

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ СЕГМЕНТАЦІЇ 6G МЕРЕЖІ

Скомаха М.О., Єременко О.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського,
Україна.

E-mail: mykyta.skomakha@nure.ua,
oleksandra.yeremenko@nure.ua

Abstract

This work reviews and analyzes segmentation methods that can be used for resource allocation in 6G networks. The emphasis is placed on the use of slicing and deep slicing technologies, as well as on the advantages of such methods for maintaining the optimal level of QoS. The challenges of implementing this technology are also discussed, including integration, interaction with artificial intelligence, resource management, and standardization to achieve maximum efficiency in the 6G environment.

Розвиток безпроводових технологій і мобільних мереж, а також значне зростання потреб у забезпеченні високої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) з досягненням і підтримкою ключових показників продуктивності (Key Performance Indicators, KPI), стимулюють дослідження нових підходів до управління ресурсами та їх розподілу у мережах шостого покоління (Sixth Generation, 6G) [1].

Оптимізація QoS у 6G-мережах стане одним із ключових завдань для реалізації цієї технології. Основними викликами будуть обробка великих обсягів даних у реальному часі, підтримка значної кількості користувачських пристроїв (User Equipment, UE), мінімізація затримок, інтеграція штучного інтелекту (ШІ) для автономного управління, забезпечення безпеки й стабільності зв'язку на високих частотах тощо.

Одним із перспективних напрямків оптимізації використання мережних ресурсів є сегментація мережі, що дозволяє створювати окремі логічні сегменти для різних категорій трафіку, забезпечуючи гнучкий та ефективний розподіл ресурсів відповідно до потреб користувачів і сценаріїв застосування. Хоча ця концепція не нова, елементи сегментації були присутні вже в попередніх поколіннях мобільних мереж, у мережах п'ятого покоління (Fifth Generation, 5G) вона еволюціонувала в більш досконалу форму – слайсинг [1].

Порівнюючи слайсинг із попередніми підходами, можна зазначити, що сегментація здебільшого передбачала поділ мережі на підмережі для ефективного використання ресурсів. Натомість слайсинг дозволяє створювати ізольовані логічні сегменти (слайси) на спільній мережній інфраструктурі, кожен з яких налаштовується під конкретні послуги або типи користувачів, забезпечуючи окремий набір ресурсів, продуктивність і функціональні можливості.

Слайсинг вже став важливим елементом архітектури сучасних 5G-мереж, і в майбутніх 6G-мережах він лише вдосконалюватиметься. Зокрема, можливим стане впровадження розширеного типу слайсингу – глибокого слайсингу [1].

Глибокий слайсинг – це вдосконалений підхід до слайсингу мережі, де кожен слайс не лише має логічну ізоляцію, але й може отримувати окрему спеціалізовану інфраструктуру – як апаратну, так і програмну. Це дозволяє створювати спеціалізовані модульні мікросервіси, адаптовані для конкретних завдань і користувачських сценаріїв, що значно підвищує гнучкість і ефективність використання ресурсів. Глибокий слайсинг також забезпечує окреме управління трафіком і покращену безпеку, оскільки ізольовані фрагменти можуть працювати з індивідуальними вимогами до

QoS, затримки та енергоефективності. Такий підхід стане особливо корисним для сценаріїв, які потребують високої надійності й мінімальної затримки [1].

Глибокий слайсинг потребує гнучкого управління, яке може адаптувати мережу під різні сценарії використання, забезпечуючи оптимальну продуктивність для різноманітних умов. Це включає автоматичне забезпечення QoS, а також моніторинг і аналітику, які повинні працювати синхронно з основними мережними процесами. Також це включатиме динамічне налаштування оркестрації сервісів, тобто автоматизоване управління, координації й налаштування всіх елементів мережі або інфраструктури заради забезпечення злагодженої роботи й високої продуктивності сервісів. Подібна оркестрація може об'єднувати ресурси з різних доменів у найбільш ефективному місці, наприклад, у хмарній інфраструктурі, забезпечуючи максимальну ефективність і мінімальні затримки [1].

