

**Применение методов машинного обучения для анализа покрытия
поверхности Земли подспутниковыми трассами**

Научный руководитель – Милюков Вадим Константинович

Удальцова Ксения Михайловна

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет
космических исследований, Москва, Россия

E-mail: udalcova.v2.0@yandex.ru

В современном мире для решения многих задач баллистики, навигации и управления полётом космических аппаратов необходимо использование высокоточных моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ). Для повышения точности измерений его динамики во времени применяются кластеры космических аппаратов (КА), связанных между собой межспутниковой связью. Такие конфигурации спутников должны иметь полное покрытие поверхности Земли подспутниковыми трассами.

В задаче нахождения оптимальных орбит гравитационных миссий невозможно одновременно получить наилучшее пространственное S_{space} и временное S_{time} разрешение ГПЗ, поскольку их произведение для низкоорбитальных спутников практически равно константе: $S_{space} \times S_{time} \approx const$. Целью данной работы является применение методов машинного обучения для нахождения оптимальных орбит однопарных группировок КА и обучение моделей на имеющихся данных для определения пространственного и временного разрешения, а также высоты и наклона орбиты при полном покрытии поверхности Земли подспутниковыми трассами.

В рамках исследования был проведён численный анализ процента покрытия поверхности Земли подспутниковыми трассами при различных орбитальных параметрах однопарной группировки спутников: высота орбиты от 350м до 500м, наклонение от 80° до 90° . Временной интервал моделирования орбиты варьируется от 1 до 7 суток, покрытие поверхности Земли выполняется сегментами от $0.9^\circ \times 0.9^\circ$ до $3.6^\circ \times 3.6^\circ$. В уравнении движения КА используется модель сил с учётом разложения геопотенциала до четвёртой зональной гармоники. На полученных данных были обучены модели *XGBoost* для прогнозирования процента покрытия на основе высоты и наклона орбиты космических аппаратов, а также временного и пространственного разрешения. Проведен сравнительный анализ моделей, обученных на различном количестве данных. Модель с наилучшими результатами прогнозирования на тестовой выборке (коэффициент детерминации $R^2 = 0.997$) также применяется для решения обратной задачи: предсказания параметров орбиты, пространственного и временного разрешения для полного покрытия поверхности Земли.

Источники и литература

- 1) Милюков В.К., Филеткин А.И., Жамков А.С. Космический гравитационный градиентометр: пути повышения точности моделей гравитационного поля Земли, ЖЭТФ, 2022, том 161, вып. 4, стр. 596–609.
- 2) Hwang Y., Song J. Recent deep learning methods for tabular data, Communications for Statistical Applications and Methods, 2023, 30(2), 215-226.