

ИТЕРАТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ РЕФЕРЕНСНОЙ ТРАЕКТОРИИ В ФОРМАЦИИ

Ищенко Юлия Антоновна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: s02240435@gse.cs.msu.ru

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович

Группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) используются для решения многих задач. Среди них задачи мониторинга и сбора разведанных, поисково-спасательные операции и контроля природных ресурсов. Все это можно выполнять без непосредственного участия человека, что гарантирует безопасность для людей. Однако обеспечение согласованного и устойчивого поведения группы роботов является сложной задачей. Итеративное обучение управления является одним из методов управления группой роботов.

Задачей данной работы была реализация алгоритма итерационного обучения управления группой летательных аппаратов при условии, что только некоторые агенты имеют доступ к референсной траектории, а остальные агенты должны повторять траекторию, основываясь на информации об относительном расстоянии до своих соседей. Группа при этом должна сохранять заданную формацию.

Для решения поставленной задачи была разработана цифровая модель группы квадрокоптеров с использованием средств Gazebo и ROS2.

В качестве первого шага алгоритм итеративного обучения управления был реализован для линейной дискретной модели i -го агента ($i = \{1, 2, \dots, N\}$) во время k -ой итерации ($k = \{1, 2, \dots\}$).

$$\begin{aligned} X_{i,k}(t+1) &= X_{i,k}(t) + BU_{i,k}(t) \\ Y_{i,k}(t) &= X_{i,k}(t), \end{aligned} \tag{1}$$

где $X(t) = [x(t), y(t), z(t)]^T$, $U(t) = [v_x(t), v_y(t), v_z(t)]^T$, $B = T_s I_{3 \times 3}$, T_s — время дискретизации системы.

Итеративный подход к обучению управления основывается на правиле:

$$u_{i,k+1}(t) = u_{i,k}(t) + L(q)e_{i,k}(t+r), \tag{2}$$

где $i \in \{1, \dots, N\}$ и $t \in \{1, \dots, T-r\}$ (r — относительный порядок системы, T — длительность эксперимента), $L(q)$ — оператор причинного обучения, она имеет вид

$$L(q) = L_0 + L_1 q^{-1} + L_2 q^{-2} + \dots + L_{(T-1)} q^{-(T-1)}, \quad (3)$$

где q^{-1} — оператор запаздывания, $L_i \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ — коэффициенты обучения, $e_{i,k}$ — ошибка регулирования, которая вычисляется на основе информации о смещениях агентов внутри формации, расстояния между агентами, координатной ошибки агента относительно референсной траектории.

Затем данный алгоритм был переложен на случай нелинейной математической модели, которая описывает разработанную цифровую модель:

$$\begin{cases} \dot{q}_i = R(q_i) p_i \\ \dot{p}_i = M_i^{-1} (F_{ui} + F_{di}) \end{cases} \quad (4)$$

q_i — вектор, определяющий положение i -го робота в земной системе координат; p_i — вектор скоростей i -го робота в связанных с мобильным роботом координатах; $R(q_i)$ — матрица, описывающая кинематику робота; M_i — матрица инерционных параметров; F_{ui} — вектор управления i -го робота; F_{di} — матрица прочих сил и моментов, действующих на мобильного робота.

Данный алгоритм показал себя одинаково хорошо в обоих случаях. Он позволяет за конечное число итераций добиться поддержания формации группой БПЛА. При этом введение дополнительного ПД-регулятора, обеспечивающего управление на первых итерациях, увеличивает скорость обучения.

Литература

1. Hock A., Schoellig A.P. Distributed Iterative Learning Control for Multi-Agent Systems // Autonomous Robots, vol.43, 2019, P. 1989–2010.
2. Bristow D.A., Tharayil M., Alleyne A.G. A survey of iterative learning // IEEE Control Systems Magazine, vol.26, 2006., P. 96–114.
3. Shiping Y., Jian-Xin X., Deqing H. Iterative learning control for multi-agent systems consensus tracking // 51st IEEE Conference on Decision and Control, Wailea, USA, 2012, P. 4672–4677.