

АЛГОРИТМ ПЕРВИННОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ

М. О. Дементьєв, О. Л. Лашко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

E-mail авторів: mykola.dementiev.ki.2019@lpnu.ua, oksana.l.lashko@lpnu.ua

© Дементьєв М. О., Лашко О. Л., 2023

У статті досліджено особливості роботи систем управління складом. Запропоновано алгоритм первинного розпізнавання об'єктів у комірках складу. Наведено принципи та реалізацію власної програмної системи управління складом з використанням технології комп'ютерного зору.

Розроблено структурну схему програми, яка складається з восьми модулів: сервіс захоплення зображень, сховище зображень, сервіс комп'ютерного зору, база даних, API сервер, клієнтський застосунок, планувальник завдань та черга завдань. Спроектовано архітектуру на основі хмарних технологій, а саме Google Cloud Platform. Запропоновано алгоритм комп'ютерного зору для визначення стану комірок на складі. Розроблено функціональний програмний продукт на основі сучасних технологій.

Метою статті є відображення результатів дослідження предметної області систем управління складом та систем комп'ютерного зору, а також висвітлення результатів реалізації власної програмної системи із використанням комп'ютерного зору.

Ключові слова: Python, OpenCV; Computer Vision; Google Cloud; комп'ютерний зір; система керування складом; хмарні обчислення; безсерверні обчислення.

Вступ

Управління складськими запасами – важливий аспект діяльності бізнесу, спрямований на забезпечення оптимального функціонування складського приміщення та ефективний контроль руху товарів. Упродовж останніх років істотно зросла популярність систем управління складом. Глобальний ринок таких систем досягає величезних обсягів – більш ніж 3 мільярди доларів США, й очікують, що до 2027 р. він зросте до 5.5 мільярдів доларів США [1]. Це свідчить про широке використання їх у практиці та визнання їх важливості компаніями різних сфер діяльності.

Сучасні системи управління складом є невід'ємною складовою бізнесу, що дає змогу автоматизувати процеси відстеження руху товарів, мінімізувати ризики помилок та забезпечити точний контроль за запасами. Вони допомагають ефективно керувати запасами та замовленнями, що сприяє зниженню витрат і поліпшенню якості обслуговування клієнтів. Такі системи можна використовувати в різних галузях, ураховуючи виробництво, логістику, роздрібну торгівлю тощо.

У контексті загального розвитку бізнесу та загострення конкурентної боротьби системи управління складом стають важливим інструментом для підвищення конкурентоспроможності підприємства та забезпечення його стабільності та успіху. Завдяки автоматизації процесів управління запасами підприємства можуть ефективно керувати своїми ресурсами, зменшити втрати через неправильне планування або недостатню видимість, а також забезпечити своєчасну поставку товарів до клієнтів.

У статті розглянуто процес розроблення сучасної системи управління складом з використанням технології комп'ютерного зору, яка дозволяє автоматично визначати товари та відстежувати їх рух на складі. Запропоновано алгоритм первинного розпізнавання об'єктів у комірках складу.

1. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Управління складом є критичним фактором для ефективної операційної діяльності будь-якої організації, незалежно від її розміру чи галузі. Сучасний ринок вимагає від підприємств швидкості, гнучкості та точності в управлінні складськими процесами, щоб задовольнити дедалі вищі потреби клієнтів та забезпечити конкурентоспроможність [2].

Мабуть, найважливішою функцією системи управління складом є відстеження руху товарів на складі. Для відстеження товарів на складі використовуються різні методи, такі як ручне відстеження, використання штрих-кодів, RFID міток та технології комп'ютерного зору.

Ручне відстеження – найстаріший метод відстеження товарів на складі. Він полягає у веденні журналу руху товарів та їхнього числового обліку. Цей метод має багато недоліків, таких як висока вартість обслуговування, помилки у веденні документації та низька точність відслідковування [3].

Для відстеження товарів на складі також використовують штрих-коди та RFID мітки. Штрих-коди – дешевий та простий метод відслідковування товарів на складі, однак їх точність низька і вони не можуть відстежувати товари в режимі реального часу.

