

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору

Назва теми

КвРАКІТ. 2022121.01.06.ПЗ

Рівень вищої освіти перший

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент III курсу, група АКІТс-22-1


Підпис

Дмитро КОТОВИЧ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 17 » червня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК

04. Лютого 2025

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Котовичу Дмитру Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору

Керівник роботи Макаришкін Денис Анатолійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025р. № 23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.

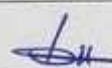



3 Вихідні дані до роботи метою виконання обраного проекту є розробка та інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Аналіз відомих засобів та рішень. Розробка системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування. Реалізація системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
Вступ	15.03.2025	виконано
Аналіз відомих засобів та рішень	24.03.2025	виконано
Розробка системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування	15.04.2025	виконано
Реалізація системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування	18.05.2025	виконано
Висновки	22.05.2025	виконано
Оформлення пояснювальної записки КРБ	01.06.2025	виконано
Оформлення презентаційних слайдів	10.06.2025	виконано

ЗАВАНТАЖЕННЯ НА КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Студент


Підпис

Котович Д.М.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис


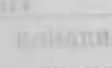






Макаришкін Д.А.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

1. Перевірити виконання роботи за графіком (за наявності об'єктивних причин, що унеможливають виконання роботи за графіком, студент повинен надати пояснювальну записку керівнику кваліфікаційної роботи).

2. Перевірити виконання роботи за графіком (за наявності об'єктивних причин, що унеможливають виконання роботи за графіком, студент повинен надати пояснювальну записку керівнику кваліфікаційної роботи).

3. Перевірити виконання роботи за графіком (за наявності об'єктивних причин, що унеможливають виконання роботи за графіком, студент повинен надати пояснювальну записку керівнику кваліфікаційної роботи).

4. Перевірити виконання роботи за графіком (за наявності об'єктивних причин, що унеможливають виконання роботи за графіком, студент повинен надати пояснювальну записку керівнику кваліфікаційної роботи).

Підпис	Підпис	Підпис	Підпис
			
			

1. Підписати записку про виконання роботи за графіком.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору».

Автор роботи: Котович Д.М.


Керівник роботи: Макаришкін Д.А.

Пояснювальна записка: 56 с., 33 рис., 4 табл., 0 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА, НАДІЙНІСТЬ, МАШИННИЙ ЗІР, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, СОРТУВАННЯ ВІДПРАВЛЕНЬ.

Мета роботи: є розробка та інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування. Було досліджено можливості та потенціал впровадження систем комп'ютерного зору у систему сортування поштових відправлень для визначенню типу поштового відправлення, його пошкоджень при наявності та ведення документації сканованих поштових відправлень для покращення якості роботи сортувальних систем а також для спрощення пошуку локації на якій було пошкоджено відправлення. Створено ефективну модель машинного зору і сформовано програмно-апаратне рішення для автоматизованої обробки поштових відправлень.


Підпис студента

10.06.25
Дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	4
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ЗАСОБІВ ТА РІШЕНЬ	7
1.1 Стан інтеграції машинного зору в автоматизованих системах контролю сортувальної лінії поштових відправлень	7
1.2 Аналіз наявного програмно-технічного забезпечення	9
1.3 Визначення вимог до системи автоматизації та розробка технічного завдання.....	16
1.4 Висновки до першого розділу	18
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІНТЕГРУВАННЯ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ ТА КОНТРОЛЮ СИСТЕМОЮ СОРТУВАННЯ.....	20
2.1 Розробка структурної схеми системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування...	20
2.2 Аналіз та вибір апаратних засобів системи.....	25
2.3 Розробка електричної принципової схеми системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування	34
2.4 Висновки до другого розділу	40
3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ІНТЕГРУВАННЯ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ ТА КОНТРОЛЮ СИСТЕМОЮ СОРТУВАННЯ.....	42
3.1 Розробка алгоритму роботи системи	42
3.2 Налаштування та навчання штучної нейронної моделі для розпізнавання стану відправлень	45

КвРАКІТ. 2022121.01.06 ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору. Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Котович Д.М.		14.06.25				2
Перевр.		Макаришкін Д.А.		17.05.25				
Н. Контр.		Корецька Л.О.		17.06.25				
Затв.		Мартинюк В.В.		18.06.25				
						ХНУ, гр. АКІТс-22-1		

3.3 Налаштування параметрів програмованого логічного контролеру.....	51
3.4 Висновки до третього розділу.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	62

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

МЗ - Машинний зір

РПВ - Розпізнавання поштових відправлень

КСС - Контроль системою сортування

ПЛК - Програмований логічний контролер

ПК - Промисловий комп'ютер

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			4

спостереження, аби не вмикати сигналізацію через звичайного вуличного kota тим самим даючи людині можливість відпочити або система реагування на лісні пожежі, яка реагує на перепад температури на показниках термокамер та на візуальні ознаки пожежі. Використання МЗ для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування дозволить реагувати на пошкодженні відправлення або на відправлення які не відповідають заданим параметрам тим самим використовуючи систему сортування для вилучення їх із загального обсягу об'єктів для сортування [3].

Метою виконання обраного проекту є розробка та інтегрування МЗ для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування.

Для виконання поставленої мети потрібно виконати наступні завдання:

- виконати аналіз стану інтеграції машинного зору в автоматизованих системах контролю сортувальної лінії поштових відправлень;
- виконати аналіз наявного програмно-технічного забезпечення для реалізації проекту;
- розробити структурну схему автоматизованої системи контролю сортування на основі машинного зору;
- провести аналіз компонентів для реалізації розроблюваної системи автоматизації;
- розробити алгоритм роботи автоматизованої система контролю сортування на основі машинного зору;
- підготувати навчальний масив даних для навчання нейронної мережі для виконання розпізнавання поштових відправлень;
- виконати навчання та перевірку точності обробки зображення нейронною мережею;
- розробити програму роботи автоматизованої системи контролю сортування на основі машинного зору.

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			6

Основною метою поштової логістики є швидке та точне доставлення відправлень, що стає дедалі складнішим через збільшення обсягів відправлень завдяки онлайн магазинам таким як Aliexpress, Rozetka чи звичайним локальним магазинам які відправляють виготовлені вручну елементи чи готові кулінарні товари(горіхи, домашні цукерки, випічка, сушені продукти), що в свою чергу створює додаткове навантаження на базову модель ланцюга поставок (рисунок.1.1), оскільки любий користувач може замінити один з елементів ланцюга. З точки зору виробника, ланцюг поставок - це система, що складається з кількох рівнів постачальників, які забезпечують сировину для виготовлення товару, починаючи з найперших джерел.

Далі йде кілька рівнів покупців, які передають готову продукцію до кінцевого споживача, стандартна система передбачає використання оптових покупців які далі виконують роздрібну торгівлю, але інтернет дозволяє уникнути цей крок обходячи фізичні магазини та логістичні об'єми магазину передаючи навантаження на пошту. Кожен учасник цього ланцюга має свою передбачену роль і завдання, які визначаються правилами логістики, але любий користувач може втрутитися в ланцюх перебираючи на себе частину відповідальності та створюючи додаткове навантаження на об'єми перевезення поштовими фірмами [4].

Зазвичай в типовій структурі логістичного центру інтегрування систем схожих на системи МЗ використовується в основних підсистемах.

Приймання та реєстрація відправлень. На даному моменті більшість компаній інтегрували використання камер спостереження чи звичайних відеокамер для контролю отриманого вантажу, чи сортування за категоріями. Для прикладу, більшість магазинів техніки ведуть відеозапис при отриманні товарів для ведення документації та убезпечення перевізників у випадку помилок [5].

					КьРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	8
		№ докум.	Підпис			

Автоматизоване транспортування та сортування по конвеєрних стрічках використовує камери або сканери штрих кодів для зчитування маркувань таких як штрих-коди, QR-коди, друковані адреси чи помітки на упаковках. Підсистеми взаємодіють між собою у межах єдиного комплексу, що керується системою керування сортуванням(комп'ютером або промисловим комп'ютером).

Одним з ключових етапів для систем сортування є ідентифікація поштових відправлень. У багатьох випадках це здійснюється за допомогою штрих-кодів, після чого функціонал системи розпізнавання посилок закінчується, хоча системи повинні також вміти обробляти зображення посилок, щоб забезпечити реакцію системи у випадку пошкодження або відсутності стандартних кодів. На даний момент стандартна система розпізнавання штрих кодів відреагує на пошкоджену коробку як на звичайну, що створить додаткові проблеми для користувача та поштового відділення в яке надійде річ, яка викличе проблеми при видачі. Таким чином інтеграція МЗ для розпізнавання поштових відправлень дозволить сортувальному центру відмітити пошкоджене відправлення та точно визначити момент пошкодження, з можливістю інтеграції надсилання отримувачу повідомлення з фотографією пошкоджень та пропозицією одразу відмовитися від посилки, економлячи час та ресурси сортувального центру [6,7].

1.2 Аналіз наявного програмно-технічного забезпечення

У сучасних центрах сортування поштових відправлень зазвичай використовуються комплексні автоматизовані системи з використанням ПЛК, які поєднують системи сортування та системи керування. Залежно від масштабу підприємства, ці рішення можуть бути повністю індивідуальними або інтегрувати різні модулі від Siemens Logistics, Vanderlande, Zebra Technologies.

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	9
		№ докум.	Підпис			

- системи розподілення потоку;
- серверні системи;
- сканери штрих-кодів;
- камери;
- PLC-контролери для керування системою;
- промислові комп'ютери та мережеві вузли;
- сенсорні панелі для операторів.

