

МАШИННЕ НАВЧАННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙ

Могильний С.Б.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: isearch@ukr.net

MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES

The implementation of ML technologies in various areas of our activity requires a broader study of their application in the telecommunications industry. Examples of ML applications are given with a brief analysis of the learning models used.

Серед задач телекомунікаційних технологій, які ефективно допомагає вирішити машинне навчання (ML – Machine Learning), наступні:

- Виявлення аномалій та вторгнень.
- Управління інтерференцією в стільникових мережах.
- Оптимізація мережі.
- Оптимізація параметрів радіосигналу.
- Управління живленням.
- Прогнозування обслуговування.
- Оцінка якості передачі.
- Класифікація трафіку та кластеризація потоків.

Важливо розуміти відмінності та зв'язки між штучним інтелектом (AI), машинним навчанням (ML), штучними нейронними мережами (ANN) та глибоким навчанням (DL). На рис.1 зображені ці відмінності та зв'язки.

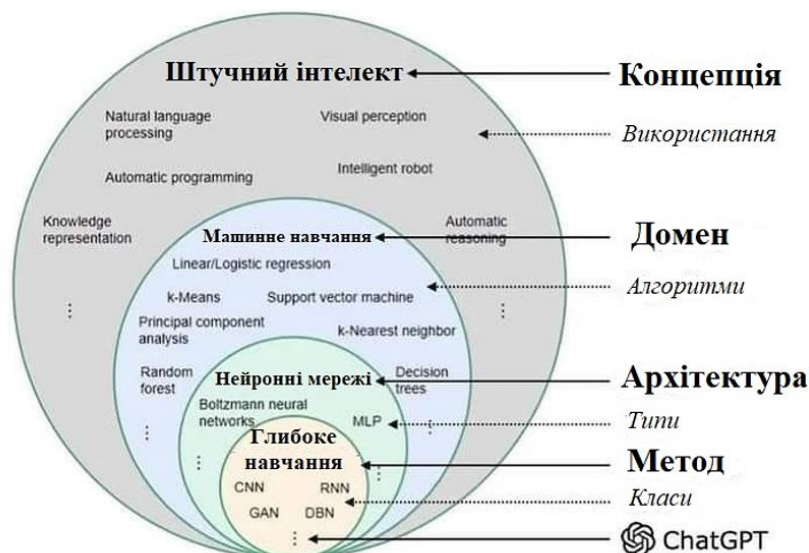


Рисунок 1. Розуміння штучного інтелекту, машинного навчання, штучних нейронних мереж і глибокого навчання.

Штучний інтелект: всеохоплююча концепція, яка включає все: від обробки природної мови до інтелектуальних роботів.

Машинне навчання: підмножина штучного інтелекту, зосереджена на розробці алгоритмів, які дозволяють комп'ютерам навчатися та робити

прогнози на основі даних.

Штучні нейронні мережі: певний набір алгоритмів у системі машинного навчання, розроблений для розпізнавання шаблонів.

Глибоке навчання: найбільш спеціалізована форма нейронних мереж, яка працює з величезними обсягами даних і складними алгоритмами, такими як згорткові нейронні мережі (CNN), рекурентні нейронні мережі (RNN) і генеративні змагальні мережі (GAN).

В галузі електронних комунікацій важливі ті застосування ML, які дозволяють оптимізувати інженерні рішення, або отримати нові на основі оброблення великих масивів даних. Нижче наведені результати аналізу застосування ML в телекомунікаціях.

Таблиця. 1 Моделі категорії «ML з вчителем» з характеристиками та застосуванням [1].

Модель навчання	Характеристики	Застосування
Дерева рішень (Decision trees)	Прогнозує мітки даних шляхом ітерації вхідних даних через дерево навчання	Колекція шляху, рівень втрат, агрегація даних, аномалія [2]
Випадковий ліс (Random forest)	Колекція дерев, кожне з яких пропонує класифікацію	Покриття, розташування, протоколи MAC, дані категоризації [3]
Штучна нейронна мережа (Artificial neural network)	Блоки нейронів для ідеальної категоризації необроблених даних.	Виявлення вторгнення /аномалій /збоїв, локалізація, маршрутизація, контроль перевантаження [4]
К-найближчих сусідів (K-NN)	Більшість голосів сусідів	Агрегація даних, оцінка каналу, несправні вузли, система обробки запитів [5]
Метод опорних векторів (Support Vector Machine)	Роздільні входи, легке навчання	Розпізнавання спектру, виявлення аномалій [2]
Байєсова мережа (Bayesian network)	Статистичні моделі, незалежні результати, як в часових рядах Маркова	Оцінка каналу, спектру, покриття, помилок, відстеження пакетів [6]

Таблиця 2. Моделі категорії «ML без вчителя» з характеристиками та застосуванням.

