

УДК 004.7: 004.93

*Марчук Д.К., ст. викладач**Державний університет «Житомирська політехніка»*

EDGE-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ПАРКУВАЛЬНИХ ПРОСТОРІВ

Зростаюча кількість автомобілів у містах створює значні проблеми, зокрема, ускладнює пошук вільних паркувальних місць. Традиційні системи управління паркуванням, які покладаються на централізовану обробку даних, часто страждають від високих затримок і надмірного навантаження на мережу. Це робить їх недостатньо оперативними для водіїв, які шукають паркомісце в реальному часі.

Дане дослідження пропонує рішення, що ґрунтується на периферійному інтелекті (Edge Computing). Суть підходу полягає в тому, що значна частина обчислень відбувається безпосередньо на периферійних пристроях (Edge Devices), розташованих поблизу джерел даних. Джерелом даних виступають камери. Такий децентралізований підхід дозволяє істотно зменшити затримки, підвищити швидкість прийняття рішень та знизити вимоги до пропускної здатності мережі, що є критично важливим для створення інтелектуальної системи управління паркуванням.

Математична формалізація паркувального простору є фундаментальним кроком у системному підході, оскільки вона перетворює фізичні об'єкти на структуровані дані для подальшої обробки (рис.1).



Рисунок 1 – Математична формалізація паркувального простору

Кожне паркувальне місце P_i моделюється як унікальна геометрична область у R^2 , визначена набором математичних функцій, що чітко задають її межі. Стан P_i у час t представляється булевою

змінною $S_i(t)$, де 1 означає, що паркомісце зайняте, а 0 — вільно. Це дозволяє описати загальний стан усього паркувального простору в будь-який момент часу t як вектор станів $S(t)$, де кожен елемент вектора - це статус відповідного місця.

Ключовим елементом збору даних є розумна камера. На парковці може бути розгорнуто декілька камер, кожна з яких має свою унікальну зону покриття і генерує безперервний потік сирих зображень (кадрів). Сире зображення трансформується у структуровані дані. На відміну від традиційних систем, які надсилають весь відеопотік на центральний сервер, тут відбувається локальна обробка на Edge Devices. Процеси локальної обробки:

1. Калібрування та виділення області інтересу. На основі попереднього калібрування камери точно визначається і виділяється підобласть на зображенні, яка геометрично відповідає паркувальному місцю.

2. Вилучення ознак. До виділеної області застосовується функція (наприклад, шари згорткової нейронної мережі), що перетворює піксельні дані на вектор ознак, який містить суттєву інформацію (наявність автомобіля, його контури).

3. Локальна класифікація. Навчений класифікатор (вбудований в периферійний пристрій) приймає вектор ознак і видає локальну оцінку, яка є ймовірністю зайнятості місця.

Ця децентралізація обчислень забезпечує швидке прийняття рішень безпосередньо на периферії, зменшуючи обсяг даних, що передаються по мережі, лише до необхідних локальних оцінок, а не сирих відеопотоків.

Аналіз літературних джерел підтверджує актуальність та інноваційність запропонованого підходу, що вирішує критичні проблеми традиційних централізованих систем управління паркуванням, які страждають від високих затримок, навантаження на мережу та недостатньої оперативності через постійне зростання автомобільного парку в містах. Сучасні дослідження ([1], [2], [3], [4], [5], [6]) активно переходять від хмарних рішень до парадигми периферійних обчислень (Edge Computing), що є наріжним каменем даного дослідження. Зокрема, роботи [2], [3] та [6] демонструють, як інтеграція IoT, розумних камер (як ключових Edge Devices) та алгоритмів машинного зору/глибокого навчання забезпечує високоточне, індивідуалізоване та швидке виявлення статусу паркувальних місць, мінімізуючи обсяг переданих даних, що відповідає концепції локальної обробки та математичної формалізації паркувального простору (P_i як геометричної області в R^2).

Список використаних джерел:

1. X. Huang, P. Li, R. Yu, Y. Wu, K. Xie and S. Xie, "FedParking: A Federated Learning Based Parking Space Estimation With Parked Vehicle Assisted Edge Computing," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 70, no. 9, pp. 9355-9368, Sept. 2021, doi: 10.1109/TVT.2021.3098170.
2. C. Lee, S. Park, T. Yang and S. -H. Lee, "Smart Parking with Fine-Grained Localization and User Status Sensing Based on Edge Computing," *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, Honolulu, HI, USA, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTCFall.2019.8891560.
3. W. Kim and I. Jung, "Smart Parking Lot Based on Edge Cluster Computing for Full Self-Driving Vehicles," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 115271-115281, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3208356. keywords: {Sensors;Wireless sensor networks;Space vehicles;Aerospace electronics;Real-time systems;Image edge detection;Intelligent sensors;Edge computing;Smart devices;Edge computing;full self-driving;mobile edge;smart parking lot},
4. Sarker, V.K.; Gia, T.N.; Ben Dhaou, I.; Westerlund, T. Smart Parking System with Dynamic Pricing, Edge-Cloud Computing and LoRa. *Sensors* 2020, 20, 4669. <https://doi.org/10.3390/s20174669>
5. A. F. Ala'anzy, M. A. Ala'anzy, U. A. Bukar, T. Zhukabayeva, D. Baumuratova and N. Karabayev, "Real-Time Oversight of Parking Space Management in IoT Edge Computing for Industry 4.0: A Case Study," *2024 IEEE 7th International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT)*, Langkawi Island, Malaysia, 2024, pp. 132-137, doi: 10.1109/ISTT63363.2024.10750756.
6. H. Bura, N. Lin, N. Kumar, S. Malekar, S. Nagaraj and K. Liu, "An Edge Based Smart Parking Solution Using Camera Networks and Deep Learning," *2018 IEEE International Conference on Cognitive Computing (ICCC)*, San Francisco, CA, USA, 2018, pp. 17-24, doi: 10.1109/ICCC.2018.00010.