

О.М. Євсєнко, к.т.н., доц.
П.О. Качанов, д.т.н., проф.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Моніторинг кількості відвідувачів у приміщеннях торговельного центру

Дослідження присвячене розробці апаратно-програмного рішення для ефективного обчислення кількості відвідувачів торговельного центру. Виокремлено актуальність проблеми в контексті існуючих досліджень з ідентифікації осіб на основі обробки зображень та доступності спеціалізованого обладнання для автоматичного підрахунку присутності людей. Визначено галузі, де використання розрахунків кількості осіб та інших параметрів присутності людей у приміщенні є важливим.

Аналізуються сучасні апаратні та програмні рішення підрахунку кількості людей у приміщенні. Виокремлюються їх переваги та недоліки. Порівняльний аналіз апаратних і програмних рішень виявив, що програмні підходи кількісного аналізу на базі аналізу відеопотоків дозволяють вирішувати більше завдань, ніж застосування апаратних пристроїв, таких як турнікети або сенсори. Визначено бібліотеки та фреймворки, які можуть бути використані для створення алгоритмів обробки відео та зображень.

Пропонується алгоритм обчислення кількості відвідувачів окремих магазинів торговельного центру на основі аналізу відеопотоків із подальшим упровадженням його в існуючу систему відеоспостереження. Цей алгоритм може бути використаний для вирішення існуючих завдань, таких як аналіз поведінки покупців для побудови та оптимізації роботи бізнесу.

У подальших дослідженнях планується впровадити розроблену систему для вирішення проблеми постачання належної вентиляції у приміщення торговельного центру, залежно від кількості присутніх людей. Результатами вирішення проблеми є забезпечення енергозбереження та створення комфортних і безпечних умов для всіх осіб, які перебувають у цих приміщеннях.

Ключові слова: торговельний центр; підрахунок відвідувачів; автоматизована система керування; обробка зображень; машинний зір.

Актуальність теми. Проблема точного обчислення кількості людей у заданому приміщенні є достатньо важливою. З появою і поширенням COVID-19 та інших штамів вірусу виникла проблема забезпечення безпечної соціальної дистанції між людьми та дотримання норми кількості людей на квадратну площу приміщення. Проте контроль за виконанням останньої вимоги Всесвітньої організації охорони здоров'я був достатньо умовний через відсутність необхідної кількості апаратно-програмних засобів, які б могли контролювати вирішення цього завдання.

Інформація про поточну кількість людей у приміщенні важлива для забезпечення комфортних та безпечних умов їх перебування у багатолюдних місцях. Санітарні правила вимагають виконання норми вентиляції на одну людину, а індекси Фагнера та стандарти ISO 7730:2005, ISO 10551:2019 визначають, що для комфортного та безпечного перебування людини у приміщенні необхідна відповідна вентиляція. Проте вентиляційна потужність розподіляється рівномірно у всіх приміщеннях, незалежно від кількості людей, які знаходяться в них. Отже, виникають зони з недостатньою вентиляцією, які не відповідають вимогам. Тому регулювання потужності роботи вентиляції на основі годинних графіків, а не актуальної кількості людей у приміщенні, також є прикладом неоптимального використання енергоресурсів. Точне визначення кількості людей у приміщенні дозволяє здійснювати ефективне регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря з метою підтримання комфортних умов при мінімальному споживанні енергії.

Через зростання електронної комерції багато торговельних центрів мають непостійний потік відвідувачів і зменшення кількості орендарів приміщень. Цифрова трансформація впливає також на зміну очікувань і споживчої поведінки. Тому її розуміння стає нагальним завданням.

Впровадження систем відстеження поведінки покупців у торговельному центрі дозволить зібрати статистичні дані щодо відвідуваності, аналізу поведінки відвідувачів, визначення популярних місць та факторів, що привертають їхню увагу. Це також допоможе оптимізувати роботу персоналу з прибирання та гарантування безпеки відповідно до кількості відвідувачів та їхніх потреб протягом робочого дня.