RFID мітки, натомість, високоточні та можуть відслідковувати товари в режимі реального часу, проте доволі дорогі та потребують спеціального обладнання для відстеження [4].

Комп'ютерний зір – сучасна технологія, яка дозволяє комп'ютерам розпізнавати та розуміти візуальні дані, подібно до способу, яким люди сприймають світ навколо них [5]. Використання цієї технології для відслідковування товарів на складі має значні переваги та є одним з найефективніших методів. Технологія дає змогу автоматизувати процес відстеження товарів на складі, забезпечує високу точність відслідковування, мінімізуючи ризики помилок та зменшує час на інвентаризацію. Комп'ютерний зір може стежити за товарами в режимі реального часу та автоматично визначати їхнє місцезнаходження на складі.

Одним із прикладів використання комп'ютерного зору для відслідковування товарів є система відстеження товарів Amazon Go [6]. Система використовує комп'ютерний зір для стеження за товарами, які клієнти беруть з полиць та кладуть у свої кошики. Система автоматично розпізнає товари та знімає гроші з банківських рахунків клієнтів, яким не потрібно проходити через касу.

Отже, використання технології комп'ютерного зору для відслідковування товарів на складі є ефективним та прогресивним методом, який дає змогу автоматизувати процес відстеження та забезпечити його високу точність.

2. Постановка завдання

Виконавши аналіз, актуальним завданням вважаємо розроблення та втілення системи управління складом з використанням технології комп'ютерного зору, яка забезпечить точність розпізнавання об'єктів >95 % на відстані 3 метри. Система повинна: бути сумісною з IP камерами, що підтримують протоколи RTSP (Real-Time Streaming Protocol) або M-JPEG (Motion JPEG); опрацьовувати стелажі товарів з прямокутними комірками різних розмірів; задовільно працювати в умовах обмеженого енергопостачання; мати простий та зрозумілий інтерфейс користувача.

3. Створення системи управління складом

Проаналізувавши особливості та зрозумівши основні вимоги до систем управління складом, ми розробили структурну схему програмного засобу.

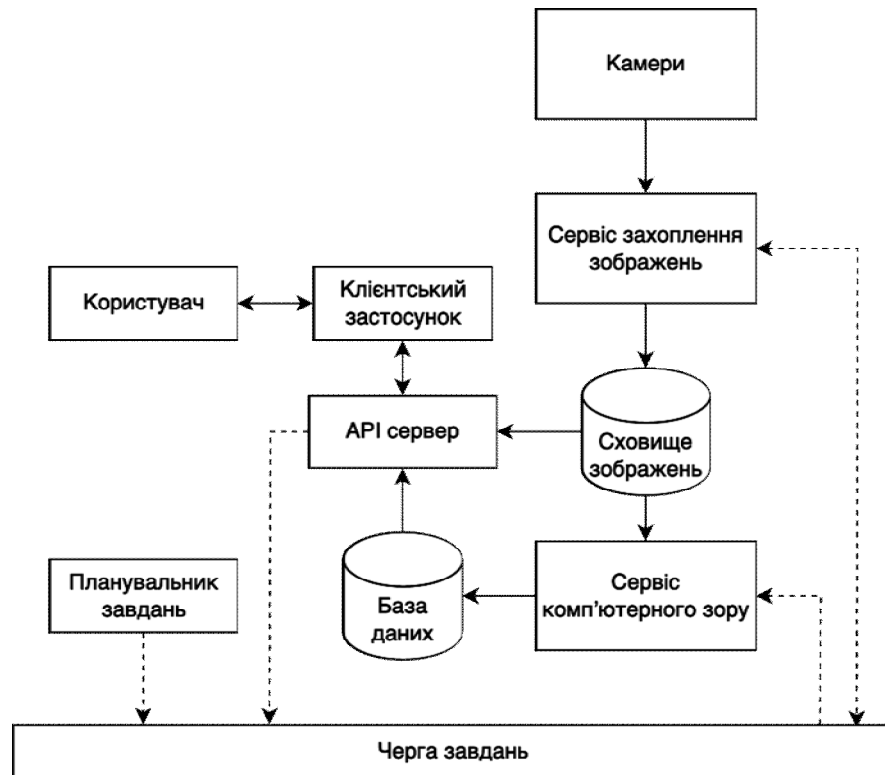


Рис 1. Структурна схема системи управління складом з використанням технології комп'ютерного зору.

