

## Децентрализованное управление роем спутников, имеющих коммуникационные ограничения

*У.В. Монахова<sup>1</sup>, Д.С. Иванов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

В последнее время для решения ряда задач все большую популярность набирает групповой полет малых спутников. В групповом полете спутники могут взаимодействовать между собой для достижения общих целей. Благодаря относительной простоте реализации набирает популярность отдельный подкласс – рой, когда движение спутников неупорядоченно, но относительные траектории замкнуты. У спутников существуют естественные ограничения по количеству коммуникационных связей с другими аппаратами [2]. Такие ограничения вызваны возможностями приемопередатчиков, установленных на спутниках, и/или системой определения относительного положения соседних спутников. Эти ограничения влияют на децентрализованное управление роем из спутников, когда каждый из аппаратов в группе самостоятельно принимает решение об управлении. Исследованию этого влияния посвящена настоящая работа.

Относительное движение спутников в группе задается уравнениями Хилла-Клохесси-Уилтшира [1], в решении которых есть слагаемое, создающее дрейф объектов в рое. Рассматривается задача формирования роя спутников после их отделения от ракетносителя, которая заключается в достижении замкнутых относительных траекторий. Предполагается, что у каждого спутника есть своя зона видимости в виде сферы. Когда один из спутников попадает в такую зону соседнего спутника, становится известно его относительное движение и можно выравнять дрейф. Основной идеей работы является реализация такого управления спутниками, чтобы относительный дрейф сводился к нулю для всех спутников группы, произвольно летающих в начальный момент времени.

Решение уравнений Хилла-Клохесси-Уилтшира, описывающих движение двух спутников, летящих по околокруговым близким траекториям, имеет вид:

$$\begin{cases} x = -3C_1\omega t + 2C_2 \cos(\omega t) - 2C_3 \sin(\omega t) + C_4, \\ y = C_5 \sin(\omega t) + C_6 \cos(\omega t), \\ z = 2C_1 + C_2 \sin(\omega t) + C_3 \cos(\omega t), \end{cases}$$

где  $x, y, z$  – координаты относительного положения одного из спутников в системе координат, связанным с другим,  $C_i$  – константы, зависящие от начальных условий,  $i = 1, \dots, 6$ ,  $\omega$  – орбитальная угловая скорость спутников. Слагаемое, отвечающее за

дрейф:  $-3C_1\omega t$ , где  $C_1 = \frac{x(t_0)}{\omega} + 2z(t_0)$ . При реализации импульсного управления по оси

$Ox$  решение будет иметь вид:

$$\begin{cases} x = -3C_1\omega t + 2C_2 \cos(\omega t) - 2C_3 \sin(\omega t) + C_4 + \frac{4u}{\omega^2} - \frac{3}{2}t^2u, \\ y = C_5 \sin(\omega t) + C_6 \cos(\omega t), \\ z = 2C_1 + C_2 \sin(\omega t) + C_3 \cos(\omega t) + \frac{2tu}{\omega}, \end{cases}$$

где  $u$  – импульс, приложенный к спутнику по оси  $Ox$ . Итак, чтобы относительный дрейф был равен нулю, нам нужно приложить  $u = -\frac{C_1\omega}{\Delta t}$ , где  $\Delta t$  – продолжительность импульса.

В работе исследуется возможность построения роя (выравнивание дрейфов) после запуска с ракетоносителя в зависимости от начальных условий, ограничений на область видимости. Рассматривается влияние этих параметров на целостность роя.

Исследование поддержано Министерством образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.607.21.0144, уникальный идентификатор ПНИЭР – RFMEFI60716X0144).

### Литература

1. *W.H. Clohessy, R.S. Wiltshire, Terminal Guidance System for Satellite Rendezvous // Journal of the Aerospace Science, 1960, V.27, №9, p. 653-674.*
2. *Marco Sabatini, Fabrizio Reali, Giovanni B. Palmerini, Autonomous Behavioral Strategy and Optimal Centralized Guidance for On-Orbit Self Assembly // IEEE Aerospace conference, 2009, p.1-12.*