МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Гриненко Андрій Андрійович

«Алгоритм підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт / Algorithm for counting the number of items on the conveyor using the virtual gate mechanism»

спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма - Комп'ютерна інженерія
Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КІм-21
А.А. Гриненко
_____

Науковий керівник:
к.т.н., доц. Ю.М. Батько
_____

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

"___" _____ 20___ р.

Завідувач кафедри
_____Л. О. Дубчак

Тернопіль – 2023

РЕЗЮМЕ

Кваліфікаційна робота на тему «Алгоритм підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт» зі спеціальності 123 «Комп’ютерна інженерія» освітнього ступеня «магістр» написана обсягом 87 сторінок та містить 27 ілюстрацій, 3 таблиці, 2 додатки та 60 джерел за переліком посилань.

Метою роботи є розробка алгоритму підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт.

Методи досліджень. Для розв’язання поставлених задач у кваліфікаційній роботі використано методи: аналізу та обробки цифрових зображень (для попередньої обробки цифрових зображень); підкреслення границь (виділення границь об’єктів на рухомих поверхнях); об’єктно-орієнтованого програмування (для проектування програмної складової системи моніторингу та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях).

Результати дослідження: алгоритм підрахунку кількості об'єктів на рухомій поверхні на основі механізму віртуальних воріт, програмно-апаратна система підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях.

Результати роботи можуть бути використані в створенні нових систем автоматизованого транспортування предметів, системах моніторингу та логістики, для наукових досліджень та в навчальному процесі.

Орієнтовні напрямки розвитку досліджень: розроблення алгоритмів адаптації параметрів роботи систем моніторингу під час аварійних ситуацій, створення нових програмних засобів та моделей для навчання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ, ЦИФРОВІ ЗОБРАЖЕННЯ, КОНВЕЄРНІ СИСТЕМИ, ВІРТУАЛЬНІ ВОРОТА.

RESUME

Graduate qualification work on “Algorithm for counting the number of items on the conveyor using the virtual gate mechanism” specialty 123 - Computer Engineering is 87 pages long and contains 27 illustrations, 3 tables, 2 appendices and 60 references.

Ehe aim oa the work is to develop an algorithm for counting the number of items on the conveyor using the virtual gale mechanism.

Research methods. To solve the tasks in the qualification work, the following methods were used: analysis and processing of digital images (for preliminary processing of digital images); highlighting borders (highlighting the borders of objects on moving surfaces); object-oriented programming (for designing the software component of the monitoring system and counting objects on moving surfaces).

Research results: an algorithm for counting the number of objects on a moving surface based on the virtual gate mechanism, a hardware and software system for counting objects on moving surfaces.

The results of the work can be used in the creation of new systems of automated transportation of objects, monitoring and logistics systems, for scientific research and in the educational process.

Indicative directions of research development: development of algorithms for adaptation of parameters of monitoring systems during emergency situations, creation of new software tools and models for training.

KEY WORDS: IMAGE PROCESSING, DIGITAL IMAGES, CONVEYOR SYSTEMS, VIRTUAL GATE.

ЗМІСТ

Вступ 5
1 Системи переміщення, контролю якості та обліку товарів на підприємствах .. 8
1.1 Логістика, основні завдання та етапи 8
1.2 Конвеєрні системи та особливості функціонування 14
1.3 Програмні засоби аналізу та опису цифрових зображень 20
1.4 Постановка задач дослідження 27
1.5 Висновки до розділу 28
2 Методи та алгоритми виділення об’єктів на рухомих поверхнях 29
2.1 Моделі та типи стрічкових конвеєрів 29
2.2 Методи виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях 39
2.3 Алгоритм підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях 45
2.4 Висновки до розділу 48
3 Програмно-апаратна система підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях 49
3.1 Структура програмного додатку системи підрахунку об’єктів 49
3.2 Модулі програмно-апаратної системи моніторингу 64
3.3 Тестування та аналіз реалізованого програмного додатку 68
3.4 Висновки до розділу 71
Висновки 72
Список використаної літератури 73

ВСТУП

Актуальність роботи. Контроль якості та підрахунок виготовленої продукції має вирішальне значення для забезпечення відповідності готової продукції визначеним вимогам і стандартам у контексті виробництва чи виробництва. Одна з ключових сфер, де підрахунок кількості продукції є важливим – це процеси сортування та розділення товарів на конвеєрній стрічці. Автоматизація цього процесу може значно підвищити ефективність і точність контролю виробничого процесу. Ручний підрахунок – це трудомісткий та тривалий процес, який може призвести до людських помилок і невідповідностей. З іншого боку, автоматизація дозволяє використовувати такі технології, як машинний зір і штучний інтелект, для швидкого й точного підрахунку та розділення товарів на основі заздалегідь визначених критеріїв.