Система складається з таких частин (рис. 1):

- Сервіс захоплення зображень, який відповідає за встановлення підключення до камер на складі, захоплення зображень із цих камер та збереження їх у сховище зображень.
- Сховище зображень, використовується для збереження зображень з камер, що були захоплені попереднім модулем.
- Сервіс комп'ютерного зору. Цей сервіс використовується для аналізу зображень зі сховища зображень. Саме він визначає, які товари містяться на складі, чи є вільні місця на стелажах тощо. Результат аналізу зберігається у базі даних.
- База даних. У цій базі даних зберігається результат аналізу зображень, виконаний сервісом комп'ютерного зору, а саме місцезнаходження товарів, стан комірок на стелажах тощо.
- API сервер. Цей сервіс дає змогу клієнтському застосунку взаємодіяти з базою даних, що містить інформацію про поточний стан складського приміщення та товари, які є у ньому.
- Клієнтський застосунок, що дає можливість користувачам взаємодіяти із системою (пошук товарів, пошук вільних місць на складі тощо).
- Планувальник завдань. Цей сервіс надсилає завдання у чергу завдань для запуску сервісу захоплення зображень та сервісу комп'ютерного зору за розкладом.
- Черга завдань: використовується для взаємодії усіх сервісів: деякі сервіси надсилають завдання у цю чергу, а інші читають їх та виконують відповідні дії.

Така структура допоможе побудувати надійну та сучасну архітектуру, яку можна буде легко масштабувати за необхідності.

Для побудови архітектури програмної системи було прийнято рішення про використання хмарного провайдера Google Cloud Platform (GCP).

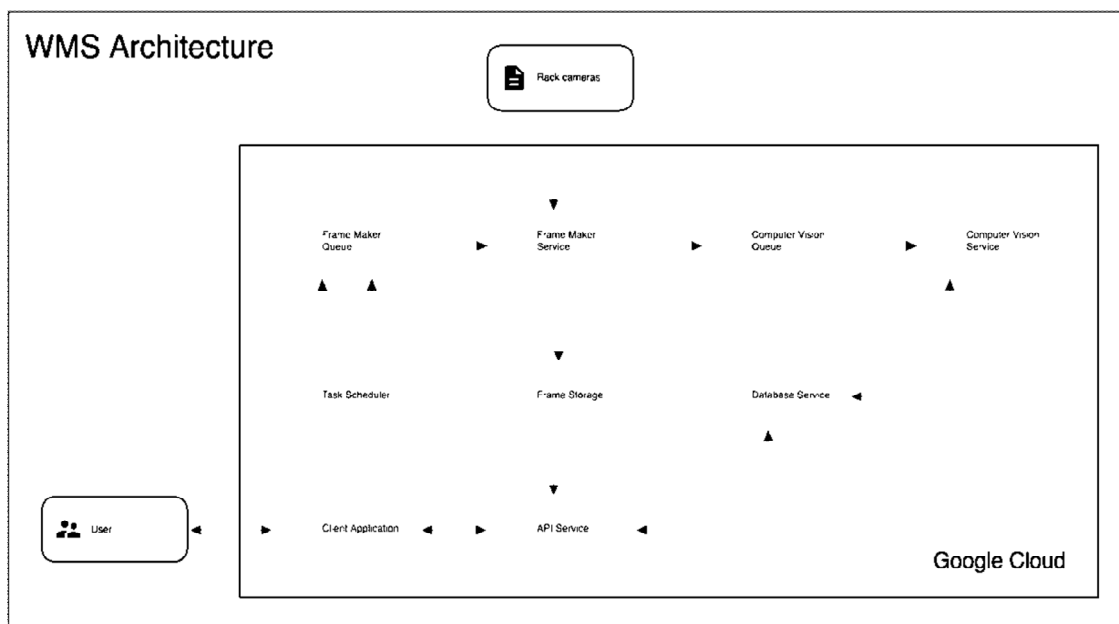


Рис. 2. Архітектура системи на основі сервісів Google Cloud Platform

Згідно із наведеною архітектурою, програмне рішення буде побудоване на основі таких сервісів хмарного провайдера Google: Cloud Run, Cloud Functions, Compute Engine, Cloud Storage, Firebase та Pub/Sub.

