

**РЕСУРСНАЯ СИСТЕМА МАССОВОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СОВМЕЩЕННОЙ
СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ 6G**

Бурцева Софья Артемовна

Аспирант

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

E-mail: sofiya_burceva@inbox.ru

Научный руководитель — Кочеткова Ирина Андреевна

Совмещённые системы связи и радиолокационного зондирования – Integrated Sensing and Communication (ISAC) – становятся одной из ключевых технологий шестого поколения мобильной связи, закреплённой в Рекомендации ITU-R M.2160 как новый сценарий использования IMT-2030. Одновременное предоставление услуг связи и зондирования порождает нелинейный компромисс при распределении ограниченных физических ресурсов – мощности, частотного спектра и пространственных степеней свободы антенной решётки. Пропускная способность канала связи зависит от отношения сигнал/шум-плюс-помеха (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio, SINR) логарифмически, тогда как нижняя граница точности зондирования по критерию Крамера – Рао (Cramér–Rao Bound, CRB) обратно пропорциональна SNR, что требует значительно большего энергетического запаса для подсистемы зондирования.

В работе рассматривается базовая станция 5G NR диапазона FR2 (28 ГГц), одновременно обслуживающая до K пользователей связи и до M целей зондирования. Запросы связи и задачи зондирования моделируются независимыми пуассоновскими потоками, времена обслуживания – экспоненциальными случайными величинами, а потери на трассе – случайными величинами с функциями распределения, выведенными из канальных моделей 3GPP TR 38.901. Для связи применяется однонаправленная модель потерь, а для зондирования – двунаправленная радарная модель, поскольку сигнал проходит путь «базовая станция – цель – базовая станция», что удваивает показатель затухания на логарифмической шкале расстояний. Цель работы – построить ресурсную систему массового обслуживания, аналитически связывающую вероятности блокировки, пропускную способность и CRB с интенсивностью нагрузки и политикой распределения мощности.

Предложен двумерный марковский случайный процесс, состояниями которого служат пары: число активных пользователей связи, число активных целей зондирования. Вместо хранения индивидуальных потерь на трассе каждого абонента, приводящего к экспоненциальному росту пространства состояний, вся случайность агрегируется в вероятностях занятости ресурса – вероятностях того, что суммарная потребность в ресурсе не превышает бюджет станции. Условные вероятности допуска определяются как отношение вероятности занятости в состоянии с дополнительным пользователем к вероятности в текущем состоянии и непосредственно входят в интенсивности переходов марковского процесса.

Литература

1. Lu S., Liu F., Li Y., Zhang K., Huang H., Zou J., Li X., Dong Y., Dong F., Zhu J., Xiong Y., Yuan W., Cui Y., Hanzo L. Integrated sensing and communications: Recent advances and ten open challenges // *IEEE Internet of Things Journal*. 2024. Vol. 11, No. 11, P. 19094–19120.
2. González-Prelcic N., Keskin M. F., Kaltiokallio O., Valkama M., Dardari D., Shen X., Shen Y., Bayraktar M., Wymeersch H. The integrated sensing and communication revolution for 6G: Vision, techniques, and applications // *Proceedings of the IEEE*. 2024. Vol. 112, No. 7, P. 676–723.
3. Wen D., Zhou Y., Li X., Shi Y., Huang K., Letaief K. B. A survey on integrated sensing, communication, and computation // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2025. Vol. 27, No. 1, P. 701–752.
4. Кочеткова И.А., Самуйлов К.Е. Мультисервисные системы с приоритетным обслуживанием трафика. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025.
5. Kochetkova I., Vlaskina A., Burtseva S., Savich V., Hosek J. Analyzing the effectiveness of dynamic network slicing procedure in 5G network by queuing and simulation models // *Lecture Notes in Computer Science*. 2020. Vol. 12525, P. 71–85.
6. Vlaskina A.S., Burtseva S.A., Kochetkova I.A., Shorgin S.Ya. Controllable queuing system with elastic traffic and signals for analyzing network slicing // *Informatika i ee Primeneniya*. 2022. Vol. 16, no. 3, P. 90–96.