

4. Three.js Fundamentals. База знань із вирішення практичних завдань освітлення, камер та рендерингу. URL: <https://threejsfundamentals.org/> (дата звернення: 16.03.2026).
5. WebGL Tutorial for Beginners – How to Create a 3D Scene. Навчальний матеріал щодо поетапної побудови віртуальних сцен. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/webgl-tutorial-for-beginners/> (дата звернення: 16.03.2026).

УДК 004.8:37

ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖІ 5G НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОСВІТНИХ VR/AR-ДОДАТКІВ

*Кондратенко Є.В.
Черкаський державний фаховий бізнес-коледж
Ратайчук П.Є
м. Черкаси, Україна*

Сьогодні управління мережами 5G для мобільної VR/AR-освіти залежить від статичного розподілу ресурсів, якому бракує гнучкості для адаптації до змінних мережевих умов та різноманітних потреб користувачів. Нестабільність, піки затримки та жахливі візуальні ефекти ускладнюють навчання та підтримку зацікавленості. Для досягнення масштабного, безперервного та високоякісного імерсивного навчального досвіду нам потрібна інноваційна та адаптивна структура, яка може покращити продуктивність мережі в режимі реального часу на основі вхідних даних про якість досвіду.

Функції URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communication) мереж 5G можуть допомогти задовольнити ці потреби. Завдяки високій пропускній здатності з'єднань 5G користувачі зможуть взаємодіяти з меншими затримками під час потокового передавання високоякісного контенту віртуальної та доповненої реальності. [1] Проте перед тим як велика кількість людей зможе повноцінно використовувати застосунки AR і VR, мережам 5G ще потрібно значно розвинутися, особливо для мобільних користувачів або тих, хто живе в місцях із нестабільним мережевим покриттям. На жаль, багато компаній досі

використовують застарілі методи розподілу мережевих ресурсів, які не встигають за швидкими змінами в мережах 5G та зростанням мережевого трафіку і нових вимог. Через цю негнучкість у VR- та AR-додатках для освіти можуть виникати проблеми з якістю користувацького досвіду (QoE), зокрема затримки, джитер (нерівномірність затримки) та зниження частоти кадрів. [3] Такі проблеми можуть ускладнювати процес навчання для студентів і зменшувати їхню зацікавленість.

Проблема стає значно серйознішою, коли системою користується велика кількість людей одночасно, наприклад у мобільних аудиторіях або під час імерсивних навчальних подій на рівні всього кампусу. Це пов'язано з тим, що мережевих ресурсів може не вистачати для всіх користувачів.

Мобільна система навчання VR/AR, що працює на базі мережі 5G та використовує мережеве сегментування (network slicing) з керуванням штучним інтелектом для забезпечення імерсивного та безперервного освітнього досвіду. [4] У системі використовується навчання з підкріпленням у реальному часі, яке постійно оптимізує мережеві ресурси, такі як затримка та пропускна здатність, щоб забезпечити максимально якісний віртуальний досвід. Викладачі можуть застосовувати цю технологію для створення гнучких та інтерактивних навчальних середовищ, а також використовувати аналітичні інструменти для відстеження успішності студентів. Крім того, система спрощує використання VR та AR у навчанні, забезпечуючи студентам швидке та гнучке підключення до мережі 5G. [2] На відміну від традиційних підходів статичного розподілу ресурсів, які використовують фіксовані параметри та не можуть адаптуватися до змінних умов мережі, ARL-NS оптимізує мережеве сегментування на основі даних QoE у реальному часі, використовуючи методи навчання з підкріпленням. Це дозволяє системі швидко реагувати на перевантаження мережі, зміну попиту користувачів та зміни в середовищі, забезпечуючи оптимальну роботу ресурсомістких застосунків, таких як VR та AR [1].

Порівняно з методами глибокого навчання, які потребують великих наборів даних і регулярного перенавчання, система ARL-NS краще підходить

для сценаріїв, що вимагають швидкої адаптації мережі. Евристичні методи можуть бути ефективними у контрольованих умовах, але менш ефективні в динамічних середовищах. На відміну від них, ARL-NS навчається на основі стану мережевого середовища та адаптує розподіл ресурсів у реальному часі, що підвищує масштабованість та ефективність системи. Крім того, ARL-NS може ефективніше підтримувати ширший спектр ресурсоємних застосунків, ніж стандартні підходи до мережевого сегментування, оскільки динамічно змінює розмір мережесегментів і розподіл ресурсів.

