

## ПЕРИФЕРІЙНИЙ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Досліджено можливості периферійного інтелекту на основі периферійних обчислень зі штучним інтелектом для оптимізації роботи додатків і послуг 6G. Визначено переваги та складові елементи периферійного штучного інтелекту. Розглянуто особливості впровадження периферійного ШІ в сучасних телекомунікаційних системах та мережах.*

Ключові слова: граничний штучний інтелект, обчислювальна інфраструктура, глибоке машинне навчання, периферійне обчислення.

Граничні обчислення дозволяють децентралізувати хмарні додатки, забезпечуючи при цьому більшу пропускну здатність і зменшуючи затримки за рахунок переміщення обчислювальних ресурсів і функцій інформаційних технологій (ІТ) з централізованого центру на периферію мережі [1]. Разом з тим виконується переміщення обчислень, специфічних для додатків, між хмарою, пристроями, що генерують дані, і компонентами мережевої інфраструктури на межі бездротових і фіксованих мереж [2]. Тим часом, завдяки розвитку обчислювальної інфраструктури, великих даних і науки про дані, методи штучного інтелекту (ШІ) і машинного навчання (МН) (особливо глибокого навчання) були визнані найважливішою технологією і знайшли багато практичних застосувань, наприклад, розпізнавання зображень і мови, обробка природної мови, пошук ліків, самокеровані транспортні засоби, а також мобільний зв'язок і мережеві технології.

Однак сучасні методи глибокого навчання передбачають, що обчислення (наприклад, глибоке навчання моделей) проводяться в потужній обчислювальній інфраструктурі [3], такий як центри обробки даних з достатніми обчислювальними ресурсами і ресурсами для зберігання даних.

Незважаючи на останні дослідження і розробки, сам термін "периферія" в периферійних обчисленнях залишається дифузним терміном. Серед різних дослідницьких спільнот і дослідників відсутнє загальноприйняте визначення того, що таке периферія, де вона знаходиться і хто її забезпечує. Існує спільне розуміння її властивостей: порівняно з хмарою, її особливостями є близькість і локальність (затримка і топологія), збільшена пропускну здатність мережі (ефективно досяжна швидкість передачі даних), менша обчислювальна потужність, менший масштаб, вища гетерогенність пристроїв, обізнаність про місцезнаходження і контекстна інформація про мережу [4].

Порівняно з кінцевими пристроями периферійний ШІ має збільшені обчислювальні ресурси та ресурси для зберігання даних. Це абстрактна сутність для розвантаження обчислювальних завдань і зберігання даних без обходу централізованої хмари.

Зростаюча напруженість виникає через сучасні методи ШІ та МН, які вимагають потужної обчислювальної інфраструктури [5], яку краще задовольнити в центрі обробки даних і централізованій хмарі з достатніми доступними обчислювальними ресурсами та ресурсами зберігання даних. Однак надсилання необхідних вихідних даних до хмари створює тиск на мережу з точки зору пропускну здатності та пропускну спроможності, а також на користувачів з точки зору вартості, затримок і надійності. Тим часом, організації та кінцеві користувачі, як правило, менш зацікавлені в обміні (потенційно обмеженими) даними з комерційними хмарними провайдерами. Це цілком зрозуміло, оскільки дані можуть містити приватну інформацію, таку як банківський рахунок, стать і група крові. Оскільки периферія знаходиться ближче до кінцевих користувачів, ніж централізована хмара, ці проблеми можна вирішити за допомогою швидкозростаючої

галузі периферійного ШІ.

Отже, об'єднання ШІ і периферійних обчислень створює концепцію периферійного ШІ (тобто периферійного інтелекту). У периферійному ШІ моделі ШІ можуть вивчатися або локально на кінцевих пристроях (наприклад, пристроях Інтернету речей, мобільних телефонах і датчиках), або на периферійних вузлах (наприклад, у периферійній хмарі), або в централізованій хмарі. Іншими словами, периферійний ШІ - це не просто моделі ШІ на межі мережі; пристрої, периферія і хмара можуть працювати в тісній співпраці для досягнення кращої продуктивності, обмінюючись даними і оновленнями моделей по всій мережі. Таким чином, очікується, що периферійний ШІ сформує багато потенційних варіантів використання - від додатків ШІ, навчання на межі мережі до методів ШІ для оптимізації периферії мережі. Отже, периферійний ШІ - це використання ШІ для оптимізації периферії, а також навчання і розгортання послуг ШІ на периферії мережі. Граничний ШІ збирає і обробляє дані в безпосередній близькості до користувачів.

