

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_Юрій МЕЛЬНИК  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_2024 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
«БАКАЛАВР»

Тема: «Інтелектуальна система керування стаціонарним роботом»

Виконавець: студент групи СУ-313Б/стн \_\_\_\_\_ Анжела ЖОВТЕНКО

Керівник: к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Людмила КИРПАЧ

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Микола ДИВНИЧ

Київ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра аерокосмічних систем управління  
Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_Юрій МЕЛЬНИК  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

### **ЗАВДАННЯ**

на виконання кваліфікаційної роботи  
Жовтенко Анжелі Андріївни

1. Тема кваліфікаційної роботи «Інтелектуальна система керування стаціонарним роботом» затверджена наказом ректора від «01» квітня 2024 р. № 511/ст.
2. Термін виконання роботи: з 13.05.2024 по 16.06.2024.
3. Вихідні дані: система управління KR C4 compact, пульт управління KUKA smart pad, консоль з елементами керування та індикації. Для KR 3 AGILUS: корисне навантаження: 3 кг; точність:  $\pm 0,02$  мм; клас захисту: IP40; монтажне положення: підлогове, стельове, настінне; контролер: KR C4 compact.
4. Зміст пояснювальної записки:
  1. Аналіз особливостей застосування роботів.
  2. Застосування систем комп'ютерного зору в сучасній робототехніці.
  3. Розробка системи технічного зору для визначення позиції об'єкту.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:
  1. Тема, виконавець, керівник.
  2. Актуальність теми, об'єкт дослідження, предмет дослідження, мета дослідження.
  3. Переваги використання роботів.
  4. Системи і методи технічного зору.
  5. Концепція роботизованого збору врожаю за допомогою мобільних роботів, оснащених маніпуляторами.
  6. Структурна схема комплексу з системою технічного зору.
  7. Захоплення об'єкта за допомогою маніпулятора.
  8. Програмне забезпечення.
  9. Захоплення зображення з відеокамери, розміщеної на маніпулятор.
  10. Результати визначення координат із використанням СТЗ.
  11. Висновки.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Ознайомлення з постановкою задачі та вивчення літератури. Складання графіку роботи	13.05.24 – 16.05.24	
2	Написання 1 розділу, представлення керівнику	17.05.24 – 22.05.21	
3	Написання 2 розділу, представлення керівнику	23.05.24 – 27.05.24	
4	Написання 3 розділу, представлення керівнику	28.05.24 – 03.06.24	
5	Загальне редагування та друк пояснювальної записки, графічного матеріалу	04.06.24 – 09.06.24	
6	Проходження нормо-контролю, перепліт пояснювальної записки.	10.06.24	
7	Розробка тексту доповіді. Оформлення графічного матеріалу для презентації	11.06.24	
8	Отримання відгуку керівника, рецензії.	11.06.24	

7. Дата видачі завдання: «13» травня 2024 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Кирпач Л.А.  
(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Жовтенко А.А.  
(підпис випускника)

## РЕФЕРАТ

Текстова частина роботи: 60 стор., 32 рис., 18 використаних джерел.

**Актуальність теми.** Упродовж всіх часів людина прагнула полегшити свою працю, мінімізувати свою участь у процесах виробництва, але при цьому зробити його більш досконалим. Такі пошуки спричинили появу роботів, які своїми функціями замінюють людську працю.

Роботи мають широкі можливості та економічні переваги, завдяки чому вони міцно зарекомендували себе в багатьох галузях промисловості.

**Об'єкт дослідження:** робото технічні системи і комплекси.

**Предмет дослідження:** робот-маніпулятор.

**Мета дослідження:** оцінка можливості застосування методів визначення позиції об'єкта з використанням систем технічного зору.

**Методи дослідження:** методи аналізу, аналітичного та комп'ютерного моделювання, методи випробувань і експерименту.

У роботі розроблено інтелектуальну систему керування стаціонарним роботом з використанням системи технічного зору для застосування в сільськогосподарському секторі. Рішення, які були застосовані при розробці, адаптовані під особливості конкретної галузі застосування.

Матеріали дипломної роботи можуть бути використані в аграрних господарствах, які спеціалізуються на вирощуванні томатів.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, РОБОТ-МАНІПУЛЯТОР, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ .....	9
1.1. ПОНЯТТЯ «РОБОТ» ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ .....	9
1.2. ВПЛИВ РОБОТІВ НА ЕКОНОМІКУ .....	19
1.3. ВПЛИВ РОБОТІВ НА ТЕХНОЛОГІЇ .....	20
1.4. РЕГУЛЯРНІ ПРОБЛЕМИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТОТЕХНІКИ.....	21
1.5. ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ .....	22
1.7. МАЙБУТНЄ РОБОТІВ І СУСПІЛЬСТВА .....	23
РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В СУЧАСНІЙ РОБОТОТЕХНІЦІ.....	25
2.1. ПОНЯТТЯ «РОБОТ» ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ .....	25
2.2. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ У ВИРОБНИЦТВІ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ .....	26
2.3. СИСТЕМА ДВОВИМІРНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ .....	27
2.4. СИСТЕМА ТРИВИМІРНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ .....	28
2.5. АЛГОРИТМИ, ЯКІ АНАЛІЗУЮТЬ ТА ІНТЕРПРЕТУЮТЬ ПІДБРАНІ 3D-ДАНІ.....	31
2.6. АЛГОРИТМИ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ І СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ .....	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЗИЦІЇ ОБ'ЄКТУ .....	38
3.1.ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ .....	39
3.2. АПРОБАЦІЯ ВИКОНАНОЇ РОЗРОБКИ.....	44
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	59

## ВСТУП

Однією з найбільших амбіцій людства є і було створення розумних машин. Роботи здатні цілодобово невтомно виконувати одноманітну роботу з незмінною точністю та швидкістю. Згідно з визначенням, наведеним у європейському стандарті EN 775 [13], роботи є «автоматично керованими, перепрограмованими, багатоцільовими маніпуляторами з різним ступенем свободи». Роботи мають широкі можливості та економічні переваги, завдяки чому останні десятиліття вони міцно зарекомендували себе в багатьох галузях промисловості.

Сучасні промислові роботи зазвичай оснащуються певною кількістю датчиків, які служать, наприклад, для виявлення затиснутих деталей або негайної зупинки робота у разі небезпеки зіткнення. Однак традиційні датчики надають дуже обмежену інформацію, тоді як системи з функціями обробки зображень пропонують набагато більше переваг і здатні отримувати та аналізувати значно більше даних.

Роботи з технологіями комп'ютерного зору аналізують отримані від камери зображення, що дозволяє їм суттєво ефективніше приймати рішення та реагувати на несподівані ситуації. Це надзвичайно важливо, особливо в сегменті так званих коботів – «колаборативних роботів», які розроблені для спільної роботи безпосередньо з людьми та не оснащуються засобами захисту, у зв'язку з чим запобігання нещасним випадкам є головним пріоритетом, щоб уникнути будь-якого ризику для здоров'я людини.

Якщо ж робот пошкодить робочу заготовку або інші засоби автоматизації внаслідок неправильних рухів, це спричинить високі витрати та тривалий простій. У таких випадках системи на базі камер також допоможуть підвищити надійність роботів.

Крім запобігання небажаним ситуаціям, оснащені «зором» роботи пропонують безліч інших переваг. Вони сприяють підвищенню гнучкості технологічних процесів, оскільки з урахуванням результатів аналізу зображень здійснюється точне управління рухами робота. Без системи обробки зображень

робот може не впоратися навіть із простими завданнями, такими як захоплення деталей, якщо деталь знаходиться за межами заданого місця розташування, де робот спочатку повинен її забрати. У більшості випадків це не проблема для роботизованої системи з технологіями машинного зору: камера фіксує зображення неточно розміщеної деталі, в ході подальшого аналізу зображення визначається відхилення від заданого положення, після чого скориговані 2D або 3D-координати передаються в керуючу систему робота.

Залежно від обмежень технологічного процесу, цей метод гарантує безпомилкове захоплення заготовок та деталей. Найскладнішим завданням для роботів-маніпуляторів вважається вилучення деталей із бункера: для захоплення роботом нерозсортованих деталей із бункера потрібні складні системи комп'ютерного зору. Вони відповідають за виявлення наступної деталі для захоплення, точне визначення параметрів її положення у 3D-уявленні та передачу цієї інформації роботу. Виходячи з нинішнього рівня розвитку технологій, це завдання в більшості випадків було б нерозв'язним без використання системи обробки зображень.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ

#### 1.1. Поняття «Робот» та їх класифікація

Робот – це автоматичний пристрій, який завдяки спеціальній вбудованій програмі здатний виконувати замість людини певні розумові та фізичні завдання [8]. Сучасний робот (рис. 1.1) може не тільки розуміти навколишній світ за допомогою датчиків, але також самостійно приймати рішення, будувати моделі поведінки.



Рис. 1.1. Приклад сучасного робота

Кафедра АКСУ				ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА			
Виконала	Жовтенко А.А.			РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТІВ			Аркушів
Керівник	Кирпач Л.А.						60
Н-кнтр.	Дивнич М.П.						
Зав.каф.	Мельник Ю.В.						СУ-313Б/стн



Приміром, безпілотний автомобіль є роботом, а кавовий апарат – ні. Якщо тільки мова не про робота-бариста, який самостійно приймає замовлення, робить і подає каву.

Сьогодні часто плутають поняття: роботи та маніпулятори. Наприклад, хірургічний робот да Вінчі, по суті, не робот, тим паче не інтелектуальний. Це гарний маніпулятор, який дозволяє хірургу проводити операцію і навіть знімає тремтіння його рук. Робот – це завжди автономне. А маніпулятор – це те, чим керує людина».

Деякі сучасні розробки можуть ввести в оману своїм зовнішнім виглядом. Як, наприклад, японський роботизований всюдихід R1 (рис. 1.2).

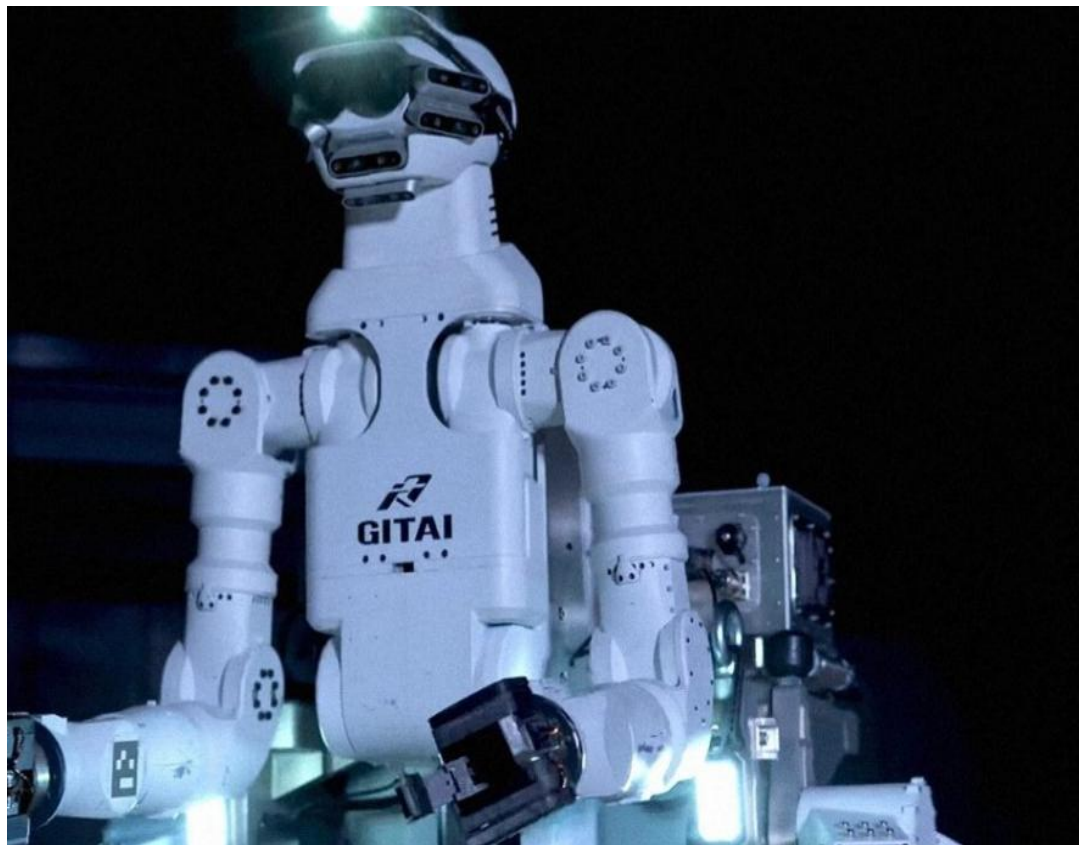


Рис.1.2. Роботизований всюдихід R1

У деяких ЗМІ його називали роботом. Однак R1 не може працювати в автономному режимі: оператор віддалено управляє роботом і його роботизованими руками за допомогою VR-контролерів. По суті, це теж

маніпулятор, його можна віднести до ширшого поняття – робототехніка, але повноцінним інтелектуальним роботом він не є.

