

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЗАДАННОЙ ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ ДОСТУПА

Ларин В. А. (ИТМО)

Научный руководитель – канд. ф.-м. наук, доцент Трифанов А. И. (ИТМО)

Введение

Орбитальные группировки космических аппаратов широко применяются для обеспечения радиосвязи и дистанционного зондирования Земли. Важной характеристикой эффективности орбитальной группировки является периодичность доступа к заданному наземному источнику радиосвязи – максимальный интервал времени между последовательными сеансами связи источника и космических аппаратов. Обеспечение заданной периодичности доступа при минимальном количестве космических аппаратов необходимо при проектировании систем спутниковой связи с удалёнными абонентами, систем сбора информации с автономных наземных комплексов, а также спутниковых систем ретрансляции данных.

Движение космических аппаратов на околоземных орбитах определяется законами небесной механики и описывается кеплеровыми параметрами орбиты: высотой апогея и перигея, наклоном орбиты, аргументом перигея, долготой восходящего узла и средней аномалией [1]. Однако определение конфигурации орбитальной группировки, обеспечивающей заданную периодичность доступа, требует анализа взаимного расположения космических аппаратов и наземного источника во времени.

Существующие методы проектирования орбитальных группировок часто используют типовые симметричные схемы размещения космических аппаратов, которые не всегда обеспечивают требуемые характеристики доступа. Современные подходы к проектированию орбитальных группировок с ограничением на периодичность основаны на численном моделировании движения космических аппаратов и формулировке задачи определения конфигурации группировки как задачи дискретной оптимизации, включая методы смешанного целочисленного программирования [2, 3]. В связи с этим актуальной является разработка программного комплекса, обеспечивающего автоматизированное проектирование орбитальных группировок на основе заданных требований по периодичности доступа.

Основная часть

В работе рассматривается задача разработки программного комплекса для проектирования орбитальной группировки космических аппаратов, функционирующих на круговых низких околоземных орбитах с одинаковым наклоном орбитальных плоскостей и обеспечивающих заданную периодичность доступа к наземному источнику радиосвязи.

Исходными данными являются координаты наземного источника радиосвязи, минимальный угол места, высота и наклонение орбиты. Параметрами оптимизации являются общее количество космических аппаратов и число орбитальных плоскостей, а для каждой плоскости – количество космических аппаратов в ней, долгота восходящего узла и средние аномалии каждого космического аппарата.

Разрабатываемый программный комплекс должен обеспечивать определение пространственного положения космических аппаратов в произвольный момент времени на основе кеплеровой модели орбитального движения и вычисление интервалов радиовидимости наземного источника. На основе анализа радиовидимости формируется

временная последовательность сеансов связи, позволяющая определить периодичность доступа для заданной конфигурации орбитальной группировки.

Для оптимизации параметров орбитальной группировки планируется использовать подход, основанный на дискретизации возможных положений космических аппаратов вдоль орбит и представлении конфигурации группировки в виде вектора размещения. Задача определения конфигурации орбитальной группировки, обеспечивающей заданную периодичность доступа, формулируется как задача смешанного целочисленного линейного программирования, в которой переменные определяют размещение космических аппаратов в дискретных позициях, а ограничения задаются требованиями к структуре группировки и характеристикам доступа. Аналогичные методы применяются при проектировании орбитальных группировок космических аппаратов и позволяют определять конфигурации, обеспечивающие требуемые характеристики доступа [2, 3].

Разрабатываемый программный комплекс должен обеспечивать автоматизированное определение параметров орбитальной группировки, обеспечивающих заданную периодичность доступа, и последующее моделирование движения космических аппаратов для анализа полученной конфигурации.

Выводы

В работе поставлена задача разработки программного комплекса для проектирования орбитальных группировок космических аппаратов с заданной периодичностью доступа к наземному источнику радиосвязи. Предложен подход к определению параметров орбитальной группировки на основе моделирования движения космических аппаратов и применения методов смешанного целочисленного линейного программирования.

Разрабатываемый программный комплекс позволит автоматизировать процесс проектирования орбитальных группировок и определять параметры орбитальной структуры, обеспечивающие заданную периодичность доступа. Результаты работы могут быть использованы при разработке систем спутниковой связи и других космических систем. В дальнейшем планируется реализация программного комплекса и его внедрение для решения задач проектирования орбитальных группировок.

Литература

1. Власов, С. А. Теория полета космических аппаратов : учебное пособие / С. А. Власов, П. А. Мамон. – Санкт-Петербург : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2007. – 435 с.
2. Ko, J. Satellite constellation design for minimum worst-case revisit time / J. Ko, B. Gwon, J. Ahn // *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*. – 2026. – Vol. 27. – P. 916–929. – DOI: 10.1007/s11081-023-09834-8.
3. Mencarelli, L. Mixed integer (non)linear approaches for the satellite constellation design problem / L. Mencarelli, J. Floquet, F. Georges, D. Grenier // *Optimization and Engineering*. – 2023. – Vol. 24. – P. 2299–2320. – DOI: 10.1007/s11081-022-09774-9.