Ці елементи формують єдину інформаційно-керуючу систему, яка працює в реальному часі, забезпечуючи безперервне переміщення, відстеження та ідентифікацію відправлень.

Попри високий рівень автоматизації, класичні системи мають низку обмежень:

- системи часто не справляються з нештатними умовами та не мають засобів для реакції на ці помилки;
- відсутність адаптивності;
- висока вартість оновлення програмного забезпечення або обладнання;
- відсутність самонавчання у більшості модулів розпізнавання;

У зв'язку з цими обмеженнями зростає інтерес до систем, які використовують технології штучного інтелекту. Моделі глибокого навчання для зчитування тексту та класифікації об'єктів. Нейронні мережі для виявлення відправлень на відео в реальному часі.

Інтеграція комп'ютерного зору з ПЛК для гнучкого керування процесами дозволяє підвищити надійність, точність та адаптивність систем до нових умов експлуатації з можливістю використання додаткових умов для реакції на пошкодженні розпізнавальні мітки.

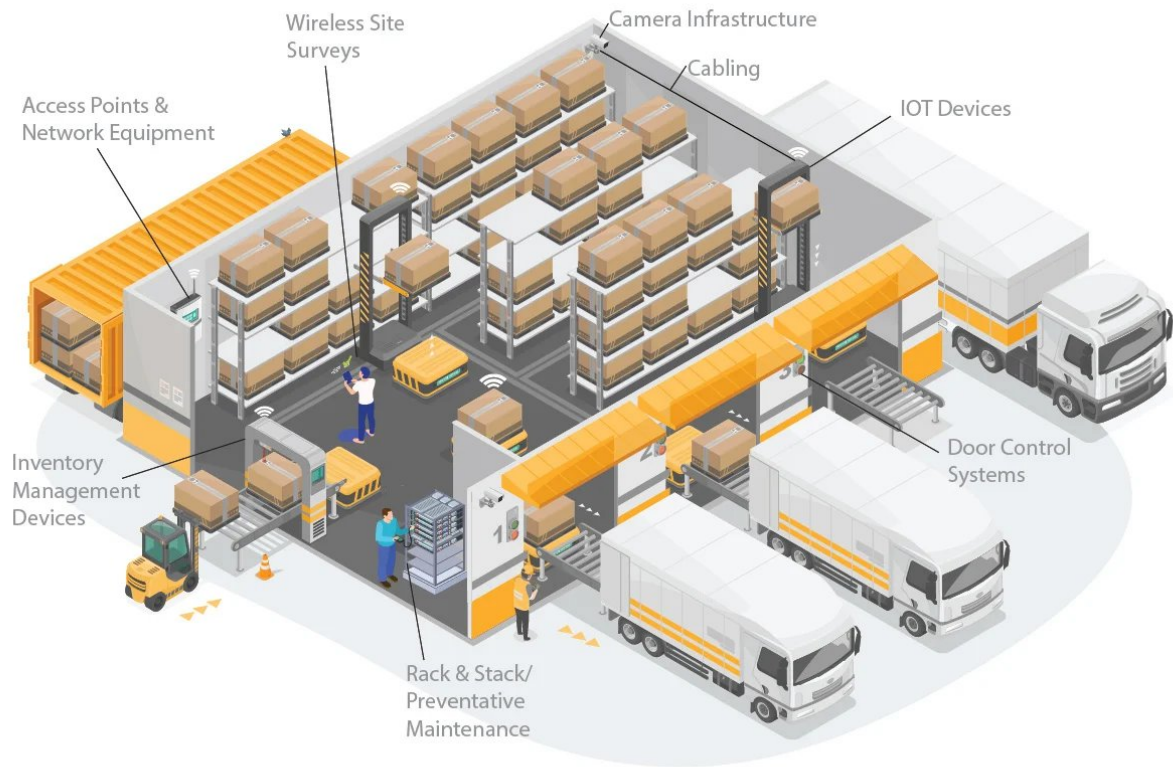


Рисунок 1.4 - Схема технічної інфраструктури сортувального центру

При використанні відеокамери для розпізнавання поштових відправлень найкращою з доступних моделей є Yolo, припускаючи використання промислового комп'ютеру чи потужного комп'ютеру для обробки відео. Серед моделей сім'ї Yolo для нас найкращим варіантом буде одна з останніх версій, Yolo11 - це остання версія в серії готових розпізнавачів об'єктів у реальному часі Yolo, яка показує неймовірні показники точності головного зображення, точності дрібних деталей, швидкості та ефективності.

Yolo11 використовує останні відкриті розробки в покращенні архітектури та методах навчання, що робить його універсальним вибором для широкого спектру завдань при реалізації комп'ютерного зору, через що більшість систем комп'ютерного зору використовують саме цю мережу з можливістю використання старіших версій через їх стабільність, приклад інтерфейсу зображено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Приклад інтерфейсу Yolo

Процес навчання YOLO на власному наборі даних, що є максимально бажаним для нас у випадку реакції на пошкоджені об'єкти які будуть класифіковані як коробки певного типу можна умовно поділити на кілька етапів: підготовка даних, розмітка об'єктів, конфігурування структури, запуск навчання та тестування моделі.

Підготовка вхідного набору зображень є стандартним та початковим елементом навчання будь-якої нейронної мережі, оскільки навчання нейронної мережі потребує великої кількості даних. Зображення повинні охоплювати всі варіанти об'єктів, які необхідно розпізнавати (пошкодженні посилки, різні типи посилки, нестандартні маркування). Передбачаючи фіксовану камеру та однотонний фон конвеєрної стрічки можна проігнорувати різноманітні фонові умови, кути огляду, рівні освітлення при створенні групи даних для навчання та при перевірці точності результатів.

Усі зображення розподіляються на три масиви: навчальний, валідаційний, тестовий. Стандартна пропорція - 80:10:10, це робиться для того аби модель

перегріву процесора, або відеокарти в залежності від того що використовується для обчислень якщо документація автоматично ведеться за допомогою ПЛК та призвести до пошкодження автоматизованої лінії.

Після чого формується конфігураційний файл та виконуються навчання обраного файлу у обраному виді моделі.

Навчену модель можна інтегрувати до любого процесу та середовища, у розглянутому випадку це інтеграція до виробничого середовища, на рівні ПЛК або промислового комп'ютера(що є більш бажаним через його характеристики), який керує сортувальною стрічкою. За допомогою камери та обчислювального модуля з GPU, модель може аналізувати вхідний відеопотік та передавати сигнали керування у разі виявлення пошкоджених або некоректно маркованих відправлень [11,12,13].

Завдяки адаптивності при навчанні, система стає здатною до роботи з нестандартними об'єктами та реагує на ситуації, які є типовими для стандартних сканерів штрих кодів.

1.3 Визначення вимог до системи автоматизації та розробка технічного завдання

На основі проведеного аналізу предметної області та наявного програмно-технічного забезпечення сформульовано ключові вимоги до майбутньої системи автоматизації, що інтегрує МЗ для розпізнавання поштових відправлень та управління процесом сортування.

Функціональні вимоги:

- розпізнавання поштових відправлень у реальному часі за допомогою відеозв'язку або зображень;
- читання та декодування штрих-кодів, QR-кодів;
- класифікація типу відправлення в залежності від розміру;

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			16

- інтеграція з системою управління сортуванням та конвеєрною лінією через стандартні протоколи;
- реєстрація даних про кожне розпізнане відправлення до бази даних з прив'язкою до часу та місця;
- автоматичне прийняття рішень щодо маршруту доставки відправлення згідно з правилами;
- розпізнавання цілісності відправлення, та реакція на пошкодження відправлення (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Приклад пошкодженого відправлення

Забезпечення високої точності (стандартне для подібних систем, більше 95%) при ідентифікації маркувань, та аналізі цілісності посилок є важливою складовою для уникнення статистичних помилок яку можна досягти за рахунок самонавчання системи для покращення точності розпізнавання, що можна реалізувати за допомогою більш потужного обладнання та річної звітності кожен день у випадку помилок, аби відзначити пропущені випадки та помилки.

Нефункціональні вимоги:

- надійність роботи у промислових умовах;
- швидкодія, допустимий час обробки одного кадру повинен складати не більше 200 мс;
- масштабованість;

- можливість модифікації шляхом додавання нових камер, модулів без необхідності змінювати архітектуру;

- простота в обслуговуванні та оновленні;

- сумісність з існуючими логістичними платформами;

Під час роботи

Склад системи:

- камера спостереження або сканер штрих кодів;

- промисловий комп'ютер або контролер з потужним GPU для обробки зображень та запуску нейромереж;

- програмне забезпечення з модулями комп'ютерного зору;

- інтерфейс обміну з системою сортування;

- база даних для збереження результатів.

1.4 Висновки до першого розділу

Пристрої для аналізу зображення та розпізнавання об'єктів на відеозаписі стали важливою частиною промисловості та поштової системи, забезпечуючи ефективність, автоматизацію та пришвидшення роботи процесів. Аналізуючи стан автоматизації великих підприємств можна припустити що інтегрування МЗ для виконання різноманітних процесів спостереження для покращення процесів автоматизації стає більш популярним та з'являється в багатьох підприємствах для виконання різноманітних задач.

Модернізація таких систем шляхом впровадження технологій комп'ютерного зору, зокрема використання моделей на кшталт YOLOv11 або будь-якої старшої версії до YOLOv4, дозволяє не лише розпізнавати типові об'єкти (коробки, пакунки, маркування), але й реагувати на пошкодження, додаткові маркування, відсутність етикетки, а також класифікувати типи посилок.