Введення технології слайсингу до мереж мобільного зв'язку повинно відбуватися зі змінами в мережній архітектурі. В такому разі необхідно розглянути, як слайсинг може бути інтегровано до архітектури 6G мережі, яка буде поділена на наступні рівні та елементи [2]:

- рівень інфраструктури, що надає базову інфраструктуру для підтримки зв'язку та передачі даних, а також забезпечує зв'язок між користувачами та різними сервісами через мережу радіодоступу (Radio Access Network, RAN), також включає фізичні компоненти мережі, як-от пакетне ядро мережі (Packet Core, PC) та UE;
- рівень контролю, в якому працює контролер програмно-конфігурованої мережі (Software-Defined Networking, SDN), що контролює мережу за допомогою віртуалізації функцій мережі (Network Function Virtualization, NFV), що зі свого боку забезпечує ефективне управління ресурсами, дозволяючи динамічно перерозподіляти їх між слайсами відповідно до вимог [3];
- рівень застосунків, що відповідає за слайсинг мережі, тобто як відбувається створення та налаштування окремих слайсів, які ізолювано забезпечують ресурси та специфічні налаштування для різних сервісів і користувачів, а також за здійснення їх оркестрації;
- рівень сервісів, який представлений різними постачальниками послуг, а сам рівень є основою для кінцевих сервісів, кожен з яких буде ізолюваним у межах свого сегмента, забезпечуючи спеціалізовані ресурси для різних завдань.

На рис. 1 зображено загальну мережну архітектуру 6G з технологією слайсингу, яка містить перелічені рівні та елементи [2].

До рис. 1 можна додати, що в такій архітектурі 6G мереж рівень інфраструктури буде слугувати опорою для наступних рівнів і фактично буде використовуватися як сервіс для впровадження слайсингу. В разі використання такого підходу спочатку необхідно побудувати початкову інфраструктуру для того, щоб потім слайсинг правильно та гарантовано виконував поставлені завдання щодо розподілу ресурсів.

III став перспективним інструментом у багатьох сферах завдяки своїм можливостям автоматизації, адаптації та оптимізації [4]. Серед цих сфер є і 6G мережі з використанням слайсингу. Інтеграція III до слайсингу зможе значно підвищити ефективність такого підходу завдяки своїм можливостям адаптивного управління ресурсами та оптимізації мережних процесів у ре-

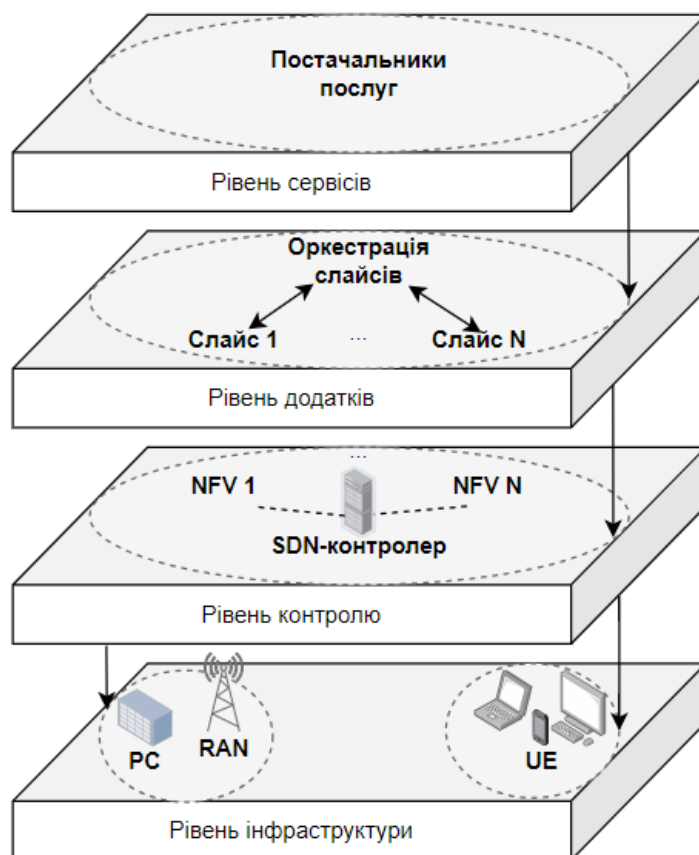


Рис. 1. Мережна архітектура 6G з використанням методів слайсингу

льному часі. III зможе забезпечити ефективну оркестрацію різних слайсів та забезпечити узгодженість між ними, щоб уникнути конфліктів у використанні ресурсів і оптимально розподілити навантаження, зокрема використовуючи прогнозування майбутніх процесів і наслідків прийнятих рішень [5].

