

**О. О. Писарчук**

д-р техн. наук, професор  
Національний технічний університет України  
«КПІ імені Ігоря Сікорського»  
orcid.org/0000-0001-5271-0248  
e-mail: platinumpa2212@gmail.com;

**І. О. Писарчук**

Національний технічний університет України  
«КПІ імені Ігоря Сікорського»  
orcid.org/0000-0003-4343-0142  
e-mail: flimka134@gmail.com

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ ДО КРИТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ COMPUTER VISION

### Вступ

Забезпечення безпеки діяльності людини, корпоративних спільнот, соціуму є конче важливим і нагальним завданням, гарантованим державними інституціями та національним законодавством України [1]. Це реалізується, зокрема, комплексом взаємопов'язаних процесів: моніторингу (контролю) поточної ситуації; попередження та (або) виявлення (ідентифікація) небезпечних подій (критичних ситуації (КС)); планування і здійснення заходів протидії або ліквідації наслідків небезпечних подій; облік та ретроспективний аналіз КС та дій щодо їх ліквідації. Сучасні інформаційні технології (ІТ) та рішення дозволяють реалізувати зазначений комплекс процесів шляхом проектування, розробки та впровадження розподілених інформаційних систем – програмно-апаратних комплексів контролю КС на критичних об'єктах – об'єктах критичної інфраструктури. Під об'єктами критичної інфраструктури слід розуміти підприємства, будівлі, заклади тощо – реалізації на яких КС можуть мати значні соціальні наслідки. Такими об'єктами в статті є: торгівельно-розважальні центри; спортивні/концертні майданчики; заклади вищої освіти; житлові комплекси тощо [1]. До переліку КС слід відносити: несанкціоноване проникнення, протиправні дії тощо.

### Постановка проблеми

Досвід подій останніх років в Україні доводить, що головними вимогами до таких систем є: масштабність охоплення контрольованої території; оперативність та достовірність реалізації процесів виявлення КС; здатність обробляти великі, динамічно змінювані інформаційні потоки; надій-

ність та захищеність. Виконання таких вимог можливе шляхом автоматизації процесів візуального контролю та виявлення КС на критичних об'єктах із впровадженням технологій Computer Vision.

Тому актуальним є науково-прикладне завдання з проектування та розробки програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Класичні підходи до вирішення задач моніторингу об'єктів потребують організації та управління процесами збору, передачі, накопичення, обробки інформації про результати моніторингу, з контролем внутрішніх і зовнішніх процесів, що їх супроводжують. Процес моніторингу реалізується системою моніторингу (СМ) у складі: сенсорів; центру накопичення і обробки інформації з сукупністю автоматизованих робочих місць (АРМ) на яких працює оперативний склад; спеціалізованого програмно-математичного забезпечення; телекомунікаційних засобів [2].

Практика застосування програмно-апаратних комплексів контролю доступу до критичних об'єктів за даними відеоспостереження і впровадженням технологій Computer Vision має наступні приклади. Система автоматичної фіксації порушень Правил дорожнього руху МВС на базі системи «Автоматизований контроль за порушеннями ПДР «КАСКАД»» [3]. Системи відеоспостереження – на теперішній час доволі широко представлені пропозиціями з різноманітних системам безпеки та відеоспостереження, наприклад [4–6]. Базовими є рішення розподілених надійних систем відеоспостереження з мінімальним функціоналом аналітики даних [7–15].

В той же час, забезпечення більшості безпекових задач контролю критичних об'єктів з виявлення КС можливо шляхом впровадження системи контролю руху автотранспорту із розпізнавання номерних знаків. Автоматичне розпізнавання номерних знаків (Automated Number Plate Recognition – ANPR) – це технологія обробки зображень, яка використовує номерний знак для ідентифікації конкретного автомобіля [7].

Процес ідентифікації (розпізнавання) заданих об'єктів за цифровими зображеннями можливо реалізувати за технологією Computer Vision. Конвеєр процесів Computer Vision [2, 7–15] включає послідовність етапів. Реєстрація зображення – отримання цифрового зображення в статичній картинці або відеопотоку. Цифрова обробка зображень – здійснюється з метою відновлення / покращення якості зображення і включає корекцію кольору, фільтрацію та сегментацію. Аналіз зображень – передбачає комплекс етапів, спрямований на морфологічний аналіз, виділення ознак та розпізнавання/ідентифікацію об'єктів спостереження.

Аналіз методологічних підходів з реалізації визначених етапів показав необхідність вибору дієвих рішень з кола відомих, щоб вибудувати послідовність етапів, які забезпечать ефективний розв'язок завдання з проектування та розробки спеціалізованого і конкретного за призначенням програмно-апаратного комплексу контролю дос-

тупу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision.

Для програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів технологічно обрано такі етапи для розпізнавання номерних знаків рухомої автівки: сегментація зображень; відстеження/tracking/об'єктів; розпізнавання номерних знаків.

**Мета статті** є розробка способу автоматизації процесу контролю доступу на підставі інформації об'єктового моніторингу за технологіями Computer Vision.