Навчання моделі на спеціалізованому наборі даних, що включає зображення пошкоджених або нестандартних об'єктів, дозволяє системі адаптуватися до реальних умов експлуатації. В результаті, навіть за наявності великої кількості варіацій відправлень, система здатна підтримувати високу точність ідентифікації, перевищуючи 95%.

Важливим фактором є й те, що сучасні моделі можуть працювати в реальному часі, обробляючи відеопотік із затримкою менше 200 мс, що відповідає вимогам сортувальних ліній. Це дозволяє без затримок приймати рішення про сортування якісних та пошкоджених об'єктів. Крім того, система може фіксувати зображення об'єктів, автоматично створювати звіти та надсилати повідомлення одержувачам із фото пошкодження.

З технічної точки зору, впровадження МЗ вимагає наявності відеокамер, потужних промислових комп'ютерів або GPU-модулів, а також програмного забезпечення, що підтримує моделі глибокого навчання. Водночас, масштабованість системи дозволяє розширювати її без суттєвих змін у архітектурі, а це означає, що подібні рішення є придатними як для великих логістичних хабів, так і для локальних сортувальних відділень.

Отже, реалізація системи автоматизованого сортування з комп'ютерним зором є перспективним напрямом розвитку логістичних технологій. Вона дозволяє зменшити кількість помилок, підвищити рівень автоматизації, забезпечити прозорість усіх етапів обробки відправлень, а також скоротити витрати часу та ресурсів як для компаній, так і для кінцевих споживачів.

Використання простішого SIMATIC S7-1200 у парі з комп'ютером або одноплатним комп'ютером у випадку якщо система сортування проста та не має багато елементів, а YOLO працює на окремому комп'ютері:

- можна підключити не промисловий комп'ютер до S7-1200 через PROFINET/Modbus;
- S7-1200 керує сортувальними механізмами, а комп'ютер обробляє зображення;
- нища ціна у порівнянні з іншими варіантами;
- raspberry pi не є захищеним для промислових середовищ, через що доведеться шукати можливість створення і використання додаткового захисного корпусу;

Головною перевагою контролерів Siemens є присутність алгоритму машинного навчання в додатку TIA Portal, але його функціонал обмежений та багато в чому відстає від нових моделей які оновлюються та випускаються кілька разів на місяць. Через що готові методи створення нейронних мереж у додатку TIA Portal є зручним способом виконання навчання моделей для розпізнавання тексту на зображенні отриманому з камери, але при використанні для розпізнавання більш складних образів можуть з'явитися проблеми та помилки [17,18,19].

Отже структурна схема розглянутої системи буде виглядати наступним чином (рисунок 2.1), промисловий комп'ютер буде відповідати за обчислення, алгоритм керування та виконання аналізу за допомогою навченої моделі, до нього під'єднано контролер який буде виконувати функції контролю сервоприводами або іншими системами сортування за допомогою драйверів. Під'єднати камеру можна напряму до логічного контролеру що і буде виконано у схемі, але також можливий варіант приєднання камери напряму до промислового комп'ютеру, що зменшить навантаження на контролер.

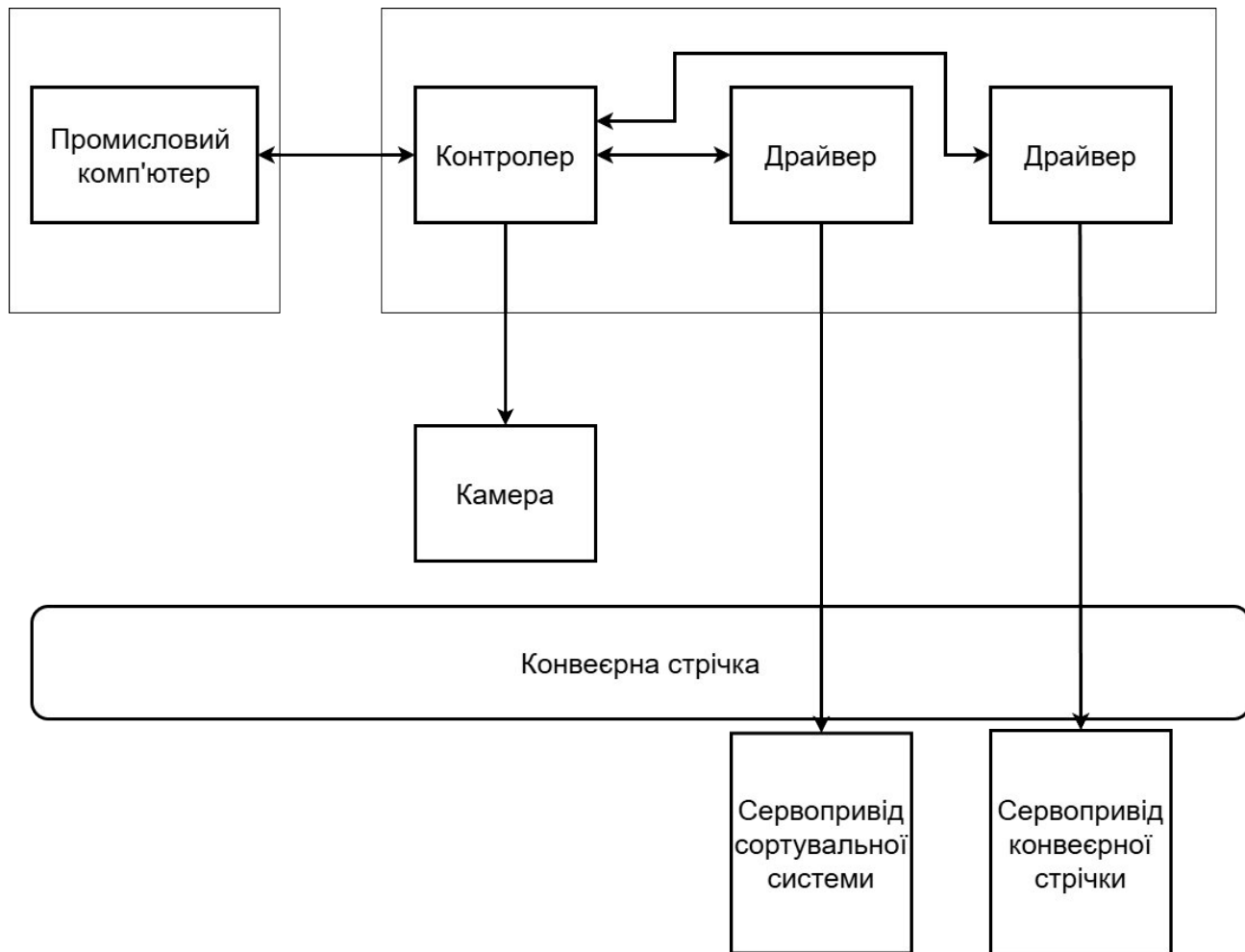


Рисунок 2.2 - Структурна схема розроблюваної системи з контролем конвеєрної стрічки

Схематично систему МЗ для РПВ та КСС можна зобразити як конвеєрну стрічку яка має над собою камеру з'єднану з ПК та два сервоприводи відповідальні за виконання руху стрічки та сортування (рисунок 2.3).

Об'єкти які пройдуть аналіз будуть поділені на три категорії, при необхідності можна скоротити до двох категорій одна з яких буде враховувати дві підкатегорії:

- посилки які пройшли перевірку;
- посилки які не пройшли перевірку, посилки з пошкодженим або недійсним штрих кодом;

Інтеграція з PLC відбувається безпосередньо в TIA Portal, що дозволяє уникнути додаткових налаштувань та необхідності у встановленні драйверів для цього пристрою.



Рисунок 2.5 - SIMATIC IPC227E/477E



Рисунок 2.6 - SIMATIC MV500

		№ докум.	Підпис	

SIMATIC MV500 забезпечує широкий спектр заготовлений компанією Siemens можливостей для ідентифікації:

- зчитування численних штрих кодів типу 1D або 2D;
- перевірка якості маркування штрих кодів (відповідно до стандартів прописаних виробником та з можливістю внесення власних умов);
- оцінка «OK» та «N_OK» на основі прописаних критеріїв аналізу штрих кодів;
- вбудований в TIA Portal спрощений штучний інтелект для розпізнавання зображень в режимі реального часу, з можливістю простого навчання;
- розпізнавання положення і орієнтації елемента завдяки простому інтерфейсу навчання заготовленої нейронної мережі.

Рух конвеєрної стрічки буде забезпечено за рахунок сервопривода та SINAMICS V90, оскільки подібна система проста в керуванні та може бути легко імплементований в групу з іншими SINAMICS V90 за допомогою TIA Portal.

SINAMICS V90 (рисунок 2.7) - це сервопривід від компанії Siemens, створений для виконання простих і середньо складних завдань автоматизації підприємства/системи, найчастіше застосовують для керування конвеєрами (у розглянутому випадку конвеєрною стрічкою якою виконується переміщення об'єктів), ротаційним механізмом, пакувальними машинами та іншими системами, де потрібна швидкість роботи та точність повороту оскільки система може виконувати відстеження посилки розуміючи за скільки часу вона дійде до точки сортування від точки сканування, параметри цього приладу розміщені в таблиці 2.2. Як видно з (рисунок 2.7) SINAMICS V90 складається з перетворювача SINAMICS V90 який виступає у ролі драйверу та серводвигуна SIMOTICS S-1FL6 [25,26,27].

