

УДК 004.8:658.78

DOI: 10.31673/2412-9070.2022.026669

А. В. ЛЕМЕШКО, доктор філософії;

А. А. БАЛВАК, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РОБОТІ ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ

Щоб залишатися успішними на ринку й ефективно вести складське господарство, все більше великих та середніх підприємств запроваджують та відчують переваги від роботи з хмарними системами керування складами (WMS). Підрядні фірми швидко встановлюють та налаштовують під виконання потреб замовника програмне забезпечення на своїх серверах, а також забезпечують його підтримання та оновлення. Власникам складів більше не потрібно турбуватися про розміщення серверів, забезпечення електроживлення, утримання великих ІТ-команд тощо.

Завдяки можливостям самостійно збирати великі обсяги даних алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту покращуються з набуттям досвіду й відповідно адаптуються до різних ситуацій, а отже, все частіше впроваджуються в процеси керування складами. Це допомагає аналізувати залишки та постачання, оптимально планувати заповненість складів, збір товарів на відвантаження, а також кількість та посади працівників, яких потрібно вивести на зміни, тощо.

Технологія RFID (Radio Frequency Identification) полягає в нанесенні на кожен одиницю товару спеціальної позначки, в якій зашифровано дані про вагу, обсяг, приймання, зберігання, тощо. Технологія поступово витісняє паперові носії зі штрих-кодами. Завдяки впровадженню цих вирішень спрощується облік, знижується кількість помилок, оскільки переміщення, знаходження та відвантаження товарів легко відстежити, у такий спосіб пришвидшуючи приймання товарів на складах і маркетах. Удосконаливши методи машинного навчання, технології комп'ютерного зору дадуть змогу правильно розпізнавати товари, порівнюючи їх із шаблонами, які завчасно було внесено в базу даних, порахувати кількість одиниць і відокремити пошкоджені.

У статті розглянуто технології, які значно полегшують оброблення товарів у сучасних логістичних центрах. Описано переваги, недоліки та причини, через які ще не всі вирішення можна впровадити, оскільки поки що не вдалося досягти прийнятної точності та ціни.

Ключові слова: хмарна система керування складом; машинне навчання; штучний інтелект; комп'ютерний зір; RFID-позначки.

Вступ

Постановка проблеми. На перший погляд може здатися, що на складах постійно виконуються операції з переміщення товарів із точок А в точки Б. Так, речі переміщують, але важливо всі операції виконувати максимально ефективно. Через глобалізацію та жорстку конкуренцію попит на нові логістичні вирішення щодня зростає, потребуючи швидших і дешевших способів доставляння товарів по всьому світу [1]. Аби задовольнити цей попит, глобальні постачальники мають продовжувати вдосконалювати свої операції для збільшення швидкості доставляння та зниження вартості зберігання товарів і сировини на складах. Для досягнення цілей здійснюються розрахунки й упроваджуються вирішення на всіх ланках — від економії палива до збільшення швидкості конвеєрних ліній. Кожна частина ланцюгів постачання перевіряється, щоб знайти всі можливості для оптимізації. Для менеджменту існує багато викликів і проблем, які постійно потрібно розв'язувати. Серед них нестача робочої сили, наслідки пандемії COVID-19, швидка зміна ринкових умов, а отже, складське середовище сьогодні складніше, ніж будь-коли.

Великі корпорації, такі як Amazon, Alibaba [2], Zappos, Coca-Cola та ін. активно використовують робітників для переміщення товарів, що робить їх бізнес-процеси ефективними та створює позитивний клієнтський досвід завдяки швидким та безпомилковим виконанням замовлень.

Далі розглянемо важливі новітні технології, які дають можливість підприємствам успішно вести бізнес у логістиці.

Основна частина

Аналіз передових технологій у складському бізнесі. Хмарні WMS мають багато переваг, а отже, все більша кількість інвесторів переходить до обліку операцій на своїх складах у «хмари». Оскільки стаціонарне ПЗ використовується зазвичай понад 20 років, а за цей час, звісно, процеси значно розширилися та ускладнилися, то й стає дедалі складніше ефективно вести господарську діяльність.