Представлено архітектуру ARL-NS, яка покращує якість користувацького досвіду (QoE) для інтерактивних освітніх VR/AR-застосунків у мобільному навчанні, оптимально використовуючи ресурси мережі 5G у режимі реального часу.

На рис. 1 зображено навчальну аудиторію, що використовує технологію 5G, у якій застосовуються віртуальна та доповнена реальність для покращення навчального процесу. [1]

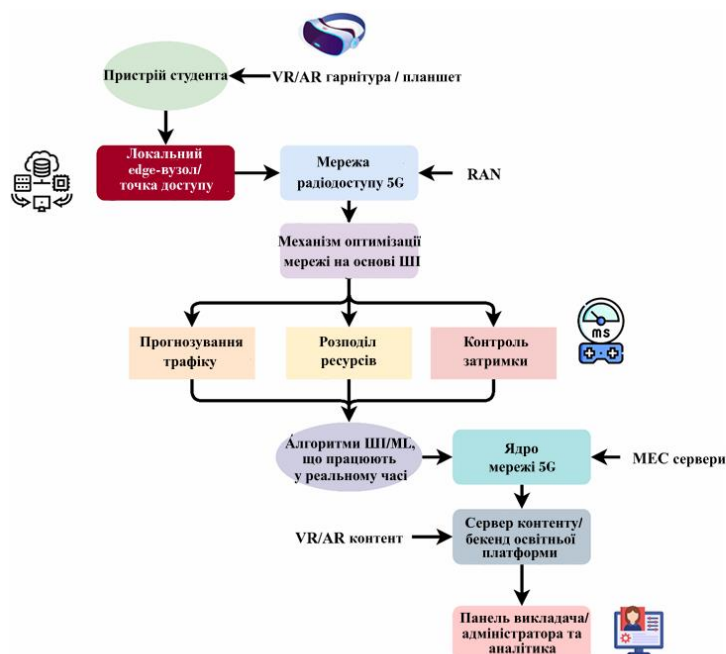


Рисунок 1 – Оптимізація мережі 5G на основі штучного інтелекту для захопливої освітньої віртуальної/доповненої реальності в мобільному навчанні

Пристрої студентів підключаються до мережі радіодоступу 5G (Radio Access Network, RAN) через найближчі edge-вузли або точки доступу. Спеціальний механізм оптимізації мережі, що використовує штучний інтелект і машинне навчання, керує затримкою, ефективно розподіляє ресурси та прогнозує мережевий трафік у реальному часі.

Після цього ядро мережі 5G та сервери Mobile Edge Computing (MEC) можуть швидше обмінюватися даними. Контент-сервер надає освітні VR та AR ресурси, що дозволяє студентам повністю зануритися в навчальний процес. [1] За допомогою аналітичних інструментів і інформаційних панелей адміністратори та викладачі можуть відстежувати рівень залученості та успішність студентів. Це дозволяє створювати гнучкі та сучасні навчальні середовища, які поєднують технології 5G та штучний інтелект.

Список використаних джерел:

1. Nyu Long, Weiheng Wang. AI-driven 5G network optimization for immersive educational VR/AR applications in mobile learning environments - Discover Internet of Things. *SpringerLink*. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43926-025-00246-x> (date of access: 08.03.2026).
2. Anastasiya Doroshenko, Kvitoslava Obelovska, Rostyslav Liskevych. Augmented and virtual reality for education: a case study in 5G network slicing*.
3. Leveraging 5G and AI Technologies to Enhance Real-Time. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/itl2.70075> (date of access: 10.03.2026).
4. Kangdon Lee. The Future of Learning and Training in Augmented Reality. URL: <https://scispace.com/pdf/the-future-of-learning-and-training-in-augmented-reality-3gdvtb10d1.pdf> (date of access: 06.03.2026).