

РЕАЛІЗАЦІЯ EDGE-СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЗАДАЧІ ДЕТЕКЦІЇ РУХУ

Багацький О.В.

Інститут кібернетики ім.В.М.Гушкова НАН України, м. Київ

ВСТУП

У даній роботі було розглянуто проблеми створення та реалізації прототипу EDGE-системи відеоспостереження для задачі детекції руху. Були описані основні проблеми детектування руху, що пов'язані з зашумленістю зображення та зміною умов освітлення. Наведено загальну структуру EDGE-системи типу «клієнт-сервер» та її реалізацію для задачі детектування руху з наведеним інструментарієм для цієї задачі. Запропоновані подальші кроки з покращення системи детектування, шляхом впровадження додаткових апаратно-програмних модифікацій.

Актуальність і постановка проблеми. Сучасні системи відеоспостереження мають можливості детектування руху будь-якого об'єкта безпосередньо на кожній відеокамері. Однак зазвичай такі системи використовують закриті пропрієтарні апаратні та програмні архітектури, що унеможлиблюють модернізацію такої системи або додавання до системи нових можливостей (розпізнавання об'єкта, зменшення впливу атмосферних явищ на результат, розпізнавання дій та ін.). Крім того, на теперішній час проблемою є відсутність апаратних і програмних стандартів, які б описували функціональні можливості як «вузла» так і «сервера» для обробки відеоінформації, тому такі системи можуть мати різні можливості для реалізації задач детектування, виділення та класифікації об'єктів, яку можна легко модернізувати для надання їй нових можливостей або покращення вже існуючих використовуючи при цьому існуючий відкритий інструментарій для створення систем.

Метою роботи є побудова нової структури EDGE-системи відеоспостереження для задачі детекції руху та створення прототипу для перевірки її роботоспроможності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікації за цією темою можна розділити на декілька напрямів. Перший напрям – це опис методів і засобів для обробки відеоінформації (роботи [1-3]), в яких описуються різні методи для детекції певного об'єкта та підвищення ефективності детектування.

Інший напрям зосереджений на описі архітектури EGDE-системи для обробки відеоінформації для різних типів задач (роботи [4-6]).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи та підходи для задачі детекції руху

В цілому методи для вирішення задачі детектування руху у відеопослідовності зазвичай базуються на покадровому методі порівняння для визначення змін у послідовних кадрах і, таким чином, виявлення

(«детектування») руху. Найпростішим варіантом порівняння двох (або декількох) кадрів є операція віднімання значень відповідних пікселів у суміжних кадрах для виявлення або руху об'єктів (камера не рухається) або руху об'єкту на якому знаходиться камера.

Переваги такого підходу – швидкодія, яку, в свою чергу, можна підвищити за допомогою використання паралельної обробки даних з використанням апаратних можливостей не тільки CPU а і GPU (наприклад, використовуючи технологію NVidia CUDA) та суміщенням вводу з обробкою даних.

Складність при детектуванні рухомого об'єкту полягає в його відокремленні від інших об'єктів сцени, які виконують асинхронні рухи у кадрі (наприклад, гілки дерев або кущів) та його детекції при спотворенні сцени під впливом певних атмосферних явищ (дощ, сніг і т.д.). В такому разі для визначення необхідного об'єкту можливо використовувати класифікацію такого об'єкта (наприклад, визначити необхідний об'єкт відповідно до його геометричних параметрів, кольорових ознак тощо), що зазвичай виконує натренована нейронна мережа [2]. Додатково у вузлі або системі можуть використовуватися і сенсори, що працюють в інфрачервоному діапазоні (NIR, SWIR, MWIR, LWIR)[7] або у інших частотних діапазонах, що відмінні від видимого спектру (наприклад, лідари[8]), дані, які можуть надати додаткову інформацію про рухомий об'єкт.

Пропонована структура EDGE-системи відеоспостереження

Виходячи з методів та описаних апаратно-програмних засобів, за рахунок яких створюється і функціонує EDGE-система відеоспостереження, пропонується загальна структура системи типу «клієнт-сервер», на якій може відбуватися аналіз кадрів для обробки відеопослідовності, яка представлена на рисунку 1.