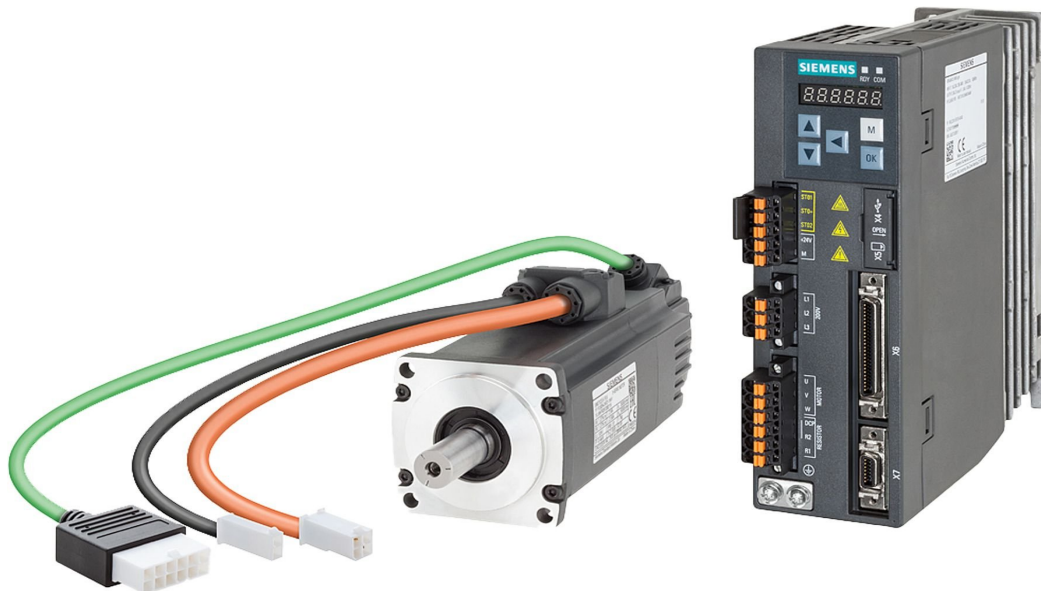


Рисунок 2.7 - Сервоперетворювач SINAMICS V90

Таблиця 2.2 - Параметри SINAMICS V90

Параметр	Значення / Можливості
Діапазон потужностей	0,05 кВт - 7 кВт (200 В - 400 В)
Інтерфейси	PROFINET, Pulse/Direction (для позиціонування), аналоговий вхід (0-10 В)
Похибка	0,05%
Максимальна швидкість	3000 об/хв
Режими роботи	Швидкісний, моментний, позиційний, Jog
Інтеграція	TIA Portal, STEP 7, GSD-файл для PROFINET

Головними перевагами SINAMICS V90 є:

- простота інтеграції з Siemens S7-1500;

- підключення через PROFINET без додаткових модулів та драйверів;
- підтримка швидкий обміну даними;
- може конфігуруватися в TIA Portal;
- має заготовлені функції для керування рухом.

Для реалізації системи сортування з використанням SIMATIC S7-1500 існує два оптимальні варіанти механізму, сортувальні колеса (поворотні модулі), або пневматичний поршень (штовхач).

Обидва варіанти знайшли застосування в автоматизації сортувальних центрів поштових відправлень [28,29,30].

При використанні сортувальних коліс які зображені на рисунку 2.8 серводвигун повертає групу коліс, які направляють об'єкт у потрібний відсік. Компонентами подібного методу є сервопривід V90/S210 та механічне колесо діаметром 200-300 мм. До переваг подібного методу можна віднести плавний рух, низький рівень шуму, зносостійкість при роботі з легкими об'єктами.

Недоліки - вимагає точного позиціонування куту повороту та обмежений вагою яку здатні перенаправити коліщатка, у більшості випадків до 5кг, що створює поділ об'єктів за їх вагою.

При використанні поршневої системи поршень з пневмоциліндра зіштовхує об'єкт у бічний відсік вдаряючи його або штовхаючи. Компонентами подібної системи є пневмоциліндра Festo або SMC, та клапан з'єднаний з модулем PLC. перевагою є його простота і висока швидкість (менше половини секунди на повний цикл висування засування), здатне працювати з важкими об'єктами.

Головними недоліками є необхідність використання компресора, більше механічного зносу та більший шанс пошкодити мале відправлення якщо не зменшувати швидкість роботи поршневої системи і як результат всієї стрічки по якій рухаються об'єкти.



Рисунок 2.8 - Використання сортувальних коліс

Як результат порівняння параметрів та призначень було обрано використання сортувальних коліс для контролю системою сортування. Головною перевагою у розглянутому випадку є можливість використовувати уже використовувану у нашій моделі SINAMICS V90, що спростить підключення, оскільки не потрібно розробляти та прописувати підключення та інші фактори.

Система приводу складається з сервоперетворювача SINAMICS V90 і серводвигуна SIMOTICS S-1FL6, в багатьох випадках документація V90 передбачає використання сервоприводу у комплекті, як результат в роботі будемо звертатися до системи яка має в собі сервоперетворювач та сервопривід як до SINAMICS V90 або просто сервопривід.

Система має вісім типів та розмірів рами перетворювача і сім висот валу двигуна для покриття діапазону потужностей від 0,05 до 7,0 кВт для виконання роботи в однофазних чи трифазних мережах.

Для живлення системи буде використовуватися блок живлення SITOP PSU100S (рисунок 2.9). Головною причиною вибору стали надійність, захист від перевантажень, КЗ і перепадів напруги, сумісність з SIMATIC S7-1500 та

2.3 Розробка електричної принципової схеми системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування

Важливим кроком в розробці системи МЗ для РПВ та КСС є розробка схеми підключень компонентів. В першу чергу слід під'єднати живлення до блоку живлення SITOP PSU100S. Усі компоненти компанії Siemens мають стандартні лінійні кріплення, PSU100S має три точки входу L N PE з можливістю кількох точок L, де для однофазного підключення L (фаза), N (нуль), для трифазного підключення L1, L2, L3. Виходи +24В, 0В, земля та додаткові сигнальні виходи DC OK і Alarm (рисунок 2.10).

Підключення вхідного живлення до SITOP PSU100S вимагає наступних кроків:

- підключення фазового проводу (L) до клеми L+ на SITOP PSU100S, якщо використовується автоматичний вимикач, його слід встановити між джерелом живлення та блоком;
- підключення нульового проводу (N) до клеми N на SITOP PSU100S;
- провід заземлення підключається до клеми PE на SITOP PSU100S та до загальної землі шасі.

Підключення виходу SITOP PSU100S до SIMATIC S7-1500, після подачі живлення на SITOP необхідно підключити його вихід до ПЛК:

- підключення +24В (OUT+), вихідний провід +24В від SITOP PSU100S підключається до клеми L+ на модулі живлення S7-1500, або безпосередньо до розподільної шини +24;
- підключення 0V (OUT-), провід 0V (маса) підключається до клеми M на S7-1500, або до загальної шини GND;
- додатковий захист для захисту від перевантажень можна встановити запобіжник між SITOP PSU100S і S7-1500.

					КьРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	34
		№ докум.	Підпис			

1 (або іншого вільного Ethernet порту зображеного на рисунку 2.11) на програмованому логічному контролері S7-1500.