Робот може виглядати як завгодно (рис. 1.3), але важливо, щоб він умів:

1. Отримувати інформацію;
2. Переробляти інформацію;
3. Самостійно діяти за результатами аналізу цієї інформації.

Роботом може називатися і програма, наприклад, чат-бот, але тільки той, який відповідає ознакам робота, наприклад, здатний сам скасувати замовлення, отримавши і проаналізувавши повідомлення користувача. Програмні роботи дозволяють автоматизувати рутинні завдання у бухгалтерії, кадровій службі, логістиці, клієнтській підтримці тощо.



Рис.1.3. Приклад сучасного робота

За призначенням роботів можна розділити на [8]:

1. Промислові роботи. До них відносяться стаціонарні або рухомі автоматичні машини, які складаються з виконавчого пристрою у вигляді

маніпулятора і пристрою програмного управління, що перепрограмується, для виконання у виробничому процесі рухових і керуючих функцій.



Рис.1.4. Стационарні промислові роботи

2. Побутові (сервісні). Допомагають людині у повсякденному житті. Серед побутових роботів виділяють дві основні категорії:

- персональні (роботи-пилососи (рис.1.5), кухонні роботи тощо);



Рис.1.5. Робот-пилосос

- професійні (роботи-консультанти (рис. 1.6), роботи-гід, роботи-адміністратори, роботи-кур'єри та інші)



Рис.1.6. Робот-консультант

3. Бойові роботи. Є багатофункціональні технічні пристрої, що беруть участь у бойових операціях. До них відносять:

- повітряні – наприклад, роботи-безпілотники (для завдання артилерійських ударів, спостереження, розвідки та іншого);
- сухопутні – роботи-сапери (рис. 1.7), самохідні танки та БТР, повноцінні бойові комплекси;



Рис.1.7. Робот-сапер TALON

- морські – надводні та підводні апарати, що виконують пошук мін, функції патрулювання, супроводу та інші.

4. Роботи для забезпечення безпеки. Використовуються службами швидкого реагування та МНС. Беруть участь у порятунку людей, розборі завалів, розмінуванні, гасінні пожеж (рис. 1.8) тощо.



Рис.1.8. Робот Alpha Wolf під гасіння пожежі в Києві

5. Медичні. Беруть участь у діагностиці та хірургічних операціях, допомагають виготовляти лікарські препарати, доглядати хворих, навчати людей медичним навичкам, роботизована ендоскопія (рис. 1.9).

Окремо тут можна сказати про роботизовані протези та трансплантати, які можуть замінювати пошкоджені частини тіла, органи або тканини.

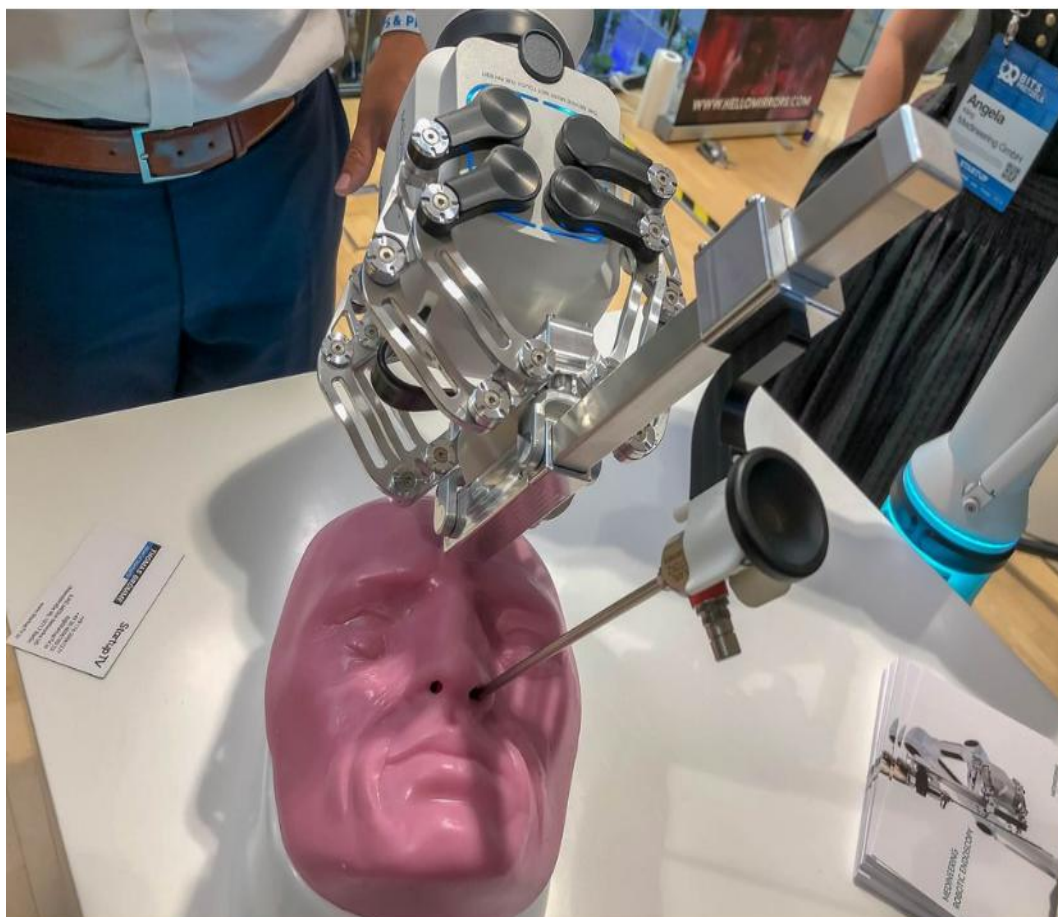


Рис.1.9. Ендоскопічний робот

6. Дослідницькі роботи. Проводять дослідження під землею, під водою, у космосі, за умов високих температур, радіації та інших екстремальних середовищах (рис. 1.10).

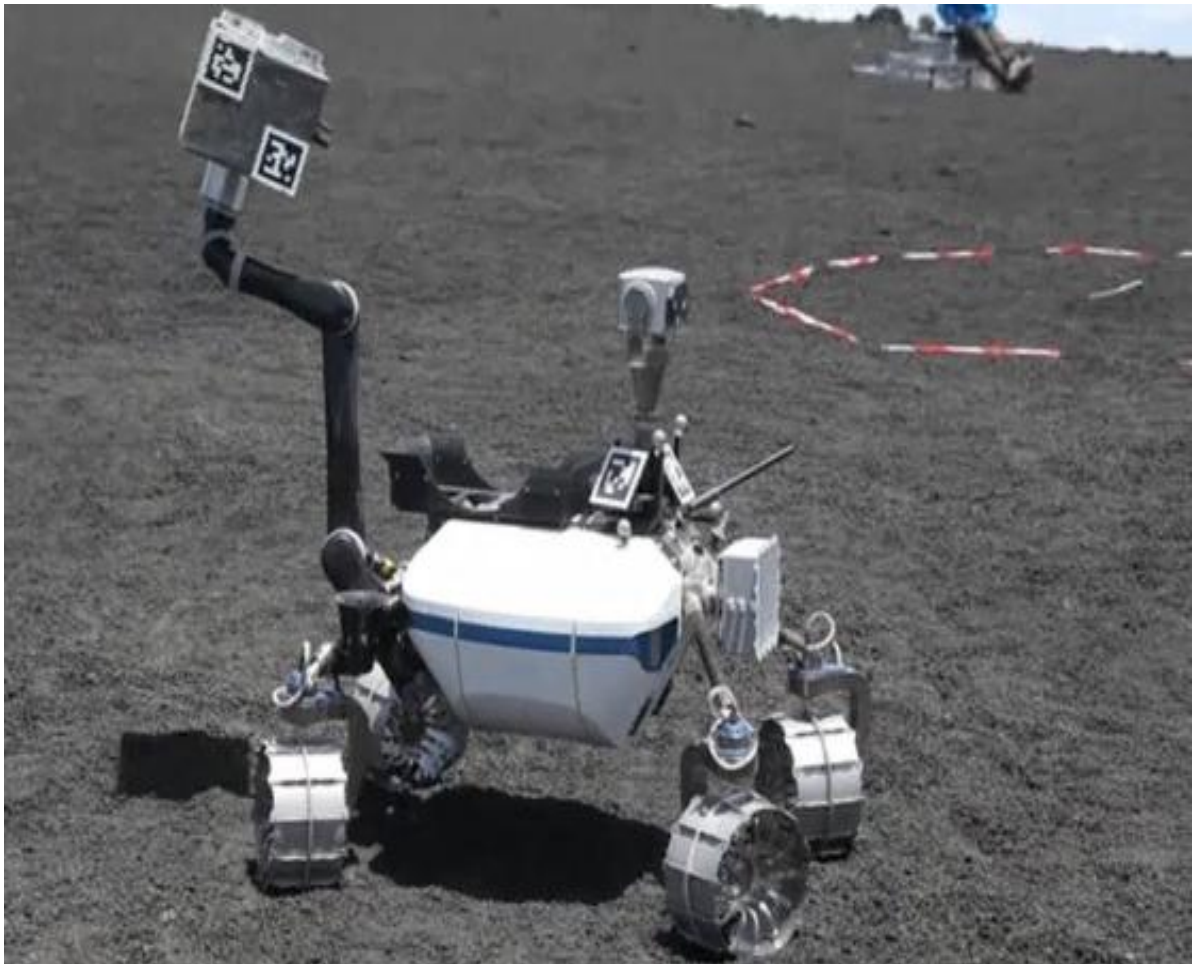


Рис.1.10. Тренування космічного робота

7. Андроїди. Вони можуть бути і побутовими, і військовими, і медичним. Робот-андроїд зовні нагадує людину, і іноді ця подібність виглядає вкрай реалістичною (рис. 1.11). Інженери, залучені до створення подібних машин, сьогодні прагнуть того, щоб не лише зовнішній вигляд андроїда, але також його «мозок» був схожий на людський. Розробляються досконаліші механізми сприйняття, обробки інформації та управління.



Рис.1.11. Робот Софія

Так, залежно від закладеної програми роботи-андроїди можуть підтримувати бесіду з людиною, безперешкодно переміщатися у просторі, отримувати та аналізувати дані за допомогою «органів зору», «відчувати» дотики, «відчувати» біль та інше.

Крім призначення, існує інші критерії класифікації роботів. Наприклад, всі роботи розрізняються:

1. За властивостями матеріалів:

- Жорсткі роботи виготовлені з жорстких матеріалів, які підходять для виконання однотипних операцій, що вимагають високої точності або великих фізичних зусиль. Прикладом можуть бути ровери-кур'єри або навіть машино подібні андроїди.

- М'які (гнучкі) роботи виконані з еластичних матеріалів, схожих на ті, що зустрічаються у живих організмах та здатні змінювати форму, можуть адаптуватися до умов навколишнього середовища. Наприклад, це роботи-хробаки,



створені інженерами з Університету Глазго. Такі роботи вміють витягуватися в кілька разів більше за свою довжину, протискатися в дуже вузькі місця, недоступні для жорстких конструкцій.

- Гібридні роботи. Іноді до жорсткого роботу прилаштовують гнучкі конструкції, наприклад для захоплення та маніпулювання об'єктами. А ще буває, що твердий каркас робота повністю покривають м'якими матеріалами.

## 2. За позиціонуванням можливих переміщень

- Промислові роботи на шарнірах мають кілька керованих осей, завдяки чому можуть виконувати рухи з широкою траєкторією. Як правило, це роботизовані руки, які застосовуються в шліфуванні, палетуванні, фарбуванні, зварюванні ін.

- Роботи SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) – шарнірно-зчленований робот з вибірковою податливістю маніпулятора. В основі механізму лежить система, що складається не менше ніж з двох важелів та двох окремих приводів. Такі роботи характеризуються високою швидкістю виконання завдань. Зручні для операцій зі збирання та монтажу. Можуть піднімати об'єкти згідно з програмою та самостійно регулювати навантаження та контролювати рух.

- Сферичні роботи мають два ступені обертання і один поступальний ступінь. Здійснюють обертальний вертикальний рух, завдяки чому утворюють у просторі сферу. Універсальні, виконують широкий спектр завдань у промисловості та на виробництві.

- Циліндричні. Характеризуються наявністю двох шарнірів: поворотного (для обертання) та призматичного (для кутового переміщення навколо осі шарніра). За допомогою таких роботів відбуваються процес керування верстатами, точкове зварювання, складання та інше.

- Декартові роботи. Працюють у декартовій системі координат, використовують лінійні осі для руху. Мають просту систему програмування, але при цьому відрізняються високою вантажопідйомністю та точністю виконуваних операцій.

### 3. За управлінням:

- Роботи, які не можуть коригувати свої дії в залежності від змінних зовнішніх умов, тому при їх застосуванні в промисловості зовнішнє середовище має бути організовано. Інформація програми не змінюється у процесі роботи, проте такі роботи підлягають переналагодженню.