До переваг хмарних WMS належать [3; 4]:

- сумісність із системами керування двором, транспортом, можливість отримувати детальні звіти;
- хмарні системи, на відміну від класичних WMS, можна майже необмежено розширювати

© А. В. Лемешко, А. А. Балвак, 2022

для обліку більшої кількості та асортименту товарів, упроваджуючи нові технології оброблення товарів на складах;

- хмарну WMS можна запустити в роботу набагато швидше, у середньому за кілька днів або тижнів. Проте для повного впровадження локальної WMS можуть знадобитися місяці, а іноді й навіть рік або два;

- масштабованість хмарних WMS дає змогу швидко зменшувати або збільшувати кількість робочих станцій; постачальник піклується про всі вимоги клієнта до масштабування та налаштовує ресурси відповідно до прогнозованого трафіку. А щоб розширити можливості локальної WMS потрібно придбати та встановити додаткові сервери. І навпаки, зі зменшенням масштабів діяльності необхідно потурбуватися про продаж або утилізацію виведеного з експлуатації обладнання;

- простота використання хмарних WMS досягається завдяки тому, що кінцевий користувач звільняється від усіх технічних деталей установлення та обслуговування системи. Щоб запустити систему, потрібно зареєструватися в постачальника, сплатити абонентську плату та мати постійне під'єднання до інтернету. Більшість хмарних WMS мають мобільні програми для всіх провідних мобільних ОС, а отже, до них можна отримати доступ із будь-якої точки світу.

Але деякі інвестори ще неохоче переходять на хмарні WMS, оскільки вважають, що є ризики кібератак та ризики, пов'язані з безпекою даних під час їх зберігання на серверах постачальників ПЗ. Також у разі віялових відімкнень електроенергії часто зникає інтернет, і робота складів може майже повністю зупинитися.

Уявімо роботу типового складу у 80-х–90-х роках минулого століття. У ті часи персональні комп'ютери коштували чимало і використовувались не на всіх об'єктах. Кожна операція з приймання, розміщення, збору та відвантаження товарів фіксувалась на папері, інвентаризації також здійснювались згідно з паперовими списками. Тому зазвичай операції виконувались неоптимально, витрачалось чимало часу і припускалось багато помилок. Сьогодні навіть кожна невелика компанія має свою WMS та термінали збору даних (ТЗД), на які надходять завдання щодо збору, переміщення та відвантаження товарів. Отже, зникла потреба друкувати списки.

Проте все одно залишається багато викликів, які треба подолати для підвищення ефективності складського господарства. Усе більше компаній упроваджують технології машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ), тому через кілька десятиліть типовий склад істотно відрізнятиметься й, можливо, ми побачимо повністю автоматизовані підприємства.

Уже сьогодні дедалі більше компаній відчують переваги після інтеграції ШІ в керування ланцюгом постачання, що допомагає автоматизувати низку повсякденних завдань і дає змогу підприємствам зосередитися на більш стратегічній і ефективній бізнес-діяльності.

Розглянемо виклики, які ШІ та машинне навчання [5–7] можуть вирішити в ланцюгу постачання логістичного центру.

Алгоритми ШІ здатні обробляти величезні масиви даних, зібраних складськими та транспортними системами. Це дає змогу ефективно керувати залишками товарів та знаходити потрібних постачальників. Усе частіше товари на складах розміщують, ґрунтуючись на історії продажів та прогнозів, вивчених та підказаних програмами машинного навчання, а не на знаннях та досвіді менеджерів. Отже, ця стратегія виявилась більш продуктивною.