Використання роботизованих пристроїв для аналізу вмісту конвеєрної стрічки, а не людей, є ефективним способом контролю якості та скорочення витрат. Використання датчиків для збору інформації про кількість продукту під час виробництва є однією з стратегій, яку можна реалізувати. Комбіновані гібридні системи з інтегрованими камери можна використовувати для вивчення зображень або відео речей, створених за допомогою комп’ютерного бачення та глибокого навчання. Це може призвести до виявлення недоліків або відмінностей від бажаного розміру чи форми продукту. Крім того, що дані можуть бути використані для виявлення закономірностей у виробничому процесі, які можна використати для підвищення ефективності, дані також можуть бути використані для аналізу продуктивності виробничого обладнання. Автоматизація також дозволяє здійснювати моніторинг і збір даних у режимі реального часу, що може надати цінну інформацію про виробничий процес і допомогти визначити сфери, які потрібно вдосконалити. Крім того, автоматизація може покращити швидкість і ефективність процесу сортування, дозволяючи збільшити пропускну здатність аналізу товарів і підвищити

продуктивність. Крім того, автоматизація може зменшити травматизацію на робочому місці, оскільки ручний підрахунок та розділення може бути фізично важким і призводити до травм, що повторюються. Таким чином, автоматизація процесу підрахунків кількості продукції під час сортування та розділення товарів на конвеєрній стрічці має важливе значення для підвищення точності та ефективності промислових процесів, зменшуючи ризик людських помилок і травм на робочому місці, а також надаючи цінну інформацію про виробничий процес.

Тому задача проектування та реалізації алгоритму підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт є актуальною.

Метою роботи є розробка алгоритму підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт.

Для досягнення даної мети ставились наступні завдання:

- провести класифікацію задач та сфер застосування конвеєрів;
- проаналізувати існуючі типи промислових конвеєрів;
- провести аналітичний огляд наявних програмних засобів виділення та підрахунку кількості об’єктів на конвеєрній стрічці;
- проаналізувати існуючі методи та алгоритми виділення, розпізнавання та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях;
- розробити алгоритм підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт;
- реалізувати програмний додаток виділення та підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт, провести тестування та порівняти з програмами-аналогами.

Об’єкт дослідження – процес моніторингу виробничих технологій.

Предмет дослідження – методи і алгоритми підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях.

Наукова новизна одержаних результатів визначається наступним чином:

- проведено комплексний аналіз та класифікацію алгоритмів виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях, що дозволило визначити основні переваги та недоліки їх реалізації та використання у сучасних системах моніторингу промислових процесів;

- розроблено алгоритм виділення та підрахунку об’єктів на конвеєрній стрічці на основі використання підходу віртуальних воріт, що дозволило зменшити вартість системи моніторингу та підрухунку товарів на конвеєрі .

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що:

- розроблено структуру та проведено теоретичне дослідження програмного додатку виділення та підрахунку об’єктів на рухомій конвеєрній стрічці, що дозволило в подальшому програмно реалізувати та провести дослідження розроблених алгоритмів;

- реалізовано програмне забезпечення моніторингу товарів на конвеєрній стрічці на основі об’єктно-орієнтованого підходу та з використанням алгоритмів цифрової обробки зображень.

1 СИСТЕМИ ПЕРЕМІЩЕННЯ, КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА ОБЛІКУ ТОВАРІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1 Логістика, основні завдання та етапи

Одним з основним етапом роботи будь якого підприємства є етап організації обміну матеріалами, деталями, конструкторськими елементами, а також відвантаження готової продукції. Тому логістична складова має важливе значення для ефективного функціонування будь якого підприємства. Логістика настільки ж проста, наскільки і складна. Перенести продукт або послугу з пункту А в пункт Б ніколи не буває так просто. Управління логістикою переплітається з управлінням ланцюгами постачання, і разом вони створюють складні мережі логістичних процесів, які обслуговують клієнтів. Оскільки логістика виходить далеко за межі фізичного розподілу, існує багато ролей і функцій логістики. Якщо розглядати основні елементи логістичних задач (рисунок 1.1), то можна виділити наступні функції які підтримують процеси переміщення та контролю матеріалів, продуктів та послуг.

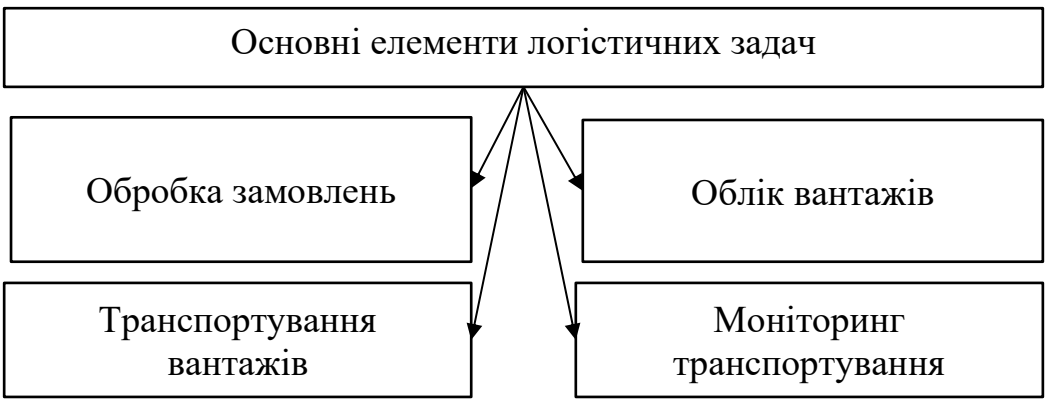


Рисунок 1.1 – Основні елементи логістичних задач

Обробка замовлення. Будь-який процес доставки може функціонувати лише за наявності системи обробки замовлень. Системи обробки замовлень відрізняються від підприємства до підприємства – від магазину Shopify до ERP.