- Перепрограмовані (навчені). Їх навчання здійснюється за першим робочим циклом. Так, наприклад, перед початком роботи захватного пристрою людина-оператор спочатку вручну проводить його та задає необхідну траєкторію. При цьому програмне забезпечення таких роботів дозволяє на основі сигналів зворотного зв'язку коригувати керування машиною з урахуванням фактичної обстановки.

- Роботи з можливістю форматування програми в залежності від поставленої мети та інформації про об'єкти та умови зовнішнього середовища.

Крім розвиненої сенсорної системи мають потужну керуючу систему і передове алгоритмічне і програмне забезпечення, за рахунок чого здатні розпізнавати образи і ситуації, моделювати навколишнє середовище, планувати поведінку і самонавчатися в процесі функціонування.

Такі роботи застосовуються у найскладніших технологічних процесах збирання, монтажу, контрольно-вимірювальних технологіях.

## **1.2. Вплив роботів на економіку**

Роботи відіграють значущу роль у стимулюванні економічного зростання, оскільки з кожним роком вони стають все більш досконалішими. Компанії використовують роботів, щоб автоматизувати свій виробничий процес, замінюючи ручну працю та створюючи нові можливості для підвищення продуктивності при зниженні витрат. Це може сприяти швидшому економічному зростанню з часом, що призведе до збільшення наявного доходу домогосподарств у всьому світі.

Однак роботи також мають потенційний недолік, оскільки витісняють роботу, яка традиційно вимагала людської праці. Це переміщення роботи може спричинити фінансові труднощі для тих, хто покладається на ці посади, що призведе до підвищення рівня безробіття. Щоб протистояти цій проблемі, компанії повинні зосередитися на підвищенні кваліфікації наявних співробітників або перенавчанні їх для нових ролей у своїй організації, які вимагають використання автоматизованих технологій автоматизації.

Хоча переміщення робочих місць є проблемою, яку слід розглянути, автоматизація робототехніки може відкрити нові можливості для таких працівників, як науковці з обробки даних та інженерів, які мають досвід у технологіях штучного інтелекту та машинного навчання. Посади, які не існували до запровадження роботизованої автоматизації, тепер пропонують вищі шкали оплати праці, ніж багато традиційних професій. Крім того, робототехнічні технології також можуть допомогти модернізувати традиційні ринки, такі як виробництво, транспорт і сільське господарство, за рахунок економії коштів і підвищення ефективності завдяки більш частому застосуванню автоматизованих процесів.

### **1.3. Вплив роботів на технології**

Технологія є основою роботів і автоматизації. У міру прогресу роботизована технологія стає все більш складною та потужною, що полегшує її інтеграцію в наше повсякденне життя. Наприклад, робототехніка створила нові можливості для навчання та заходів безпеки. У класах студенти можуть використовувати роботів, щоб вивчати програмування та інші навички, які підготують їх до взаємодії з передовими машинами в майбутньому. Крім того, деяких роботів можна навчити виявляти потенційні загрози або небезпеки, перш ніж вони стануть небезпечними; безцінний актив як для дому, так і для бізнесу.

Вже нікого не здивувати кіосками самообслуговування в продуктових магазинах або автоматизованими агентами з обслуговування клієнтів, які

обробляють телефонні дзвінки чи онлайн-запити замість людей. Це спонукає до розгляду економічних наслідків, пов'язаних із вдосконаленням роботів.

#### **1.4. Регуляторні проблеми щодо впровадження робототехніки**

Зростаюча поширеність роботів у сучасному світі створила багато можливостей, але це також призвело до певних регуляторних проблем. Оскільки ці технології стають все більш досконалішими та широко використовуваними, важливо визнати переваги та ризики, пов'язані з впровадженням робототехніки.

З економічної точки зору робототехніка може принести величезну користь. Автоматизація може замінити трудомістку діяльність і підвищити ефективність бізнесу в усіх галузях. Однак це також може призвести до зміщення роботи для багатьох працівників, тому важливо враховувати наслідки збільшення автоматизації для засобів до існування працівників.

Розглядаючи наслідки для конфіденційності та безпеки споживачів від широкомасштабного впровадження робототехніки, необхідно запровадити надійні протоколи безпеки для захисту особистих або конфіденційних даних, які збирають або обробляють роботи. Дані споживачів слід збирати лише за явною згодою користувачів або клієнтів, і компанії повинні гарантувати, що дані надійно зберігаються та обробляються відповідно до галузевих стандартів. Крім того, слід розробити більш суворі правила, які гарантуватимуть, що споживачі зможуть контролювати свої дані та можуть вимагати їх видалення, якщо бажають.

Роботи також змінюють соціальні стосунки між людьми та машинами, процес, відомий як соціальна робототехніка, який піднімає низку етичних питань про те, як найкраще регулювати взаємодію робот-людина. Хоча існують способи обмежити потенційну шкоду від роботизованих пристроїв, таких як озброєні безпілотні літальні апарати або безпілотні автомобілі, все ще залишається багато невизначеності щодо відповідних етичних питань, а також найкращих способів забезпечити відповідальне використання роботів у суспільстві.

## **1.5. Переваги використання роботів**

Можна виділити наступні переваги використання роботів:

1. Підвищення якості продукції. Роботи відрізняються високою точністю та продуктивністю, тому здатні виготовляти продукти відмінної якості. Пристрої можуть виконувати роботу навіть якщо вона вимагатиме монотонності чи серйозних зусиль.

2. Мінімізація браку. Роботи здатні працювати невпинно, щоб збільшити кількість продукції, що виробляється. Датчики руху та системи технічного зору дозволяють звести до мінімуму кількість браку.

3. Точність та повторюваність обробки. Роботи здатні виконувати завдання, які не підвладні людині.

4. Скорочення витрат. Завдяки використанню робототехніки скорочуються витрати на зарплату співробітникам, виплату компенсації та допомоги, а також страхування життя.

5. Зменшення ризиків травматизму та поранень. Роботи, на відміну людей, можуть працювати у небезпечних зонах.

## **1.6. Недоліки роботизації**

Крім підвищення продуктивності праці та скорочення витрат, роботизація має і негативні наслідки. Серед них:

1. Зростання безробіття. Оскільки більшість посад займатимуть роботи, фахівці залишаться без роботи. Ручна праця заміниться штучним інтелектом, що спричинить різке скорочення кадрів повсюдно.

2. Залежність від чіткої комп'ютерної системи. Якість та ефективність роботизації залежить від того, наскільки чітко будуть запрограмовані роботи на певні завдання. У майбутньому збій або зміна програми можуть призвести до зупинки роботи.

3. Складне керування в екстремальних ситуаціях. У разі поломки, стрибків напруги або інших непередбачених ситуацій буде складно швидко відновити робочий процес. Доведеться зупинити виробництво чи використовувати людські ресурси.

4. Складнощі при диверсифікації. Більшість роботів здатні виконувати трохи більше 1-2 операцій одночасно.

5. Неможливість застосування у творчості. Штучному інтелекту не можна довіряти самостійну розробку продукту чи інше завдання, що потребує творчого підходу.

### **1.7. Майбутнє роботів і суспільства**

Автоматизація та штучний інтелект революціонізують галузі та створюють нові можливості для економічного зростання. Але при дослідженні потенційних наслідків для майбутнього роботів у суспільстві необхідно враховувати вплив на працевлаштування та навички, економіку, суспільство, нормативні рамки, практичне застосування та соціальне визнання.

Досягнення робототехніки швидко впроваджуються в багатьох галузях промисловості, включаючи виробництво, охорону здоров'я, транспорт, готельний бізнес, роздрібні послуги та виробництво продуктів харчування. Штучний інтелект все частіше використовується для автоматизації таких процесів, як обслуговування клієнтів і управління запасами. Наслідки цього далекосяжні: не тільки деякі працівники можуть бути витіснені роботами, оскільки компанії замінять людську працю автоматизованими системами, але це також ставить питання про те, чи знадобляться працівникам нові навички, щоб залишатися конкурентоспроможними на все більш автоматизованому ринку праці. .

З одного боку, автоматизація може підвищити ефективність виробництва, що може призвести до збільшення норми прибутку для бізнесу, але це також може означати, що деякі роботи застаріють або зроблять працівників уразливими під час рецесії, коли компанії можуть вибрати більші інвестиції в робототехніку

замість того, щоб продовжувати роботу. Ще один аспект – виплати зарплати або заробітної плати. Це потенційно може створити нерівність між тими, хто має доступ до технологій робототехніки, і тими, хто його не має, що призведе до нерівності в доходах, яка може позитивно чи негативно вплинути на наше суспільство залежно від того, як уряд вирішить з цим боротися.

Таким чином проаналізовано особливості застосування робототехнічних систем у різних галузях. Визначені базові можливості і обмеження при використанні роботів.

Відмічено необхідність запровадження протоколів безпеки для захисту особистих або конфіденційних даних, які збирають або обробляють роботи. Крім того, необхідні ґрунтовні розробки для забезпечення контролю споживачами своїх даних.

Встановлено що соціальна робототехніка вносить певну зміну в соціальних стосунки між людьми та машинами, що вимагає вирішення низки етичних питань про взаємодію робот-людина.

Визначені переваги і недоліки автоматизації і роботизації.

## РОЗДІЛ 2

# ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В СУЧАСНІЙ РОБОТОТЕХНІЦІ

### 2.1. Поняття «Робот» та їх класифікація

Комп'ютерний зір – це область дослідження, яка дозволяє комп'ютерам відтворювати зорову систему людини [14]. Системи комп'ютерного зору революціонізують виробництво та автоматизацію, покращуючи якість продукції та забезпечуючи більшу ефективність і безпеку.

Впроваджуючи системи комп'ютерного зору, виробники можуть зменшити людські помилки та автоматизувати завдання, покращити якість продукції та збільшити швидкість виробництва. Крім того, їх можна використовувати для моніторингу виробничої лінії, виявлення дефектів і забезпечення належного дотримання протоколів безпеки.

Системи комп'ютерного зору аналізують та інтерпретують цифрові зображення чи відео для отримання інформації. Вони використовують алгоритми та інші методи, що дозволяє їм розпізнавати предмети, розуміти сцени та відстежувати об'єкти, серед іншого.

Вихідні дані системи комп'ютерного зору можна використовувати для різних застосувань, таких як управління роботами, ідентифікація об'єктів для перевірки, підрахунок і вимірювання частин, а також моніторинг і контроль промислових процесів.

Кафедра АКСУ				ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА			
Виконала	Жовтенко А.А.			РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В СУЧАСНІЙ РОБОТОТЕХНІЦІ			Аркушів
Керівник	Кирпач Л.А.						60
Н-кнтр.	Дивнич М.П.				СУ-313Б/стн		
Зав.каф.	Мельник Ю.В.						



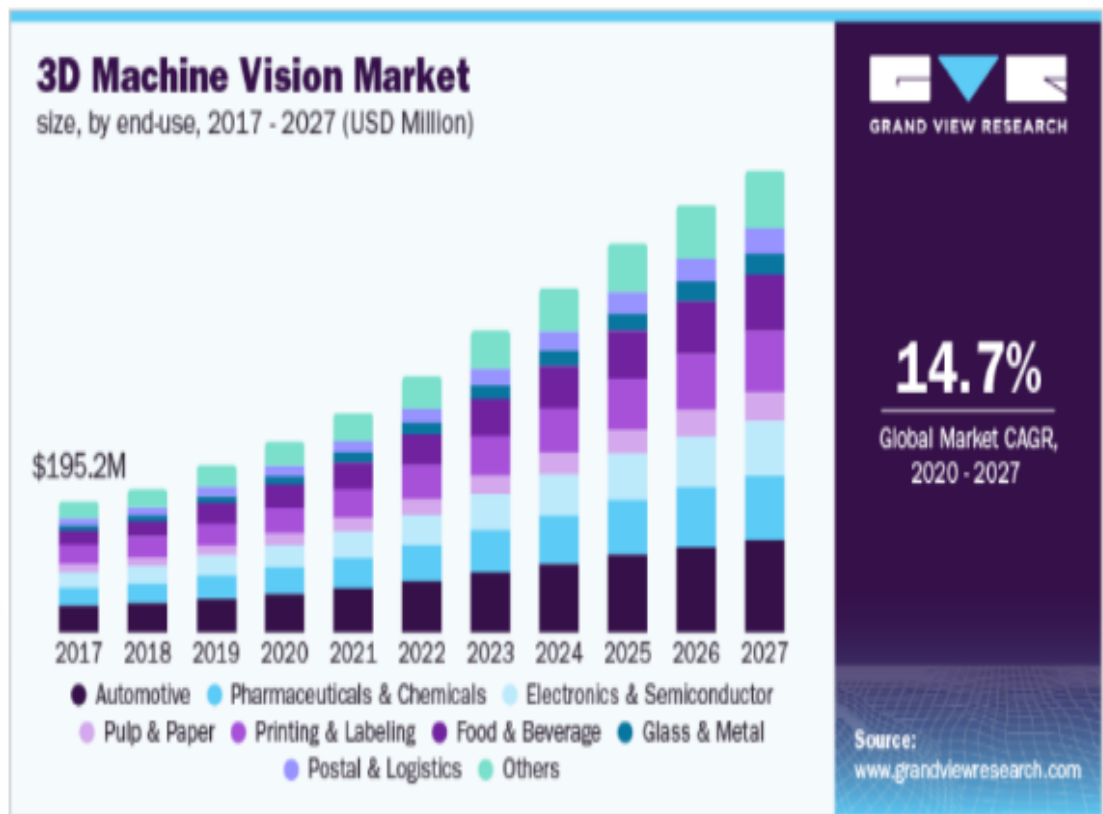


Рис.2.1. Grand View Research [14]

Глобальний ринок 3D-технічного зору з кожним роком стає все більш популярнішим, і завдяки зростаючому попиту на перевірку якості та автоматизацію в різних галузях промисловості в 2027 році досягне 3,46 млрд. доларів [14]

Завдяки комп'ютерному зору роботи можуть виконувати більш складні завдання з більшою точністю, що призводить до підвищення безпеки, ефективності та продуктивності.