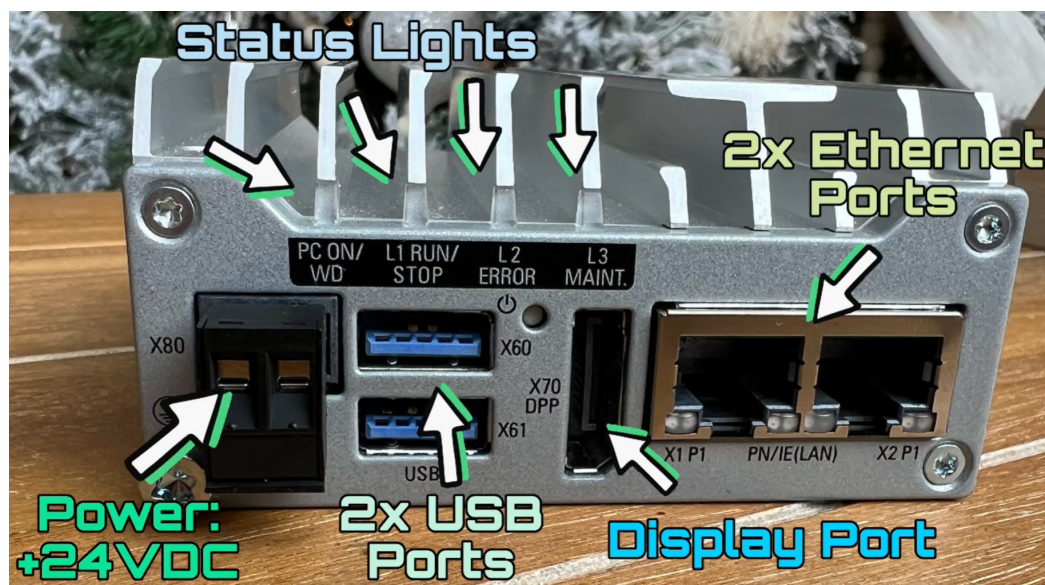


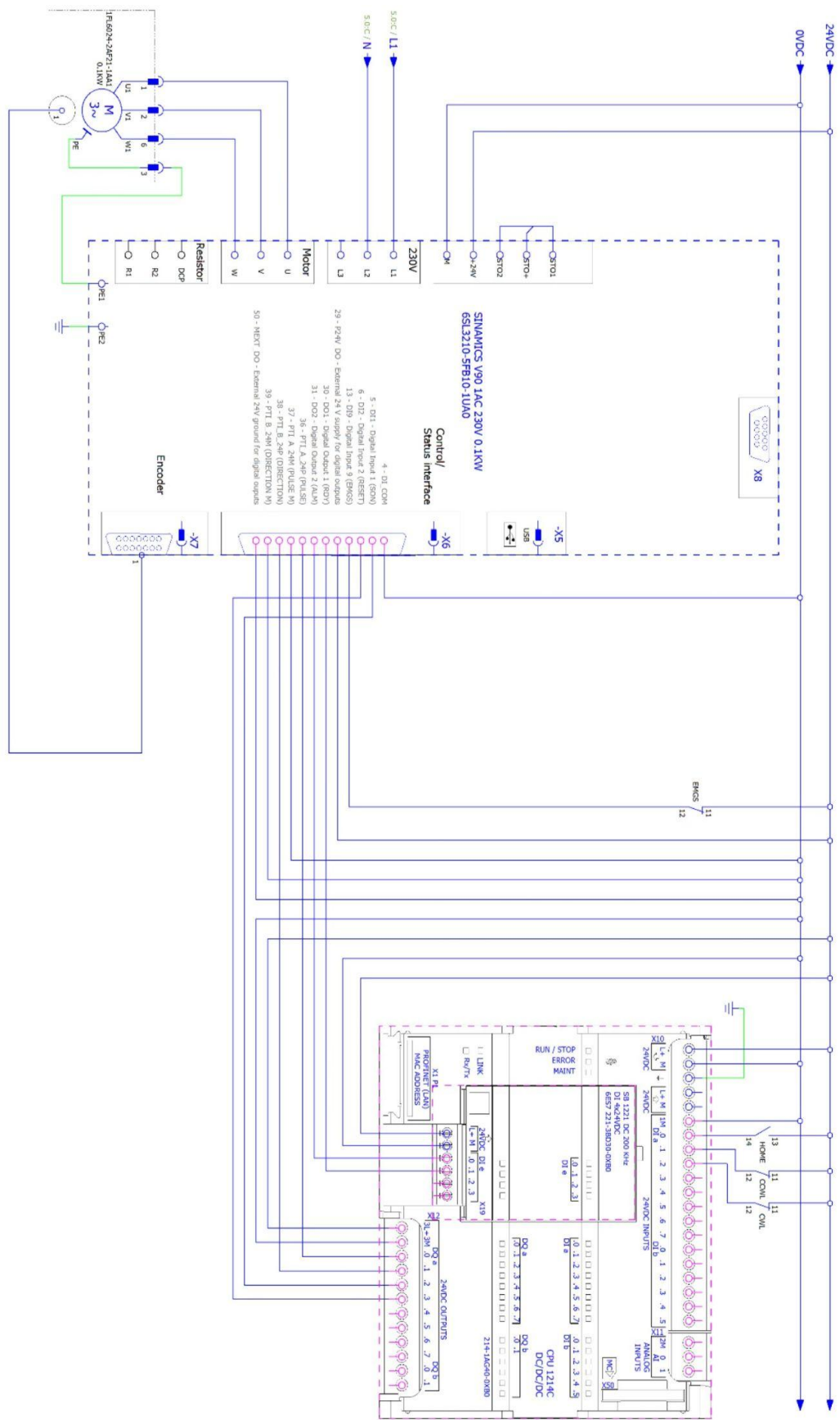
Рисунок 2.11 - Виходи промислового комп'ютеру



Рисуну .2.12 - Роз'єми Simatic MV500

У випадку якщо використовується PROFINET, слід переконатися що кабель підтримує передачу даних в реальному часі такі як Real-Time, або

Рисунок 2.13 - Електрична схема застосування V90 з контролером



Додатковою перевагою V90 є також готові роз'ємні підключення сервоприводу та драфверу що робить передачу даних безпечною та надійною, та як додатковий плюс для нас – простою.

Якщо з'явилася необхідність або бажання підключити estop для безпечного вимкнення обертального моменту (STO), а не для зупинки OFF3, швидкого вимкнення як зображено на схемі, потрібно підключити +24В до входу EMGS SINAMICS V90 і підключити estop безпосередньо до інтерфейсу STO SINAMICS V90.

2.4 Висновки до другого розділу

У результаті аналізу проведеного у цьому розділі для реалізації апаратних рішень інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування на основі YOLO, було визначено оптимальні комбінації обладнання.

Найбільш ефективним рішенням є використання промислового комп'ютеру SIMATIC IPC227E/477E у парі з заданим або доступним програмованим логічним контролером, у розглянутому випадку Siemens S7-1500, що дозволяє забезпечити високу надійність, сумісність з індустріальними стандартами, гнучкість керування та потужність для обробки зображень.

Камера SIMATIC MV500 гарантує стабільне зчитування та передачу відео, а сервопривід SINAMICS V90 забезпечує точний і швидкий рух стрічки та сортувального механізму, симулюючи необхідні технічні параметри для сортувальної системи.

Розроблена структурна схема передбачає гнучкість у розширенні системи, можливість підключення додаткових виконавчих механізмів та адаптацію до різних умов експлуатації.

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			40

Завдяки розділенню функціональних блоків між контролером та ПК можливе досягнення високої ефективності обробки даних та точність управління сортувальними модулями. Передбачено також можливість реалізації додаткових сценаріїв, зокрема інтеграцію системи контролю руху конвеєрної стрічки, що дозволяє точно синхронізувати час обробки та сортування.

Запропонована система дозволяє ефективно виконувати класифікацію поштових відправлень за допомогою навченої на існуючій бібліотеці зображень нейромережі та керувати їх маршрутами у реальному часі, враховуючи задані сценарії обробки та взаємодії з різними типами об'єктів.

Завдяки модульності та прив'язці основного функціоналу на промисловий комп'ютери, система може бути адаптована як для великих сортувальних центрів, так і для малих сортувальних ліній, з правками в логіку керування об'єктами які викликали спрацювання алгоритму.

У підсумку можна зазначити, що запропонована система здатна забезпечити стабільну роботу в умовах промислового середовища, здатна адаптуватися до складності задачі та відповідає сучасним вимогам до швидкості, точності та надійності сортування поштових відправлень.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ІНТЕГРУВАННЯ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ ТА КОНТРОЛЮ СИСТЕМОЮ СОРТУВАННЯ

3.1 Розробка алгоритму роботи системи

Алгоритм роботи складається з двох режимів, робота з використанням сортувального механізму та алгоритму розпізнавання і режим роботи без системи сортування коли виконується лише рух конвеєрної стрічки як приклад зображений на рисунку 3.1.

При запуску програми відбувається підвантаження та ініціалізація змінних, після чого йде головна перевірка параметру AI_Check який відповідає за стан використання нейронної моделі для розпізнавання поштових відправлень. Якщо змінна виставлена на 1, отже надалі вмикається модель та відбувається аналіз отриманого відеопотоку, у випадку встановлення на 0, система перевіряє чи увімкнений конвеєр та продовжує роботу без аналізу відео. Режим роботи без аналізу відеозображення потрібен для ситуації коли відділення знає про пошкодження або невідповідність штрих кодів заданим стандартам і їх потрібно пропустити без аналізу та сортування. Також це може бути корисним у випадках якщо з'являється нестандартні коробки які не розпізнає система сортування або які розпізнаються як пошкоджені, так для прикладу якщо нейронна модель не була навчена для розпізнавання коробок нестандартної форми (циліндричних або замотаних об'єктів) або різнокольорових коробок нейронна мережа зможе виконувати контроль алгоритмом у ситуації коли при обробці очікується на велику кількість подібних об'єктів.

Якщо AI_Check встановлено на 1, алгоритм вмикає промисловий комп'ютер та налагоджуємо обмін даними, після чого вмикаємо контролер та

комп'ютером. Під час цього циклу конвеєр перебуває в активному стані та алгоритм перевіряє результати аналізу відправлень нейронної мережею, якщо коробка ціла та штрих код відповідає заданим параметрам - коробка рухається без втручання та потрапляє в зону перевірених відправлень, якщо штрих код невірний - запис про порушення вноситься в базу даних та коробка перенаправляється до зони недійсних штрих кодів чи маркувань, якщо коробка пошкоджена то її перенаправляє в зону пошкоджених пакувань.

Якщо на початку роботи AI_Check виявлено як 0 відбувається перевірка змінної Conv_state якщо конвеєр повинен працювати без РПВ виконується перевірка змінної State яка відповідає за кут встановлення сортувальних коліщаток. Якщо State встановлено на 0, коліщатка стоять на 0 градусів та пропускають відправлення в зону перевірених відправлень, якщо 1 то встановлюється кут 90 градусів, посилка відправляється в зону нестандартних або пошкоджених штрих кодів, у випадку 2 встановлюється кут -90 градусів, посилка відправляється в зону пошкоджених коробок, або нестандартних пакувань.

Поштові відправлення будуть розподілятися на два типи:

- пошкодженні, вивести з системи сортування;
- цілі;
- малі пошкодження, зберегти фото та час, не виводити з системи сортування.

сортування.

Якщо відправлення проходить перевірку як ціле, воно продовжує рух системою сортування як звичайне відправлення без втручання в роботу системи. У випадку якщо відправлення розпізнається як пошкоджене , алгоритм видасть два результати дій в залежності від ступеню ушкодження:

- малі ушкодження, посилка має вм'ятини або не стандартного розміру чи форми - посилка не виводиться з системи сортування продовжуючи свій рух, фотографія посилки та її пошкодження зберігаються в базу даних з

штампом часу, дати, та місця перевірки на випадок якщо вміст відправлення виявився пошкодженим при отриманні, та отримувач вирішить оформити повернення або посилка застрахована і слід визначити чи пошкодження виникло у результаті роботи сортувального центру чи відділення яке отримало чи видало відправлення;

- сильні ушкодження - посилка намокла, має діри, порвана або відкрита - подібні ушкодження призводять до маркування посилки як непридатної до сортування та відправки та перенаправлення до зони перевірки чи оформлення пошкоджень оператором з маркуванням у базу даних та перевіркою.