У будь-якому випадку, він призначений для підтримки швидкої та ефективної обробки інформації, яка поштовхує транспортну діяльність. Ключовою частиною обробки замовлень в управлінні логістикою є інтеграція. Рішення, орієнтовані на клієнта, якими б вони не були, повинні бути ідеально синхронізовані з системою управління транспортуванням (TMS), щоб гарантувати, що доставка товарів відбувається в потрібний час і відповідає стандартам клієнта.

В загальному випадку процес обробки замовлення в залежності від складності логістичної операції може містити наступні етапи та елемменти:

- Інтеграція одним натисканням для електронної комерції (наприклад, магазин WooCommerce, який інтегрується з TMS для миттєвого імпорту замовлень).
- Інтеграція CRM і системи управління доставкою через Apру Pie Connect або Zapier.
- Інтеграція ERP і TMS через API - вимагає більше часу та технічної участі.

Якими б не були налаштування, обробка замовлень задає тон усьому управлінню транспортуванням: складування, розподіл, обслуговування клієнтів, аналітика відправлень і саме переміщення.

Логістика запасів. Контроль запасів є однією з логістичних функцій, які часто об’єднують під парасольку запасів/складування. Логістика запасів залишається на межі між вхідною та вихідною логістикою, оскільки включає як управління відносинами з постачальниками (вхідна логістика), так і виконання замовлень (вихідна логістика).

Таким чином, управління запасами є важливою частиною управління ланцюгом поставок і потребує ефективного використання. Це означає ретельне, кероване даними планування асортименту та своєчасне поповнення запасів.

Складські перевезення. Одним із найбільших трендів у виконанні замовлень у 2023 році стане мікроскладування та мікрофулфілмент. Стратегічно розміщуючи запаси на невеликих складах, розташованих у густонаселених

районах, роздрібні торговці планують скоротити витрати на транспортування та стимулювати більше самовивозів.

Оскільки автоматизоване маршрутизація та оптимізація маршруту можуть здійснюватися з необмеженою кількістю місць відправлення, мікровиконання може бути дуже рентабельним. На рівні складу встановлюються робочі процеси обробки, пакування та відвантаження.

Як для інвентаризації, так і для складування потрібні складні інструменти, які підтримують основні функції та допомагають зменшити витрати за рахунок автоматизації. Особливо, якщо ваша компанія здійснює доставку з кількох складів і потребує комплексних логістичних рішень.

Упаковка. Упаковка включає в себе всі дії та операції, які здійснюються для підготовки товарів до обробки та транспортування до та від клієнтів – у разі зворотної логістики та повернень зокрема. Упаковка є однією з основних логістичних функцій, оскільки вона визначає успіх доставки.

Обробка вантажів. Обробка вантажів є одним із основних видів діяльності з управління логістикою, який не можна не помітити, обговорюючи функції ланцюга поставок. Це тісно пов’язане з пакуванням і дуже реально визначає логістичні витрати.

На даному етапі є, щоб покращити функцію обробки вантажів у логістиці та багато елементів які можна автоматизувати за рахунок використання комп’ютерних технологій (рисунок 1.2), що значно зменшить витрати на доставку.

Сканування QR/штрих-кодів. QR-код або сканування штрих-кодів – це економічно ефективний спосіб покращити успішну доставку. Впровадження програм для сканування штрих-кодів дозволяє застосовувати інструменти для сканування всіх товарів під час одного завантаження, щоб переконатися, що вони прямують за правильною адресою.

Оптимізація маршрутів. Оптимізація маршруту та оптимізація автопарку мають на меті зменшити вартість доставки за рахунок максимального використання логістичних ресурсів.

Безконтактна доставка. Безконтактна доставка – це спосіб мінімізувати вартість доставки та одночасно покращити обслуговування клієнтів.Здійснюючи оновлення до безконтактної та безпаперової системи підприємство задовольняє попит на безконтактні доставки, а також вирішує серйозну логістичну проблему, пов’язану із затриманням клієнта в місці його проживання в призначений час.

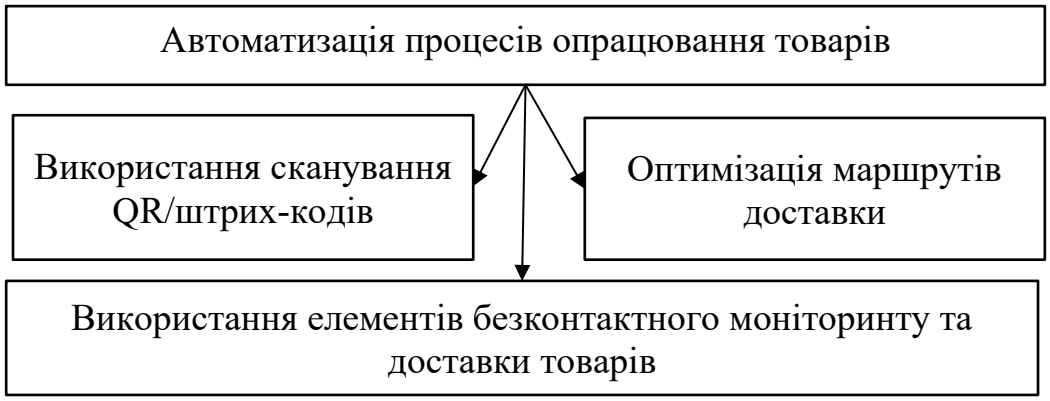


Рисунок 1.2 – Технологій автоматизації процесу аналізу та транспортування товарів

Транспорт. Природно, транспортування є однією з головних логістичних функцій, якщо не головною. Це необхідно на кожному етапі кожного ланцюга постачання, і те, як компанії будують свою систему управління транспортуванням і функції, визначає успіх управління ланцюгом постачання.