Результати опитування власників магазинів у торговельних центрах показали, що 89 % опитаних вбачають можливість поліпшення та оптимізації свого бізнесу завдяки використанню технології підрахунку кількості відвідувачів торгового центру.

Для виконання цих завдань уже існують певні рішення, які поєднують конструктивні та програмні системи. Однак багато з них потребують додаткових інвестицій в апаратне забезпечення, зокрема сенсори

та контролери. Крім того, ці рішення можуть бути неоптимальними та виконувати обмежений спектр завдань.

Кожен магазин у торговельному центрі обладнаний камерами спостереження. Об'єднання цих камер в єдину систему та застосування алгоритмів розпізнання силуетів або обличч дозволить більш детально відстежувати переміщення людини, розділити приміщення на зони та визначати зміни кількості відвідувачів у приміщеннях. У запропонованій системі використовуються алгоритми, що аналізують характерні ознаки зображень людського обличчя та силуетів.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз наукової літератури вказує на наявність готових рішень, які містять програмне забезпечення та апаратні засоби для виконання завдання підрахунку кількості людей у приміщенні. Цей сектор динамічно розширюється і пропонує різнобічні технологічні методи для моніторингу та обчислення кількості осіб у реальному часі. Програмні рішення містять у собі використання алгоритмів обробки зображень і машинного навчання. Натомість апаратні рішення використовують сенсори, камери, контролери, що об'єднані в мережу.

Класичні способи вимірювання кількості відвідувачів, які пересуваються торговельним центром, виявилися неоптимальними [1]. Поточна кількість відвідувачів визначалася за кількістю мобільних пристроїв, підключених до мережі Wi-Fi. Оскільки люди можуть не вмикати Wi-Fi, або мати декілька пристроїв, приєднаних до неї, цей підхід виявився неточним. Тому для обчислення кількості відвідувачів було побудовано систему, що використовує камеру iDS-2CD6820F/C. Ця система працює з 97 % точністю обчислення кількості людей та може об'єднувати до 16 камер в єдину мережу. Для більш точного визначення кількості відвідувачів пропонується встановлювати певні правила обчислення та налаштування.

У [2] для вирішення цього завдання рекомендується використовувати сенсори. Наприклад, SensMax TAC-B 3D-W, що має 120-градусний кут огляду та може застосовуватися на площі до 100 м². Перевагами використання сенсорів такого типу є можливість побудувати автоматизовану систему для збору та обробки інформації, а також наявність програмного забезпечення для обробки даних, яке дозволяє будувати тренди та вести статистику. Однак слід враховувати обмеження на площу використання та велику вартість побудови такої системи.

Більш дешевий варіант імплементації комп'ютерно-орієнтованої системи на основі мікроконтролера Arduino запропоновано у [3]. Для визначення моменту, коли людина входить у приміщення, використовуються інфрачервоні та п'єзоелектричні датчики. У статті це описується у вигляді алгоритму для п'яти сценаріїв. Автори намагаються виправити недоліки неточного підрахунку для випадку, коли крізь дверний отвір одночасно проходить більше однієї людини. Це досягається за рахунок комбінації різних сенсорів. Проте у статті підтверджується досить невисока точність визначення людини в такому сценарії, яка становить від 86 до 93 %.

У [4] підтверджується важливість вирішення проблеми обчислення кількості людей у приміщенні з точки зору дотримання вимог до соціальної дистанції. Запропонована система також використовує мікроконтролер Arduino разом з LCD-дисплеєм та інфрачервоними датчиками. У висновках автори підтверджують низьку точність обчислення кількості людей за допомогою такої системи та незручність роботи з обраними датчиками.