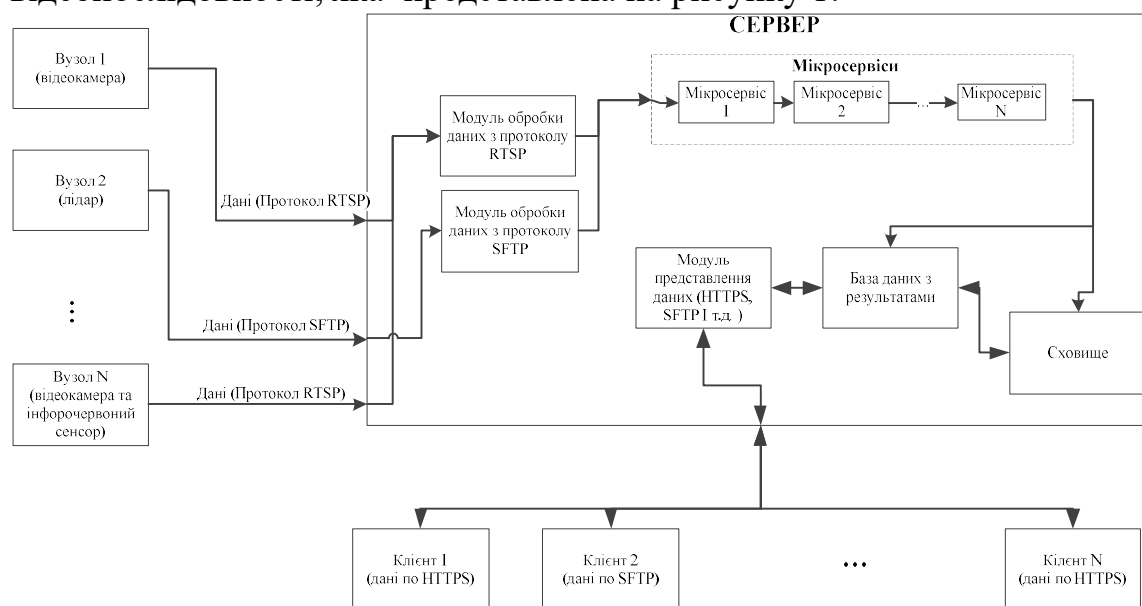


Рис.1. Приклад структура EDGE-системи відеоспостереження

Як видно з рисунку 1, «Вузлом» (або «клієнтом») може бути як відеокамера, так і лідари або комбінована камера (наприклад, відеокамера та інфрачервоний сенсор). Всі ці вузли передають дані на «головний вузол» (або «сервер») для подальшої обробки та зберігання. Слід зауважити, що у «вузлі» виконується первинна обробка даних (фільтрація, усереднення і т.п.), що є частиною функцій для підвищення ефективності роботи всієї EDGE-системи (наприклад, мінімізація використання пропускну здатності даних, попередня обробка даних у режимі реального часу та зберігання конфіденційних даних).

Відеодані, які отримуються вузлом з сенсорів, представлені у «стиснутому» (або «спотвореному») вигляді. Для відеопотоку це зазвичай кодек MPEG, для окремого набору кадрів-файлів – це кодек JPEG. Далі дані на вузлах обробляються у реальному часі (наприклад, відбувається первинна фільтрація) за допомогою наявного апаратного ресурсу. Отриманий результат може передаватися за допомогою протоколів передачі медіаданих (наприклад, RTSP або RTP)[5] та/або метаінформації (наприклад, ONVIF Profile M)[9] в залежності від задачі та типу вузла.

Отримані сервером дані після обробки за допомогою мікросервісів (алгоритми і методи детектування, виділення та класифікації, які не можуть бути виконані на вузлі) індексуються у базі даних та переміщуються у сховище з якого вони, за необхідності, можуть бути надані клієнтам цієї системи. У ситуації, коли задача повністю виконується на вузлі мікросервіси можуть бути не задіяними взагалі.

Практична реалізація EDGE-системи відеоспостереження

Прототип запропонованої системи складається з одного вузла та сервера, що отримує та зберігає дані з нього.

Вузол створений на базі одноплатного комп'ютера Orange Pi Zero 2W (4 Gb), який використовує відеокамеру з роздільною здатністю 640x480. Вузол виконує задачу детекції руху, отримуючи дані з камери та зі швидкістю обробки не менше 25 кадрів/сек обробляє ці дані. Якщо рух детектується – кадр зберігається у вигляді окремого файлу JPG з кодуванням 4:4:4 локально. З періодичністю 1 секунда цей файл (файли) переміщується до серверу за допомогою відкритого SSH-«тунелю», за допомогою використання програмних засобів cron та rsync, причому за необхідності при передачі ці файли будуть «стискатися», використовуючи стиснення Zstd (відповідний ключ rsync). Оскільки задача детектування вирішується повністю на вузлі – жодних мікросервісів для покращення результату на сервері не потребується. Дані, що передаються на сервер можуть автоматично вилучатися з вузла під час передачі.