Роботи можуть збирати та переміщувати товари набагато швидше за людей. Алгоритми машинного навчання допомагають роботам вибирати найефективніші маршрути комплектування та розподілу, визначати найкращий тип упакування на основі розміру, кількості, ваги та типу товарів. Деякі машини вже можуть навіть самі пакувати продукти, завдяки ШІ вибираючи потрібні матеріали.

Алгоритми машинного навчання використовують для створення прогнозних моделей, які допомагають менеджерам складів ефективніше застосовувати наявний складський простір і значно підвищувати загальну прибутковість операцій. За допомогою машинного навчання та методів оптимізації менеджери складів розробляють алгоритми, які допомагають персоналу швидко та ефективно комплектувати продукцію, що зумовлює підвищення продуктивності складу та зниження витрат, пов'язаних із неправильним та повільним збиранням товарів.

Штучний інтелект здатен ефективно розв'язувати проблеми планування змін персоналу складу, передбачаючи навантаження на склад та розробляючи моделі для прогнозування кількості персоналу, потрібного для різних змін і часу доби. Це допомагає ефективно розподіляти ресурси й запобігати небажаним витратам за понаднормову працю, підвищуючи продуктивність та знижуючи витрати, пов'язані з нестачею чи надлишком персоналу.

Алгоритми машинного навчання можна використовувати для прогнозування продуктивності складських транспортних засобів на основі зібраних даних і виявляти показники, які можуть визначати майбутню несправність обладнання. Це допоможе керівникам складів вживати превентивних заходів й уникати простоїв, пов'язаних із відмовами складського обладнання.

За допомогою машинного навчання керівники складів можуть розробляти моделі, які допоможуть запобігти потенційним небезпечним ситуаціям на складі, та вживати відповідних запобіжних заходів задля безпечних умов праці.

Технології RFID [8] дають можливість вести облік товарів без єдиного контакту, на відміну від робіт зі штрих-кодами або QR-кодами, які потребують прямого доступу (видимості) до об'єктів. Можливо, RFID повністю замінять штрих-коди, оскільки мають багато переваг:

- можливість передавати дані на відстані до 20 м;
- високу зносостійкість та тривалий термін служби;
- можливість одночасно зчитувати до 200 позначок;
- істотне спрощення обліку руху товарів та відвантаження на складах.

Але незважаючи на те, що загалом ці технології забезпечують переваги та є кроком уперед для галузі, як і всі інновації, вони мають низку викликів та труднощів, котрі сповільнюють їх застосування — передусім високу вартість впровадження. На протипагу обладнанню для роботи зі штрих-кодами RFID-технології потребують установлення складнішого й дорожчого ПЗ та закупівлю стаціонарних та портативних зчитувачів.

Огляд моделей з автоматизації приймання товарів із використанням машинного навчання. Процес приймання товарів полягає у візуальній перевірці відповідності товарів замовленим, скануванні штрих-кодів та підрахунку кількостей. На це витрачається досить багато часу, а отже, неможливо уникнути людських помилок, що є причиною появи неточностей в обліку товарів. Тому важливо знайти рішення, які уможливлять повну оптимізацію процесів приймання. У цьому напрямку ведуться дослідження з метою розроблення відповідних нейронних мереж із використанням технологій машинного навчання, які можна буде застосувати, аби істотно покращити процеси приймання товарів на складах.

Наявні моделі нейронних мереж AlexNet, VGG, GoogLeNet та ResNet здатні виявляти та класифікувати об'єкти з точністю від 63 до 82% [9], що помітно нижче, ніж необхідно для розпізнавання й приймання товарів на складах. Отже, потрібна нова модель, яка значно підвищить точність розпізнавання деталей, ґрунтуючись на невеликому наборі вхідних зображень. У статті [10] для розв'язання цього завдання запропоновано модель штучної нейронної мережі для ідентифікації та підрахунку деталей (*Artificial Neural Network for Components Identification and Counting, ANN-CIC*). Мета досліджень — досягти вищої точності

класифікації деталей, ніж у наявних моделях з одночасним уведенням даних про прийняті товари у WMS.