У [5] вивчаються можливості усунення апаратних проблем шляхом аналізу монтажу датчиків у горизонтальному та вертикальному напрямках. Розглядаються переваги та недоліки цих методів монтажу і надається характеристика, залежно від принципу їх дії. Інфрачервоний датчик є простим та бюджетним рішенням, проте його точність обмежена: якщо промінь заблоковано, то люди, що проходять у цей момент, не будуть ураховані. Використання термодатчиків ускладнює розрізнення дорослих і дітей, що може вплинути на точність аналізу демографічних даних. Зовнішні погодні умови можуть ускладнити та знизити точність процесу розпізнавання.

У дослідженні [6] особлива увага приділяється обчисленню кількості людей у скупченнях, таких як стадіони, торговельні центри, виставки і площі, оскільки це має велике значення для гарантування безпеки. Порівнюються різні варіації методів, основаних на згорткових нейронних мережах, загальною кількістю 33 методи. Одним із недоліків більшості методів є використання однієї камери. Як перспектива розвитку пропонується використання методів підрахунку людей на основі багатоперегледових систем. Більшість популярних методів на сьогоднішній день не може гарантувати їх виявлення в режимі реального часу і не може це виконувати в реальному часі на периферійних пристроях, таких як камери. Тому робиться висновок, що важливим напрямом дослідження є вивчення легковісних мереж, які забезпечують високу ефективність виявлення [6].

У [7–10] описуються фактори, які впливають на якість і точність розпізнання людей під час руху, та синтезуються методи розпізнання їх з урахуванням впливу цих факторів.

За проведеним оглядом можна зробити висновок, що використання програмних засобів та алгоритмів для визначення та обчислення кількості людей надає кращі результати, ніж використання апаратних засобів. Зазвичай програмні засоби і алгоритми є більш гнучкими та адаптованими до різних умов і

завдань. Вони можуть виконувати аналіз у реальному часі і мають потенціал для поліпшення з використанням машинного навчання та штучного інтелекту. З іншого боку, апаратні рішення, на базі контролерів та спеціалізованих датчиків, можуть бути корисними у випадках, коли потрібна велика швидкість та немає вимог до точності обчислень і вимірювань.

Метою статті є розробка апаратно-програмного рішення для впровадження алгоритмів обчислення кількості людей у торговельних центрах та їх приміщеннях.

Викладення основного матеріалу. Торговельний центр – це велика за площею будівля, що призначена для комерційної діяльності, зокрема для торгівлі товарами та послугами. Вона складається з різних за призначенням приміщень, таких як магазини, кафе, кінотеатри, а також інші місця для відпочинку та розваг. Для обчислення кількості людей, що перебувають у торговельному центрі, може використовуватись існуюча система відеоспостереження, а спеціальні алгоритми обробки зображень допоможуть визначити їх кількість у реальному часі. Це виконується за допомогою програм із використанням бібліотек, де застосовуються алгоритми машинного навчання та розпізнавання рухомих об'єктів за допомогою алгоритмів віднімання фону для обробки зображень.

Найбільш популярними бібліотеками на мовах C++ та Python є:

1. OpenCV (C++ та Python).

OpenCV – це бібліотека з відкритим вихідним кодом, яка надає безліч інструментів і алгоритмів для обробки зображень, враховуючи розпізнавання об'єктів і облич;

2. Dlib (C++ та Python).

Dlib надає набір інструментів для машинного навчання і комп'ютерного зору, враховуючи алгоритми для розпізнавання облич;

3. TensorFlow і Keras (Python).

Ці бібліотеки машинного навчання також містять безліч моделей та інструментів для розпізнавання об'єктів і облич;

4. PyTorch (Python).

PyTorch – це фреймворк глибокого навчання, який також надає можливості для створення і навчання моделей комп'ютерного зору, враховуючи розпізнавання облич;

5. Yolo v8 (Python).

Yolo v8 – це покращена версія оригінального алгоритму YOLO (You Only Look Once), що використовує глибокі нейронні мережі для ефективного розпізнавання об'єктів і облич на зображеннях та відео.