Оптимізація маршруту – це автоматизоване та надто потужне планування маршруту, яке максимально використовує ваш автопарк і ресурси водія.

Розрахунковий час прибуття (ETA) доступний як динамічний час для диспетчера в бек-офісі та як фіксований час для клієнта, що означає, що вони з більшою ймовірністю будуть додому вчасно.

Сповіщення клієнтів і відстеження в реальному часі. Відстеження транспортних засобів у реальному часі та сповіщення про доставку є важливими для того, щоб споживач був у центрі транспортного процесу, що значно

покращує обслуговування клієнтів. Не кажучи вже про те, що диспетчери можуть бачити місцезнаходження всіх водіїв у реальному часі в будь-який час.

Моніторинг. Моніторинг ефективності логістики є критично важливою функцією, яка дозволяє підприємствам відстежувати та керувати своїми операціями з точністю та ефективністю.

Впровадивши потужні системи та технології відстеження, компанії можуть отримати видимість свого ланцюжка поставок у реальному часі. Це дозволяє компаніям приймати рішення на основі даних і вирішувати потенційні вузькі місця до їх ескалації.

Компанії можуть відстежувати рух товарів, перевіряти рівень запасів, аналізувати ефективність доставки та отримувати важливу інформацію про свої логістичні процеси за допомогою складних інструментів моніторингу.

Пристрої IoT в логістиці. Пристрої IoT (Інтернет речей) змінили спосіб відстеження логістики, надавши компаніям більше розуміння та контролю над своїми процесами ланцюга поставок.

Ці розумні пристрої, вбудовані в датчики та підключені до Інтернету, можуть відстежувати та надсилати дані в режимі реального часу щодо різних аспектів логістики, включаючи температуру, вологість, положення та стан товарів.

Використовуючи пристрої IoT, компанії можуть стежити за рівнем запасів, відстежувати транспортні засоби та пакунки, а також виявляти проблеми чи відхилення в реальному часі.

Пристрої Інтернету речей роблять функцію моніторингу в логіці легкою, точною та дуже дієвою. Деякими прикладами сучасних пристроїв IoT є GPS-трекери, RFID-мітки, датчики моніторингу стану, датчики температури та розумна система управління складом.

Інструменти аналітики, інтегровані в програмне забезпечення для керування доставкою, відіграють вирішальну роль у покращенні процесу моніторингу логістики.

Ці інструменти використовують передову аналітику та візуалізацію даних, щоб надати компаніям цінну інформацію про їхні операції доставки.

Track-POD пропонує різноманітні звіти про доставку, включаючи аналітику в режимі реального часу, готові та настроювані звіти , які дозволяють вибрати потрібні точки даних. Коритсувач можете отримувати спеціалізовані звіти, як-от статистику водіїв, підсумкові відомості про поїздки за маршрутами, огляди замовлень і товарів, аналіз економії коштів і витрати на маршрут.

Звіти про керування доставкою дозволяють користувачам оцінювати ефективність персоналу, відстежувати прогрес і приймати ефективні рішення щодо доставки.

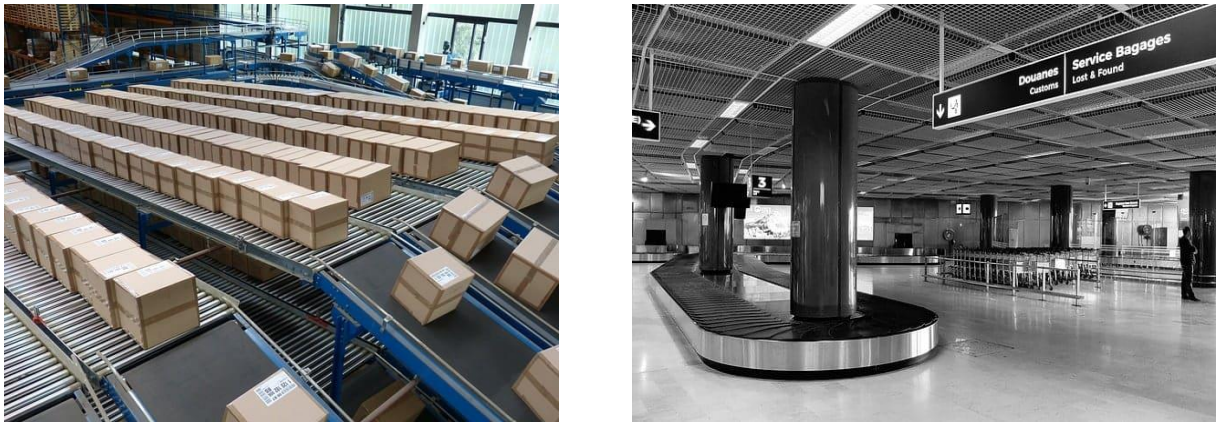
Маючи можливість ретельно контролювати свої логістичні операції, компанії можуть бути на крок попереду, забезпечуючи безперебійну роботу, своєчасні поставки та здатність швидко адаптуватися до мінливих вимог клієнтів.

Існує багато видів логістичної діяльності, оскільки існують різні логістичні функції. Усі вони підтримують обробку інформації, зберігання на різних складах, обробку продуктів і матеріалів, обслуговування клієнтів, моніторинг логістики та багато іншого, пов’язаного з фізичним розподілом.