Концептуальну модель ANN-CIC наведено на рис. 1.

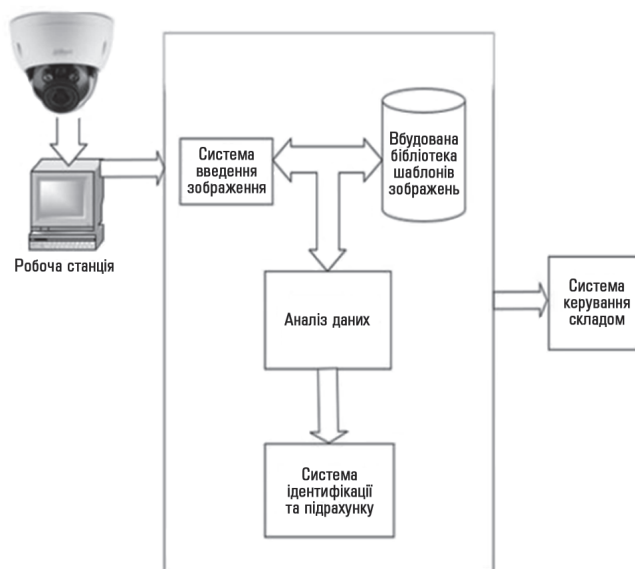


Рис. 1. Концептуальна модель ANN-CIC

Модель має у своєму складі промислову камеру та робочу станцію. Остання містить чотири підсистеми: систему введення зображень, вбудовану бібліотеку шаблонів зображень, систему виокремлення ознак зображень та систему ідентифікації та підрахунку. Вихідні дані системи ANN-CIC можна передавати до системи керування складом.

Стандартне відхилення піксельних значень зображення є популярним алгоритмом класифікації об'єктів. Обчислюється середнє квадратичне відхилення піксельних значень зображення для порівняння дисперсії між вхідним зображенням і зображенням шаблону. Мінімальна різниця між двома стандартними відхиленнями вказує на категорію вхідного зображення, яка збігається з категорією зображення шаблону.

Середнє квадратичне відхилення вхідного зображення S_D задається рівнянням:

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}}, \quad (1)$$

де X — вхідне значення пікселя; \bar{X} — середнє значення пікселя; n — кількість вхідних зображень.

Стандартне відхилення шаблонного зображення S_D можна подати у вигляді

$$S_d^i = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (2)$$

де x_i — значення пікселів; \bar{x} — середнє значення пікселів; n — кількість пікселів; i — різні шаблони зображень у бібліотеці.

Мінімальну дисперсію стандартного відхилення між зображенням товару, який тестується, і зображенням шаблону можна обчислити за формулою

$$V = \min |S_D - S_d^i|. \quad (3)$$

Алгоритм підрахунку кількості. Після того, як система класифікації розпізнала зображення, активується система підрахунку. Вхідне тестове зображення та шаблонні зображення обробляються в зображення *Canpy* за допомогою функції *Canpy* в *OpenCV* [10]. Програма оцінює максимальне значення білого пікселя, щоб порівняти значення пікселя вхідного зображення та пікселя зображення шаблону. Рівняння (4) базується на використанні значень пікселів для обчислення кількості об'єктів на зображенні:

$$N = \frac{\text{Max}.P}{\text{max}.p}, \quad (4)$$

де N — кількість одиниць; $\text{Max}.P$ — максимальне значення білого пікселя вхідного зображення; $\text{max}.p$ — максимальне значення відповідного зображення шаблону.

У статті [10], скориставшись ANN-CIC-моделлю, досліднику вдалося досягти середнього показника точності класифікації об'єктів 91,67%, показника точності підрахунку кількостей 93,34%. Наведені показники більш ніж на 10% вищі, ніж у моделі VGG-16, яка дає змогу досягти 80% точності класифікації деталей.