а



б



в



г

Рис. 1. Зображення з камер відеоспостереження в торговельному центрі

Обчислення осіб у приміщенні торговельного центру проводиться для потреб гарантування безпеки, управління персоналом, маркетингу та побудови стратегії продажу товарів, планування й управління. Для кожного з цих завдань, окрім безпосередньо кількості людей у приміщенні, потрібна ще додаткова інформація, наприклад, вікова група, стать, час перебування у приміщенні.

Наявне апаратне і програмне забезпечення мають свої обмеження. Розташування відеокамер у даний момент може бути неоптимальним і викликати проблеми при їхньому об'єднанні в єдину систему.

До апаратних обмежень належать проблеми, пов'язані з обладнанням або вибором місця їх розташування:

1. Недостатність камер. Якщо камер недостатньо або вони розташовані неправильно, це може призвести до неточних результатів. Наприклад, недостатнє покриття певних зон може призвести до пропущених підрахунків;

2. Погана якість зображення. Низька якість камер або погане освітлення можуть ускладнити розпізнавання облич та обробку зображень;

3. Фізичні перешкоди, такі як стовпи, стіни або рекламні щити, можуть заважати видимому полю камер і вплинути на точність підрахунку.

До програмних обмежень належать:

1. Використання алгоритмів комп'ютерного зору для розпізнавання облич і підрахунку людей може вимагати високої обчислювальної потужності та програмного забезпечення з великою кількістю налаштувань;

2. Збір та збереження зображень людей пов'язані з питаннями конфіденційності і можуть вимагати впровадження відповідних заходів з охорони даних і приватності;

3. Обробка великої кількості даних із камер у реальному часі може вимагати потужних обчислювальних ресурсів та оптимізованих алгоритмів;

4. Розпізнавання облич та підрахунок людей може бути складним завданням в умовах низької освітленості, змінного одягу та інших чинників.