### Виклад основного матеріалу

Цифрове зображення подається як двовимірною функцією  $f(x, y)$ , де  $x, y$  координати на площині, а величина  $f$  в будь-якій точці, що задається парою координат  $(x, y)$  – відображає колір в цій точці. Така форма називається растровою, а кожен растр характеризується парою [7–14]:

$$f(x, y) = [x, y][R, G, B],$$

де  $[x, y]$  – координати растра;  $[R, G, B]$  – компоненти адитивної кольорової моделі цифрового зображення.

Тоді цифрове зображення задається матрицею растра:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} [x_{11}, y_{11}][R_{11}, G_{11}, B_{11}] & \cdots & [x_{1n}, y_{1n}][R_{1n}, G_{1n}, B_{1n}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [x_{m1}, y_{m1}][R_{m1}, G_{m1}, B_{m1}] & \cdots & [x_{mn}, y_{mn}][R_{mn}, G_{mn}, B_{mn}] \end{bmatrix}.$$

*Цифрова обробка зображення – спрямована на покращення його якості: чіткості та / або – контрасту. Це реалізується фільтрацією та кольоровою корекцією. Фільтрація реалізується фільтрами: Гауса (GaussianBlur), Кенні (Canny), медіанний (medianBlur), білатеральний (bilateralFilter) – тощо. Корекція кольору реалізується шляхом аналізу і корекції гистограми яскравості зображення (частотний розподіл пікселів по яскравості в діапазоні її зміни). Для покращення контрасту виділяють методи: розтягування; лінеаризації; нормалізації гистограми яскравості.*

Сегментацією називають цифрову обробку зображень з метою виділення областей (сегментів), однорідних за певними ознаками. Сегментація реалізується відносно об'єкта подальшої ідентифікації відповідно до методів: порогова, шляхом нарощування областей; виділення кордонів (векторизацією).

Аналіз зображення передбачає: пошук; класифікацію; ідентифікація. Зазначені етапи є взаємопов'язаними та потребують виділення унікальних

ознак зображення – особливих точок. Визначення особливостей зображення можливе на основі аналізу геометрії та кольору зображення. Це досягається шляхом використання детектора та дескриптора зображень: Moravec; Harris; Shi-Tomasi; Förstner; SUSAN; Trajkovic; FAST; CSS [7–14]. Процеси пошук та ідентифікації зображень спрямовані на визначення подоби об'єктів на зображенні, або визначення подоби кадру на потоці зображень. Класифікація може бути реалізована класичними методами машинного навчання: Machine Learning (ML): k-means (k-середніх); Support Vector Machine (машина опорних векторів); k-nearest neighbors (найближчих сусідів) [4]. Для ідентифікації, як правило, застосовуються методи глибокого навчання із штучними нейронними мережами, або ієрархічні методи: випадковий ліс, каскади Хаара [7–14].

Процеси відстеження/трекінгу/Object Tracking можна розглядати як комбінацію двох моделей: модель зовнішнього вигляду об'єкту: відповідає за визначення того, чи знаходиться вибраний об'єкт у кадрі; модель руху об'єкту: відстежує

швидкість і напрямок руху об'єкта, що дозволяє передбачити нове положення об'єкта на основі отриманих даних. Технології Object Tracking побудовані на навчанні за множиною кадрів (за ознаками: подібності гістограми яскравості, дескрипторів зображень, різниці кадрів або фону) та, зазвичай, реалізується готовими рішеннями: MeanShift, CamShift, KCF, MOSSE, CSRT [7–14].

Аналіз показав [7–16], що найбільш доцільним для реалізації програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision на прикладі Automated Number Plate Recognition (ANPR) мають бути наступні рішення. Процес реєстрації вхідної інформації – відеопотоку має високі показники якості, тож не потребує проведення її попередньої цифрової обробки. Аналіз відеозображення (аналітична обробка даних): етапи трекінгу об'єк-

тів спостереження та ідентифікація передбачається реалізувати з використанням штучної нейромережі з класу стандартних.

### Структурна схема програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision

Реалізація завдань моніторингу поточної ситуації та виявлення КС на об'єктах критичної інфраструктури пропонується реалізувати СМ, яка є масштабованим базовим модулем, з відкритою архітектурою та може бути впроваджена на критичних об'єктах різного типу. На СМ реалізуються процеси: моніторинг поточної ситуації; отримання, зберігання, обробка даних; виявлення КС; оповіщення про КС.

Процеси СМ реалізуються на відповідних структурних елементах (рис. 1).