Подібний метод зможе перевіряти зображення в базі даних з результатом перевірки оператору маючи можливість навчати модель на нових отриманих даних. Таким чином якщо модель помилково реагує, оператор може відмітити помилку або створити нову область пошкодження та відзначити її, після чого виконати навчання моделі на збільшеній кількості вхідних даних, покращивши якість перевірки та маючи здатність додавати нові помилки та правила. Оператор зможе вручну на зображенні відмітити зону з об'єктом та визначити його id.

3.2 Налаштування та навчання штучної нейронної моделі для розпізнавання стану відправлень

У якості моделі для розпізнавання зображень було обрано готову нейронну модель YOLO. YOLO 11, базується на принципі одиночного перегляду - YOLO аналізує зображення лише один раз, розділяючи його на сітку та визначаючи координати об'єктів, їх класи та ймовірності. Однак, на відміну від попередніх версій, YOLO 11 використовує більш просунуті підходи.

Головним з яких є покращена архітектура. Основою YOLO 11 є модифікована версія CSPDarknet, яка використовує технологію CSP для ефективного визначення ознак. Це дозволяє моделі краще аналізувати об'єкти різних типів та розмірів що важливо при спробі визначити малі пошкодження та неточності.

PANet (Path Aggregation Network) у поєднанні з новими механізмами згортки дозволяє ефективніше взаємодіяти з інформацією з різних шарів, покращуючи шанс визначення об'єктів різних масштабів.

Модель адаптується до різних розмірів та форм завдяки впровадженню нових механізмів допустимих втрат та похибок, таких як CIoU (Complete Intersection over Union), що покращує точність визначення точок об'єктів.

AutoML, дозволяє автоматично оптимізувати параметри навчання, такі як швидкість навчання, розмір пакету та інші. Це значно спрощує процес тренування завдяки чому користувач системи РПВ та КСС може вручну використати зображення з бази даних помилкових спрацювань (які користувач вибере вручну з переліку всіх посилки які затригерили модель) та донавчити модель використовуючи нові фотографії на слабкій системі яка буде встановлена в шафі керування, а саме на ПК [31,32,33].

YOLO 11 перевершує багато сучасних аналогів, завдяки вищій швидкості та кращій точності та меншим вимогам до ресурсів.

В першу чергу для навчання моделі слід підготувати набір даних з об'єктами які потрібно визначати, оскільки це лише текстова модель при її реалізації було прийнято рішення виконувати навчання моделі на готових наборах даних які надаються безкоштовно для некомерційних застосунків сайтом universe.roboflow (рисунок 3.2), як результат нам не доведеться заготовлювати набір фотографій та виділяти на кожній з них важливі для нас елементи та помічати їх відповідним класом [34,35].

На сайті оператор може обрати важливі для системи характеристики архіву файлів та перевірити наповнення, а саме його відповідність дійсній ситуації та співпадіння існуючих елементів з теоретичними які будуть використовувати при реалізації процесу інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування.

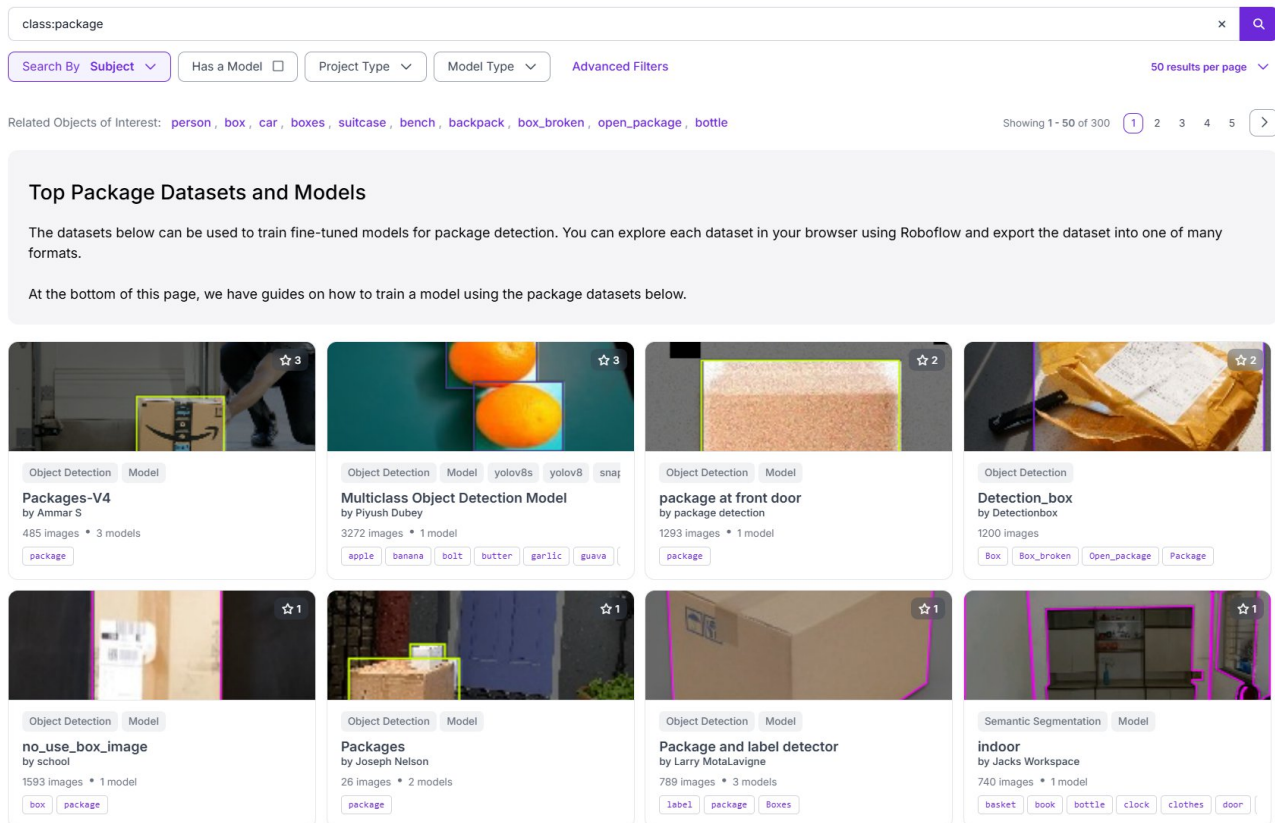


Рисунок 3.2 - Готові архіви наборів даних від universe.roboflow

Для навчання моделі було обрано Packages-V4 (рисунок 3.3), який містить в собі 485 фотографій коричневих коробок різних маркувань та компаній відправників при різному освітленні та видимості штрих-кодів, що ідеально підходить для симуляції різних умов навколишнього середовища. Також усі фотографії уже містять видільну рамку жовтого кольору яка містить підпис для створення класу коробок. Також для розуміння моделі ступеня пошкодження

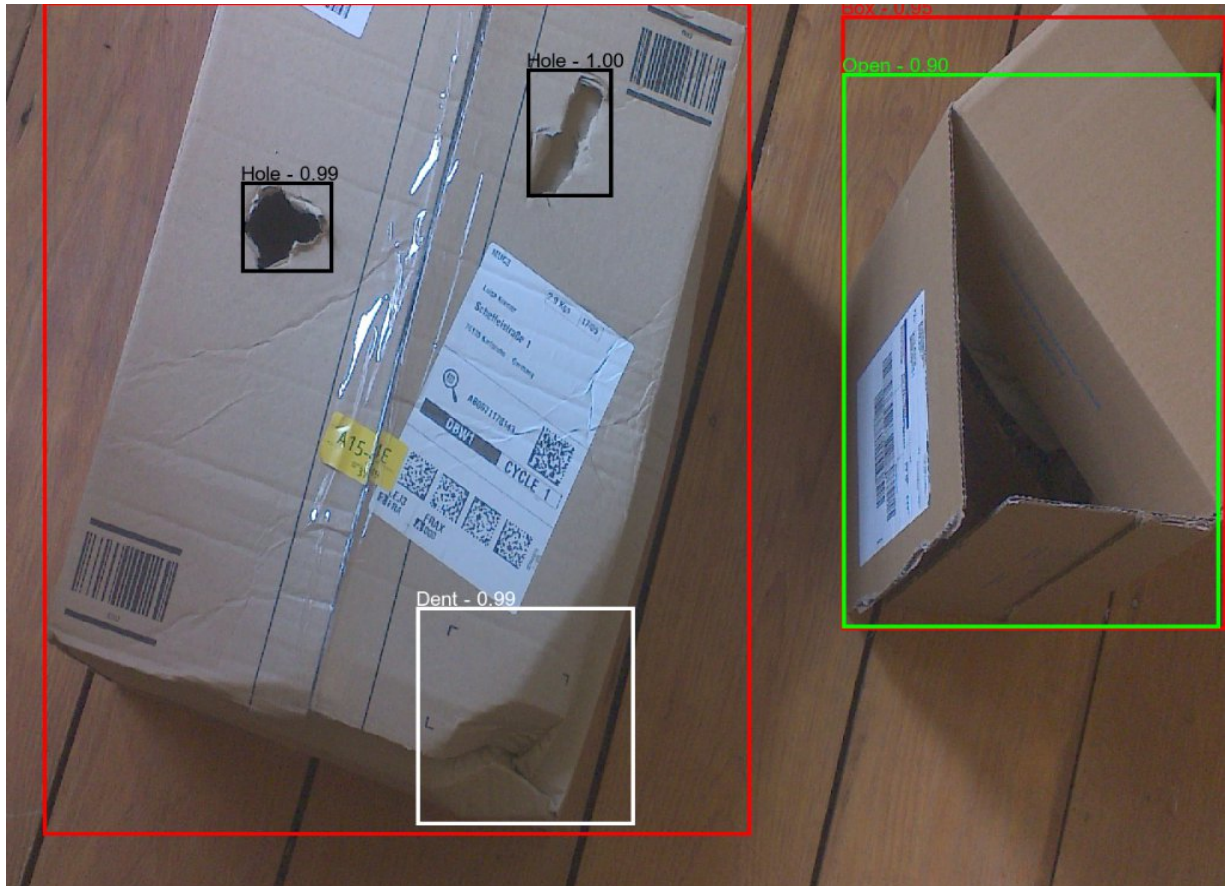


Рисунок 3.5 - Результати роботи моделі

Модель навчається на п'яти архівах з даними:

- цілі відправлення;
- відправлення пошкоджені водою, мокрі;
- пам'яті відправлення;
- порвані відправлення;
- відкриті відправлення.