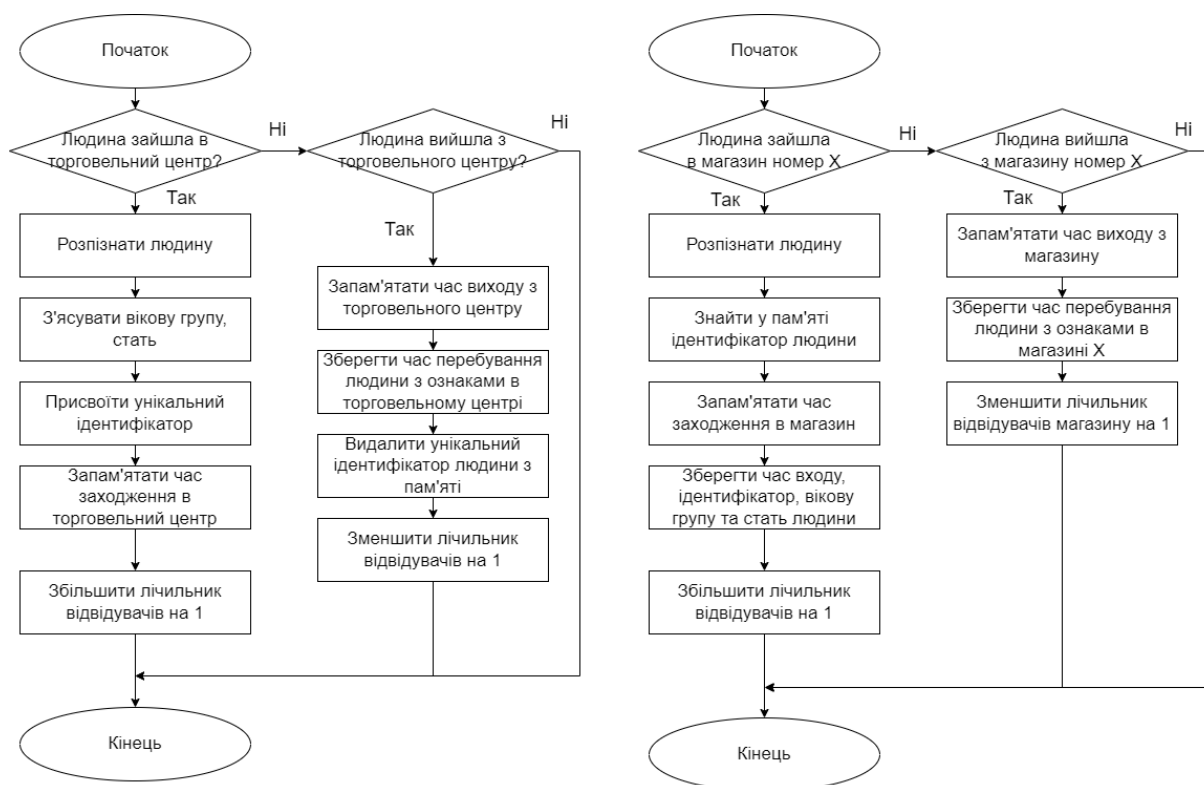


Рис. 2. Блок-схеми обчислення кількості відвідувачів у торговельному центрі та його приміщеннях

Для побудови системи пропонується розташовувати камери над входами в магазин (рис. 1, а) та в зонах переходу між секціями (рис. 1, б, в). Розташування камери, як на рисунку 1, г, не підійде через необхідність великої обчислювальної потужності, неправильно обране місце розташування камери та як результат – низька точність отриманих даних.

Алгоритм (рис. 2) описує загальний механізм підрахунку загальної кількості відвідувачів у торговельному центрі та в магазинах і містить такі кроки:

1. Присвоїти унікальний ідентифікатор кожній людині (рис. 1, в). Цей номер очистити при виході. Це потрібно для ідентифікації кожного відвідувача для ведення статистики і контролю;
2. З'ясувати вікову групу. Виконується для аналізу демографічних характеристик відвідувачів і визначення цільової аудиторії для магазину або торговельного центру;
3. Запам'ятати час входу і виходу з торговельного центру. Це робиться з метою відстеження тривалості перебування в торговельному центрі й аналізу часових трендів щодо відвідуваності;
4. Запам'ятати час входу і виходу з магазину для того, щоб визначити час, який відвідувачі проводять у конкретному магазині, і для аналізу активності внутрішнього руху;
5. Обчислити загальну кількість людей та по магазинах (рис. 1, а). Це потрібно для визначення загального обсягу відвідування і для аналізу, який магазин є найбільш популярним або відвідуваним;
6. Обчислити кількість людей при переході з одного поверху на інший (рис. 1, б). Виконується для відстеження пересування відвідувачів між поверхами торговельного центру і визначення популярних маршрутів внутрішнього руху.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідження присвячене розробці апаратно-програмного рішення обчислення кількості відвідувачів торговельного центру. Проведений огляд підтвердив актуальність проблеми, наявність досліджень, що спрямовані на ідентифікацію осіб за допомогою комп'ютерних алгоритмів обробки зображень та доступність апаратного забезпечення для автоматичного підрахунку кількості присутніх людей. Визначено галузі, в яких важливим є розрахунок кількості осіб та інших характеристик присутності людей у приміщенні.

Наведено обмеження, які визначають, де можуть бути розміщені камери під час створення системи, враховуючи обмеження як апаратного, так і програмного характеру. Виділено бібліотеки та фреймворки, які можуть застосовуватися при побудові алгоритмів обробки відео та зображень. Запропоновано алгоритм роботи системи з обчисленням кількості людей у торговельному центрі та в окремих приміщеннях. Цей алгоритм використовує сучасні бібліотеки комп'ютерного зору та надає можливість точно визначити присутність осіб і моніторити їх рух у реальному часі за правильного розташування камер та належного налаштування системи. На подальших етапах дослідження передбачається використання розробленої системи для оптимізації роботи вентиляції у приміщеннях торговельного центру, враховуючи кількість присутніх у цих приміщеннях. Це дозволить досягти ефективного використання енергії та забезпечити комфортні й безпечні умови для всіх осіб, що знаходяться в цих приміщеннях.