Модель навчання	Характеристики	Застосування
К-середніх (K-means)	Відкриває найвигідніші параметри кластерів	Вилучення функцій, збір даних, прийняття рішень [7]
Нечітка кластеризація- с -середніх (Fuzzy-c-means)	Кластер на основі потужності, відстані, зв'язку	Локалізація, зв'язок, мобільність [3]
Опорний векторний вимір (Support Vector Dimension)	Зменшення розмірності для матричної факторизації	Класифікація, агрегація даних, маршрутизація [5]
Аналіз головних компонент (Principle component analysis)	Ортогональна вісь для максимізації дисперсії для зменшення розмірності	Усунення шумів, зменшення розмірності, вилучення ознак [8]
Незалежний компонентний аналіз (Independent component analysis)	Діаграма даних, багатовимірне спостереження в підкомпонентах	Зменшення даних, кластеризація даних, прийняття рішень [9]

Таблиця 3. Моделі DL з характеристиками та застосуванням [1].

Модель навчання	Характеристики	Застосування
Автокодер (Auto-encoder)	Зменшення вхідних даних до вихідних через специфікації	Визначення спектру, оцінка каналу, усунення шумів [3]
Рекурентна нейронна мережа (Recurrent neural network)	Введення/виведення складаються з автономних послідовностей	Час/подія, оцінка каналу [10]
Згорткова нейронна мережа (Convolution neural network)	Навчання багатошарових нейронів для зменшення обробки даних	Модульна класифікація, еволюція зв'язків, безпека, вилучення ознак [4]

Кількість задач, які вирішуються за допомогою ML, збільшується з впровадженням нових технологій. Так, в стандарті 6G виявлення сигналу користувача, визначення типу модуляції та напряму на джерело радіо випромінювання повністю виконується з допомогою ML [4, 5].

Література

1. Suganthi K., Karthik R., Rajesh G., Peter Ho Chiung Ching. Machine Learning and Deep Learning Techniques in Wireless and Mobile Networking Systems. CRC Press. 2022. 285 p.
2. Mohammad A. Matin, Sotirios K. Goudos, George K. Karagiannidis. Artificial Intelligence for Future Networks. IEEE Press. 2025. 592 p.
3. Garima Chopra, Suhaib Ahmed, Shalli Rani. Current and Future Cellular Systems. IEEE Press Wiley. 2025. 324 p.
4. Dragorad A. Milovanovic, Zoran S. Bojkovic, Tulsi Pawan Fowdur. Driving 5G Mobile Communications with Artificial Intelligence towards 6G. CRC Press. 2023. 503 p.
5. Radhika Ranjan Roy. Artificial Intelligence-Based 6G Networking. CRC Press. 2025. 381 p.
6. Mariyam Ouaisa, Mariya Ouaisa, Hanane Lamaazi, Khadija Slimani, Ihtiram Raza Khan, B. Sundaravadivazhagan. Machine Learning for Radio Resource Management and Optimization in 5G and Beyond. CRC Press. 2025. 249 p.
7. Payal Bansal, Rajeev Kumar, Ashwani Kumar, and Daniel D. Dasig, Jr. Artificial Intelligence and Communication Techniques in Industry 5.0. CRC Press. 2025. 421 p.
8. Daniel Minoli, Benedict Occhiogrosso. AI Applications to Communications and Information Technologies. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2024. 493 p.
9. Ramjee Prasad, Anand Raghawa Prasad, Albena Mihovska, Nidhi. 6G Enabling Technologies. New Dimensions to Wireless Communication. River Publishers. 2022. 382 p.
10. Samarendra Nath Sur, Agbotiname Lucky Imoize, Ankan Bhattacharya, Debdatta Kandar, Jyoti Sekhar Banerjee. Artificial Intelligence for Wireless Communication Systems: Technology and Applications. CRC Press. 2025. 319 p.