Сервер на базі комп'ютера на базі процесора Intel (i7-14700F / RTX 3060 / 16GB) використовує в якості мікросервісів образи Docker, які можуть бути представлені натренованими нейронними мережами або

нелінійними фільтрами. В якості мікросервісу в системі був присутній образ Docker з медіанним фільтром.

Також для взаємодії з клієнтами був створений образ Docker, який містить модуль представлення даних типу https Web-сервера (створений на Node.js) і відображає передані та, за необхідності, розпаковані файли на локальній Web-сторінці сервера з заданим портом. Https-сертифікат для Web-сервера існує тільки на цьому локальному сервері, що унеможливило отримання переліку переданих та існуючих на сервері даних.

І на вузлі і на сервері використовується ОС Ubuntu 22.04.05 LTS – ОС на базі Debian з відкритим програмним кодом. У прототипі для передачі даних використовується SSH – мережевий протокол прикладного рівня, який може використовуватися для передачі даних між сервером та вузлами для забезпечення конфіденційності через механізми ідентифікації користувачів та шифрування даних, що передаються.

Саме через SSH може відбуватися передача у локальній мережі окремого файлу з інформацією про подію, причому між вузлом та сервером може бути встановлено одночасно декілька з'єднань («тунелів»), по яким буде передаватися інформація. Для ідентифікації користувача використовується як логін/пароль так і використання спеціальних сертифікатів (на сервері – «публічний», на кожному з вузлів «приватний» сертифікат).

Для автоматизації з'єднання між вузлом та сервером використовуються SSH-сертифікати, які генеруються для сервера та вузла відповідно.

ВИСНОВКИ

Створення запропонованої структури EDGE-системи відеоспостереження дозволяє розділити методи, які використовуються для детектування руху у відеопослідовності у реальному часі на ті, які можуть бути виконані безпосередньо на вузлі та ті, використовуються на сервері та представлені у вигляді мікросервісів. Самі мікросервіси можуть використовувати дані з багатьох вузлів для покращення результату детекції руху. Прототип структури довів принципову можливість функціонування такої системи, однак потребує подальшого тестування з різними типами сенсорів та більшою кількістю вузлів.

ДЖЕРЕЛА

1. K. K. Santhosh, D. P. Dogra, and P. P. Roy. 2020. Anomaly Detection in Road Traffic Using Visual Surveillance: A Survey. ACM Comput. Surv. 53, 6, 2021, pp.1-26, <https://doi.org/10.1145/3417989>
2. Kim, J.; Lee, J.; Kim, T. AdaMM: Adaptive Object Movement and Motion Tracking in Hierarchical Edge Computing System. Sensors 2021, 21, 4089. <https://doi.org/10.3390/s21124089>

3. Cob-Parro, A.C.; Losada-Gutiérrez, C.; Marrón-Romera, M.; Gardel-Vicente, A.; Bravo-Muñoz, I. Smart Video Surveillance System Based on Edge Computing. *Sensors* 2021, 21, 2958. <https://doi.org/10.3390/s21092958>
4. R. Lu, S. Shi, and D. Wang, ECSAM: An Edge-cloud Video Analytics Architecture for the Segment Anything Model, in *Proc. ACM*, 2025, pp. 17–23, doi: 10.1145/3769696.3771216
5. Ravindran, A.A. Internet-of-Things Edge Computing Systems for Streaming Video Analytics: Trails Behind and the Paths Ahead. *IoT* 2023, 4, 486-513. <https://doi.org/10.3390/iot4040021>.
6. R. Xu, S. Razavi and R. Zheng, Edge Video Analytics: A Survey on Applications, Systems and Enabling Techniques, in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 25, no. 4, pp. 2951-2982, Fourthquarter 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3323091
7. Y. Ma, B. Dong, and C. Lee, Progress of Infrared Guided-Wave Nanophotonic Sensors and Devices, *Nano Convergence*, vol. 7, 2020, doi: 10.1186/s40580-020-00222-x.
8. N. Li, C. P. Ho, J. Xue, L. W. Lim, G. Chen, Y. H. Fu, and L. Y. T. Lee, A Progress Review on Solid-State LiDAR and Nanophotonics-Based LiDAR Sensors, *Laser & Photonics Reviews*, vol. 16, no. 11, 2022, doi: 10.1002/lpor.202100511
9. ONVIF, ONVIF Profile M Specification: Metadata and Events for Analytics Applications, ONVIF Standard, 2021.[Online]. URL: <https://www.onvif.org/profiles/profile-m/>