References:

1. «People counting gives shopping centres a business edge», [Online], available at: <https://www.hikvision.com/europe/newsroom/success-stories/retail/people-counting-gives-shopping-centres-a-business-edge>
2. «Shopping malls. Real-time occupancy monitoring», [Online], available at: <https://sensmax.eu/solutions/shopping-mall-real-time-footfall-counting>
3. Mullapudi, C.K. (2020), «Implementation of Arduino-based Counter System», *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 9, Iss. 9, pp. 851–855.
4. Bratyshchenko, M.R. (2022), «Mikrokontrolerna sistema dlia pidrakhunku kilkosti liudei u prymishchenni na bazi Arduino UNO», *Radioelektronika ta molod v KhKhI stolitti*, materialy 26-ho Mizhnar. molodizhnoho forumu, 20–22 kvitnia, Kharkiv, pp. 5–6.
5. «The Ultimate Guide To People Counting», [Online], available at: <https://www.trafsys.com/how-to-choose-a-people-counting-solution>
6. Zhang, Z., Wang, M. and Geng, X. (2015), «Crowd counting in public video surveillance by label distribution learning», *Neurocomputing*, No. 166, pp. 151–163.
7. Paolanti, M., Pietrini, R., Mancini, A. et al. (2020), «Deep understanding of shopper behaviours and interactions using RGB-D vision», *Machine Vision and Applications*, Vol. 31, Iss. 7–8, pp. 1–21.
8. Janani, V.G., NagaPriyanka, R., Selvi, G. and MadhuShalini, S. (2018), «Computing the Pedestrians based on static & dynamic motions using Correlation based optical flow algorithm», *Adalya Journal*, Vol. 7, Iss. 2, pp. 44–50.
9. Hou, Y.L. and Pang, G.K.H. (2011), «People Counting and Human Detection in a Challenging Situation», *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. Part A: Systems and Humans*, Vol. 41, No. 1, pp. 24–33.
10. Rakesh, C.S., Karthik, K.P., Havin, H. et al. (2021), «Anomaly Detection in Videos Using Deep Learning Techniques», *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, Vol. 8, Iss. 6, pp. 582–588.

Євсєєнко Олег Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<http://orcid.org/0000-0001-5432-1211>.

Наукові інтереси:

– розробка автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Качанов Петро Олексійович – доктор технічних наук, професор, професор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<http://orcid.org/0000-0002-0781-0853>.

Наукові інтереси:

- електромеханічні системи;
- регульований електропривід, структури та системи керування ним;
- автоматизація електротехнічних комплексів;
- системи автоматичного керування та регулювання.

Yevseienko O.M., Kachanov P.O.

Monitoring the number of visitors in shopping mall premises

Research focuses on developing a hardware and software solution for effectively calculating the number of visitors in a shopping mall. The relevance of the problem is emphasized within the context of existing research on person identification through image processing and the availability of specialized equipment for automatic people counting. Areas where utilizing calculations of the number of individuals and other presence-related parameters is vital are identified.

The study gets into modern hardware and software solutions for people counting within indoor spaces, highlighting their advantages and drawbacks. A comparative analysis reveals that software-based approaches, rooted in video stream analysis, offer a broader spectrum of applications compared to hardware devices like turnstiles or sensors. Additionally, libraries and frameworks suitable for constructing video and image processing algorithms are identified. Furthermore, a calculation algorithm is proposed for determining the number of visitors in individual stores within the shopping mall, based on video stream analysis, with subsequent integration into an existing video surveillance system. This algorithm can address existing challenges, such as analyzing customer behavior to enhance and optimize business operations.

In future research, the intention is to implement the developed system to address the issue of providing appropriate ventilation in the shopping center's premises based on the number of people present. The outcomes of resolving this problem encompass energy conservation and the establishment of comfortable and safe conditions for all individuals within these spaces.

Keywords: shopping mall; visitor count; automated control system; image processing; machine vision.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2023.