Для слайсингу в 6G мережах можуть застосовуватися наступні методи III [5]:

- глибоке Q-навчання (Deep Q-learning, DQL);
- графові нейронні мережі (Graph Neural Networks, GNN);
- глибокі дуельні нейронні мережі (Deep Dueling Neural Networks, DDNN);
- глибокий детермінований градієнт політик (Deep Deterministic Policy Gradient, DDPG);
- State-action-reward-state-action (SARSA).

Серед зазначених III-методів найбільш ефективними до завдань та операцій слайсингу є методи, що у своїй основі використовують Q-навчання, алгоритм навчання з підкріпленням, який використовується для розв'язання задач оптимізації в умовах невизначеності. До цих методів відносяться DQL, DDNN та SARSA. Подібні методи можуть використовуватися разом зі слайсингом на етапах планування та функціонування мережі, а також дворівневої взаємодії.

Отже, впровадження слайсингу в 6G мережі несе за собою низку технічних та операційних викликів:

- слайсинг вимагає інтеграції різних компонентів, зокрема ядра мережі, RAN і програмного забезпечення для оркестрації;
- кожен слайс має підтримувати специфічні вимоги до QoS (затримки, надійності та пропускну здатності), що вимагає гнучких механізмів управління ресурсами та пріоритезації трафіку, що може бути складним у динамічних умовах функціонування 6G мережі;
- слайсинг у 6G значною мірою покладається на III для динамічного налаштування ресурсів і підтримки QoS у режимі реального часу, проте впровадження таких систем може бути викликом через необхідність обробки величезних обсягів даних і забезпечення точного прогнозування;
- забезпечення безперебійної взаємодії різних постачальників і пристроїв вимагає наявності чітких стандартів щодо реалізації слайсингу;
- 6G орієнтоване на мінімізацію енергоспоживання, але слайсинг може потребувати значних обчислювальних ресурсів для підтримки налаштувань та обробки даних, що ускладнює задачу енергоефективності.

Таким чином, результати проведеного аналізу методів сегментації 6G мереж показали та підтвердили їх перспективність і потенційну ефективність з погляду забезпечення оптимального розподілу ресурсів, але водночас існують виклики та складнощі, які можуть виникнути при їх впровадженні, що було визначено в даній роботі.

Література

1. Ziegler V., Viswanathan H., Flinck H., Hoffmann M., Räisänen V., Hätönen K. 6G Architecture to Connect the Worlds. IEEE Access, vol. 8, pp. 173508–173520, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025032>.
2. Bojović P., Malbašić T., Vujošević D., Martić G., Bojović Ž. Dynamic QoS Management for a Flexible 5G/6G Network Core: A Step toward a Higher Programmability. Sensors 2022, vol 22, no. 8, April 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22082849>.
3. Лемешко О. В., Єременко О. С., Невзорова О. С. Поточкові моделі та методи маршрутизації в інфокомунікаційних мережах: відмовостійкість, безпека, масштабованість. Харків: ХНУРЕ, 2020. 308 с. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-282-1>.
4. Скомаха М.О., Єременко О.С. Аналіз і класифікація методів штучного інтелекту при застосуванні до задач оптимізації в мережах 6G. Матеріали дев'ятої Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та кібербезпека» (ІКТК-2023). Харків, ХНУРЕ, 2023, С. 21–24. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/25303>.
5. Shen X., Gao J., Wu W., Li M., Zhou C. and Zhuang W. Holistic Network Virtualization and Pervasive Network Intelligence for 6G. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 1, pp. 1–30, Firstquarter 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3135829>.