

ПІДХІД ДО РЕСУРСОЕФЕКТИВНОГО NETWORK SLICING НА БАЗІ NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION

Матвеев Є.В., Суліма С.В.

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних
систем КНУ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: itssulima@gmail.com*

AN APPROACH TO RESOURCE-EFFICIENT NETWORK SLICING BASED ON NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION

The paper discusses an approach to optimizing resource management in 5G and 6G networks using Network Slicing and Network Functions Virtualization (NFV) technologies. The integration of machine learning methods is proposed to ensure efficient resource allocation between network slices.

Розподіл мережі на сегменти дозволяє створювати кілька віртуальних мереж, або «слайсів», на одній фізичній інфраструктурі, пристосованих до конкретних вимог додатків. Ця можливість має вирішальне значення для задоволення різноманітних потреб у послугах, таких як розширений мобільний широкосмуговий зв'язок, наднадійний зв'язок з низькою затримкою та зв'язок з Інтернетом речей (IoT), що робить її важливою сферою вивчення та впровадження в сучасних телекомунікаціях [1-3]. Важливість оптимізації управління ресурсами в цьому контексті полягає в її потенціалі для підвищення ефективності, продуктивності та масштабованості мережі при мінімізації операційних витрат. Ключовими поняттями в цьому процесі оптимізації є динамічний розподіл ресурсів, інтелектуальне розбиття мережі на сегменти та методи оптимізації на основі штучного інтелекту, які мають на меті полегшити коригування мережевих ресурсів у реальному часі відповідно до мінливих потреб. Хоча ці методи обіцяють значне поліпшення використання ресурсів і якості послуг, вони також представляють складності, пов'язані з впровадженням і управлінням, які необхідно вирішити, щоб використовувати весь їхній потенціал [4].

Оскільки телекомунікаційний ландшафт продовжує розвиватися з появою технологій 5G і майбутніх технологій 6G, фокус на оптимізації управління ресурсами для розгалуження мережі буде мати вирішальне значення для вирішення проблем і використання можливостей, пов'язаних з цим трансформаційним зрушенням в мережевій архітектурі [5, 6].

Основний внесок даного дослідження полягає у застосуванні алгоритмів машинного навчання для оптимізації Network Slicing у поєднанні з NFV:

1. Інтелектуальне управління ресурсами – розроблено модель, яка аналізує історичні дані про навантаження мережі та прогнозує оптимальний розподіл ресурсів.

2. Динамічне масштабування – запропонований підхід дозволяє адаптувати параметри мережі в режимі реального часу, знижуючи ймовірність

перевантаження окремих сегментів.

3. Оптимізація використання NFV – інтеграція запропонованого алгоритму з NFV дозволяє гнучко змінювати конфігурацію мережі без додаткових витрат на обладнання.

Запропонована модель складається з наступних компонентів:

1. Модуль збору даних – відстежує параметри мережі в реальному часі, збираючи інформацію про трафік, пропускну здатність та затримки.

2. Модуль прогнозування (XGBoost) – аналізує історичні дані для передбачення оптимального розподілу ресурсів.

3. Модуль управління ресурсами – виконує автоматичне масштабування ресурсів залежно від поточного навантаження.

4. Модуль інтеграції з NFV – забезпечує динамічну конфігурацію мережесих функцій без необхідності зміни фізичного обладнання.

5. Модуль моніторингу та адаптації – постійно аналізує ефективність використання ресурсів та коригує параметри мережі в режимі реального часу.

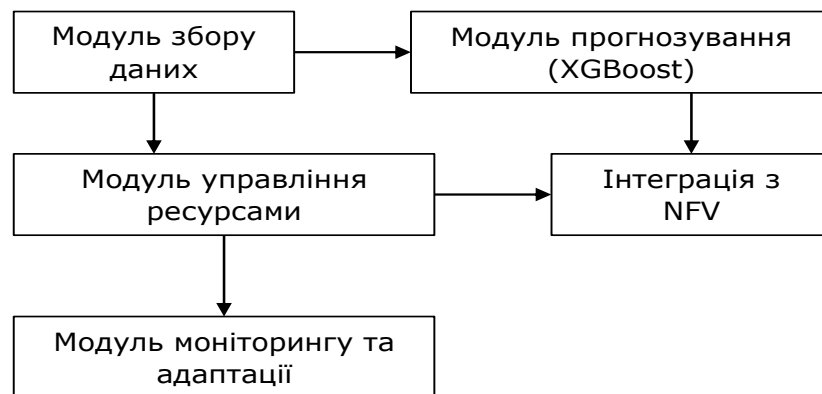


Рис.1. Графічна схема моделі.