4. Алгоритм первинного розпізнавання об'єктів на базі комп'ютерного зору

Сервіс комп'ютерного зору є ключовим у цій системі, оскільки він повинен забезпечити точне та стабільне розпізнавання стану комірок та об'єктів у них. Саме тому необхідно звернути особливу увагу на реалізацію його алгоритму (рис. 3).

Першочерговим кроком алгоритму є вивантаження інформації про місцезнаходження останнього кадру у сховищі зображень, місцезнаходження шаблонного кадру та переліку комірок стелажа та їх координати. Після отримання цих даних необхідно вивантажити зображення з сховища у оперативну пам'ять.

Після завантаження зображень у пам'ять потрібно здійснити їх попередню обробку. Для цього ми використали такі техніки, як нормалізація (балансування яскравості та контрастності), перетворення кольору на відтінки сірого, видалення шумів тощо.

Під час наступного етапу потрібно розкрити зображення на менші зображення кожної з комірок, використовуючи їх координати. Skorистаємось вбудованими методами бібліотеки OpenCV:

```
area_images = {
    area["id"]: frame[
        area["y": area["height"] + area["y"],
        area["x": area["width"] + area["x"],
    ]
    for area in areas
}
```

Після цього необхідно порівняти розкриті частини останнього кадру та шаблонного на предмет збігу. Для цього доцільно скористатись нормалізованою взаємною кореляцією (англ. Normalized Cross-Correlation (NCC)) – метрикою для вимірювання схожості двох сигналів чи зображень.

Нормалізована взаємна кореляція вимірює ступінь схожості між двома сигналами, порівнюючи їхні піксельні значення.

Нормалізована взаємна кореляція враховує якість сигналів, їх амплітуду та освітлення, і забезпечує нормалізацію значень під час обчислення кореляції [7].

Алгоритм для визначення міри нормалізованої взаємної кореляції вбудований у бібліотеку OpenCV, а саме у метод “matchTemplate”:

```
cv2.matchTemplate(template, area_image, cv2.TM_CCOEFF_NORMED)
```

Якщо міра кореляції зображень достатньо висока – значить, комірки порожні. У такому разі сервіс завершує свою роботу, попередньо записавши результат порівняння у базу даних. У протилежному випадку, якщо зображення не корелюють, комірки не є порожніми, і потрібно розпізнати об’єкти, які містяться у цих комірках.



Рис. 3. Алгоритм сервісу комп'ютерного зору

Для розпізнавання об'єктів сервіс комп'ютерного зору використовує Google Vision API, що надає набір інструментів для аналізу зображень, розпізнавання тексту, штрих-кодів, класифікування зображень та виявлення об'єктів на них.

Отримавши результати розпізнавання, сервіс записує їх у базу даних та завершує свою роботу.

Такий алгоритм роботи працює швидко завдяки попередньому порівнянню зображень, що оптимізує кількість запитів до Google Vision API, та влучно, завдяки потужним алгоритмам машинного навчання, яке він пропонує.

5. Тестування системи управління складом

Тестування виконано за таких умов:

камера: смартфон 2017 р. з камерою 12 Мп;

кількість комірок: 6;

розмірність комірок: 30×40 см, 60×45 см;

відстань від камери до комірок: 1–4 м.

Для здійснення тестувань на відповідність технічним вимогам ми підготували стелаж з об'єктами на ньому, що відрізняються за розміром, кольором та розміщенням у комірці. Надписи на об'єктах подано англійською та українською мовами.

1. Перший тестовий випадок. Камера розміщена на відстані 1 м.



Рис. 4. Перший тестовий випадок

Результат розпізнавання відмінний, точність – 100 %. Розпізнано усі об'єкти та надписи на них. На рис. 5 наведено атрибути одного із розпізнаних об'єктів.