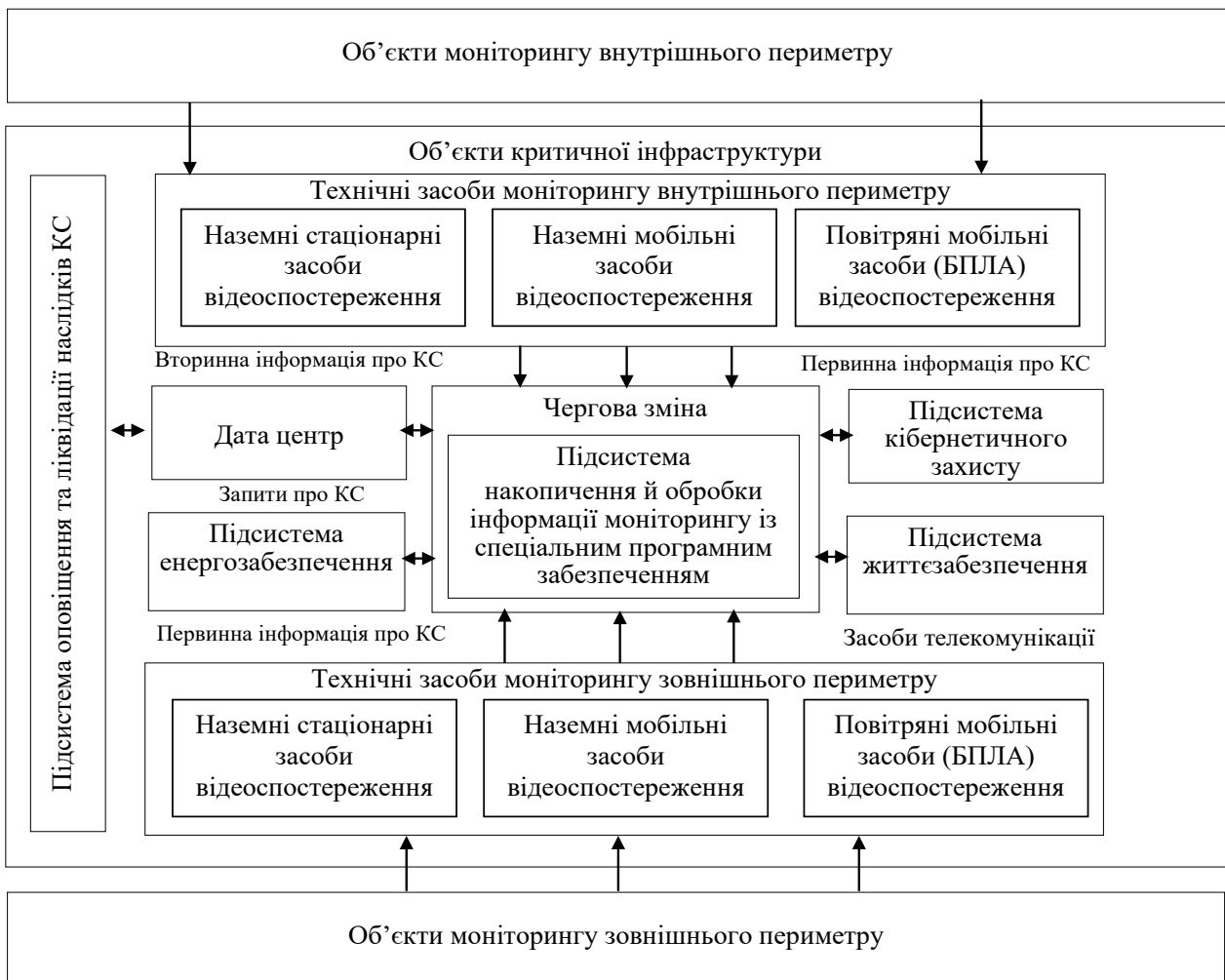


Рис. 1. Структурна схема програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision – базовий модуль

Об'єкти моніторингу зовнішнього/внутрішнього периметру охоплюють геопросторові лока-

ції об'єктів критичної інфраструктури де, можуть виникати КС. Наприклад: входи/виходи, в'їзди/виїзди для контролю і обліку відвідувачів; місця

найбільшого трафіку руху та місця можливого усамітнення, тощо. Внутрішній/зовнішній периметри позначають територію об'єктів критичної інфраструктури.

Місця локації «об'єкти моніторингу» – визначають точки встановлення/присутності технічних засобів моніторингу.

Технічні засоби моніторингу (ТЗМ) є сукупністю різнорідних автономних технічних засобів відеоспостереження: стаціонарно розташованих відеокамер; мобільних відеокамер, розташованих на охоронцях; мобільні відеокамери, розташовані на БПЛА. Головною метою залучення різних типів відеоспостереження є досягнення всеохоплюючої інформаційної обізнаності про поточну ситуацію на об'єкті критичної інфраструктури. Це забезпечує високі показники оперативності достовірності і точності виявлення КС.

Підсистема накопичення й обробки інформації моніторингу (ПОІ) являє собою сукупність обчислювальних засобів з клієнт серверною архітектурою інформаційної взаємодії для забезпечення функцій:

1. Отримання відеопотоку даних;
2. Оперативне оброблення поточної відеоінформації;
3. Виявлення та ідентифікації КС;
4. Оповіщення про КС;
5. Контроль і управління роботою системи.

Функції ПОІ становлять функціонал спеціалізованого програмного забезпечення СМ. При цьому функції 1-4 реалізуються серверною частиною (Backend - компонентою), з наданням інтерфейсних можливостей функції 5 – як клієнтської частини (Frontend – компонентою).

Дата центр – призначений для довготривалого архівного зберігання даних відеоспостереження для підтримки розслідування інцидентів та може перехоплювати на себе обчислювальні задачі у критичних ситуаціях.