## 2.2. Застосування систем комп'ютерного зору у виробництві та автоматизації промисловості

Комп'ютерний зір у виробничій промисловості дуже корисний, оскільки, на відміну від людських очей, комп'ютери не втомлюються. Їм надається безліч ролей, наприклад [3]:

- Автоматизоване складання.
- 3D-моніторинг зору.
- Перевірка якості (виявлення аномалій).
- Безпека (відстеження об'єктів).
- Прогнозне обслуговування.
- Тощо

Промислові системи технічного зору представляють майбутнє розумного автоматизованого виробництва, оскільки, комп'ютерний зір можна використовувати для безконтактного вимірювання та виявлення невидимих елементів і працює він безперервно 24 години на добу, навіть у складних умовах роботи.

Розробка компонентів системи технічного зору, включаючи датчики зору та базове програмне забезпечення для зору, часто вимагає значних інвестиційних витрат.

### **2.3. Система двовимірного технічного зору**

Програми 2D не є проблематичними і роками досить широко використовуються в різних галузях промисловості для перевірки, вимірювання та контролю якості. Ці програми покладаються на відносно прості алгоритми штучного інтелекту (AI), які аналізують зображення та виявляють об'єкти на основі їхніх фізичних характеристик (форми, розміру, контуру).

Система двовимірного технічного зору обробляє плоске двовимірне зображення цільового об'єкта без інформації про висоту чи глибину. Це робить його обмеженим у додатках, де інформація про форму має вирішальне значення, але воно широко використовується в багатьох завданнях (перевірка функцій, перевірка розмірів, зчитування штрих-кодів, розпізнавання символів, перевірка міток, спостереження, відстеження об'єктів і виявлення присутності). Алгоритми, які використовуються в системах двовимірного зображення, ефективні для

базових завдань інспекції, але мають обмеження, коли мова йде про більш складні завдання, які вимагають глибшого розуміння об'єктів у трьох вимірах.

Технічно 2D може сприймати 3D за допомогою спеціальних методів, таких як кілька камер і лазерів. Хоча навіть із кількома камерами система покладається на взаємне розташування та орієнтацію камер для точного обчислення інформації про глибину.

Система двовимірного технічного зору має деякі недоліки, особливо для відстеження на основі моделі в дуже чутливих до світла середовищах. 2D найкраще працює з текстурованими об'єктами, потребує точного калібрування та потребує потужної апаратної платформи для досягнення гідної частоти кадрів.

#### **2.4. Система тривимірного технічного зору**

Алгоритми як 2D, так і 3D є складними, але 3D-дані легше використовувати, коли вони базуються на 3D-моделях для аналізу. Це робить програми 3D-сканування, контролю якості та відстеження на основі моделі більш ефективними, коли 3D-дані використовуються як вхідні дані. Результатом є швидша та точніша система зору, яку можна використовувати для оптимізації виробничих процесів, покращення контролю якості та досягнення кращих результатів у різноманітних галузях, особливо автоматизації. Системи 3D-огляду аналізують та інтерпретують тривимірні дані, такі як хмари точок, 3D-моделі або стереозображення. Ці системи використовують алгоритми та методи комп'ютерного зору для аналізу та вилучення інформації з 3D-даних.

Лазерна тріангуляція є одним із найпоширеніших методів 3D технічного зору. Він використовує активне джерело світла та камеру під кутом. Лазерний промінь проектується по лінії поперечного перерізу та відхиляється формою об'єкта, забезпечуючи більш детальний профіль (рис. 2.2).

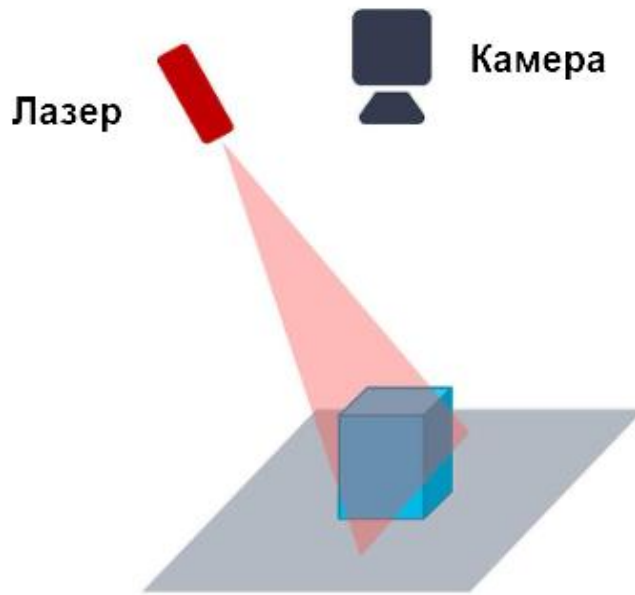


Рис.2.2. Метод лазерної тріангуляції

Стереозйомка – метод, який використовує дві камери, розташовані в різних положеннях, для захоплення зображень одного об'єкта [1]. Порівнюючи зображення, зроблені кожною камерою, система технічного зору може обчислити глибину та форму об'єкта (рис. 2.3). Цей метод частіше використовується для таких програм, як виявлення перешкод, автономна навігація та управління роботом.

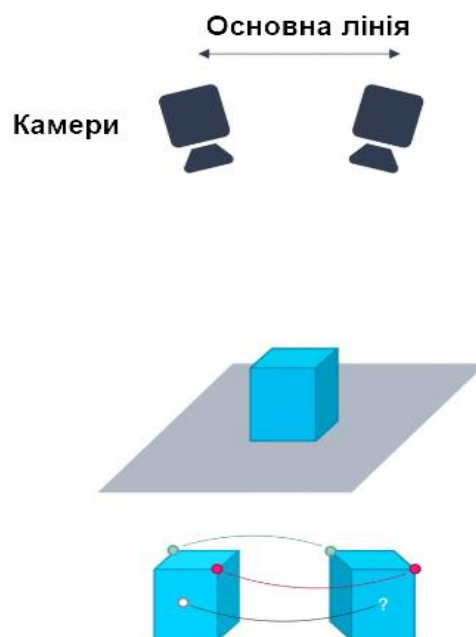


Рис.2.3. Метод стереозйомки

Структуроване світло – це техніка, яка працює шляхом проектування візерунка світла на об’єкт, який розглядається. Це схоже на лазерну триангуляцію, але замість використання одного променя, воно використовує ціле поле. Камера фіксує спотворений візерунок і аналізує його, тому система технічного зору може визначити форму та глибину об’єкта, виявляючи геометричні спотворення (рис. 2.4).

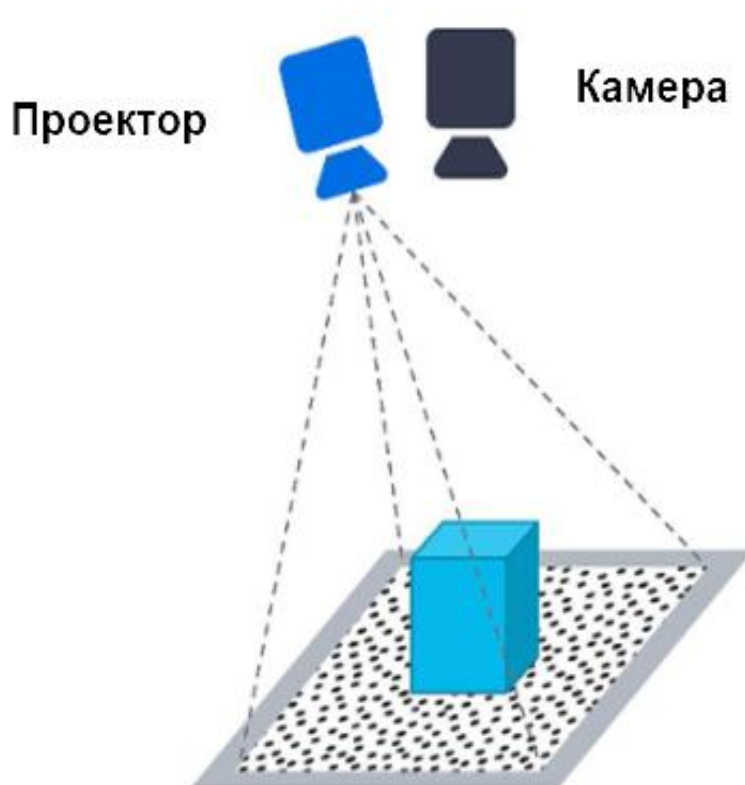


Рис.2.4. Техніка структурованого світла

Кожен із цих методів можна використовувати для отримання 3D-даних різної точності та якості залежно від конкретного застосування. Вони не є кращими чи гіршими, вони взаємозамінні залежно від місії, покладеної на роботу. 3D можна використовувати в темряві, тоді як на 2D впливатиме будь-яка незначна зміна освітлення. Сприйняття глибини – за допомогою якого захоплення чогось стає можливим, і тому може бути дуже корисним для вибору місій.

## **2.5. Алгоритми, які аналізують та інтерпретують підібрані 3D-дані**

Алгоритми спеціально розроблені для інтерпретації згенерованих 3D-даних, зокрема даних, отриманих за допомогою SLAM (одночасна локалізація та відображення) і технологій 3D-реконструкції.

Цей тип даних надає цінну інформацію про фізичне середовище та його особливості, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення на основі зібраних даних. Ці алгоритми можна використовувати в широкому діапазоні додатків, від створення детальних 3D-моделей фізичних об'єктів до надання досвіду доповненої реальності.

Що стосується бібліотек програмування – попередньо написані фрагменти коду, які розробники можуть використовувати для легшого створення програм, OpenCV (бібліотека комп'ютерного зору з відкритим вихідним кодом, призначена для ефективності обчислень і зосереджена на програмах реального часу). Вона, більш широко використовується в промисловій автоматизації і є одною з найбільш широко використовуваних у 3D-баченні.

Коли справа доходить до створення інтелектуальних даних для допомоги в конкретних процесах, пов'язаних з автоматизацією, існує безліч варіантів, і рішення в кінцевому підсумку приймаються з урахуванням конкретного результату.

## **2.6. Алгоритми виявлення об'єктів і сегментації зображення**

Алгоритм комп'ютерного зору – це набір інструкцій, які комп'ютер використовує для інтерпретації та розуміння візуальних даних із навколишнього світу [1]. Ці алгоритми використовуються для аналізу та обробки зображень і відео та можуть використовуватися для широкого спектру програм, таких як розпізнавання об'єктів, класифікація зображень, розпізнавання облич і відстеження відео.

### 1. SIFT.

Алгоритм Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) – це алгоритм комп'ютерного зору, який використовується для ідентифікації та зіставлення локальних особливостей, таких як кути або краплі, на зображеннях. Вперше він був описаний у статті Девіда Лоу в 1999 році. Алгоритм SIFT інваріантний до масштабу та обертання зображення [16].

SIFT широко використовується в програмах зіставлення зображень, розпізнавання об'єктів і реєстрації зображень. Однак його використання обмежене через його патент Університету Британської Колумбії.

### 2. SURF.

Алгоритм Speeded Up Robust Features (SURF) – це метод виявлення й опису функцій для зображень. Надійний і швидкий алгоритм, який часто використовується в програмах комп'ютерного зору, таких як розпізнавання об'єктів і реєстрація зображень.

SURF вважається «прискореною» версією алгоритму SIFT. Його обчислювальна ефективність робить його більш корисним, ніж SIFT, для програм реального часу [17].

### 3. Viola-Jones.

Viola-Jones – це алгоритм комп'ютерного зору для виявлення об'єктів, зокрема для виявлення облич на зображеннях. Він був розроблений Полом Віолою та Майклом Джонсом у 2001 році [11]. Алгоритм використовує техніку під назвою «інтегральне зображення», яка дозволяє швидко обчислювати риси Хаара, які використовуються для зіставлення рис типових людських облич.