2. Другий тестовий випадок. Камера розміщена на відстані 2 м.

Результат розпізнавання відмінний, точність – 100 %. Результат аналогічний попередньому випадку.

3. Третій тестовий випадок. Камера розташована на відстані 3 м.

Результат розпізнавання відмінний, точність – 100 %. Результат аналогічний попередньому випадку.

4. Четвертий тестовий випадок. Камера розміщена на відстані 4 м.

Результат розпізнавання добрий, точність – 90 %. Система не змогла повністю розпізнати дрібний текст на білій коробці у п'ятій комірці, розпізнала "ВЕКА", замість "ВЕЖА". Усі інші атрибути розпізнано правильно.

Cell: 6

Objects:

["Packaged goods"]

Labels:["Computer", "Personal computer", "Output device",
"Peripheral", "Gadget", "Computer keyboard", "Rectangle",
"Computer monitor accessory", "Input device", "Computer
hardware"]**Text:**Keychron K3 A Sleek Compact Low Profile Wireless Mechanical
Keyboard A tactile chanical keyboard for peak productivity**Colors:**

["darkslategray", "navy", "black", "gray"]

Рис. 5. Атрибути одного з об'єктів у першому тестовому випадку

Cell: 5

Objects:

["Boxed packaged goods"]

Labels:["Wood", "Rectangle", "Flooring", "Hardwood", "Font",
"Transparency", "Paper product", "Paper", "Pattern", "Room"]**Logos:**

["ANCA"]

Text:

BEKA

Colors:

["silver", "lightgray", "dimgray", "gray", "gainsboro"]


Рис. 6. Помилка розпізнавання тексту на об'єкті у п'ятій комірці у четвертому тестовому випадку

5. П'ятий тестовий випадок. Камера на відстані 3 м в умовах недостатнього освітлення.

Dark3MeterAwayRack

Updated at: 2023-06-07 22:46:48

Total cells: 6



Tag	State	Recognition
1	Occupied	Show
2	Occupied	Show
3	Occupied	Show
4	Occupied	Show
5	Occupied	Show
6	Empty	Not available

Рис. 7. П'ятий тестовий випадок.

Результат розпізнавання задовільний, точність – 75 %. Система не змогла розпізнати шосту комірку та надпис на об'єкті у п'ятій комірці через недостатню освітленість.

6. Шостий тестовий випадок. Камера на відстані 3 м, вигляд збоку.