Підсистеми енергозабезпечення та життєзабезпечення – призначені для підтримки належних режимів та умов функціонування СМ.

Система телекомунікації що відповідає вимогами захищеності і стійкості, є сукупність засобів і каналів зв'язку всіх можливих / доступних типів для передачі відеопотоку даних. Система телекомунікації підтримує інформаційну взаємодію усіх складових СМ за принципами функціонування розподілених комп'ютерних мереж. При цьому за базовий використовується стек протоколів TCP/IP та канали зв'язку будь-яких Інтернет-провайдерів.

Підсистема кібернетичного захисту реалізує комплекс організаційно-технічних заходів фор-

мування захищених каналів зв'язку та протидії кіберінцидентам.

Для практичної реалізації базовий модуль СМ може бути трансформований, наприклад, до структури, що забезпечує конкретний функціонал – автоматичний контроль та облік за автомобільними номерами відвідувачів торгівельно-розважального центру, які прибувають до паркувальних місць/майданчиків. Контроль ведеться лише за інформацією від наземних стаціонарних камер відеоспостереження.

### **Програмна компонента програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision**

**I. Математична модель ідентифікації динамічних об'єктів у відеопотоці.** В програмній компоненті реалізації підлягають процеси ідентифікації динамічного об'єкту у відеопотоці в конвеєрі взаємопов'язаних етапів: сегментація цифрового зображення із виділенням прямокутника із динамічним об'єктом (прямокутника із автомобілем); трекінг (відстеження) за об'єктом протягом декількох кадрів відеопотоку; ідентифікація об'єкта з розпізнаванням номерного знаку автомобіля. Практична реалізація зазначених етапів здійснена за технологією глибинного навчання згорткової нейронної мережі (convolutional neural network, (CNN)), спрямованої на комплексне вирішення задач об'єктового відстеження (Object Tracking) – YOLOv8 (You Only Look Once) [15–16]. При цьому її навчання здійснювалось на самостійно сформованому та підготовленому Dataset масиві.

Нейронна мережі YOLOv8 підтримує технологію Object Tracking з ідентифікацію об'єкта в множині кадрів відеопотоку. Фактично технологія YOLO для Object Tracking включає ідентифікацію (Object Detection) об'єктів на кадрі та запис його позиції у параметри прямокутників навколо об'єктів (bounding boxes). Тоді Object Trackin передбачає визначення об'єктів не на всьому полі кадру, а в обмеженому просторі bounding boxes у зв'язаному потоці ретроспективних та перспективних кадрів. При цьому вирішуються завдання визначення траєкторії (параметрів руху) об'єкта. Така технологія вирізняє YOLO від інших CNN, забезпечуючи оперативність процесу Object Trackin.

Архітектура YOLO являє собою однорівневу CNN. Початкові згорткові шари мережі акумулюють ознаки із зображення, а повнозв'язні шари надають вихідні ймовірності та координати. Мережа складається з 24 згорткових шарів і 2 повнозв'язних шарів. YOLO (You Only Look Once) базується на ідеології одноразового пере-

гляду цифрового кадру для детекції об'єкта та прогнозу його положення на наступному кадрі. Архітектура YOLO з із схематичним поясненням

процесів Object Detection та Object Trackin подана на рис. 2 [15–16].

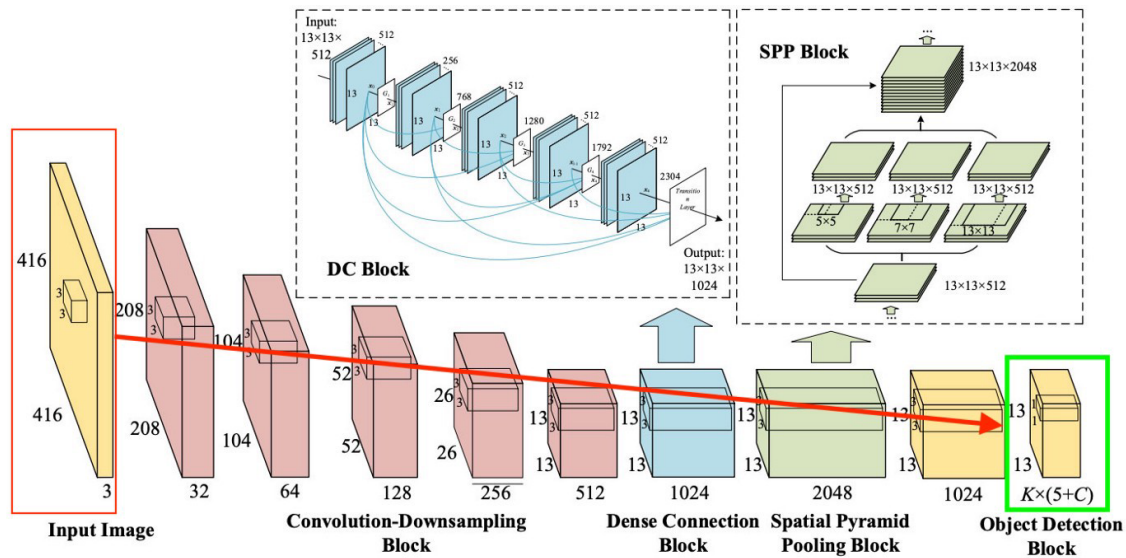


Рис. 2. Багатовимірний процес Object Tracking в нейронній мережі YOLO

Нейромережа YOLOv8 забезпечує об'єктову ідентифікацію в кадрі та здійснює покадрове прогнозування геометричних параметрів bounding boxes. Процес Object Tracking з інтеграцією технології Object Detection в перебігу кадрів відеопотоку побудована на аналізі відстані Махалонобіса методами рекурентної Калмановської фільтрації.