Модель ANN-CIC потенційно можна буде вбудувати в систему керування складом. Але все ще залишаються завдання, котрі потрібно розв'язати, а отже, необхідні подальші дослідження. Одним із завдань є вивчення відповідних алгоритмів для підвищення рівня точності класифікації та підрахунку об'єктів. Іншим завданням є виявлення, класифікація та підрахунок деталей, які перекривають одна одну. Крім того, модель потрібно навчити та перевірити за допомогою більшого набору зображень.

Висновки

У цій статті було здійснено аналіз технологій, які допомагають спрощувати ведення складського бізнесу. Також було досліджено роботи з розроблення алгоритмів, які застосовуються під час оброблення зображень для автоматизованого розпізнавання та підрахунку товарів. Продовжуючи дослідження, потенційно можливо в найближчому майбутньому досягти майже 100% точності класифікації деталей і впровадити системи на складських об'єктах для приймання товарів.

Список використаної літератури

1. *Логістика: Теорія та практика: навч. посіб.* / В. М. Кислий, О. А. Біловодська, О. М. Олефіренко, О. М. Соляник. Київ: Центр навч. літератури, 2010. 360 с.
2. <https://www.supplychaindive.com/news/Amazon-Alibaba-robot-warehouse-last-mile-technology/601742>
3. <https://supplychaingamechanger.com/7-reasons-to-consider-a-cloud-based-wms>
4. <https://www.orderhive.com/blog/cloud-based-warehouse-management-system>
5. <https://www.scjunction.com/blog/ai-and-machine-learning-transform-warehouse>
6. <https://vitalflux.com/warehouse-management-machine-learning-use-cases>
7. <https://www.supplychaindive.com/spons/5-applications-for-artificial-intelligence-in-the-warehouse-and-distributio/605942>
8. <https://www.ar-racking.com/en/news-and-blog/storage-solutions/quality-and-security/rfid-technology-applied-in-a-warehouse-and-logistics>
9. Sarigul M., Ozyildirim B. M., Avci M. *Differential convolutional neural network. (Report) // Neural Networks, 2019. Vol. 116. P. 279.*
10. Xueqin Yang. *Development of a Warehouse Model Using Machine Learning Technologies With Application in Receiving Management // RHD Thesis. School of Engineering and Technology, Central Queensland University. 2021.*

A. V. Lemeszko, A. A. Balvak

OPTIMIZATION OF INFORMATION PROCESSING USING MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE WORK OF LOGISTICS CENTRES

To remain successful on the market and efficiently manage warehouses, many large and medium-sized enterprises are implementing and experiencing the benefits of working with cloud-based warehouse management systems (WMS). Contractors quickly install and configure the software on their servers to meet the customer's needs and provide support and updates. Warehouse owners no longer need to worry about hosting servers, providing power, maintaining large IT teams, etc.

Machine learning and artificial intelligence algorithms, thanks to the ability to independently collect large volumes of data, improve with experience and adapt to different situations and act accordingly, are increasingly being introduced into warehouse management processes. It helps to analyze balances and deliveries, optimally plan the occupancy of the warehouses, picking of goods for shipments, the number and positions of shift workers, etc.

The RFID (Radio Frequency Identification) technology is to put a label on each product unit, which contains encrypted data about weight, volume, reception, storage, etc. Technology is gradually replacing paper carriers with barcodes. After the solution implementation, accounting simplifies, and the number of errors reduces because it is easy to track the movement, find and ship goods.

Actively carried out developments that will simplify, minimize the number of errors and speed up the receipt of goods in warehouses and markets. By improving machine learning methods, computer vision technologies will allow correct recognition of the goods by comparing them with templates entered in advance in the database, counting the number of units and separating the damaged ones.

The article discusses the following technologies that significantly simplify the processing of goods in modern logistics centres. Outlined the advantages and disadvantages and why not all solutions are possible to implement because it has not yet been possible to achieve acceptable accuracy and price.

Keywords: cloud warehouse management system; machine learning; artificial intelligence; computer vision; RFID tags.