Після навчання програми, буде отримано результати відображені на рисунку 3.5, програма робить скріншот або обробляє відео в режимі реального часу в залежності від доступного місця та потужностей.

Програма розбиває відеопотік на частини та проводить аналіз кадрів виділяючи обрані елементи.



Рисунок 3.6 - Результати проходження коробкою перевірки

Як видно з рисунку, програма визначає що розташоване в кадрі, два об'єкти розпізнані як коробки, одна з них відкрита, що повинно за логікою роботи алгоритму сортування вивести дану коробку з циклу сортування, друга коробка має мале пошкодження - вм'ятину яка не є критичною але може бути збережена для визначення моменту пошкодження при повідомленні отримувачем про пошкодження вмісту відправлення, отвори виділені чорним оскільки це ще один елемент визначений моделлю як пошкоджений та призводить до відправлення посилки до зони з іншими пошкодженими відправленнями.

У випадку якщо коробка пройшла перевірку та на ній не виявлено жодних ушкоджень вона помічається як якісна, колір тексту замінюється на чорний, а колір рамки залишається стандартним, хоча цей процес можна модифікувати

bits in Gx, яка також встановлюється некоректно на 11 замість необхідних нам 2, що впливає на точність вимірів та контролю, при невірному значенні драйвер буде працювати та система може виконувати контроль станом роботи сервоприводу, але ця версія драйверу не дозволяє зчитувати положення та кількість обертів сервоприводу. Дані для параметрів сервоприводу вказуються в документації приладу та можуть відрізнятись для різних років та моделей.

Або можна підключити накопичувач SINAMICS V90 до комп'ютеру, звичайного або промислового за допомогою кабелю mini USB і запустити функцію в V Assistant. Після чого вибрати мотор який нам необхідний використовуючи доступні номери моделей [39].

Використовуючи любий з методів, все рівно, приводу потрібно вказати, скільки імпульсів він отримає для виконання одного повного оберту валу двигуна. Це значення потрібно змінювати на основі максимальної швидкості роботи двигуна та максимальної частоти імпульсів, яку може видати ПЛК, вираховується за формулою 3.1:

$$ppr_{max} = 60 * f_{max} / n_{max} \quad (3.1)$$

де n_{max} - це максимальна швидкість мотору в об/хв;

f_{max} - максимальна частота імпульсів для виходу валу (прописана в документації приладу, з обраним елементом - 1)

Після визначення ppr_{max} це значення потрібно ввести в вкладці «Set electronic gear ratio» меню Параметри.

Під'єднання камери SIMATIC MV500 відбувається таким самим чином через TIA Portal та кабель Ethernet. Елемент камери розміщується на вікні підключень та під'єднується до ПЛК S7, головною відмінністю є необхідність завантаження драйверів та налаштувань камери використовуючи існуючі в додатку TIA Portal властивості.

Technology object створюється для відображення спрощеного інтерфейсу камери та налаштовується Id згідно з обумовленими параметрами у вікні global communication (рисунок 3.12). В самому низу сторінки global communication в підпункті USE вносяться зміни для керування камерою, встановлюючи Connection Text, Connection Result, Connection Control на Profinet IO та зберігаємо зміни натиснувши іконку збереження у верхньому правому куті, після чого камера налаштована та може бути інтегрована в програму.

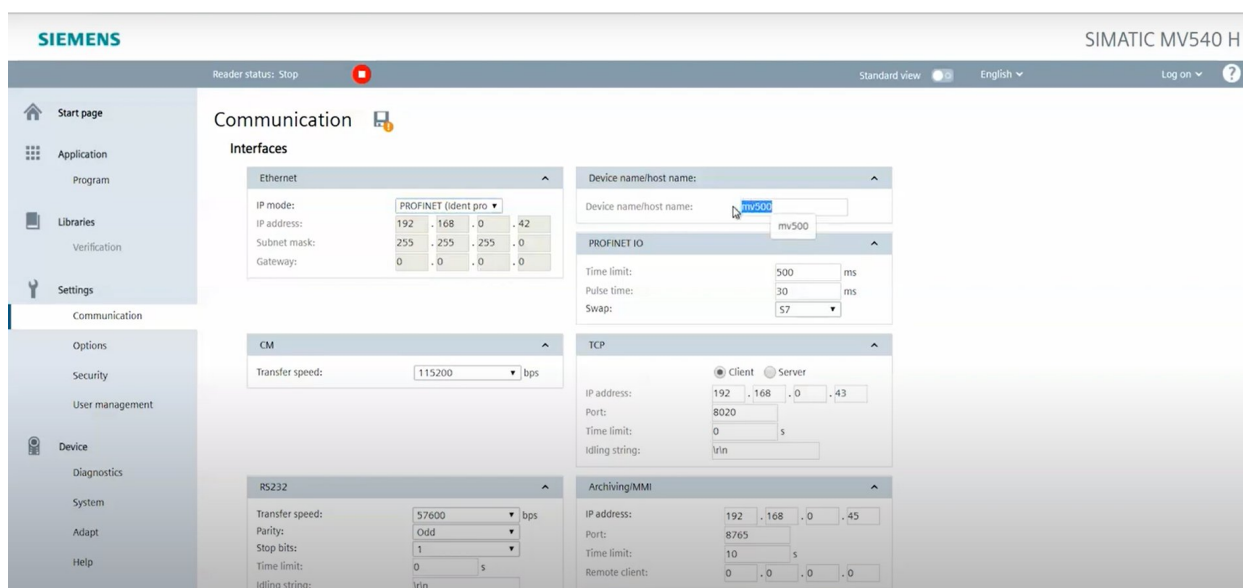


Рисунок 3.12 - Вікно global communication

Налаштувавши параметри камери слід перейти до її інтеграції, у Program Blocks Main шляхом створення нового Reset_Reader секційний блок встановлюючи його вхідним параметром до входу HW Connect параметр "Simatic ident_1" для під'єднання без специфікації адреси, оскільки змінна сама визначає необхідні параметри. Створюється блок Read_MV (рисунок 3.13), для зчитування даних та їх передачі в ПК [40].

Якщо все виконано вірно камера почне запис та її світлодіод LK1 починає блимати зеленим. Для запису також слід затригерити Read_MV, що можна зробити при початку роботи програмно в Reader Control або додатково

налаштувати в змінних для автозапуску або виконання запуску як частину іншого блоку.

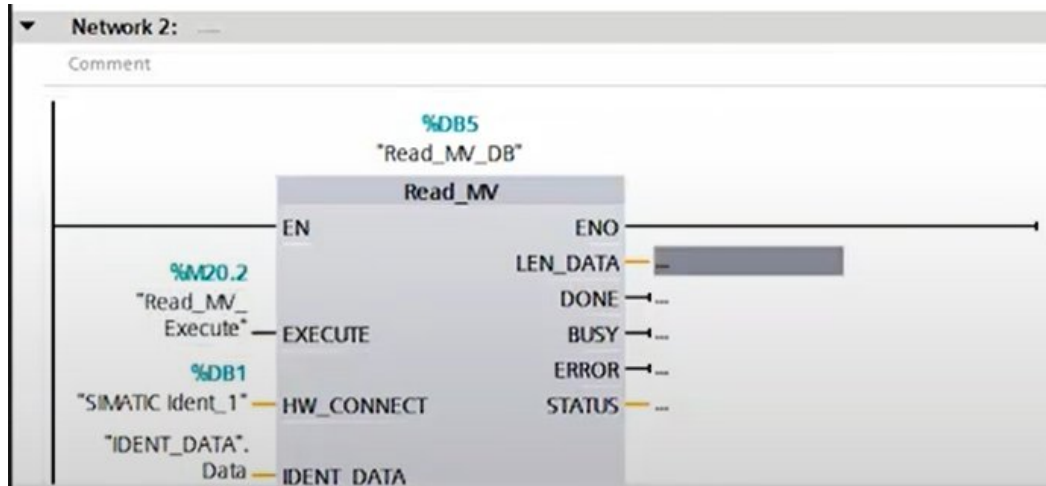


Рисунок 3.13 - Блок програми Read_MV

3.4 Висновки до третього розділу

У результаті аналізу проведеного у цьому розділі для реалізації апаратних рішень інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування на основі YOLO, було розроблено алгоритм роботи системи, визначено логіку роботи системи, налаштовано винятки та головні задачі системи.

