

## УПРАВЛЯЕМАЯ РЕСУРСНАЯ СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ НАРЕЗКИ РАДИОЧАСТОТ СЕТЕЙ 5G/6G

*Гебриал Ибрам Есам Зекри*

*Аспирант*

*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

*E-mail: gebrial-ie@rudn.ru*

*Научный руководитель — Кочеткова Ирина Андреевна*

Нарезка сети (network slicing) является ключевой технологией сетей 5G/6G, обеспечивающей развёртывание логически изолированных виртуальных сетей поверх общей физической инфраструктуры. В мультиарендных сценариях, когда оператор мобильной сети (Mobile Network Operator, MNO) предоставляет радиоресурсы виртуальному оператору (Mobile Virtual Network Operator, MVNO) на основании соглашений об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA), необходимо одновременно гарантировать изоляцию сегментов, защиту интересов собственных абонентов и монетизацию незанятого спектра. Существующие подходы – статическое разбиение, эвристики и методы глубокого обучения с подкреплением – оптимизируют, как правило, единственную метрику, тогда как одновременный учёт дохода, выполнения SLA и энергозатрат на перераспределение остаётся открытой задачей.

Рассмотрим городскую макросоту 5G New Radio (NR), в которой суммарная полоса частот делится на ортогональные блоки, динамически распределяемые между сегментом MNO (IoT-устройства городской среды) и сегментом MVNO (фиксированный беспроводной доступ). Цель – построить гибкую модель многокритериального управления спектром с настраиваемым вектором весов, сохраняя жёсткие ограничения на изоляцию сегментов и минимально допустимые битовые скорости.

Система формализована как управляемая модель массового обслуживания на основе марковского процесса принятия решений (Markov Decision Process, MDP) в непрерывном времени. Пространство состояний определяется объёмом ресурса первого сегмента и числами пользователей в каждом сегменте. Поступление запросов моделируется пуассоновскими потоками, битовые скорости вычисляются по формуле Шеннона–Хартли с затуханием по модели 3GPP, расположение пользователей задаётся двумерным точечным пуассоновским процессом. Составная функция вознаграждения с трёхмер-

ным вектором весов объединяет доход MNO, штраф за вероятности блокировки и штраф за события перераспределения. Оптимальная стратегия находится итерационным алгоритмом Ховарда.

Численные эксперименты для макросоты радиусом 500 м (полоса 100 МГц, несущая 6 ГГц) показывают, что конфигурации, ориентированные на справедливость, обеспечивают MVNO более стабильную долю спектра, тогда как доходоориентированные политики сокращают её при средних нагрузках. Настроенные веса дают заметный прирост дохода при низкой и средней нагрузке по сравнению с базовой равновесной политикой; при высокой нагрузке выигрыш уменьшается из-за приближения к пределу пропускной способности. Перспективным направлением является расширение модели для адаптивной настройки весов в реальном времени.

### Литература

1. Ebrahimi S., Bouali F., Haas O. C. L. Resource management from single-domain 5G to end-to-end 6G network slicing: A survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2024. Vol. 26, No. 4, P. 2836–2866.
2. Shen X., Gao J., Wu W., Li M., Zhou C., Zhuang W. Intelligent network slicing for B5G and 6G: Resource allocation, service provisioning, and security // IEEE Wireless Communications. 2024. Vol. 31, No. 3, P. 271–277.
3. Alam K., Habibi M. A., Tammen M., Krummacker D., Saad W., Di Renzo M., Melodia T., Costa-Pérez X., Debbah M., Dutta A., Schotten H. D. A comprehensive tutorial and survey of O-RAN: Exploring slicing-aware architecture, deployment options, use cases, and challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2025. Vol. 27, No. 3, P. 1640–1725.
4. Кочеткова И.А., Самуйлов К.Е. Мультисервисные системы с приоритетным обслуживанием трафика. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025.
5. Kochetkova I., Leonteva K., Ghebrial I., Vlaskina A., Burtseva S., Kushchazli A., Samouylov K. Controllable queuing system with elastic traffic and signals for resource capacity planning in 5G network slicing // Future Internet. 2024. Vol. 16, no. 1.
6. 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.