Одним з основних елементів будь якої системи переміщення товарів є внутрішні системи які використовуються безпосередньо на підприємствах для прискорення та автоматизації обміну деталями між окремими структурними одиницями. Під час внутрішніх переміщень використання транспорту у більшості випадків є недоцільним та призводить до дадаткових часових та фінансових витрат. Даний недолік можна виправити інтегрувавши в процес транспотування конвеєрні технології. За дапомогою таких технологій можна налагодити доставку та обмін товарами безпосереднь між двома точками, що зменшує вплив сторонніх факторів на процес транспортування. Окрім того використання комп’ютерних технологій дозволяє максимально автоматизвати процес керування товарними потоками, та можливість оптимально розподіляти наявні ресурси між споживачами.

1.2 Конвеєрні системи та особливості функціонування

Конвеєрна система – це швидкий і ефективний механічний транспортний пристрій для автоматичного транспортування вантажів і матеріалів у межах території (рисунок 1.3). Ця система мінімізує людські помилки, знижує ризики на робочому місці та зменшує витрати на робочу силу — серед інших переваг. Вони корисні, допомагаючи переміщувати громіздкі або важкі предмети з однієї точки в іншу. Конвеєрна система може використовувати ремінь, колеса, ролики або ланцюг для транспортування об’єктів.



a) b)

Рисунок 1.3 – Приклад використання конвеєрних систем на складах (a) та аеропортах (b)

Як правило, конвеєрні системи складаються з стрічки, натягнутої через два або більше шківи. Ремінь утворює замкнуту петлю навколо шківів, щоб він міг постійно обертатися. Один шків, відомий як ведучий шків, приводить у рух або буксирує ремінь, переміщуючи предмети з одного місця в інше.

Найпоширеніші конструкції конвеєрних систем використовують ротор для приводу приводного шківа та ременя. Ремінь залишається прикріпленим до ротора через тертя між двома поверхнями. Щоб ремінь рухався ефективно,

ведучий шків і натяжний ролик повинні рухатися в одному напрямку, за або проти годинникової стрілки.

У той час як звичайні конвеєрні системи, такі як рухомі доріжки та конвеєри продуктових магазинів, є прямими, інколи пристрій потребує повороту, щоб доставити товари в потрібне місце. Для поворотів є унікальні конусоподібні колеса або ротори, які дозволяють ременю слідувати за вигином або скручуванням, не заплутуючись.

Переваги конвеєрних систем наведено на рисунку 1.4. Основне призначення конвеєрної системи – переміщення об’єктів з одного місця в інше. Конструкція дозволяє переміщати занадто важкі або громіздкі об’єкти, які людина не може переносити вручну.

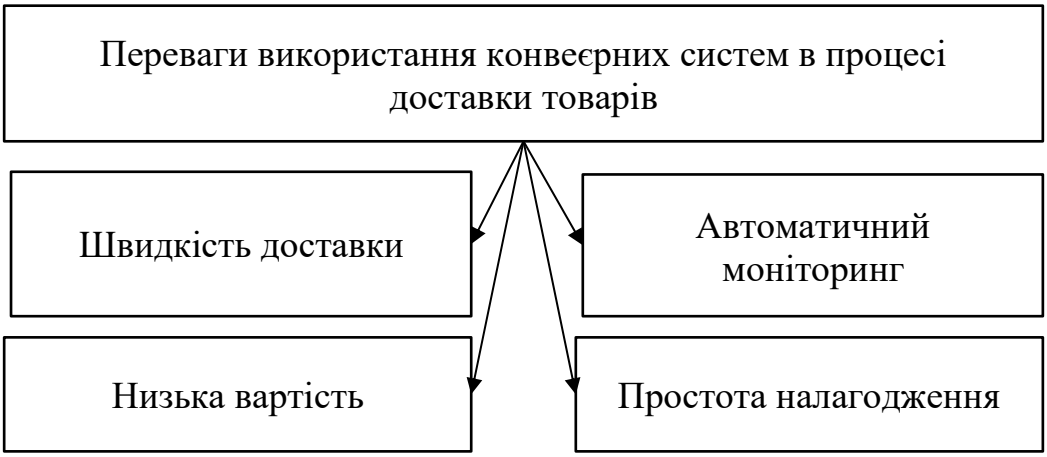


Рисунок 1.4 – Основні переваги інтеграції та використання конвеєрних систем

Конвеєрні системи економлять час при транспортуванні товарів з одного місця в інше. Оскільки вони можуть охоплювати кілька рівнів, вони спрощують переміщення предметів поверхами вгору та вниз, завдання, яке, коли виконується людьми вручну, викликає фізичне напруження. Похилі стрічки можуть автоматично вивантажувати матеріал, усуваючи потребу в тому, щоб хтось знаходився на протилежному кінці, щоб отримати шматки.

Можна уявити собі великий склад, заповнений конвеєрами, які використовують стрічки та ролики для переміщення ящиків та іншого важкого

обладнання, але це лише один із кількох типів конвеєрних систем. Конвеєрні системи також часто використовуються в аеропортах, де вони використовуються для транспортування багажу. Інші приклади включають ескалатори та гірськолижні підйомники. Ці пристрої все ще використовують ремінь або ланцюг і шківи для переміщення важких предметів з однієї точки в іншу.