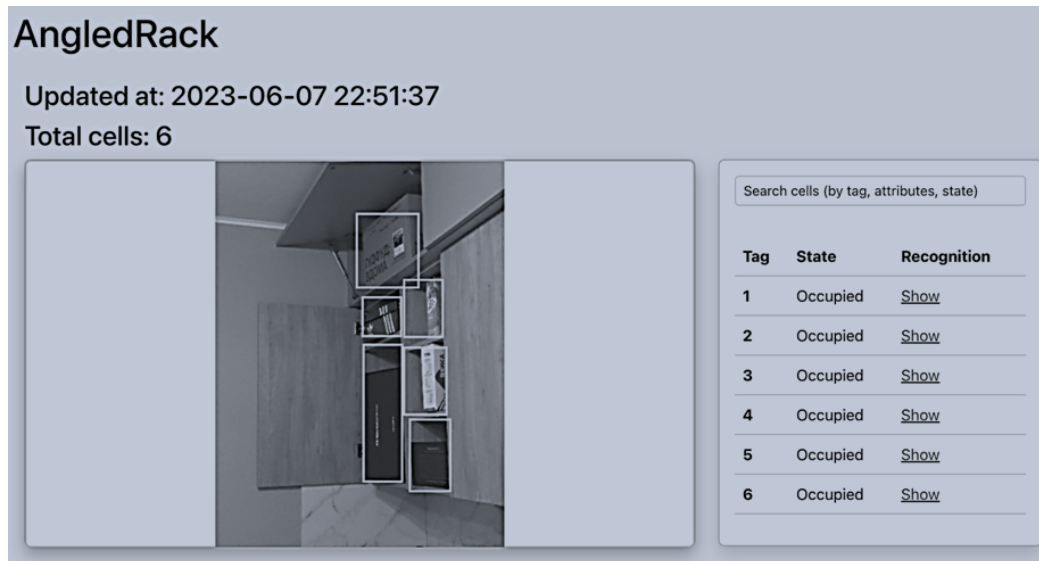


Рис. 8. Шостий тестовий випадок

Результат розпізнавання у цьому випадку добрий, точність 90 %. Система не змогла повністю розпізнати текст на об'єкті у першій комірці через оптичне викривлення. Усі інші атрибути було розпізнано.

6. Висновки

Виконано дослідження, яке підтвердило актуальність та доцільність розроблення системи управління складом із використанням технології комп'ютерного зору. Побудовано структурну схему такої системи, розроблено сучасну архітектуру на основі хмарних сервісів Google Cloud, реалізовано її, розглянуто алгоритм основного компонента – сервісу комп'ютерного зору та здійснено тестування в умовах, наближених до реальних.

Отримані результати тестування підтверджують успішну реалізацію системи управління складом із використанням технології комп'ютерного зору, навіть з недорогою камерою. Висока точність розпізнавання об'єктів на різних відстанях, здатність працювати в різних умовах освітлення та під кутом свідчать про надійність та ефективність системи для управління складськими процесами.

Запропонований алгоритм первинного розпізнавання об'єктів у комірках є ефективним рішенням для використання в системі управління складом.

Список літератури

1. *Warehouse Management System Global Market Report 2023*. The Business Research Company. Available at: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5766696/warehouse-management-system-global-market-report> / (Accessed: 17 September 2023).
2. Ramaa, A., Subramanya, K. N., & Rangaswamy, T. M. (2022). *Impact of warehouse management system in a supply chain*. DOI:10.5120/8530-2062 (International Journal of Computer Applications).
3. Wroblewski, M. T. *Advantages & Disadvantages to a Manual Inventory Control System*. Available at: (Accessed: 17 September 2023).
4. Yan, B., Chen, Y., & Meng, X. (2008). *RFID Technology Applied in Warehouse Management System*. In *2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, 363–367. DOI: 10.1109/CCCM.2008.372

5. *What is Computer Vision?* IBM (2022). Available at: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>. DOI: 10.3390/ai4010013 (Accessed: 17 September 2023)

6. Polacco, A., & Backes, K. (2018). *The Amazon Go concept: Implications, applications, and sustainability*. DOI: [http://doi.org/10.6347/JBM.201803_24\(1\).0004](http://doi.org/10.6347/JBM.201803_24(1).0004) (*Journal of Business and Management*, 24(1), 79–92).

7. Zhao, F., Huang, Q., & Gao, W. (2006). *Image matching by normalized cross-correlation*. (In *2006 IEEE international conference on acoustics speech and signal processing proceedings, Vol. 2, II-II*). IEEE). DOI: 10.1109/ICASSP.2006.1660446

ALGORITHM FOR PRIMARY OBJECT RECOGNITION IN THE WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM

M. Dementiev, O. Lashko

Lviv Polytechnic National University,
Computer Engineering Department

Authors' e-mail: mykola.dementiev.ki.2019@lpnu.ua, oksana.l.lashko@lpnu.ua

© Dementiev M., Lashko O., 2023

This article examines the peculiarities of warehouse management systems and presents the principles and implementation of an in-house software system for warehouse management using computer vision technology.

A structural diagram of the application is developed, which consists of eight modules: image capture service, image storage, computer vision service, database, API server, client application, task scheduler, and task queue. The architecture is designed based on cloud technologies, namely Google Cloud Platform. A computer vision algorithm for determining the state of cells in the warehouse is proposed. A functional software product based on modern technologies has been developed.

The purpose of this article is to reflect the results of the study of the subject area of warehouse management systems and to highlight the results of the implementation of a proprietary software system using computer vision.

Key words: Python; OpenCV; computer vision; Google Cloud; warehouse management system; cloud computing; serverless computing.