

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ PostgreSQL В ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМІ ПОВТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДИНИ

¹Вінницький національний технічний університет

У роботі досліджується застосування системи управління базами даних PostgreSQL у контексті систем повторної ідентифікації людини, що базуються на технологіях комп'ютерного зору. Зважаючи на зростаючу потребу в ефективному зберіганні та обробці великомасштабних векторних даних, отриманих за допомогою глибоких нейронних мереж, постає питання оптимізації баз даних для швидкого та точного співставлення векторних ознак осіб. У роботі розглядаються особливості зберігання високорозмірних векторних представлень у PostgreSQL із використанням розширення pgvector, яке надає можливість ефективного пошуку за близькістю векторів з використанням метрик косинусової подібності та евклідової відстані.

Проведено детальний експериментальний аналіз продуктивності PostgreSQL при виконанні операцій пошуку найближчих сусідів (k-NN пошуку) на основі векторних ознак, отриманих з відкритого датасету Market-1501. Порівняно швидкодію та точність PostgreSQL з іншими популярними СУБД, такими як MySQL та MongoDB, при використанні аналогічних методів зберігання та індексування даних. Результати дослідження демонструють, що PostgreSQL із розширенням pgvector забезпечує значно кращу продуктивність, досягаючи в середньому часу виконання запитів 35 мс та пропускну здатності 285 запитів за секунду, що перевищує показники MySQL та MongoDB.

Крім того, використання PostgreSQL сприяє підвищенню точності повторної ідентифікації, що підтверджується вищими значеннями метрики mAP (78% проти 72% у MySQL та 70% у MongoDB). Обговорюються фактори, які впливають на продуктивність системи, такі як ефективність індексування, оптимізація запитів та використання системних ресурсів. Розглядаються можливості масштабування PostgreSQL для обробки ще більших обсягів даних та інтеграції з іншими інструментами для покращення продуктивності.

Отримані результати підтверджують доцільність використання PostgreSQL у системах повторної ідентифікації людини, що може мати практичне значення для розробки високопродуктивних та масштабованих систем безпеки та моніторингу. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію алгоритмів пошуку та інтеграцію з передовими технологіями машинного навчання для покращення точності та швидкодії системи.

Ключові слова: PostgreSQL, повторна ідентифікація людини, комп'ютерний зір, бази даних, векторні ознаки.

Вступ

З розвитком технологій комп'ютерного зору та збільшенням кількості камер спостереження зростає потреба в ефективних системах для аналізу та обробки великих обсягів даних. Повторна ідентифікація людини (Re-Identification, Re-ID) є важливою задачею, яка полягає у встановленні відповідності між зображеннями осіб, отриманих з різних камер або в різний час [6]. Це має значення для систем безпеки, моніторингу та аналітики поведінки.

Основною проблемою є швидке та точне співставлення високорозмірних векторних ознак, отриманих за допомогою глибоких нейронних мереж, у великих базах даних [4]. Традиційні системи управління базами даних (СУБД) не завжди забезпечують необхідну продуктивність для таких операцій. PostgreSQL, як потужна об'єктно-реляційна СУБД з підтримкою розширень, може стати ефективним рішенням для зберігання та обробки векторних даних у системах повторної ідентифікації [6].

Метою роботи є дослідження та аналіз можливостей PostgreSQL для ефективного зберігання та швидкого пошуку векторних ознак осіб у системах повторної ідентифікації.

Результати дослідження

Необхідно розробити підходи до структурування бази даних у PostgreSQL, вибору типів даних та індексів, які забезпечать високу продуктивність при обробці великих обсягів векторних даних. Також потрібно

провести експериментальне дослідження для оцінки продуктивності PostgreSQL у порівнянні з іншими СУБД, такими як MySQL та MongoDB, з використанням реальних датасетів та метрик ефективності.

У рамках дослідження було проведено серію заходів, спрямованих на оцінку ефективності використання PostgreSQL у системах повторної ідентифікації людини (Рис. 1). По-перше, для зберігання високорозмірних векторних ознак осіб застосовано тип даних VECTOR, наданий розширенням pgvector [2]. Це дозволило ефективно зберігати та обробляти вектори великої розмірності, що є критичним у задачах комп'ютерного зору.

