**Взвешенные модели машинного обучения для классификации ТКО**

***Самородова Екатерина Борисовна***

*Студент (магистр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Механико-математический факультет, Москва, Россия

*E-mail: ekaterina.samorodova@math.msu.ru*

С момента запуска первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) в 1957г. количество техногенных космических объектов (ТКО) в околоземном космическом пространстве (ОКП) увеличивается. Согласно гипотезе ''саморазмножения'' космического мусора (КМ) Д.Кесслера, количество КМ будет увеличиваться без новых запусков ИСЗ, а неконтролируемый рост КМ приведет к катастрофическим последствиям для космической программы [1]. Поэтому необходимо совершенствовать мониторинг ОКП для предотвращения столкновений спутников, которые порождают облака КМ. Процесс обработки наблюдений можно разделить на стадии, первой из которых является идентификация КО, которая проводится при помощи поиска корреляции между траекториями каталогизированных объектов и новыми наблюдениями [2]. В каталогах содержатся записи о десятках тысяч объектов, и количество сравнений в процессе поиска соответствий можно снизить, увеличив тем самым скорость идентификации ТКО.

Классификация ТКО поможет сократить область поиска совпадений среди каталога. Например, с помощью машинного обучения проводилась классификация объектов на низких околоземных орбитах [3], однако может быть получено и более точное разбиение – например, с выделением КМ и крупных группировок спутников (Starlink, OneWeb) в отдельные классы. Больше половины наблюдений в обучающих данных составляет КМ, другие объекты разделены на 12 неравных классов. Таким образом, решается задача несбалансированной многоклассовой классификации ТКО методами машинного обучения.

Эффективным подходом для решения подобной задачи является использование взвешенных моделей, в процессе обучения которых ошибочные предсказания меньших классов ''штрафуются'' сильнее, чем ошибочные предсказания для объектов больших классов. В результате сравнения различных моделей (линейные модели, решающие деревья и ансамбли, нейронные сети) был сделан вывод, что наиболее оптимальной взвешенной моделью для классификации ТКО является градиентный бустинг CatBoost. Предлагаемая модель классификатора предсказывает тип ТКО с точностью ~ 93%, устойчивость модели и согласованность прогнозов с ожиданиями подтверждена различными тестами. Полученная модель может быть использована для определения типа объекта в режиме реального времени, что позволит ускорить процесс идентификации космического объекта.

**Литература**

1. Вениаминов С. С. Космический мусор. Техногенное засорение космоса и его последствия. Ин-т космических исслед. Российской акад. наук (ИКИ РАН), 2023.
2. A Pastor, J Siminski, G Escribano et al. Early cataloguing of fragments from break-up events // Advances in Space Research. 2023. Vol. 71, no. 10. 1 Pp. 4222–4238.
3. Wang Dongfang, Li Fen. A machine learning method for the orbit state classification of large LEO constellation satellites // Advances in Space Research. 2023. Vol. 71, no. 3. Pp. 1644–1656.