

**СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С
ПОВТОРНЫМИ ВЫЗОВАМИ ДЛЯ АНАЛИЗА
МНОГООРБИТАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО ДОСТУПА
6G**

Леонтьева Ксения Андреевна

Аспирант

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

E-mail: leontyeva-ka@rudn.ru

Научный руководитель — Кочеткова Ирина Андреевна

Многоорбитальные спутниковые системы, объединяющие группировки на низкой (LEO, Low Earth Orbit), средней (MEO, Medium Earth Orbit) и геостационарной (GEO, Geostationary Earth Orbit) орбитах, формируют основу перспективных неназемных сетей (NTN, Non-Terrestrial Networks), стандартизируемых 3GPP, начиная с Release 17. Орбитальные сегменты принципиально различаются по задержке распространения, длительности видимости спутников, доплеровским сдвигам и ёмкости каналов. Существующие аналитические модели телетрафика разработаны для изолированных одноорбитальных группировок и не учитывают совместно гетерогенность орбитальных слоёв, межорбитальный хэндовер и механизм повторных попыток доступа при переполнении ресурсов.

Рассмотрим двухуровневую спутниковую систему доступа, включающую созвездия LEO- и MEO-спутников с фиксированным числом каналов на каждом уровне, обслуживающие неподвижных наземных пользователей в заданном географическом регионе. Входной поток пользовательских запросов описывается пуассоновским процессом с постоянной интенсивностью; динамика видимости LEO-спутников параметризуется долей времени готовности LEO-уровня, определяемой отношением периода видимости к полному орбитальному циклу. MEO-уровень выступает вторичным ресурсом и обеспечивает непрерывную линию связи в течение всего сеанса. Цель работы – построить систему массового обслуживания с повторными вызовами (retrial queue) для многоорбитального доступа с межорбитальным переполнением и конечным буфером повторных запросов.

В работе предлагается двумерный марковский случайный процесс, компоненты которого описывают общее число активных сеансов и число запросов на орбите повторных вызовов. Пространство состояний ограничено суммарной канальной ёмкостью LEO- и MEO-уровней и максимальной ёмкостью буфера. Модель реализует

детерминированную статическую политику маршрутизации: запрос направляется на LEO-уровень; при отсутствии свободных каналов выполняется межорбитальный хэндовер на MEO; если оба уровня заняты, запрос поступает на орбиту повторных вызовов конечной ёмкости, откуда с экспоненциально распределённым интервалом повторяет попытку доступа; полная занятость каналов и буфера приводит к блокировке. Времена обслуживания экспоненциальны с различными интенсивностями для LEO и MEO, причём интенсивность обслуживания на LEO не ниже, чем на MEO.

На основе стационарного распределения вычисляются вероятность блокировки, средняя задержка, среднее число запросов на орбите повторных вызовов и коэффициент использования каналов LEO- и MEO-уровней. Естественным расширением является обобщение на трёхуровневую архитектуру LEO–MEO–GEO.

Литература

1. Mahboob S., Liu L. Revolutionizing future connectivity: A contemporary survey on AI-empowered satellite-based non-terrestrial networks in 6G // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2024. Vol. 26, No. 2, P. 1279–1321.
2. Le T. T. T., Hassan S. A., Kaleem Z., Moinuddin M., Al-Naffouri T. Y., Jung M. A survey on random access protocols in direct-access LEO satellite-based IoT communication // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2025. Vol. 27, No. 1, P. 426–462.
3. Wang F., Zhang S., Yang H., Quek T. Q. S. Non-terrestrial networking for 6G: Evolution, opportunities, and future directions // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2025. Early Access, DOI: 10.1109/COMST.2025.3529617.
4. Кочеткова И.А., Самуйлов К.Е. Мультисервисные системы с приоритетным обслуживанием трафика. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025.
5. Kochetkova I., Leonteva K., Ghebrial I., Khakimov A. Dynamic spectrum management for 5G NR network slicing: frequency reallocation ensuring slice isolation and revenue maximization // *IEEE Access*. 2025. Vol. 13, P. 208414–208438.
6. Kushchazli A., Leonteva K., Kochetkova I., Khakimov A. Evaluating QoS in dynamic virtual machine migration: a multi-class queuing model for edge-cloud systems // *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2025. Vol. 14, no. 3.