Алгоритм також використовує «каскадні класифікатори», які представляють собою групу ознак, подібних до Хаара, щоб робити прогнози про те, чи присутні обличчя на зображенні. Алгоритм Віоли-Джонса особливо ефективний і широко використовується в багатьох програмах, таких як системи безпеки, позначення фотографій, де обчислювальна потужність обмежена [10].

#### 4. Власні грані

Eigenfaces – алгоритм заснований на початку 1990х років на концепції власних векторів. Алгоритм спочатку виконує принципний компонентний аналіз (PCA) на великому наборі зображень обличчя, які потім використовуються як набір «власних граней» [7]. Основна ідея полягає в тому, що будь-яку грань можна представити як лінійну комбінацію цих власних граней, а коефіцієнти лінійної комбінації можна використовувати як унікальний вектор ознак для грані.

#### 5. Гістограма орієнтованих градієнтів (HOG)

HOG – це дескриптор ознак, який використовується в комп'ютерному зорі для виявлення об'єктів [2]. Він використовується в комп'ютерному зорі для виявлення об'єктів. Використовується для представлення форми об'єкта шляхом кодування розподілу градієнтів інтенсивності або напрямків країв у зображенні.

Основна ідея HOG полягає в тому, щоб розділити зображення на невеликі з'єднані області, які називаються комірками, зазвичай  $8 \times 8$  пікселів, а потім обчислити гістограму орієнтації градієнта для кожної комірки. Потім гістограми для всіх комірок на зображенні об'єднуються, щоб створити вектор ознак для всього зображення. Цей вектор функцій фіксує інформацію про форму та текстуру об'єкта, яку потім можна використовувати як вхідні дані для алгоритму машинного навчання для виявлення об'єктів [2].

#### 6. YOLO

YOLO (You Only Look Once) – це алгоритм комп'ютерного зору, який використовується для виявлення об'єктів на зображеннях і відео. Він може обробляти зображення та робити прогнози щодо об'єктів у них за один прохід, а не вимагати кількох проходів через зображення, як у випадку з іншими алгоритмами виявлення об'єктів.

YOLO використовує згортову нейронну мережу (CNN) для аналізу зображення та прогнозування об'єктів у ньому [20]. Він ділить зображення на сітку клітинок. Якщо центр об'єкта потрапляє в клітинку сітки, то ця клітинка відповідає за виявлення цього об'єкта. Кожна комірка сітки прогнозує фіксовану



кількість обмежувальних рамок і виробляє оцінки достовірності для цих рамок. Це дозволяє YOLO робити прогнози щодо кількох об'єктів на одному зображенні.

## 7. ResNet

ResNet (Residual Network) – це архітектура глибокої згорткової нейронної мережі, розроблена дослідниками з Microsoft в 2015 році [19]. Вона відома своєю продуктивністю в задачах класифікації зображень для виявлення об'єктів.

Ключовим нововведенням у ResNet є використання «залишкових зв'язків» між шарами. Це дозволяє мережі краще справлятися з проблемою зникнення градієнта, яка є загальною проблемою в дуже глибоких нейронних мережах.

## 8. Оптимізація розрізу графіка

Алгоритми вирізання графіка найчастіше використовуються в сегментації зображення, щоб розділити зображення на кілька областей або сегментів на основі кольору або текстури.

Спочатку на основі вхідного зображення будується мережевий потоковий графік. Алгоритм розрізання графа – це метод поділу графа на два або більше наборів вершин (також званих вузлами) [9]. Мета полягає в тому, щоб мінімізувати кількість ребер, які потрібно вирізати, забезпечуючи при цьому, щоб вершини в кожній підмножині задовольняли певні умови.

## 9. Адаптивне порогове визначення зображення

Адаптивне порогове значення може сегментувати зображення, встановлюючи для всіх пікселів, значення інтенсивності яких перевищують порогове значення, значення переднього плану, а для всіх решти пікселів – значення фону [10]. Основна ідея адаптивного порогового значення полягає у використанні різних порогових значень для різних областей зображення замість використання глобального порогового значення для всього зображення. Це дозволяє алгоритму враховувати варіації в освітленні та текстурі зображення та створювати точніше двійкове представлення зображення.

## 10. Алгоритми оцінки руху

Ці алгоритми відстежують переміщення об'єкта у відео або послідовності зображень.

## 11. Лукас-Канаде

Алгоритм Лукаса-Канаде – це широко використовуваний метод оцінки оптичного потоку, який є процесом пошуку попиксельних рухів між послідовними зображеннями [6]. Алгоритм базується на припущенні, що оптичний потік у локальній околиці пікселів на зображенні є постійним. Він використовує припущення про постійність яскравості, тобто пікселі на зображенні можуть рухатися, але їх яскравість не може змінюватися.

Алгоритм Лукаса-Канаде оцінює зсув околиці, розглядаючи зміни інтенсивності пікселів. Такі зміни можна пояснити відомими градієнтами інтенсивності зображення в цьому околиці. Лукас-Канаде використовує оцінку найменших квадратів, щоб знайти оптичний потік усіх пікселів навколо.

## 12. Фільтр Калмана

Фільтр Калмана – це математичний алгоритм, який зазвичай використовується для оцінки стану системи на основі серії шумових вимірювань [18]. Це рекурсивний алгоритм, який використовує комбінацію прогнозів і вимірювань для оцінки стану системи в будь-який момент часу. Потім ці прогнози порівнюються з новими вимірюваннями, і алгоритм використовує процес під назвою «оновлення», щоб уточнити свої оцінки.

Фільтри Калмана зазвичай використовуються в програмах комп'ютерного зору, зокрема для завдань відстеження об'єктів. Алгоритми відстеження об'єктів малюють обмежувальну рамку через певні об'єкти на зображенні та намагаються точно перемалювати цю обмежувальну рамку в наступних кадрах, коли об'єкт рухається. Фільтри Калмана можна використовувати для прогнозування поточного та майбутнього положення об'єкта, навіть якщо він прихований перешкодами (відомі як оклюзія).

## 13. Алгоритм середнього зсуву

Алгоритм середнього зсуву – це непараметричний метод кластеризації на основі щільності для пошуку областей із модами високої щільності у наборі даних [15]. Кожному пікселю спочатку призначається початкове середнє значення, яким є сам. Алгоритм ітеративно розміщує вікно навколо початкового середнього

значення та обчислює нове середнє значення усіх точок в цьому вікні. Цей процес повторюється до тих пір, поки позиція середнього не перестане суттєво змінюватися. Алгоритм середнього зсуву можна розширити, щоб класифікувати точки даних у різні кластери на основі їх кінцевих позицій.

#### 14. Реконструкція зображення

Алгоритми реконструкції зображень використовуються для перетворення зображень у різні стилі, заповнення відсутніх елементів, підвищення роздільної здатності зображень нижчої якості або створення нових зображень на основі подібних вхідних даних. Популярний алгоритм реконструкції зображення - автокодер.

Автокодери – це тип штучної нейронної мережі, яка використовується для неконтрольованого навчання. Вони складаються з кодера та декодера, де кодер відображає вхідні дані на нижчевимірне представлення (також відоме як прихований простір або вузьке місце), а декодер відображає нижчевимірне представлення назад на вихід.

Основна мета автокодерів - навчитися компактному представленню даних, які потім можна використовувати для різних завдань, таких як зменшення розмірності, виявлення аномалій і генерування нових зразків даних. Автокодери можна навчити за допомогою різних функцій втрати. Прикладом є втрати при реконструкції, які вимірюють різницю між входом і реконструйованим виходом.

Таким чином проаналізовано застосування систем комп'ютерного зору у виробництві та автоматизації промисловості.

Встановлено що систему двовимірного технічного зору бажано не використовувати для відстеження в дуже чутливих до світла середовищах. Система найкраще працює з текстурованими об'єктами, потребує точного калібрування та потужної апаратної платформи для досягнення прийнятної частоти кадрів.

Технічні системи стерео зору можна використовувати в темряві, тоді як 2D системи чутливі до змін освітлення. Сприйняття глибини такими стерео системами є важливим б багатьох галузях.

Проаналізовано особливості і галузі застосування алгоритмів комп'ютерного зору. Ці алгоритми використовуються для аналізу та обробки зображень і відео та можуть використовуватися для широкого спектру програм, таких як розпізнавання об'єктів, класифікація зображень, розпізнавання обличчя і відстеження відео.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЗИЦІЇ ОБ'ЄКТУ

Системи комп'ютерного зору останнім часом знаходять застосування в різних сферах людської діяльності. Не виняток і сільське господарство. Зокрема, Вже досить довгий час розробляються різні методи автоматизованого збирання врожаю.

Впровадження сільськогосподарських роботів, оснащених системами комп'ютерного зору, які нерідко також називаються «системами технічного зору» (СТЗ), що може суттєво підвищити продуктивність та рентабельність галузі, зменшити собівартість виробництва продукції. Застосування роботів у сільському господарстві дозволяє звільнити людину від виконання ряду монотонних виробничих операцій; скоротити втрати робочого часу, пов'язані з помилками персоналу, а у разі використання роботи технічних систем у теплицях – знизити ймовірність їх забруднення грибками та мікроорганізмами [11].

Велику роль в ефективності впровадження роботизованих технологій відіграє збільшення точності та надійності застосовуваних методів та технічних засобів, здешевлення апаратної частини.

Розраховано та спроектовано модуль позиціонування роботи технічного маніпулятора зі СТЗ для збирання томатів.

Кафедра АКСУ				ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА			
Виконала	Жовтенко А.			РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЗИЦІЙ ОБ'ЄКТУ			Аркушів
Керівник	Кирпач Л.А.						60
Н-кнтр.	Дивнич М.П.						
Зав.каф.	Мельник Ю.В.						СУ-313Б/стн

### 3.1 Загальна концепція та особливості розробки

Метою дослідження є оцінка можливості застосування методів визначення позиції захоплюючого об'єкта з використанням СТЗ та бібліотек з відкритим кодом; пошук шляхів підвищення точності визначення необхідних характеристик об'єктів, у тому числі їх координат.

Концепцію роботизованого збору врожаю за допомогою мобільних роботів, оснащених маніпуляторами представлено на рис. 3.1.

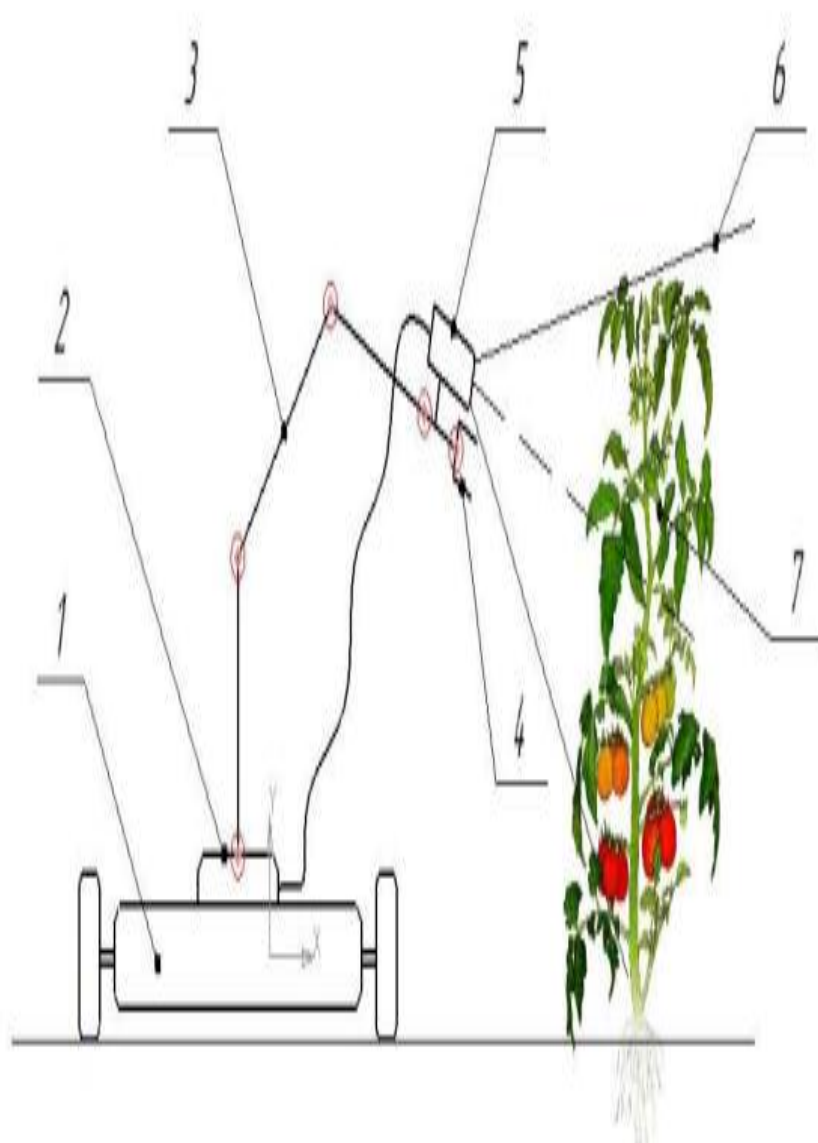


Рис.3.1. Роботизований збір врожаю

На рис.3.1. показано:

- 1 – мобільну робототехнічну платформу
- 2 – блок управління
- 3 – маніпулятор
- 4 – обладнання захоплення предметів
- 5 – СТЗ
- 6 – відеокамера і далекомір з певним кутом огляду
- 7 – об'єкт, де відбуватиметься захоплення

За допомогою цього роботу розглянуто управління мобільною роботизованою платформою, увагу зосереджено на управлінні маніпулятором з допомогою системи комп'ютерного зору. В роботі розглянуто:

- точне визначення позицій плодів;
- траєкторне керування переміщенням схоплення маніпулятора;

Експерименти щодо застосування системи комп'ютерного зору для керування маніпулятором проводилися на базі роботизованого навчального осередку KUKA [5]. Навчальний осередок на базі KUKA KR3 AGILUS (рис. 3.2) є маніпулятор з 6-ма ступенями свободи та контролером управління.



