемностью и автономностью, а беспилотные летательные аппараты – подвижностью и площадью наблюдения.

Целью работы является создание системы управления совместными действиями беспилотных аппаратов, включающей набор алгоритмов, задающих взаимодействие между устройствами, средств моделирования и специальное программное обеспечение. В качестве аппаратов рассматриваются квадрокоптер и колесный робот.

Управление движением

В процессе выполнения задания квадрокоптер отслеживает движение колесного робота посредством обработки кадров с бортовой видеокамеры с использованием технологии компьютерного зрения на базе *opencv* и AR-маркеров на роботе. Обработка данных и формирование управляющих команд выполняется на наземном пункте управления (НПУ). Связь аппаратов с НПУ осуществляется с помощью Wi-Fi (рис. 1). Сигналы управления поступают на бортовой компьютер робота *Raspberry Pi*, где формируются сигналы управления для моторов постоянного тока. Данные с видеокамеры квадрокоптера и телеметрии также поступают на НПУ, где по обнаруженному AR-маркеру вычисляются относительные координаты и команды радиоуправления.

Для распознавания AR-маркеров используется компонент *Aguco*, позволяющий вычислять векторы смещения и вращения. С помощью найденных векторов определяются координаты устройства относительно маркера [2]:

$$\begin{aligned} x_w &= x \cdot \cos\theta - z \cdot \sin\theta, \quad y_w = z \cdot \cos\theta - x \cdot \sin\theta, \\ \theta &= \tan^{-1}[2 \cdot (X \cdot Y - W \cdot Z) / (W^2 - X^2 - Y^2 + Z^2)], \end{aligned}$$

где x, z – координаты маркера относительно оптического центра камеры в плоскости земли; α – угол между камерой и маркером; X, Y, Z, W – кватернион, полученный из вектора вращения маркера.

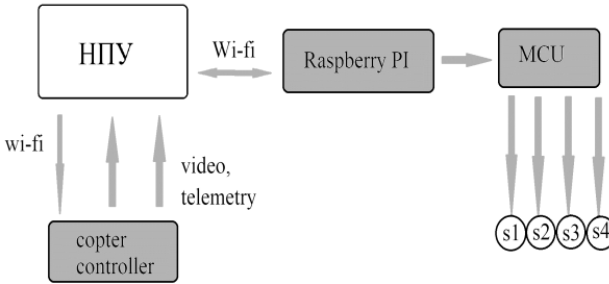


Рис. 1. Схема управления и обмена данными

Траектория колесного работа задается в виде набора координат путевых точек и представляется сплайном либо кусочно-линейной интерполяцией. Уравнение движения робота имеет вид:

$$\dot{x}_j = f(x_j)u_j, \quad (1)$$

$$f(x_j) = \begin{bmatrix} \cos\varphi_j & \sin\varphi_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Здесь $\dot{x}_j = [x_j, y_j, \varphi_j]^T$ – вектор состояния j -го робота группы; $u_j = [v_j, \omega_j]^T$ – вектор управления линейной и угловой скоростью. Потребуем выполнение:

$$\dot{x}_j = F(x_j), \quad (2)$$

где $F(x_j) = A(x_{rj} - x_j)$ – вектор желаемых значений старших производных переменных состояния, x_{rj} – требуемое положение робота относительно лидера группы. Из уравнений (1) и (2) можно выразить закон управления движением j -го робота группы:

$$u = f^T(x_j)F(x_j).$$

Для исследования особенностей работы алгоритма и отработки компонентов системы применяется численное моделирование (рис. 2). Требуемое положение квадрокоптера задается в виде смещения текущих координат робота на заданную величину в связанной системе координат. В качестве модели движения квадрокоптера используется система дифференциальных уравнений второго порядка для углов и координат, коэффициенты которых получены из сопоставления полетных данных реального аппарата и модели.

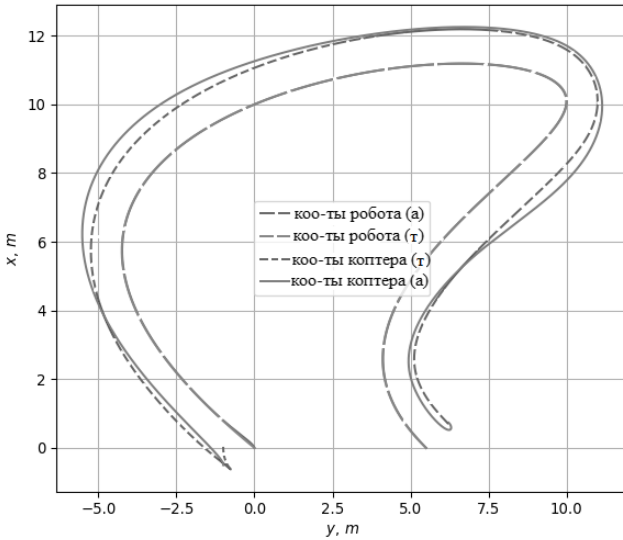


Рис. 2. Результаты моделирования движения робота и коптера:
а – актуальные, т – требуемые

Заключение

В работе представлена структура программного обеспечения, сформированы законы управления движением роботов, предложен алгоритм совместного действия нескольких роботов на основе принципа «лидер-ведомые». Отличительной особенностью является использование группы разнородных устройств: квадрокоптера и колесного робота, для которых реализованы единый закон управления и получение оценки относительных координат по маркерам.

- 1 **Котов, К.Ю.** Комплекс группового управления беспилотными аппаратами / К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, Е.Е. Пришляк, М.А. Соболев // Вычислительные технологии. – 2021. – №1. – С. 99–111.
- 2 **Andrej Babinec.** Visual localization of mobile robot using artificial markers / Andrej Babinec, Ladislav Jurišica, Peter Hubinský, František Duchoň // Procedia Engineering. – 2014. – С. 1–9.