Відстань Махалонобіса використовується для встановлення подібності bounding box у відеопотоці:

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2}.$$

Параметри для визначення відстані Махалонобіса визначаються за контекстом позначень, уведених на рис. 3 [15–16].

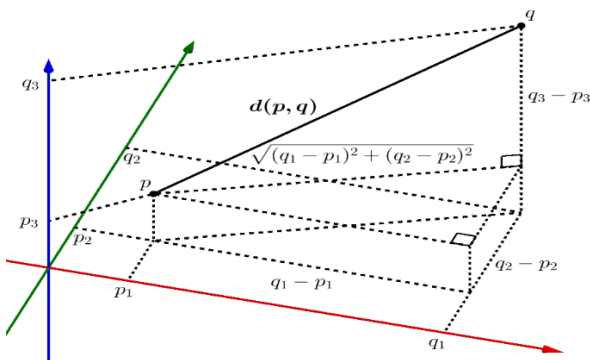


Рис.3. Параметри для визначення відстані Махалонобіса

Рекурентна Калманівська фільтрація реалізується скалярним лінійним альфа-бета фільтром:

$$\hat{y}_n = \hat{y}_{ne} + \alpha_n (y_n - \hat{y}_{ne}),$$

$$\hat{y}_n = \hat{y}_{n-1} + \beta_n / T_0 (y_n - \hat{y}_{ne}),$$

де  $\hat{y}_n, \hat{y}_n$  – координати і швидкість покадрової зміни параметрів bounding boxes;  $\hat{y}_{ne}$  – екстрапольоване значення;  $\alpha_n, \beta_n$  – коефіцієнти згладжування;  $T_0$  – період оновлення інформації – частота кадру у відеопотоці.

В програмному забезпечення, що розробляється, рішення про успішність процесу Object Tracking приймається за умов Object Detection протягом 20-ти кадрів відеопотоку – на 21 кадр.

**Формалізована математична модель ідентифікації динамічних об'єктів у відеопотоці.** Процес розпізнавання об'єктів контролю (номерних знаків) здійснюється за технологією штучних нейронних мереж YOLOv8; навчання мережі проведено за власним Dataset масивом.

Таким чином, математична модель ідентифікації динамічних об'єктів у відеопотоці включає наступні операції:

1. Отримання та розмітка вхідних даних – номерних знаків автомобіля, формування вхідного Dataset.
2. Навчання штучної нейронної мережі YOLOv8 за отриманим Dataset масивом.
3. Сегментація початкового зображення з виділенням області кадру зображення з номером автівки за допомогою навченої моделі;
4. Трекінг об'єкту (номерного знаку) за алгоритмом YOLOv8: визначення відстані Махалонобіса та застосування фільтра Калмана;
5. За обсягом вибірки спрацювань аналітичної системи у значення, яке задається користувачем – вибір медіани між всіх входжень значення номеру автомобіля, яке знаходиться на кадрі;

6. Ідентифікація номерних знаків – Automated Number Plate Recognition (ANPR) навченою штучною нейронною мережею YOLOv8.

Сформована таким чином математична модель є основою програмної компоненти програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision.

**II. Інженерія вимог** проведено на рівні функціональних вимог до програмної системи ідентифікації динамічних об'єктів у відеопотоці – в практичній реалізації – ідентифікація номерних знаків – Automated Number Plate Recognition (ANPR):

I. Реалізація етапу навчання штучної нейронної мережі YOLOv8:

1.1. Отримання та розмітка вхідних даних – номерних знаків автомобіля, формування вхідного Dataset;

1.2. Формування параметрів штучної нейронної мережі YOLOv8;

1.3. Навчання штучної нейронної мережі YOLOv8 за отриманим Dataset масивом.

1.4. Контроль показників ефективності розпізнавання номерних знаків/донавчання/зупинення навчання нейромережі.

II. Реалізація процесу ідентифікації динамічних об'єктів у відеопотоці – автомобілів за номерними знаками:

2.1. Отримання відеопотоку даних про поточну ситуацію у растровому форматі;

2.2. Сегментація початкового зображення з виділенням області кадра зображення з номером автівки за допомогою навченої моделі YOLOv8;

2.3. Трекінг об'єкту (номерного знаку) за алгоритмом YOLOv8: визначення відстані Махалонабіса та застосування фільтра Калмана;

2.4. За обсягом вибірки спрацювань аналітичної системи у значення, яке задається користувачем – вибір медіани між всіх входжень значення номеру автомобіля, яке знаходиться на кадрі;

2.5. Ідентифікація номерних знаків – Automated Number Plate Recognition (ANPR) навченою штучною нейронною мережею YOLOv8 – виявлення КС.