Кожен тип конвеєра служить певній меті. Наприклад, рейковий конвеєр, виготовлений із рейок або пластин замість стрічки, призначений для переміщення важких матеріалів. Матеріали, що транспортуються системою планок, як правило, занадто великі або важкі для традиційного руху стрічки.

Ескалатор є прикладом конвеєрної системи з ланцюговим приводом. Замість системи шківів, яка тягне предмети, ланцюговий конвеєр використовує буксирну систему, яка тягне сходинки вгору або вниз.

Прикладом підвісного конвеєра є підйомники. У цих агрегатах використовується нахилена електрична доріжка, щоб тягнути стільці вгору або вниз по схилу гори. Подібно до ескалатора, ці системи використовують систему буксирування з ланцюговим приводом.

Існує три основні частини конвеєрної системи (рисунок 1.5):

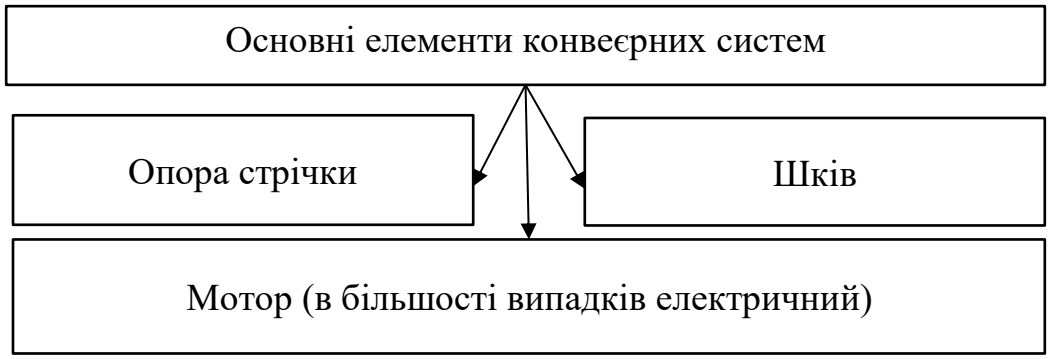


Рисунок 1.5 – Основні складові конвеєрної системи

Кожен компонент відіграє важливу роль у роботі конвеєра. Хоча всі конвеєрні системи містять ці частини, конструкції відрізняються за матеріалами конструкції та місцем розташування кожного компонента.

Підтримка ременя – це компонент, який забезпечує плавне переміщення ременя. Якщо опорний блок нетвердий, ремінь провисає, коли працівники кладуть на нього важкий предмет, і провисання призводить до того, що ремінь не рухається плавно чи швидко, як мав би. Використання міцного опорного вузла забезпечує натягнення та ефективність руху ременя.

Система шківів – це зовнішній компонент, який використовується для керування рухом ременя. Кожна одиниця має принаймні два шківи, один, що працює під напругою, і один, що не працює. Більш складні конвеєрні системи можуть мати додаткові ротори по всій рамі.

Мотор дозволяє системі рухатися. Блок містить контрпідшипник, який забезпечує ефективний рух деталей. Цей пристрій також дозволяє ременю рухатися у зворотному напрямку та керувати повторними налаштуваннями напрямку для деяких систем. Деякі конвеєрні системи керуються вручну. Ці системи все ще використовують привід; однак він не моторизований.

Конвеєр більш-менш діє як центральна нервова система для операцій, які приймають, обробляють, зберігають, розповсюджують, виробляють або відправляють продукти. Вибір правильної конвеєрної системи може бути складним завданням для керівників складів та інших зацікавлених сторін через кілька типів конвеєрів і сотні можливих конфігурацій на вибір.

Крім того, є кілька факторів, які слід враховувати, при проектуванні та придбанні необхідної конвеєрної системи для складського чи розподільного підприємства. Проектовані конвеєрні системи повинні одночасно враховувати вимоги до продукту та процесу. По-перше, ідеальна конвеєрна система повинна бути:

- безпечна в експлуатації;
- енергоефективна;
- надійна (частини та компоненти, розроблені для довговічності);
- проста для адаптації в залежності від виробничих потреб;
- економічно ефективна;

Встановлення неправильної конвеєрної системи швидко підірве операційну ефективність логістики, що призведе до підвищення витрат і зниження рівня задоволеності клієнтів, що зрештою позбавить бізнес конкурентної переваги. Фактори, які слід враховувати при оцінці та виборі правильної конвеєрної системи (рисунок 1.6).