Граничний ШІ - це обробка алгоритмів ШІ на периферії, тобто на пристроях користувачів. Він має кілька переваг. Зменшена затримка/вища швидкість оскільки розрахунки виконуються локально, усуваючи затримки при спілкуванні з хмарою та очікуванні відповіді. Покращення безпеки (за межами "периферійних обчислень") за рахунок можливості процесорів Edge AI вивчати звичайні шаблони мережевого трафіку і виявляти шкідливе програмне забезпечення, сигнатури атак та інші види зловмисної активності. Разом з тим, вони можуть швидко вивчати нові моделі атак, щоб адаптуватися до загроз наступного покоління, що в іншому випадку було б неможливо [6]. Подальше підвищення надійності/автономності технології, оскільки ШІ може продовжувати працювати, навіть якщо мережа або хмарний сервіс виходить з ладу, що є критично важливим для таких додатків, як автономні автомобілі та промислові роботи. Пристрої на основі периферійних технологій не потребують спеціалізованого обслуговування з боку аналітиків даних або розробників ШІ. Графічні потоки даних автоматично передаються для моніторингу, тому це автономна технологія. Подальше покращення енергоспоживання за рахунок апаратного забезпечення периферійного ШІ, оскільки мікросхеми периферійного ШІ зазвичай покладаються на потік даних, що знаходиться поблизу пам'яті або в пам'яті, де логіка і дані в пам'яті розташовані ближче один до одного. Крім того, компанії, які розробляють периферійні чіпи ШІ, зазвичай виконують алгоритми МН як 8- або 16-розрядні обчислення, що іноді може додатково знизити споживання енергії на порядки. Qualcomm стверджує, що їхні мікросхеми з оптимізованим ШІ можуть забезпечити економію енергії до 25 разів порівняно зі звичайними мікросхемами та стандартними обчислювальними підходами [7]. Подальше покращення конфіденційності (окрім переваг "периферійних обчислень") за допомогою розподілених або децентралізованих методів ШІ, таких як федеративне навчання. Федеративне навчання головним чином покращує конфіденційність, уникаючи необхідності надсилати необроблені дані на великі відстані, а потім зберігати їх на віддаленому централізованому сервері. Таким чином здійснюється розподіл необроблених даних серед клієнтів (наприклад, безпілотних літальних апаратів [БПЛА]) для оптимізованої подальшої обробки завдяки навчанню спільної моделі на сусідньому сервері з використанням комбінації локально обчислених оновлень [8].

Подальше зменшення накладних витрат на зв'язок у певних сценаріях забезпечується за допомогою контролю частоти агрегації. У випадку навчання моделі глибокого навчання в середовищі периферійних обчислень, де розподілені моделі спочатку навчаються локально, а потім оновлення агрегуються централізовано (наприклад, федеративне навчання), контроль частоти агрегації оновлень має значний вплив на накладні витрати на зв'язок. У таких сценаріях процес агрегації можна ретельно контролювати та оптимізувати за допомогою "контролю частоти агрегації" [9].

Периферійний ШІ поступово проникає в основні сфери послуг, такі як підключені транспортні засоби, ігри в реальному часі, "розумні" фабрики та охорона здоров'я. З точки зору інфраструктури, периферійні середовища забезпечують унікальний рівень для ШІ, а також пропонують можливості для існуючих технологій, таких як вбудований ШІ або федеративне навчання, які спрямовані на мінімізацію споживання пам'яті на окремих пристроях, підвищення конфіденційності за рахунок збереження даних на локальному пристрої, а також зменшення потреб у зв'язку між розподіленими об'єктами. Поточні приклади застосувань периферійного ШІ включають розпізнавання обличчя і оновлення інформації про дорожній рух в реальному часі на

смартфонах, а також напівавтономні транспортні засоби або розумні пристрої. Інші пристрої з підтримкою штучного інтелекту включають відеоігри, розумні колонки, роботів, безпілотники, камери спостереження і носимі пристрої для моніторингу здоров'я.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Q. Duan, "Intelligent and autonomous management in cloud-native future networks—a survey on related standards from an architectural perspective," *Future Internet*, vol. 13, no. 2, 2021., p. 42.
2. A. Boudi, M. Baga, P. Pöyhönen, T. Taleb, and H. Flinck, "AI-based resource management in beyond 5G cloud native environment," *IEEE Network*, vol. 35, no. 2, 2021., pp. 128–135
3. D. C. Nguyen, Q.-V. Pham, P. N. Pathirana, M. Ding, A. Seneviratne, Z. Lin, O. Dobre, and W.-J. Hwang, "Federated learning for smart healthcare: A survey," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 55, no. 3, 2022., pp. 1–37
4. T. Huynh-The, Q.-V. Pham, T.-V. Nguyen, and D.-S. Kim, "Deep learning for coexistence radar-communication waveform recognition," in *2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC) IEEE*, 2021, pp. 1725–1727.
5. М. Васильківський, Д. Нікітович, і О. Болдирева, «Керування доступом до інформаційних даних в інтелектуальних інфокомунікаційних мережах», *ВОТТП*, вип. 4, с. 5–17, Вер 2022.
6. М. Васильківський, Г. Варгатюк, і О. Болдирева, «Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6G», *ВОТТП*, вип. 4, с. 62–70, Груд 2022.
7. М. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, і М. Будащ, «Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML», *ВОТТП*, вип. 1, с. 89–100, Бер 2023. doi: 10.31891/2219-9365-2023-73-1-13
8. М. Васильківський, Д. Нікітович, Н. Грабчак, і Н. Якубівська, «Оптимізація адаптивних радіосистем із використанням алгоритмів ШІ та МН», *ВОТТП*, вип. 2, с. 112–124, Чер 2023. doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-15
9. Васильківський, М., Стальченко, О., & Якубівська, Н. 2023 Jun 18. Інтелектуальна оптимізація мобільних мереж МІМО. НТКП ВНТУ. Факультет інформаційних електронних систем. [Онлайнний ресурс]

*Васильківський Микола Володимирович* — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

*Стальченко Олександр Володимирович* — кандидат технічних наук, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: magicphenix@gmail.com

*Грицаюк Дмитро Юрійович* — студент групи ТКС-22м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

## PERIPHERAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

### Abstract

*The possibilities of edge intelligence based on edge computing with artificial intelligence for optimizing the operation of 6G applications and services are investigated. The advantages and constituent elements of edge AI are determined. The features of the implementation of peripheral AI in modern telecommunication systems and networks are considered.*

**Keywords:** edge artificial intelligence, computing infrastructure, deep machine learning, edge computing.

*Vasylkivskyi Mykola Volodymyrovych* - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

*Stalchenko Oleksandr Volodymyrovych* - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: magicphenix@gmail.com

*Hrytsaiuk Dmytro Yuriiovych* - student of group TCS-22m, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com