III. Зберігання інформації про ідентифікований номерний знак автомобіля.

IV. Надання інформації про виявлений номерний знак чергової зміни – сповіщення про КС в'їзд / виїзд автомобіля.

V. Трекінг та окремих облік автомобілів, що рухаються повз контрольовану зону об'єкту критичної інфраструктури.

VI. Реалізація комплексу функції контролю роботи та управління програмною системою.

**III. Архітектурне проектування програмної компоненти** реалізовано методом евристичного аналізу функціональних вимог, сформованої математичної моделі, розробленої структури програмно-апаратного комплексу з реалізацією необхідних процесів інформаційного обміну між ними (рис. 4).

Представлена структурна схема відображає два етапи, притаманних використанню технології штучних нейронних мереж: етап навчання; етап застосування. Етап навчання підтримує створення нейромережі і підготовку даних для Dataset масиву. Для навчання використовується власний сегмент даних та їх підготовка. Процес навчання відбувається з контролем показників якості – ймовірності ідентифікації об'єкту (помилки) та відображається користувачеві.

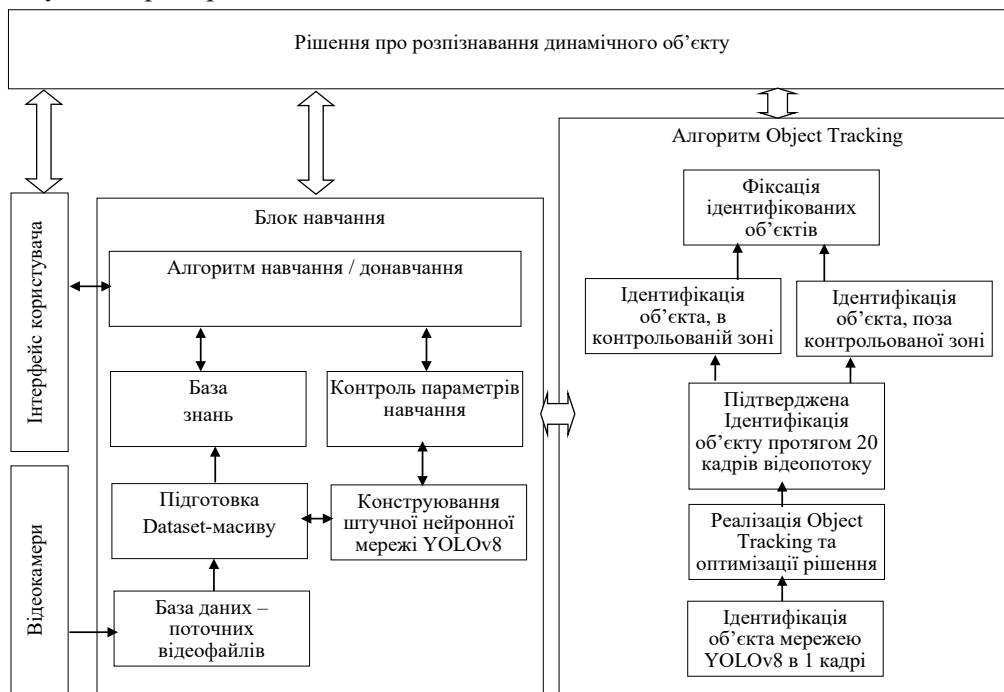


Рис. 4. Структурна схема програмної компоненти програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision

Після успішного навчання здійснюється практичне застосування нейромережі. Це відбувається в послідовності виконання задач Object Tracking: ідентифікація об'єктів навченою мережею в першому кадрі та його відстеження; за наявності об'єкта протягом 20 кадрів – на 21 кадр приймається рішення про розпізнавання об'єкта за номерним знаком. Надалі оцінюється статус об'єкта: перетин чи ні контрольованої зони. Отримане рішення фіксується як поточна інформація та надається користувачеві.

**VI. Програма реалізація** – орієнтована на клієнт-серверну архітектуру, є потужною Backend компонентою, реалізованою мовою програмування високого рівня Python з використанням наступних основних бібліотек.

NumPy [<https://numpy.org/>] – бібліотека з відкритим вихідним кодом для Python, забезпечує: підтримку багатовимірних масивів; підтримка високорівневих математичних функцій; реалізація операцій для роботи з багатовимірними масивами.

OpenCV-Python [<https://opencv.org/>]. OPENCV (Open Source Computer Vision Library) – одна з найпопулярніших бібліотек для додатків з Computer Vision та забезпечує потужний інструментарій усіх етапів і технологій обробки цифрових зображень та потокового відео.

PyTorch [<https://pytorch.org/>] – бібліотека машинного навчання з відкритим кодом для

Python забезпечує тензорні обчислення з GPU-прискоренням, подібно до NumPy. Також пропонує насичений API для вирішення прикладних завдань, пов'язаних з нейронними мережами.

**Оцінювання ефективності запропонованих рішень** реалізовано в комплексному прогоні усіх етапів застосування розробленої програмної компоненти з імітацією роботи апаратних складових – на рівні отримання вихідних даних. Реалізовано етапи розмітки даних, навчання та ідентифікації. Приклад кадру з результатами роботи розробленого програмного забезпечення подано на рис. 5.