Було більш детально розглянуто доступні нейронні моделі машинного зору, їх переваги та причини вибору конкретної версії YOLO. Розглянуто алгоритм навчання нейронної мережі а також принципи та правила підготовки даних для навчання. Обрано набір даних з відкритого доступу для виконання навчання розглянутої моделі використовуючи п'ять різних бібліотек для розділення усіх відправлень на три типи, пройшовши перевірку, пошкодженні не придатні для відправки та пошкодженні придатні для відправки, подібний

розподіл доступний завдяки навчанню моделі на п'яти наборах даних у яких присутні коробки у відмінному стані та моделі з коробками та пошкодженнями. Ключовим моментом в навчанні є прив'язка вірогідності пошкодження до коробки аби не відбулося хибних спрацювань на пошкодження або рух навколишнього середовища. Таким чином було створено модель яка пройшла перевірку на кількох додаткових фотографіях які не використовувалися в навчання та підтверджено її точність визначення коробки з вірогідністю в 99% та здатність визначення пошкодження на коробці з вірогідністю 98.6%.

Розглянуто налаштування параметрів програмованого логічного контролера та параметрів з'єднань елементів. Оскільки в роботі використовується Siemens слід використовувати стандартні кабелі для передачі інформації та додаток Tia Portal який потребує налаштування параметрів елементів. Особливу увагу було приділено налаштуванню камери Simatic MV500, оскільки в її параметрах слід визначити її IP для роботи в мережі та способи взаємодії з камерою через додаток Tia Portal. Особливу увагу приділено налаштуванню параметрів та підключенню V90 до логічного програмованого контролера, оскільки при керування сервоприводами є багато параметрів які слід визначити та розрахувати.

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			58

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було досліджено можливості та потенціал впровадження систем комп'ютерного зору у систему сортування поштових відправлень для визначенню типу поштового відправлення, його пошкоджень при наявності та ведення документації від сканованих поштових відправлень для покращення якості роботи сортувальних систем а також для спрощення пошуку локації на якій було пошкоджено відправлення для виконання повернення або виконання страхових виплат.

Проведено аналіз сучасного стану автоматизації підприємств та зростаючої ролі машинного зору у промислових та логістичних процесах. Встановлено, що технології комп'ютерного зору, зокрема нейромережі на базі YOLO, мають високу ефективність для виявлення, класифікації та контролю якості об'єктів. Рішення, реалізувати систему використовуючи описані підходи, дозволяє значно підвищити точність і швидкість сортування, зменшити кількість помилок і автоматизувати рутинні задачі, які раніше виконувалися вручну групою людей.

Однією з ключових переваг запропонованої системи є її здатність працювати в режимі реального часу, забезпечуючи обробку відеопотоку із затримкою менше 200 мс. Це відповідає сучасним вимогам, де час реакції системи має критичне значення. Досягнута швидкість обробки відеопотоку враховує час передачі даних та час обробки відео за допомогою навченої в проекті нейронної мережі та алгоритму обробки результатів роботи нейронної мережі для визначення типу пошкоджень та розпізнавання об'єктів розташованих на конвеєрній стрічці.

Впровадження моделей, нейронних мереж, навчених на великих наборах даних, дозволяє досягати точності ідентифікації об'єктів понад 99%, а також точності виявлення пошкоджень до 98.6%.

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			59

У результаті виконаної роботи було створено ефективну модель машинного зору і сформовано програмно-апаратне рішення для автоматизованої обробки поштових відправлень.

Система забезпечує повну прозорість процесів завдяки фіксації стану відправлень, автоматичне генерування звітів і сповіщення клієнтів із фотофіксацією пошкоджень. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати бізнес процес, але й підвищити рівень сервісу для клієнтів.

					КвРАКІТ. 2022121.01.06ПЗ	
		№ докум.	Підпис			61

8. SIMATIC IPC – Industrial PC portfolio. Siemens AG. Брошура. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/886/109748886/att_960077/v1/SIMATIC_IPC_Brochure_EN.pdf (дата звернення: 06.06.2025).
9. Liu H. et al. Industrial Object Detection with Enhanced YOLOX Using Scene-Specific Priors. arXiv preprint. 2023. arXiv:2311.03124. DOI: [10.48550/arXiv.2311.03124](https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.03124)
10. Yang Z. et al. Smart Sorting: Real-Time Parcel Classification Using Deep Learning. arXiv preprint. 2023. arXiv:2304.08994. DOI: [10.48550/arXiv.2304.08994](https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.08994)
11. Shen C. et al. Smart Courier Sorting System Based on Lightweight Neural Networks. Computers, Materials & Continua. 2024. Vol. 80, No. 1. P. 141–158. DOI: 10.32604/cmc.2024.057406
12. Ilić V. The Integration of Artificial Intelligence and Computer Vision in Large-Scale Video Surveillance of Railway Stations. 2024 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), м. Novi Sad, Serbia, 22–23 трав. 2024 р. 2024.
13. Werner P. Automated Parcel Machines Innovation. Computational Science and Its Applications. 2024. Т. 11. С. 312–323.
14. Rozikin Z., Pantja Putra S. Post Office Service Innovation: Responding to Competitive Challenges. International Journal of Research in Social Science and Humanities. 2024. Vol. 05, no. 02. P. 09–14.
15. Strenitzerova M. Innovation Trends in the Transport, Logistics and Postal Services Sector with Impact on Human Resources in the Slovak Republic. LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics. 2023. Vol. 14, no. 1. P. 98–109.
16. Reliable and efficient integration of AI into camera traps for smart wildlife monitoring based on continual learning. D. Velasco-Montero та ін. Ecological Informatics. 2024. Т. 83. С. 102815.

17. Програмний контролер SIMATIC S7-1500 - ідеальний вибір для автоматизації виробничих процесів на базі ПК. siemens.com. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/prohramnyy-kontroler-simatic-s7-1500.html> (дата звернення: 12.06.2025).

18. Salkić A., Muhović H., Jokić D. Siemens S7-1200 PLC DC Motor control capabilities. IFAC-PapersOnLine. 2022. Т. 55, № 4. С. 103–108

19. Producing and using artificial intelligence: What can Europe learn from Siemens's experience?. J. M. Graña et al. Competition & Change. 2022. P. 102452942210970

20. SIMATIC S7-1500 CPUs. siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500/cpus.html> (дата звернення: 12.06.2025).

21. Mangold S., Steiner C., Friedmann M. Vision-Based Screw Head Detection for Automated Disassembly for Remanufacturing. Procedia CIRP : конференція, 6 квіт. 2022 р.

22. On computing and real-time communication performance of containerized virtual PLCs . M. Gaffurini та ін. 2024 IEEE 20th International Conference on Factory Communication Systems (WFCS), м. Toulouse, France, 17–19 квіт. 2024 р. 2024.

23. Comparative analysis on Deep Convolution Neural Network models using Pytorch and OpenCV DNN frameworks for identifying optimum fruit detection solution on RISC-V architecture. S. K та ін. 2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon), м. Hassan, India, 24–25 жовт. 2021 р.

24. Real-time Implementation of YOLO V5 Based Helmet with Number Plate Recognition and Logging of Rider Data using PyTorch and XAMPP . M. S. *14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, м. Delhi, India, 6–8 лип. 2023 р.

36. Totally Integrated Automation Portal – Завжди готовий до майбутнього. *siemens*.

URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-promyslovosti/prohramne-zabezpechennya-dlya-avtomatyzatsiyi/tia-portal.html> (дата звернення: 12.06.2025).

37. TIA Portal 19. Що нового ?. *a2m*.

URL: https://www.a2m.com.ua/ua/post/tia19-what-s-new?srsltid=AfmBOoqAN_5va-gFkPHivkZ_Rn-bKK8SiXhtrvBFgolRrhiZhC-nfp4s (дата звернення: 12.06.2025).

38. Control System of the Continuous Extrusion Line Using PLC and Conventional Regulators. I. B. Kocić та ін. IJEEC - INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTING. 2023. Т. 7, № 1. URL: <https://doi.org/10.7251/ijeec2301009k> (дата звернення: 13.06.2025).

39. SINAMICS V-ASSISTANT Commissioning tool. *support.industry.siemens.com*.

URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109738387/sinamics-v-assistant-commissioning-tool?dti=0&lc=en-GB> (дата звернення: 12.06.2025).

40. How you configure a connection in the TIA Portal. *support.industry.siemens*.

URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109486139/how-you-configure-a-connection-in-the-tia-portal-?dti=0&lc=en-SE> (дата звернення: 12.06.2025).

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Котович Дмитро Михайлович

Тема: Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 57

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: метою роботи є розробка та інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз відомих засобів та рішень. У другому розділі виконано розробку системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування. У третьому розділі виконано реалізацію системи інтегрування машинного зору для розпізнавання поштових відправлень та контролю системою сортування

4. Позитивні сторони роботи: Використання технологій штучного інтелекту в системах автоматизації. Використання плк компанії SIEMENS розрахований для реалізації завдань автоматизації.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень з використання штучного інтелекту

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

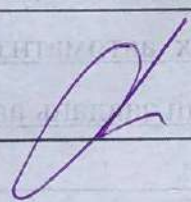
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи:

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

завідувач кафедрою комп'ютерних наук,
д.т.н., професор Барнак Олександр Володимирович

“ 14 ” червня 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Котовича Дмитра Михайловича

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курс, групи АКІТс-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.08.25

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Дмитро КОТОВИЧ

Співавтор:

Назва: Котович Антиплагіат

Експерт:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 0%

Коефіцієнт подібності 2: 0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2025-06-15 18:24:30.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

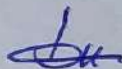
Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-15



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 12%

ID: 245951 Title: БКР Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору Added in a DB: 2025-06-15 Authors: Дмитро КОТОВИЧ Heads: Денис МАКАРИШКІН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	57736	878	1142 (2%)	15 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система контролю сортування на основі машинного зору

Автор: Котович Дмитро Михайлович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноновживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0% і адресується до 0 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Денис МАКАРИШКІН