Для прискорення пошуку за близькістю векторів використовувалися індекси типу IVFFLAT та HNSW, які підтримує pgvector. Застосування цих індексів у поєднанні з метриками косинусової подібності та евклідової відстані [2], [3] значно підвищило швидкість системи при виконанні операцій пошуку найбільш схожих векторів.

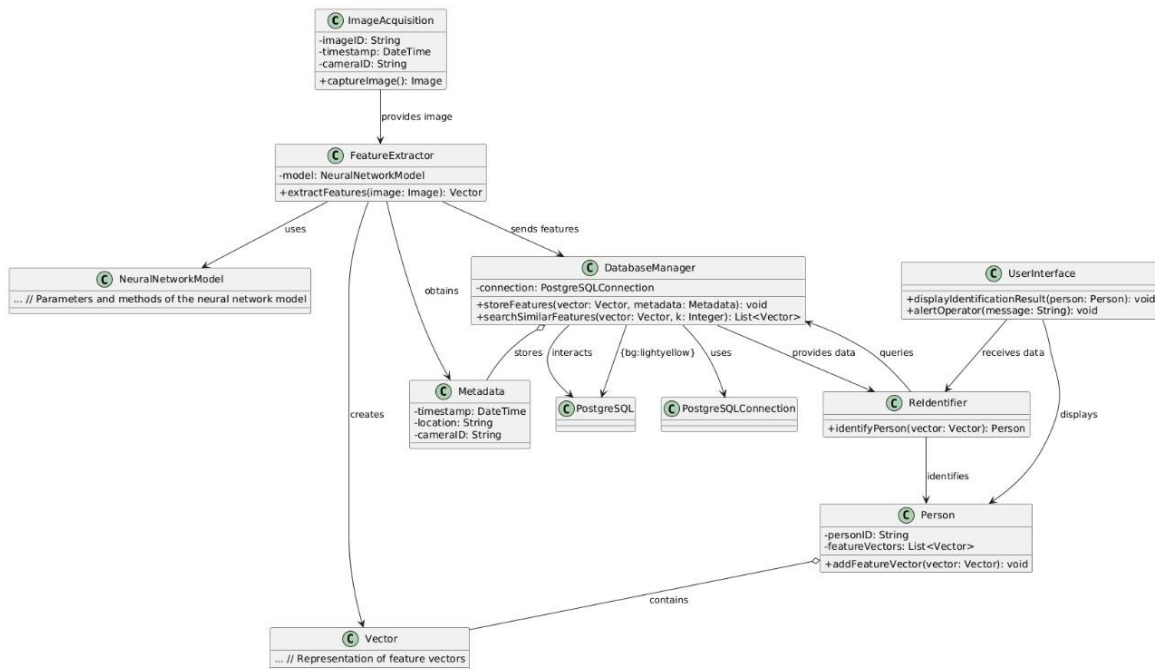


Рис. 1. UML-діаграма інформаційної системи повторної ідентифікації людини з використанням PostgreSQL

Оптимізація запитів здійснювалася шляхом розробки спеціалізованих SQL-запитів для швидкого виконання операцій пошуку найближчих сусідів (k-NN пошук). Це зменшило час відповіді системи при високих навантаженнях. Крім того, було вивчено можливості горизонтального масштабування PostgreSQL за допомогою шардингу та реплікації [1], що забезпечує стабільну роботу системи при зростанні обсягу даних.

Для оцінки ефективності використання PostgreSQL проведено експеримент з використанням відкритого датасету Market-1501 [10], який містить понад 32 000 зображень 1 501 особи, знятих шістьма камерами. За допомогою попередньо натренованої моделі ResNet-50 [8] були отримані векторні ознаки розмірністю 2048 для кожного зображення.

Експеримент проводився в середовищі сервера з процесором Intel Xeon, 32 ГБ оперативної пам'яті та SSD-накопичувачем. Використано СУБД PostgreSQL 13 з розширенням pgvector [2], а для порівняння — MySQL 8.0 та MongoDB 4.4.

Основними метриками оцінки були час виконання запитів, пропускну здатність (кількість запитів за секунду), точність (mAP) та використання ресурсів (CPU, RAM). Процедура експерименту включала:

1. Завантаження даних у кожну з СУБД.
2. Індексування векторних ознак відповідними індексами.
3. Виконання серії запитів на пошук найближчих сусідів для різних значень k (1, 5, 10).
4. Вимірювання метрик для кожної СУБД.