Розмітка вхідних даних – формування вхідного Dataset – номерних знаків автомобіля здійснювалось за допомогою програмного забезпечення LabelImg (<https://github.com/heartexlabs/labelimg>) і включало 100 000 записів. Навчання нейронної мережі YOLOv8 проводилось з Dataset на 120 епохах з вхідним розміром зображення 640×640 пікселя. Тренування тривало близько 10 годин. Розрахунки та експериментальні дослідження на тестових прикладах і в процесі експлуатації системи довели, наступне. Оперативність обчислень дозволяє здійснювати реалізацію функцій програмної системи та програмно-апаратного комплексу загалом у реальному масштабі часу. Ймовірність розпізнавання номерних знаків доведена до довірчого інтервалу значень: 0,8–0,98.

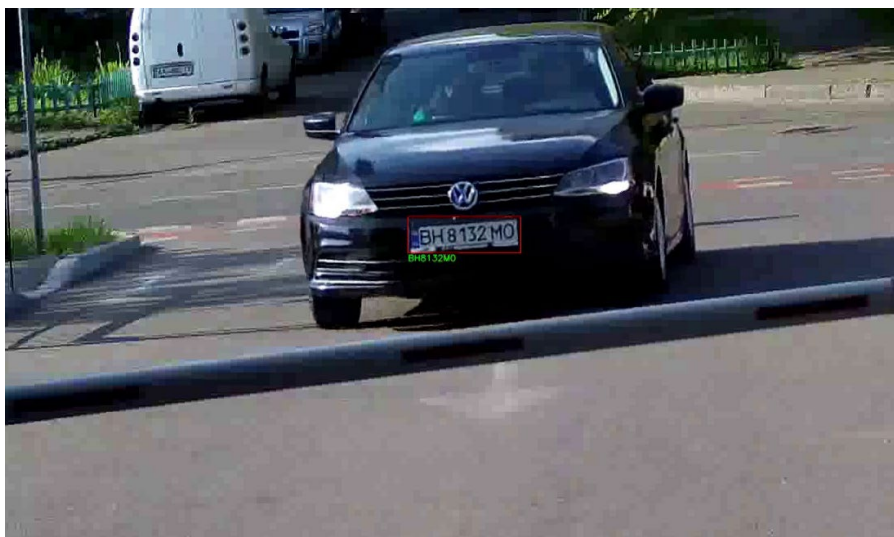


Рис. 5. Приклад кадру з ідентифікацією номерів автомобіля

## Висновки

У ході досліджень запропоновано структуру програмно-апаратного комплексу контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision. Програмна компонента комплексу доведена до практичної реалізації. Програмно-апаратний комплекс включає технічні засоби моніторингу візуальної обстановки; підсистему

обробки інформації; кібернетичного захисту; телекомунікації та забезпечення. Розроблена архітектура є базовим модулем, з впровадженням ідеології відкритої архітектури та може бути впроваджений на критичних об'єктах різного типу. Для практичної реалізації базовий модуль СМ трансформовано до структури, що забезпечує автоматичний контроль та облік за автомобіль-