Рис.3.2. Зовнішній вигляд роботизованого осередку KUKA

Пристрій включає в себе мобільну основу із захисним екраном та додатковою тренувальною оснасткою в комплекті. Стільниця мобільної основи містить спеціальну розмітку для відпрацювання вправ.

Структурна схема розробленої системи представлена на рис. 3.3.





Рис.3.3 – Структурна схема комплексу із СТЗ

Закріплення відеокамери проводилося з використанням спеціально спроектованого та роздрукованого на 3D-принтері утримувача.

Оскільки зовнішнє середовище, в якому працює маніпулятор тривимірне, то і сенсорне забезпечення систем управління повинно надавати 3D-інформацію про ці середовища та окремі об'єкти. Існують три основні способи отримання інформації про тривимірне середовище:

1. На основі двовимірного образу по видимому взаємному розташуванню окремих об'єктів дається оцінка третьої координати. Такі системи одержали назву 2,5-мірні (2,5D).

2. Монокулярна СТЗ доповнюється будь-яким далекоміром, який визначає третю координату – дальність (відстань) до об'єкта.

3. Стерео СТЗ, що містить дві відеокамери, рознесені на певну відстань (базу) у площині, перпендикулярній третій координаті – дальності до об'єкта.

Спосіб першої оцінки глибини середовища - найпростіший. Він ґрунтується на використанні наступних прийомів:

- оцінка відстані до предмета на основі знання його розмірів;

- використання при накладанні зображень непрозорих об'єктів один на одного того очевидного факту, що предмет, що закриває інший предмет, знаходиться ближчим.

- використання ефекту перспективи, що полягає у візуальному зближенні двох паралельних ліній, що віддаляються;

- аналіз світлових ефектів тіней від об'єктів, відблисків тощо.

Метод 2 – це комплексування, тобто, коли третя координата визначається не СТЗ, а іншою системою.

Спосіб 3 – стереосистеми. Дві відеокамери, розташовані на певну відстань, які дозволяють сформувати тривимірне зображення видимої сцени. Кількісна оцінка дальності до окремих об'єктів може бути визначена як висота трикутника, утвореного базою та напрямками від кожної камери на цей об'єкт. Для цього треба знати лише кут між цими напрямками.

За результатами аналізу цих трьох способів була обрана монокулярна СТЗ.

Для аналізу зображення з метою визначення координат та розмірів об'єктів на ньому може використовуватись, наприклад, функція  $M(x, y)$ , яка обчислює моменти зображення з точністю до 3-го порядку векторної чи растрової форми. Моменти зображення у комп'ютерному зорі, обробці зображень і суміжних областях – це окремі середньозважені значення інтенсивностей пікселів зображення, або функції таких значень. [4].

У загальному сенсі момент функції – це якась скалярна величина, яка характеризує цю функцію і може бути використана для артикуляції її важливих властивостей. З математичної погляду набір моментів  $M$  є у сенсі «проекцією» функції на поліноміальний базис. Він аналогічний перетворенню Фур'є, яке є проекцією функції на базис з гармонійних функцій [4].

У разі растрового зображення просторові моменти обчислюються:

### 3.1

де  $i$  – порядок зведення у ступінь відповідного параметра під час підсумовування,  $n$  – число пікселів контуру;  $f(x, y)$  - значення функції інтенсивності в точці

Центральні моменти розраховуються як: [4]

3.2

Де  $x_c$  та  $y_c$  – координати центра маси

— 3.3

— 3.4

де  $L_x$  дорівнює довжині всіх пікселів контуру

$L_x$  дорівнюють просторовим моментам при  $i=0$ ;  $i=1$

відповідно.

Нормалізовані центральні моменти розраховуються як: [4]

— 3.5

### 3.2. Апробація виконаної розробки

Для обґрунтування можливості використання системи в реальних умовах було апробовано програму визначення меж плодів томатів та координат їх центрів на зображеннях роздільною здатністю 800 на 600 пікселів, отриманих з працюючої теплиці (фрагменти програми представлені на рис. 3.4-3.8). Результати представлені на рис. 3.9.

```

1 import cv2
2 import numpy as np
3 import math
4
5 template_vector=np.array([0.16953268, 0.9532099, 0, 0.01245409, 1, 0.10313678])
6 distance_thresh=0.1
7
8 img = cv2.imread("Samples/objects.jpg")
9 gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
10 thresh = 100
11
12 def polar_sort(item):
13     return item[0][0]
14
15 def get_normalized_vector(list):
16     arr=np.array(list)
17     return (arr-arr.min())/(arr.max()-arr.min())
18
19 відстань між двома елементами
20 def get_length(item1, item2):
21     _, point1 = item1
22     _, point2 = item2
23     x1, y1 = point1
24     x2, y2 = point2
25     dx=x1-x2
26     dy=y1-y2
27     r=math.sqrt(dx*dx+dy*dy)
28     return r
29
30 def get_polar_coordinates(x0,y0,x,y,xc,yc):
31     #Перша координата - радіус
32     dx=xc-x
33     dy=yc-y
34     r=math.sqrt(dx*dx+dy*dy)

```



Рис.3.4. Фрагмент коду програми

```

114     #Розраховуємо відстань
115     square = np.square(descr - template_vector)
116     sum_square = np.sum(square)
117     distance = np.sqrt(sum_square)
118     if distance < distance_thresh:
119         for i in range(1, size):
120             _, point1 = polar_coordinates[i - 1]
121             _, point2 = polar_coordinates[i]
122             x1, y1 = point1
123             x2, y2 = point2
124             cv2.line(img, (x1, y1), (x2, y2), (0,0,255), thickness=4)
125             _, point1 = polar_coordinates[size - 1]
126             _, point2 = polar_coordinates[0]
127             x1, y1 = point1
128             x2, y2 = point2
129             cv2.line(img, (x1, y1), (x2, y2), (0,0,255), thickness=size)
130
131
132     cv2.imshow('origin', img) # Виводимо підсумкове зображення у вікно
133
134     cv2.waitKey()
135     cv2.destroyAllWindows()

```

Рис.3.5. Фрагмент коду програми

В програмі введено критерій розміру (не має сенсу розглядати дуже малі об'єкти)

```

for sel_contour in contours:
    # calc arclen
    arclen = cv2.arcLength(sel_contour, True)
    if arclen < 20:
        continue

```

Рис.3.6. Фрагмент коду програми

У програмі контур по колу розділений на певну кількість секторів

```

count=100
full_angle=2*math.pi
i=1
end_angle = float(i) * full_angle / float(count)
summ=0.0
count_angles=0.0
signature=[]
for item_coord in polar_coord:
    angle,r=item_coord
    if angle>end_angle:
        signature.append((angle,summ/count_angles))
        i+=1
        end_angle = float(i) * full_angle / float(count)
        summ=0
        count_angles=0
    summ+=r
    count_angles+=1
signature.append((angle,summ/count_angles))
print(signature)

```

Рис.3.7. Фрагмент коду програми

```

import math
import matplotlib.pyplot as plt
import cv2
import numpy as np

from SignLib import custom_sort, get_center, get_beg_point, get_polar_coordinates_list, polar_to_d

img = cv2.imread("Samples/battery.jpg")
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
thresh = 100

#get threshold image
ret,thresh_img = cv2.threshold(gray, thresh, 255, cv2.THRESH_BINARY)

# find contours without approx
contours,_ = cv2.findContours(thresh_img,cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
contours=list(contours)
contours.sort(key=custom_sort)
sel_countour=contours[1]
xc,yc=get_center(sel_countour)
beg_point=get_beg_point(sel_countour,xc,yc)
polar_coord=get_polar_coordinates_list(sel_countour,xc,yc,beg_point)
count=100
full_angle=2*math.pi
i=1
end_angle = float(i) * full_angle / float(count)
summ=0.0
count_angles=0.0
signature=[]
for item_coord in polar_coord:
    angle,r=item_coord
    if angle>end_angle:
        signature.append((angle,summ/count_angles))
        i+=1
        end_angle = float(i) * full_angle / float(count)

```

Рис.3.8. Фрагмент коду програми

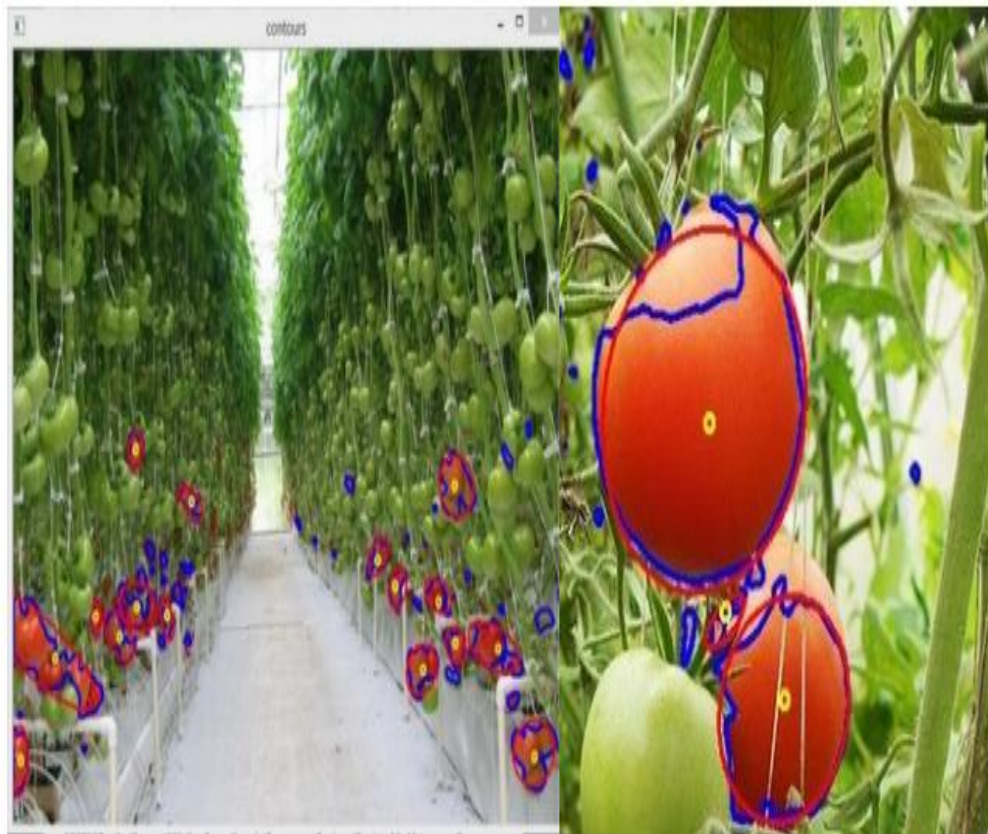


Рис.3.9. Перевірка роботи програмного забезпечення на фотографіях реальних тепличних комплексів

На рисунку синіми кривими позначені контури об'єктів, що виділяються на основі методики колірних фільтрів [3]. Жовтими кружками позначені центри мас зображень об'єктів. Червоний еліпс оточує лише плоди відповідного розміру, вказуючи роботу потенційні об'єкти для збирання.

Параметри колірного фільтра підбираються на підставі освітленості на конкретному об'єкті та вимог агрономів до стиглості плодів, що збираються. Завдання збору плодів вирішується розрахунком відстані захоплення маніпулятором, що дорівнює радіусу плода, до площини, що проходить через центр томату. Далі в роботу включається ультразвуковий датчик відстані та відбувається захоплення та зняття плоду.

Для підведення захоплення маніпулятора до центру плода вирішено зворотне позиційне завдання для шестиланкового маніпулятора.

Така кількість ланок є стандартною для промислових маніпуляторів. Дані маніпулятори добре зарекомендували себе для вирішення виробничих завдань,



мають високу надійність; стійкий до критичних умов експлуатації. При цьому шестиланкова конструкція забезпечує високу рухливість захоплення та виключення ушкоджень плодів під час виконання операцій збору.

Для оцінки похибки визначення координат центру об'єкта були виконані описані нижче геометричні побудови, що відображають помилку у визначенні координат центру плода при зміщенні камери щодо осьової лінії DE (рис. 3.10).