Результати експерименту показали, що PostgreSQL перевершує MySQL та MongoDB за ключовими показниками продуктивності. Зокрема, PostgreSQL демонструє менший середній час виконання запитів на

пошук найближчих сусідів—35 мс, у порівнянні з MySQL (85 мс) та MongoDB (70 мс). Це свідчить про ефективність індексування та оптимізації запитів у PostgreSQL.

Пропускна здатність системи на базі PostgreSQL також виявилася вищою: вона обробляє 285 запитів за секунду (qps), що забезпечує високу продуктивність при масштабуванні. MySQL та MongoDB продемонстрували меншу пропускну здатність—118 qps та 143 qps відповідно.

Точність повторної ідентифікації, виміряна за метрикою mAP (mean Average Precision), виявилася вищою у PostgreSQL і становила 78%, тоді як у MySQL та MongoDB—72% та 70% відповідно. Це вказує на покращену ефективність пошуку та співставлення векторних ознак у PostgreSQL.

Ефективність використання ресурсів також була вищою у PostgreSQL: середнє завантаження CPU становило 65%, що забезпечує стабільну роботу системи навіть при високих навантаженнях. У MySQL та MongoDB завантаження CPU було вищим—80% та 75% відповідно.

Переваги PostgreSQL у задачах повторної ідентифікації людини пояснюються кількома факторами. По-перше, нативна підтримка векторних даних завдяки розширенню `pgvector` дозволяє зберігати та обробляти вектори без втрати продуктивності, що є критичним для ефективного зберігання високорозмірних даних.

По-друге, ефективне індексування за допомогою індексів IVFFLAT та HNSW оптимізує пошук за близькістю, зменшуючи обчислювальну складність та час виконання запитів. Це суттєво покращує швидкодію системи при обробці великих обсягів даних.

По-третє, оптимізація запитів у PostgreSQL дозволяє написання складних та ефективних SQL-запитів, що максимально використовують можливості СУБД і позитивно впливають на продуктивність системи.

По-четверте, масштабованість PostgreSQL забезпечується за допомогою стандартних механізмів, таких як шардинг та реплікація. Це дозволяє системі стабільно працювати при зростанні навантаження, що є важливим для великих додатків з високими вимогами до продуктивності та надійності.

У протилежність цьому, MySQL та MongoDB не мають настільки розвинених інструментів для роботи з векторними даними. Відсутність нативної підтримки високорозмірних векторів та обмежені можливості індексування негативно впливають на їх продуктивність у задачах повторної ідентифікації людини. Це призводить до збільшення часу виконання запитів та зниження точності пошуку.

У той же час, MySQL та MongoDB не мають настільки розвинених інструментів для роботи з векторними даними, що негативно впливає на їх продуктивність у задачах повторної ідентифікації людини. Відсутність нативної підтримки високорозмірних векторів та обмеженість індексування призводять до збільшення часу виконання запитів та зниження точності пошуку.

Висновки

Дослідження підтвердило доцільність використання PostgreSQL у системах повторної ідентифікації людини. Завдяки нативній підтримці векторних даних, ефективним індексам та можливостям оптимізації запитів, PostgreSQL забезпечує високу швидкодію та точність пошуку. Переваги над MySQL та MongoDB за ключовими показниками продуктивності роблять PostgreSQL привабливим вибором для розробки високопродуктивних та масштабованих систем комп'ютерного зору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТАРАТУРИ

- [1]. PostgreSQL Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.postgresql.org/docs/>.
- [2]. pgvector: Embeddings and vector similarity for PostgreSQL [Електронний ресурс] / GitHub Repository. – Режим доступу: <https://github.com/pgvector/pgvector>.
- [3]. Zhao L., Liu X., Wang M. Large-Scale Similarity Search with PostgreSQL for Efficient Multimedia Retrieval // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 10–13 грудня 2020 р., Атланта, США. – 2020. – С. 1476–1485. DOI: 10.1109/BigData50022.2020.9378193.
- [4]. Hermans A., Beyer L., Leibe B. In Defense of the Triplet Loss for Person Re-Identification [Електронний ресурс] // arXiv preprint. – arXiv:1703.07737. – 2017. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1703.07737>.
- [5]. Johnson J., Douze M., Jégou H. Billion-scale similarity search with GPUs // IEEE Transactions on Big Data. – 2019. – Т. 7, №3. – С. 535–547. DOI: 10.1109/TBDATA.2019.2921572.
- [6]. Kvyetnyy R., Kotsiubynskiy V., Kyrylenko O., Kolesnytskyj O., Dumenko V., Kotyra A., Mussayeva D., Abilkaiyr N. Using multiple optical cameras for correspondence identification between objects in the fields of view // Proceedings of SPIE. Optical Fibers and Their Applications 2023. Bellingham : SPIE, 2023. Vol. 12985, 129850A. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3022791>.
- [7]. Sun Y., Zheng L., Yang Y., Tian Q., Wang S. Beyond Part Models: Person Retrieval with Refined Part Pooling (and A Strong Convolutional Baseline) // Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 8–14 вересня 2018 р., Мюнхен, Німеччина. – 2018. – С. 480–496. DOI: 10.1007/978-3-030-01237-3_29.

- [8]. Faiss: A library for efficient similarity search and clustering of dense vectors [Електронний ресурс] / Facebook AI Research. – Режим доступу: <https://github.com/facebookresearch/faiss>.
- [9]. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 27–30 червня 2016 р., Лас-Вегас, США. – 2016. – С. 770–778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.
- [10]. Zheng L., Shen L., Tian L., Wang S., Wang J., Tian Q. Scalable Person Re-identification: A Benchmark // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 7–13 грудня 2015 р., Сантьяго, Чилі. – 2015. – С. 1116–1124. DOI: 10.1109/ICCV.2015.133.

R.N. Kvyetnyy¹
O.M. Kyrylenko¹
V.V. Garmash¹

RESEARCH ON THE USE OF POSTGRESQL IN A HUMAN RE-IDENTIFICATION INFORMATION SYSTEM

¹Vinnitsia National Technical University

This paper investigates the application of the PostgreSQL database management system in the context of human re-identification systems based on computer vision technologies. Considering the growing need for efficient storage and processing of large-scale vector data obtained through deep neural networks, the issue of optimizing databases for fast and accurate matching of individuals' vector features arises. The study examines the specifics of storing high-dimensional vector representations in PostgreSQL using the pgvector extension, which provides efficient similarity search capabilities using metrics like cosine similarity and Euclidean distance.

A detailed experimental analysis of PostgreSQL's performance was conducted during the execution of nearest neighbor search operations (k-NN search) based on vector features obtained from the open dataset Market-1501. The speed and accuracy of PostgreSQL were compared with other popular DBMSs such as MySQL and MongoDB, utilizing similar data storage and indexing methods. The research results demonstrate that PostgreSQL with the pgvector extension provides significantly better performance, achieving an average query execution time of 35 ms and a throughput of 285 queries per second, surpassing the metrics of MySQL and MongoDB.

Moreover, the use of PostgreSQL contributes to increased accuracy in re-identification, as confirmed by higher mAP (mean Average Precision) values (78% compared to 72% in MySQL and 70% in MongoDB). Factors influencing system performance are discussed, including indexing efficiency, query optimization, and system resource utilization. The paper also explores the scalability of PostgreSQL for processing even larger volumes of data and its integration with other tools to enhance performance.

The obtained results confirm the feasibility of using PostgreSQL in human re-identification systems, which can have practical significance for developing high-performance and scalable security and monitoring systems. Future research may focus on optimizing search algorithms and integrating advanced machine learning technologies to further improve system accuracy and speed.

Keywords: PostgreSQL, human re-identification, computer vision, databases, vector features.

Roman Kvyetnyy N. - Corresponding Member of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine, Doctor of Science, Professor of the automation and intelligent information technology department, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia e-mail: rkvetny@sprava.net

Oleksandr Kyrylenko M. - Assistant of the department of computer management systems, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia e-mail: sasha.kyrylenko@gmail.com

Garmash Volodymyr V. – PhD, associate professor of the automation and intelligent information technology department, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: garmash.v.v@vntu.edu.ua