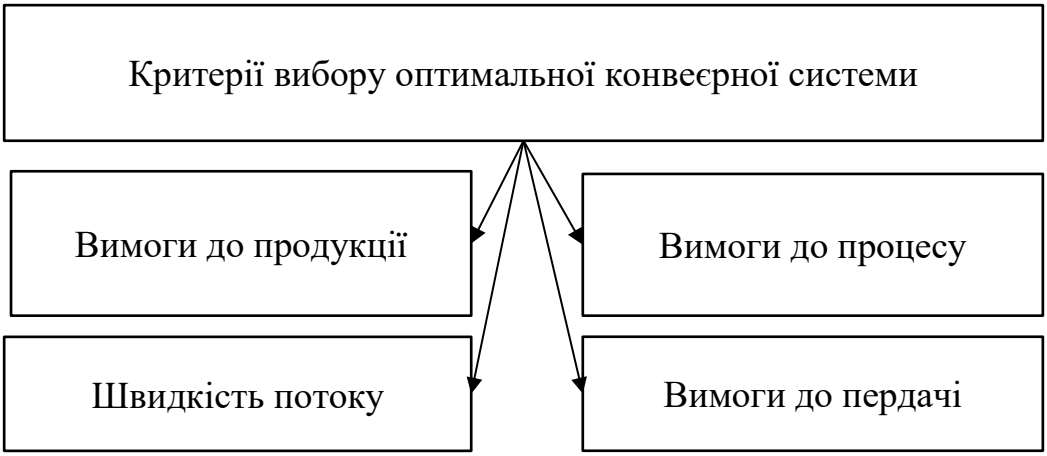


Рисунок 1.6 – Основні критерії вибору оптимальної конвеєрної системи

Вимоги до продукції. По суті, конвеєрна система використовується для переміщення товарів між функціональними зонами розподільного підприємства. Таким чином, тип предмета(ів), який переміщується, визначатиме конструкцію, розміри та тип конвеєрної системи, яка буде встановлена.

Під час пошуку найкращої конвеєрної системи для підприємства відповіді на наступні запитання допоможуть визначити вимоги до дизайну та конфігурації, а також розрахувати такі параметри, як потужність і тягова сила стрічки для окремих конвеєрів:

- тип продукції що транспортується;
- середня вага одиниці товару;
- максимальна вага одиниці товару;
- мінімальні, максимальні та середні розміри товару (тобто довжина, ширина та висота);
- необхідність врахування орієнтації товару.

Такі фактори, як вага, розміри та крихкість продукту значною мірою впливатимуть на процес прийняття рішення. Розміри виробів на підприємстві визначатимуть ширину конвеєра, специфікації напрямної рейки та центри роликів, тоді як вага продуктів визначатиме розміри роликів, діаметр роликів і вимоги до розмірів двигуна.

Вимоги до процесу. Вимоги до процесу охоплюють фактори, що визначають, як має рухатися конвеєр, і унікальні умови робочого середовища. Ці міркування включають:

- відстань предметів необхідно переміщати між функціональними зонами;
- маршрут, яким він рухається – чи є зупинки, зміни висоти, повороти чи відхилення;
- орієнтація продукту – чи потрібно позиціонувати елементи певним чином (для легкого сканування штрих-кодів, передачі тощо);
- швидкість передачі;
- навколишнє середовище;
- доступна площа.

Швидкість потоку. Конвеєрна система має бути в змозі обробляти середню швидкість передачі вашого підприємства, а також періоди пікового попиту через сезонні коливання. Кількість продуктів, які потрібно транспортувати за годину (або за хвилину), визначатиме довжину та швидкість конвеєра.

Крім того, певні типи конвеєрів ідеально підходять для певних продуктів. Великий пластиковий ланцюговий конвеєр найкраще використовувати для переміщення піддонів із пластиковими ніжками, тоді як роликовий конвеєр із ланцюговим приводом найкраще підходить для дерев’яних піддонів. Крім того, перший найкраще використовувати для переміщення менших ящиків або сумок, ніж другий.

Вимоги до пердачі. Точка, де елементи передаються на конвеєр і з нього, є критичною. Більшість конвеєрів використовують бокові переміщення, силові переміщення, мертві пластини, гравітаційні ролики тощо, щоб полегшити це.

Вироби з меншою габаритною площею можуть потребувати електропередачі, тоді як більші та довші вироби можуть потребувати гравітаційних роликів.

Для сучасних складів операції з ручного переміщення не в змозі підтримувати рівень пропускної здатності, необхідний для швидкого виконання замовлень з економічною ефективністю. Конвеєрна система підвищує продуктивність, покращує ергономіку, зменшує пошкодження продукту та забезпечує кращий доступ до матеріалів і менше небезпек на робочому місці.

Однак витрати на придбання, встановлення та обслуговування таких систем можуть бути високими для малих і середніх підприємств. Вона може коливатися від сотень тисяч доларів до мільйонів, залежно від таких факторів, як:

- тип конвеєрної системи;
- загальна довжина;
- необхідна швидкість;
- розміри;
- крива і спосіб перенесення;

Проаналізувавши вимоги до технологічних процесів та попередній аналіз запропонованих на ринку програмно-апаратних комплексів дозволить оптимально підібрати та інтегрувати системи автоматизованого транспортування та обліку товарів на підприємстві.

1.3 Програмні засоби аналізу та опису цифрових зображень

У виробничих умовах підрахунок товарів та контроль якості має вирішальне значення для забезпечення того, щоб кінцеві продукти відповідали бажаним специфікаціям і стандартам. Однією з ключових сфер, де підрахунок кількості є важливим, є сортування та розділення товарів на конвеєрній стрічці. Автоматизація цього процесу може значно підвищити ефективність і точність

процесу обліку товарів. Ручний підрахунок є трудомістким і тривалим процесом, який може призвести до людських помилок і невідповідностей. З іншого боку, автоматизація дозволяє використовувати технології, такі як машинне бачення та штучний інтелект, для швидкого й точного сортування та розділення товарів на основі попередньо визначених критеріїв. Автоматизація також дозволяє використовувати моніторинг у реальному часі та збір даних, які можуть надають цінну інформацію про виробничий процес і допомагають визначити сфери, які потрібно вдосконалити. Крім того, автоматизація може підвищити швидкість і ефективність процесу сортування, дозволяючи збільшити пропускну спроможність товарів і підвищити продуктивність. Дотогож, автоматизація може зменшити травматизацію на робочому місці, оскільки підрахунок та розділення вручну можуть бути фізично важкими та призводити до виробничих травм.