У цій геометричній інтерпретації використано такі параметри:  $h$ ,  $h'$ ,  $h''$ ,  $h'''$ ,  $h''''$  – висота схвату маніпулятора над об'єктом,  $z$  – зміщення об'єкта від нормальної лінії камери,  $f$  – фокус камери,  $r$  – розмір зображення на матриці камери,  $H$  – висота об'єкта.

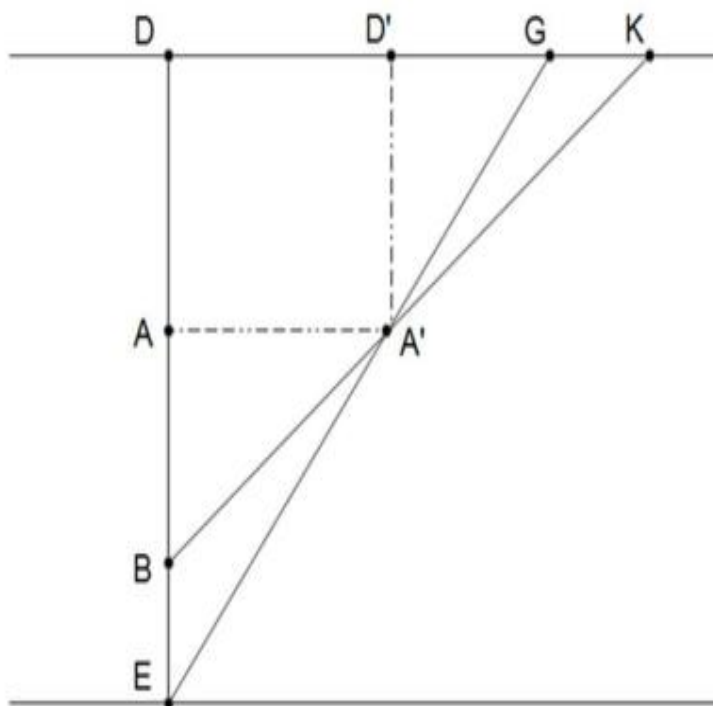


Рис.3.10. Геометрична інтерпретація висновку формули для обчислення похибки позиціонування захоплення

Вихідними даними для розрахунків були такі: розміри робочої зони роботизованого осередка, положення камери, фокусна відстань камери та розмір

об'єкта, що тестується. Зовнішній вигляд маніпулятора із закріпленою на ньому камерою та вид з камери показано на рис. 3.11



Рис.3.11. Захоплення об'єкта за допомогою маніпулятора (вид із камери)

Розрахунки похибки визначення координат із застосування СТЗ проводилися з використанням Mathcad15. Залежність зміни лінійного розміру бічної поверхні (наприклад ребра куба) зображення від висоти камери над об'єктом може бути описана формулою:

---

---

3.6

З урахуванням параметрів камери та геометричного розв'язання задачі (рис.3.5) було знайдено похибку визначення просторових координат, а потім побудовано графік її залежності від висоти схвату над об'єктом (рис. 3.12)

————— 3.7

Управління маніпулятором відбувається залежно від положення захоплення щодо центру плоду. Матриця , що визначає положення та орієнтацію захоплення, має вигляд:

$$3.8$$

де — матриці переходу від і до — системи координат маніпулятора.

Зворотньо-позиційну задачу, або обернену задачу про положення, формулюють наступним чином. При заданому положенні та орієнтації захоплення з використанням вектора або матриці знайти узагальнені координати [3].

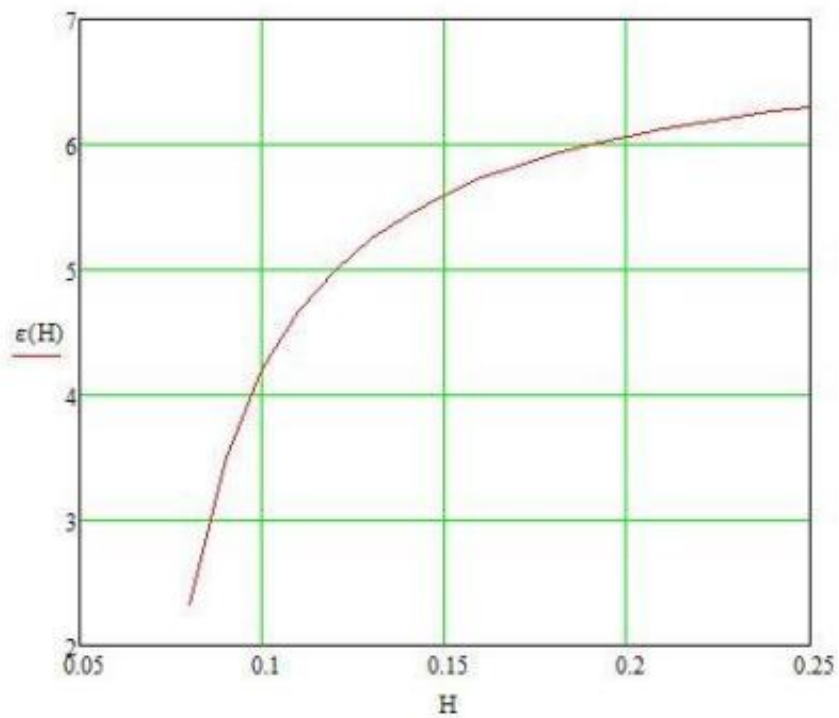


Рис. 3.12. Результати розрахунку похибки визначення координат центру плоду

Результати розрахунків з використанням Mathcad 15 були перевірені на роботизованому осередку KUKA. На рис. 3.11 представлені зображення об'єкта (червоний кубик) та його контури, що виділяються на основі колірних ознак.

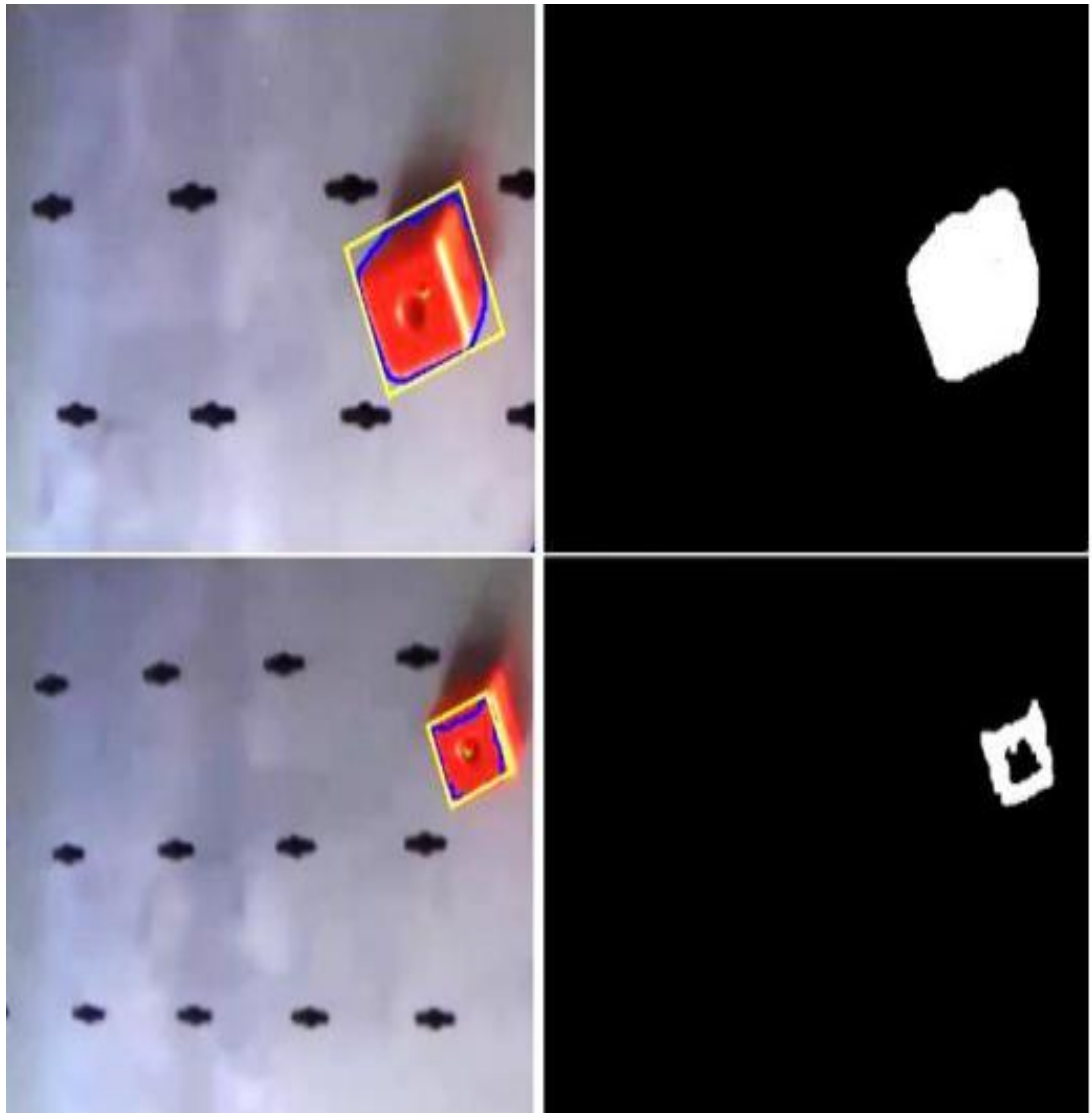


Рис.3.13. Захоплення зображення з відеокамери, розміщеної на маніпуляторі:

1. центр кубика визначається як центр мас зображення;
2. центр кубика визначається як точка перетину діагоналей верхньої сторони кубика

Маніпулятор з відеокамерою переміщається у просторі навчального осередку, зміщуючись «згори донизу» та «зліва направо» за проміжок часу близько 6 секунд (рис.3.13).

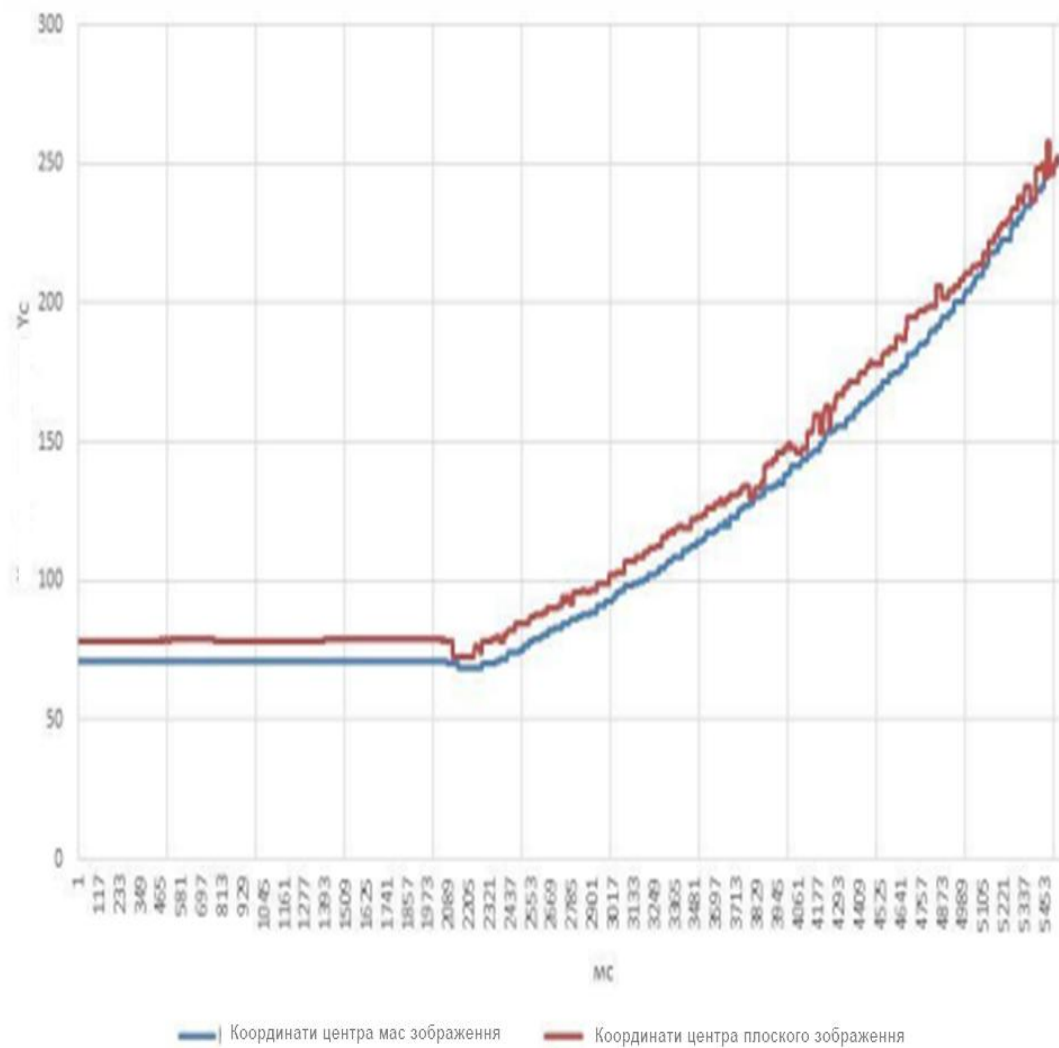


Рис.3.14. Зміна позиції захоплення маніпулятора з камерою

Було проаналізовано дані СТЗ, що містять координати центру кубика. Розраховано значення похибки у визначенні ординати (рис. 3.14). Експериментальні результати та функція залежності відносної помилки від висоти захоплення над об'єктом підтверджують теоретично розраховані значення.