ними номерами відвідувачів торгівельно-розважального центру. Програмна компонента СМ підтримується запропонованою математичною моделлю, яка побудована на реалізації процесів Object Tracking та Object Detection з використанням згорткової штучної нейронної мережі YOLOv8. Навчання мережі проведено за власним Dataset масивом. Демонстрація практичних можливостей розробленого програмно-апаратного комплексу довела його працездатність та ефективність.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Закон України Про критичну інфраструктуру (Із змінами, внесеними згідно із Законом № 2684-IX від 18.10.2022) [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>].
- [2] Бобало Ю. Я. Моніторинг об'єктів в умовах апіорної невизначеності джерел інформації: [монографія] / Ю. Я. Бобало, Ю. Г. Даник, Л. О. Комарова, О. О. Лук'янов, В. М. Максимович, В. В. Ріппенбейн, Р. Т. Смух, В. С. Стогній, Ю. Б. Сторонський, Б. М. Стрихалюк. Львів, 2015. 360 с.
- [3] Компанія «Українські системні інновації», офіційний сайт: <https://ukrsi.com.ua/products/> (дата звернення 25.07.2024)
- [4] Компанія «VIDEOSAM», офіційний сайт: <https://videocam.in.ua> (дата звернення 25.07.2024)
- [5] Компанія «ВЕНБЕСТ», офіційний сайт: <https://venbest.ua/> (дата звернення 25.07.2024)
- [6] Компанія «AJAX», офіційний сайт: <https://ajax.systems.ua/> (дата звернення 25.07.2024)
- [7] Ranjay Krishna Computer Vision: Foundations and Applications. Published by stanford university, 2017. <http://vision.stanford.edu/teaching/cs131/fall1718/files/cs131-class-notes.pdf>.
- [8] Linda G. Shapiro, George C. Stockman. Computer Vision. The University of Washington, 2020. [http://nana.lecturer.pens.ac.id/index\\_files/referensi/computer\\_vision/Computer%20Vision.pdf](http://nana.lecturer.pens.ac.id/index_files/referensi/computer_vision/Computer%20Vision.pdf).
- [9] Richard Szeliski. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010. [https://www.cs.ccu.edu.tw/~damon/tmp/SzeliskiBook\\_20100903\\_draft.pdf](https://www.cs.ccu.edu.tw/~damon/tmp/SzeliskiBook_20100903_draft.pdf).
- [10] Jiao L., Zhang F., Liu F., Yang S., Li L., Feng Z., & Qu R. A Survey of Deep Learning-based Object Detection. IEEE Access, Vol.: 7, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939201>.
- [11] Richard Szeliski. Image alignment and stitching: a tutorial. Computer Graphics and Vision. Vol. 2, No 1, 2006. 1–104. [http://szeliski.org/papers/Szeliski\\_ImageAlignmentTutorial\\_FnT06.pdf](http://szeliski.org/papers/Szeliski_ImageAlignmentTutorial_FnT06.pdf).
- [12] Jan Erik Solem Programming Computer Vision with Python [http://programmingcomputervision.com/downloads/ProgrammingComputerVision\\_CCdraft.pdf](http://programmingcomputervision.com/downloads/ProgrammingComputerVision_CCdraft.pdf).
- [13] Sebastian Raska, Vahid Mirjalili. Python and machine learning. UC: Published by Packt Publishing Ltd, 2019. 741с.
- [14] Daniel Dluznevskij, Pavel Stefanovic, Simona Ramanauskait Investigation of YOLOv5 Efficiency in iPhoneSupported Systems. Baltic J. Modern Computing, Vol. 9 (2021), No. 3, pp. 333–344 <https://doi.org/10.22364/bjmc.2021.9.3.07>
- [15] Опис згорткової нейронної мережі YOLOv8 [<https://ultralytics.com/yolov8>]. (дата звернення 25.07.2024)
- [16] Ресурси порталу спільноти із штучного інтелекту [<https://paperswithcode.com/>]. (дата звернення 25.07.2024)

**Писарчук О. О., Писарчук І. О.**

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ ДО КРИТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ COMPUTER VISION

*В статті запропоновано програмно-апаратний комплекс контролю доступу до критичних об'єктів за технологіями Computer Vision. Апаратна складова реалізована на рівні проектних рішень. Програмна складова має практичну реалізацію.*

*Технологічною основою програмної складової є методи, моделі та алгоритми Computer Vision, доведені до конкретного програмного продукту. Реалізацію програмної компоненти здійснено мовою програмування Python та відповідних бібліотек з інтеграцією інформаційних потоків від декількох камер спостереження. Програмно-апаратний комплекс контролю доступу до критичних об'єктів базується на використанні технологій розподілених комп'ютерних систем та мереж.*

*Приклад реалізації запропонованих рішень забезпечує функції контролю доступу автомобілів до паркувальних місць об'єктів критичної інфраструктури (торгівельно-розважальних центрів; спортивних / концертних майданчиків; закладів вищої освіти; житлових комплексів тощо); блокування незареєстрованих користувачів; виявлення порушників. Ідентифікація проводиться за номерними знаками та, за необхідності за іншими індикаторами.*

*Особливість запропонованої розробки полягає у наступному. Система забезпечує контроль внутрішнього та зовнішнього периметру критичного об'єкта; відстеження об'єкту побудовано на використанні згорткової нейронної мережі YOLOv8, яка забезпечує об'єктову ідентифікацію в процесі Object Tracking за визначеною кількістю кадрів; навчання мережі проведено за власним Dataset масивом. Розробка має практичне впровадження.*

**Ключові слова:** комп'ютерні системи; комп'ютерна мережа; розпізнавання образів; технології Computer Vision.



**Pysarchuk O., Pysarchuk I.**

## **SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF ACCESS CONTROL TO CRITICAL OBJECTS USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES**

*The article proposes a software and hardware complex for controlling access to critical objects using Computer Vision technologies. The hardware component is implemented at the level of project solutions. The software component has a practical implementation.*

*The technological basis of the software component is the Computer Vision methods, models and algorithms adapted to a specific software product. The software component was implemented using the Python programming language and relevant libraries with the integration of information flows from several surveillance cameras. The software and hardware complex of access control to critical objects is based on the use of technologies of distributed computer systems and networks.*

*An example of the implementation of the proposed solutions provides the functions of controlling the access of cars to parking spaces of critical infrastructure objects (shopping and entertainment centers; sports / concert venues; institutions of higher education; residential complexes, etc.); blocking of unregistered users; detection of violators. Identification is carried out by license plates and, if necessary, by other indicators.*

*The feature of the proposed development is as follows. The system provides control of the internal and external perimeter of the critical object; object tracking is built on the use of YOLOv8 convolutional neural network, which provides object identification in the Object Tracking process based on a certain number of frames; the training of the network was carried out according to its own Data set array. The development has a practical implementation.*

**Keywords:** computer systems; computer network; pattern recognition; Computer Vision technologies.

Стаття надійшла до редакції 09.08.2024 р.

Прийнято до друку 11.09.2024 р.