Загальний принцип роботи:

Дані збираються → передаються в XGBoost для прогнозування → на основі прогнозу здійснюється управління ресурсами → зміни інтегруються в NFV → моніторинг контролює ефективність і за необхідності коригує стратегію. Для навчання моделі необхідно правильно підготувати дані.

Таблиця 1. Приклад набору даних.

Слайс	Тип	Мін. CPU	Мін. RAM	Мін. BW	Навантаження (%)	Оптимальний CPU	Оптимальний RAM	Оптимальний BW
Слайс1	eMBB	20	10	30	70	30	15	40
Слайс2	URLLC	15	10	20	50	20	12	25
Слайс3	mMTC	10	5	10	30	12	8	15

Після навчання оцінюємо ефективність моделі.

Середньоквадратична помилка (MSE): середнє квадратичне відхилення між прогнозованими та реальними значеннями:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{\text{pred}}^i - y_{\text{true}}^i)^2$$

де y_{pred}^i — це передбачене значення, а y_{true}^i — реальне значення.

MSE є дуже популярною функцією втрат у задачах регресії через кілька причин. По-перше, якщо між прогнозованими і реальними значеннями є велика різниця, MSE дає значно більше значення, що дозволяє моделі зосереджуватися на точності для важливих прогнозів. Крім того, MSE має гарні математичні властивості, що робить її зручною для аналізу і оптимізації. Вона є диференційованою функцією, що дозволяє використовувати стандартні методи оптимізації, такі як градієнтний спуск. Таким чином, вибір MSE як функції втрат забезпечує стабільність і ефективність навчання моделі в задачах регресії.

Корисність коефіцієнта детермінації R^2 : Коефіцієнт детермінації вимірює, яка частина варіації в залежній змінній може бути пояснена моделлю. Він варіюється від 0 до 1, де 1 означає, що модель абсолютно точно передбачає всі значення, а 0 — що модель не має прогностичної сили.

Для оцінки ефективності було проведено симуляційне моделювання. Аналіз показав, що використання алгоритму XGBoost для управління ресурсами дозволяє зменшити затримки в мережі на 15–20% та підвищити ефективність використання ресурсів на 25% у порівнянні з традиційними методами.

Інтеграція машинного навчання та NFV у процес управління ресурсами дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність та покращити якість обслуговування.

Література

1. Li, Xin, et al. "Network Slicing for 5G: Challenges and Opportunities." IEEE Internet Computing, vol. 21, no. 5, Aug. 2017, pp. 20-27.
2. Ulema, Mehmet. "5G Network Slicing - Part 1: Concepts, Principles, and Architectures." IEEE Communications Magazine, 2017, pp. 70-71.
3. Subedi, P., Alsadoon, A., Prasad, P.W.C. et al. Network slicing: a next generation 5G perspective. J Wireless Com Network 2021, 102 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13638-021-01983-7>.
4. GeeksforGeeks, "What is Network Virtualization?" GeeksforGeeks. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-network-virtualization/>. [Accessed: Feb. 10, 2025].
5. G. Singh, "Explain the concept of Network Slicing in 5G," Telecom Trainer, Jan. 6, 2024. [Online]. Available: <https://www.telecomtrainer.com/explain-the-concept-of-network-slicing-in-5g/>. [Accessed: Feb. 10, 2025].
6. Andrade, M., & Wickboldt, J. A. (2025). A Study on 5G Network Slice Isolation Based on Native Cloud and Edge Computing Tools. arXiv preprint arXiv:2502.02842.