

## ПРАВИЛО УПРАВЛЕНИЯ ПО УСКОРЕНИЮ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ГОЛОНОМНОЙ МОДЕЛЬЮ СВЯЗИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Ятченя А.В.

Половения С.И. – к.т.н. доцент

С развитием сетей подвижной электросвязи и повсеместном внедрении конвергентных услуг остаются не решенными вопросы временного покрытия незаселенных территорий, покрытия при чрезвычайных ситуациях и значительного повышения качества услуги по запросу [1]. Поэтому разрабатывается альтернативная сеть связи на основе БПЛА для решения этих задач и существует проблема взаимодействия узлов такой сети. Описать работу узлов помогает теория голономных систем.

Голономные системы являются универсальным инструментом моделирования движения аппаратов, не имеющих ограничений при смене направления движения.

Допустим, что беспилотный летательный аппарат (БПЛА) движется с постоянной скоростью. При подаче управляющего сигнала на установку новой величины скорости контроллер БПЛА обеспечивает плавное изменение скорости до заданной, однако часто переходный период длится сравнительно мало по сравнению с периодом движения БПЛА с постоянной скоростью и с быстродействием его систем. При реализации управления по скорости предполагается, что переходный период плавного изменения скорости после поступления управляющего сигнала о смене скоростного режима длится не более  $\Delta t$  – периода, необходимого на выработку нового управляющего сигнала. Для управления по ускорению должно учитываться ограничение на максимальное ускорение, которое обозначим  $a_{\max}$ .

С увеличением числа элементов системы, т.е. увеличением числа БПЛА в группе, требуется больше времени для обработки сигнала, поэтому правило управления по скорости неприменимо и необходимо использовать правило управления по ускорению.

Рассмотрим задачу в ограниченном, открытом, связном множестве  $W$ , которое является подмножеством трехмерного вещественного пространства. С учетом движения БПЛА в трехмерном пространстве  $\mathbf{R}^m$ , ( $W \in \mathbf{R}^m, m=3$ ). Множество  $W$  моделирует зону выполнения задачи БПЛА. Пусть в  $W$  введена неподвижная прямоугольная система координат  $OXY$  и  $OZX$  с центром координат в точке  $O$  и осями  $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$ .

Пусть также в  $W$  существует упорядоченный конечный набор целевых точек  $T^1, T^2, \dots, T^l$ , которые БПЛА должны посетить в порядке увеличения номеров индексов целевых точек, либо в порядке, задающем некоторую траекторию. Положение и количество всех целевых точек известно БПЛА в каждый момент времени и может меняться во времени. Ещё не посещённая целевая точка с наименьшим номером называется текущей целевой точкой.

Группа БПЛА, выполняющих задачу, моделируется группой голономных агентов  $A_1, \dots, A_n$  которые имеют в  $W$  координаты  $p_1(t), \dots, p_n(t)$ , т.е. агенты являются материальными точками, двигающимися в пространстве. Начальные позиции  $n$  агентов –  $p_1(t_0), \dots, p_n(t_0)$  задаются произвольно и заранее неизвестны.

Предлагаемые принципы управления по ускорению могут быть адаптированы для голономных систем, в которых динамика агентов может быть описана следующим образом:

$$\begin{cases} \ddot{p}_i(t) = u_i(t), \\ \dot{p}_i(t_0) = V_{i0}, \\ p_i(t_0) = p_{i0}. \end{cases}$$

В данной системе  $u_i(t)$  – управления  $i$ -го агента, процесс управления начинается с  $t = t_0$ .

Ограничения допустимых состояний системы, основанные на физических ограничениях моделируемых роботов, выражаются в том, что ограничено максимальное ускорение и максимальная скорость агента:  $\|\ddot{p}_i\| \leq a_{max}$ ,  $\|\dot{p}_i\| \leq V_{max}$  ( $a_{max}, V_{max} \in \mathbb{R}^+$ ). Из этого следует необходимость ограничения на управление:  $\|u_i(t)\| \leq a_{max}$ . Ограничение на максимальную скорость может быть учтено либо в самом правиле управления, либо непосредственно при реализации как аппаратное низкоуровневое ограничение.

Преобразуем правило управления. С учетом выработанных принципов управления: динамический расчёт положения виртуальных лидеров самими агентами и правила расчёта приоритетов следования за тем или иным виртуальным лидером. В правиле управления по ускорению воздействие будет оказываться на ускорение, а не на скорость, если пренебречь ограничениями на максимальное ускорение и скорость:

$$\begin{cases} \ddot{p}_i = u_i = \sum_{j=1}^k c_{ij} (L_{k,i}^j - p_i), \\ L_{k,i}^j = R_\beta (F_k^j + D_u) + \frac{\sum_{A_l \in N_p} p_l}{k}. \end{cases}$$

где  $c_{ij}$  - весовые коэффициенты линейной комбинации, отражающие приоритет каждого из направлений;  $L_{k,i}^j$  - виртуальный лидер;  $k$  - количество лидеров;  $R_\beta$  - это матрица поворота на угол  $\beta$ ;  $F_k^j$  - набор изомерфофен, по которым составляется строй целевой структуры;  $D_u$  - вектор сдвига.

Таким образом, если ранее [2] направление скорости в соответствии с положением виртуальных лидеров менялось мгновенно с периодичностью не чаще, чем через временной промежуток  $\Delta t$ , то теперь будет иметь место инерция скорости. Мгновенная реакция на изменение положения виртуальных лидеров теперь будет наблюдаться только для ускорения.

Когда виртуальный лидер находится на расстоянии менее  $V_{max} \Delta t$  от агента  $A_i$ , данный агент может двигаться с максимальным ускорением. Когда же виртуальный лидер оказался в прямом преследовании агентом  $A_i$ , и расстояние между ними  $d = \|L^j - p_i\| \leq V_{max} \Delta t$ , то скорость должна быть снижена до нуля в момент достижения положения лидера. При отсутствии лидера, находящегося в прямом преследовании, правило управления выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{p}_i = \frac{\min\{V_{max}, \|V_i\|\}}{\|V_i\|} V_i, \\ \dot{V}_i = \frac{\min\{a_{max}, \|\theta_i\|\}}{\|\theta_i\|} \theta_i, \\ \theta_i = \sum_{j=1}^k c_{ij} (L_{k,i}^j - p_i), \\ L_{k,i}^j = R_\beta (F_k^j + D_u) + \frac{\sum_{A_l \in N_p} p_l}{k}, \\ p_i(t_0) = p_{i0}, \\ \dot{p}_i(t_0) = (0, 0)^T. \end{cases}$$

#### Вывод

На основе теории мультиагентных систем получены правило расчёта координат виртуальных лидеров и правило управления группой агентов.

Полученные общие уравнения правила управления по ускорению, позволяют повысить стабильность работы БПЛА.

Список использованных источников:

1. Половения, С. И. Автономная адаптируемая система связи / С.И. Половения // Проблемы инфокоммуникаций. – Минск, 2015. – № 2. – С.11-17.
2. Морозова, Н.Т. Управления строем автономных агентов в случае управления по ускорению/ Н.Т. Морозова // Управления движением строя в мультиагентных системах. – Москва, 2015. – С. 86-109.