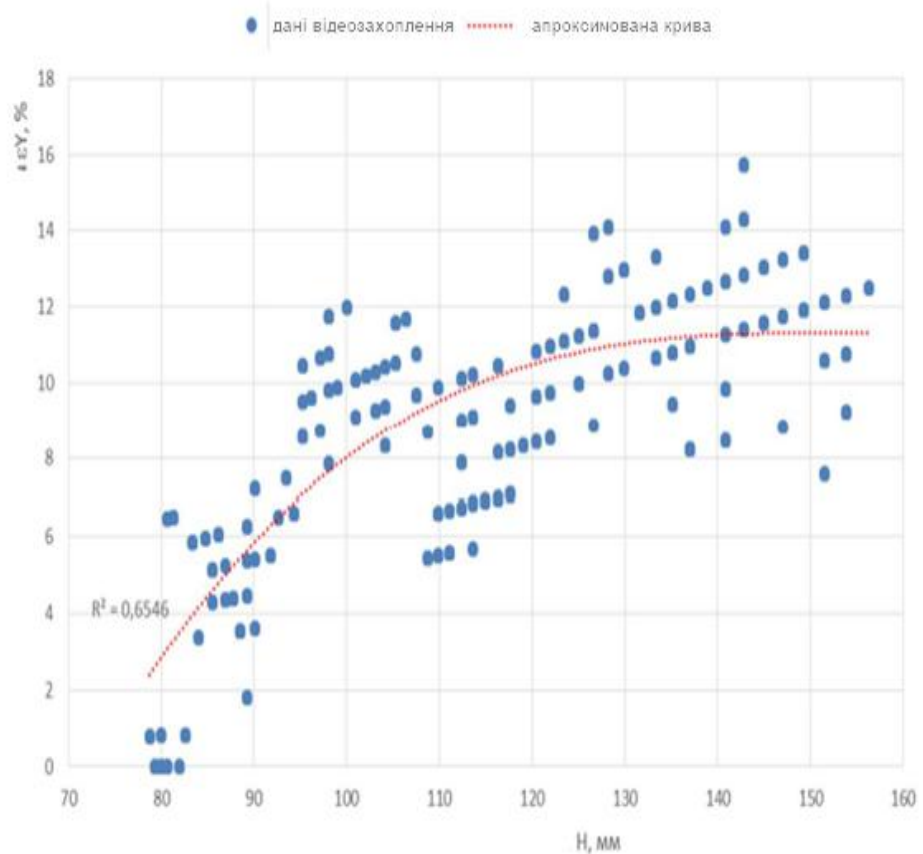


Рис.3.15. Результати визначення координат із використанням СТЗ

Точність позиціонування маніпулятора оцінюється його похибкою позиціонування [1,3], тобто, відхиленням фактичного положення вихідної ланки виконавчого механізму від значення, що встановилося (рис. 3.15).

Похибка позиціонування робота залежить від багатьох факторів: від точності обробки системою управління [3,1]:

- керованих узагальнених координат виконавчого механізму;
- точності обробки деталей конструкції;
- деформації ланок основного та передавального механізмів та інших факторів.

Практично важливою є задача розподілу помилки позиціонування, що зазвичай задається виконуваною технологічною операцією, на допустимі помилки відпрацювання приводами та системою управління (рис. 3.16). У разі модульних промислових роботів йдеться про призначення припустимих помилок позиціонування модулів. Це завдання є досить невизначеним, оскільки задану

точність позиціонування робота можна забезпечити, по-різному встановлюючи граничні помилки модулів.

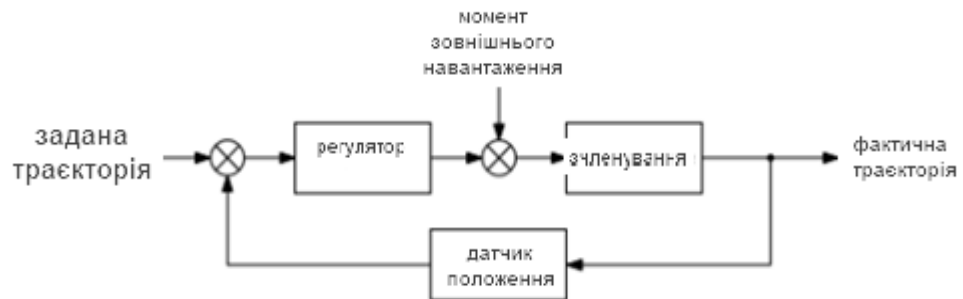


Рис.3.16. Загальна функціональна схема управління зчленуваннями ланок маніпулятора

Одне із рішень може бути побудоване на основі принципу рівного впливу помилок модулів на помилку позиціонування захоплення. Нехай величина граничної абсолютної похибки робота задана. Тоді:

—

Всі складові сумарної похибки позиціонування від помилок модулів мають бути рівними. Тоді:

— — — — —

Де  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  — помилки узагальнених координат, радіус-вектор довільної точки хватного пристрою

На основі отриманих результатів було розроблено програмний модуль позиціонування маніпулятора. Його блок-схема представлена на рис. 3.17.

У ній на вхід подаються значення координат центру плоду з урахуванням помилки та координати схвату робота; наважуються пряме та зворотне завдання кінематики маніпулятора з метою підведення схвату до плоду

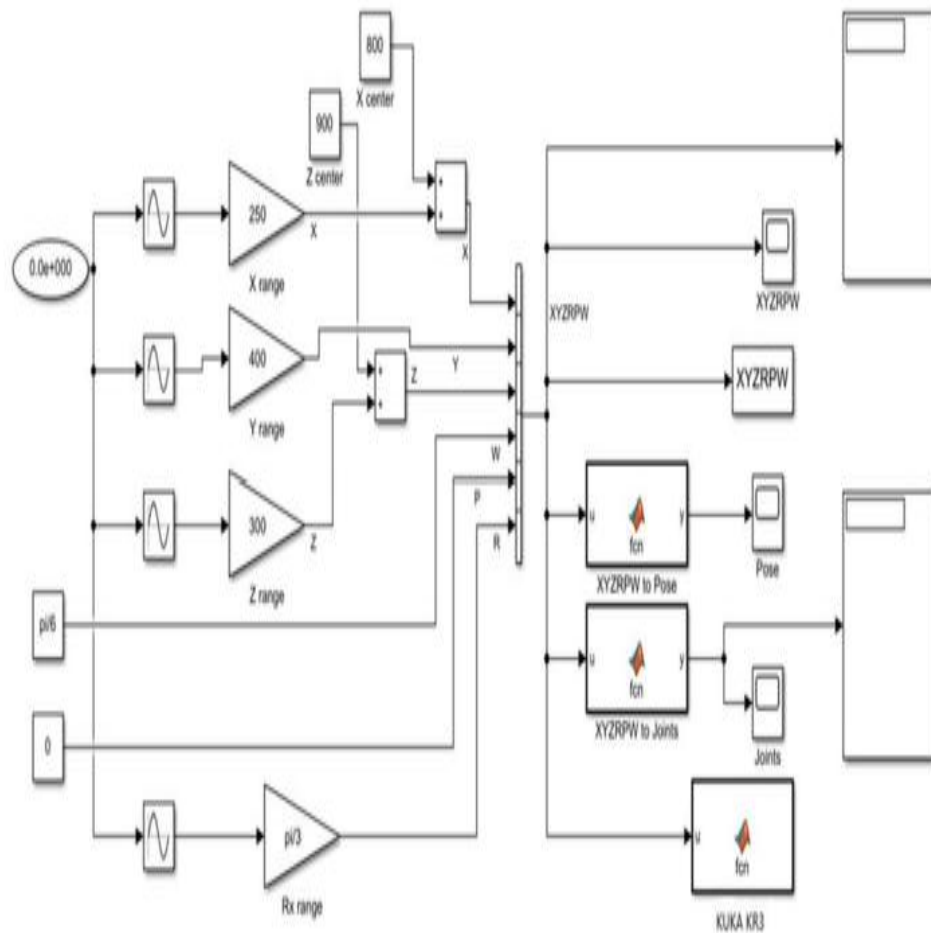


Рис.3.17. Блок схема програмного модуля позиціонування

Дана схема може бути застосована для точного позиціонування робото технічних маніпуляторів, які використовують СТЗ.

Таким чином розроблена система технічного зору для визначення позиції захоплюючого об'єкта з використанням бібліотек з відкритим кодом.

Враховуючи що зовнішнє середовище, в якому працює маніпулятор тривимірне обрана для розробки монокулярна СТЗ як така що найбільше задовольняє по критерію функціональність – вартість.

Проведено аналітичні розрахунки монокулярної системи технічного зору, визначені похибки визначення координат центру плоду.

Результати розрахунків перевірені на роботизованому осередку KUKA з використанням Mathcad 15.

На основі отриманих результатів було розроблено програмний модуль позиціонування маніпулятора.



## ВИСНОВКИ

1. Встановлено що систему двовимірного технічного зору бажано не використовувати для відстеження в дуже чутливих до світла середовищах. Система найкраще працює з текстурованими об'єктами, потребує точного калібрування та потужної апаратної платформи для досягнення прийнятної частоти кадрів.

2. Проаналізовано особливості і галузь застосування алгоритмів комп'ютерного зору. Ці алгоритми використовуються для аналізу та обробки зображень і відео та можуть використовуватися для широкого спектру програм, таких як розпізнавання об'єктів, класифікація зображень, розпізнавання обличчя і відстеження відео.

3. Для обґрунтування можливості використання системи в реальних умовах було апробовано програму визначення меж плодів томатів та координат їх центрів на зображеннях роздільною здатністю 800 на 600 пікселів, отриманих з працюючої теплиці

4. Здійснено оцінку залежності похибки визначення координат центру об'єкта від відстані між ним та об'єктивом відеокамери. Ця похибка зростає нелінійно залежно від відстані та параметрів системи та становить близько 0,3-1,2%.

5. На основі отриманих результатів було розроблено програмний модуль позиціонування маніпулятора.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базові алгоритми та структури даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b8d4c18b-4c38-4003-98c7-0ec1874f13dc/content>
2. Гістограма напрямлених градієнтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
3. Інтелектуальні системи автоматизації : монографія/ Аврунін О. Г., Владов С. І., Петченко М. В., Семенець В. В., Татарінов В. В., Тельнова Г. В., Філатов В. О., Шмельов Ю. М., Шушляпіна Н. О. – Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2021. – 322 с.
4. Кеннет Д. А. Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV/ Д. А. Кеннет. – 2014. – С. 237–241
5. Навчальний осередок KUK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hydromarket.com.ua/ua/p834330825-uchebnyj-robot-kuka.html>
6. Робототехнічні системи та комплекси: мобільні роботи довільної орієнтації: підруч. для студ. спец. «Інформаційні системи та технології» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 301 с.
7. Розрізання (розбиття) графа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-6/8-68974.html>
8. Буадес, А., Колл, Б., і Морель, Дж. М. (2005). Огляд нових алгоритмів усунення шумів на зображенні. SIAM Journal про багатомасштабне моделювання та симуляцію, 4(2), 490-530.
9. Рудаков О. І. Аналіз методу Віоли-Джонса для систем комп'ютерного зору [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/viewFile/13162/110>
10. Рибаків А. В. Перспективи використання мобільних роботів із системами технічного зору у сільському господарстві/ А. В. Рибаків, З. М.

Ходарова//Симетрії: теоретичний та методичний аспекти: збірник наукових праць VII Міжнародної науково-практичної конференції. – 2018. – С. 39-46.

11.Стандарт EN 775 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=51266](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51266)

12.3D Machine Vision Market Size&Trends [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-machine-vision-market>

13.Development of a lemon sorting system based on color and size [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [academicjournals.org](http://academicjournals.org)

14.Introduction to SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/@deepanshut041/introduction-to-sift-scale-invariant-feature-transform-65d7f3a72d40>

15.Introduction to SURF (Speeded-Up Robust Features) [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.javatpoint.com/introduction-to-surf>

16.Kalman filter [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/kalman/index.html>

17.Residual Networks (ResNet) – Deep Learning [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geeksforgeeks.org/residual-networks-resnet-deep-learning/>

18.YOLO – You only look once, real time object detection explained [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/yolo-you-only-look-once-real-time-object-detection-explained-492dc9230006>