На сьогоднішній день є безліч програмно-апаратних комплексів, які дозволяють організувати авоматичний процес підрахунку рухомих товарів на конвеєрах. Для більшого аналізу розглянемо та проаналізуємо їх основні компоненти з метою дослідження їх основних структурних вузлів.

Magnatron, Inc. пропонує повнофункціональне рішення для управління підприємством, розроблене спеціально для розповсюджувачів програмного забезпечення конвеєрної стрічки. Запропоноване базі IBM iSeries Magnatron повністю інтегроване програмне рішення конвеєрної стрічки з обширним списком функцій, які включають наступні інтегровані модулі:

- керування замовленнями;
- управління запасами;
- фінансове управління;
- управління закупівлями;
- управління зв’язками з клієнтами;
- управління продажами та керівництво.

Прості розробки, які проектуються для дистриб’юторів конвеєрних стрічок було розроблено для дистриб’юторів конвеєрних стрічок із кількома галузями, які містили різні відділи та департаменти. Використовуючи новітню технологію,

користувачі мають можливість створювати економічно ефективну систему, за допомогою якої можна отримати максимальний прибуток. Деякі з запропонованих функцій включають створення резервних замовлень, робочі замовлення, матричну структуру ціноутворення, розширені можливості пошуку, інтеграцію з дебіторською заборгованістю, перегляд прибутку та багато іншого. Від перевірки кредитоспроможності до доставки до виставлення рахунків і всіх інших пунктів між ними.

Гнучкість виготовлення поясів. Модуль Belting від Magnatron дозволяє використовувати фіксовані або змінні вузли ременів. Вузли можуть мати такі компоненти, як шнурівка, v-подібна напрямна, вулканізація, шипи або робоча частина. Замовник матиме можливість додавати додаткові елементи до збірки та вносити зміни в робоче замовлення в будь-який час. Ремінь може бути призначений внутрішніми продавцями або його може бути відкладено для розподілу менеджером магазину ременів.

Модуль Belting від Magnatron відстежує стрічкові плити від покупки до продажу та показує всі деталі продажів для кожної плити. Будуть відображені всі доступні частини для кожного запитаного розміру. Користувач може відслідковувати продажі за номером плити, конкретним розміром або за клієнтом. Доступні контрактні та спеціальні ціни для клієнтів. Ви можете знайти ціни та вартість пояса за допомогою PIW. Цей модуль дає вам можливість налаштовувати брухт, і користувач керує параметрами брухту. Модуль Belting має можливість друкувати етикетки зі штрих-кодом, а також етикетки про місце повернення.

Модуль Belting Control від Magnatron не є окремою системою інвентаризації. Він повністю інтегрований у модулі введення замовлень, закупівель, аналізу продажів і бухгалтерського обліку. Більше не потрібно витрачати гроші, вручну відстежуючи запаси конвеєрної стрічки. Користувач може розрізати, вирізати, зрощувати та навіть ступінчасто вирізати пояси. Ці операції можуть поєднуватися з іншими виробничими операціями, незалежно від того, відправляються вони на власне підприємство чи здійснюються локально.

Програмне забезпечення Magnatron Conveyor Belt дає змогу дистриб'ютору мати в режимі реального часу картину наявності будь-якого елемента стрічки. Деталі ременя Step Cut можна легко переглянути в будь-який момент у опції Inventory Inquiry. За допомогою модуля Magnatron Belting Control дистриб'ютор також може відстежувати кожну стрічкову плиту від покупки до продажу.

Ось деякі особливості:

- поетапне різання;
- виготовлення конвеєрної стрічки;
- виконавче управління;
- відстеження запасів, штрих-кодування;
- A/P, A/R, GL, аналіз продажів, закупівлі;
- обробка замовлень;
- інтерфейси EDI.

Розглянуте програмне рішення реалізує комплекс завдань, які необхідні для повної автоматизації технологічних та логістичних процесів на підприємстві, має зрозумілий інтерфейст та може бути легко впроваджене у структуру будь якого підприємства.

Програмне забезпечення для підрахунку фруктів Abto – це повністю автоматизоване рішення, яке використовує комп'ютерний зір для підрахунку кількості фруктів, що проходять через конвеєр на заводі з переробки фруктів від українських розробників. Воно забезпечує найбільш спрощений підхід для виробників і пакувальників фруктів, а також постачальників обладнання для переробки харчових продуктів, щоб запровадити підрахунок фруктів на існуючих лініях обробки фруктів.

Програмне забезпечення Abto Fruit Counting використовує IP-камери (рисунок 1.7), встановлені над конвеєром обробки фруктів, для підрахунку фруктів, що проходять повз нього, і визначення середньої швидкості потоку фруктів. Інформацію можна відображати на дисплеях у пакувальному цеху, доставляти конкретному співробітнику/відділу пакувального цеху або експортувати в програмне забезпечення для керування пакувальним цехом.

Рішення Abto Counting підтримує численні сільськогосподарські продукти та перетворює пакувальну лінію на автоматичну лічильну машину лише з однією стандартною камерою на пакувальну лінію. Запропоноване до використання рішення Machine Vision може виконувати роль прилавка цитрусових, лічильника зерняткових фруктів, лічильника гранатів і кісточкових фруктів або лічильника овочів, що охоплює понад 20 сільськогосподарських продуктів.

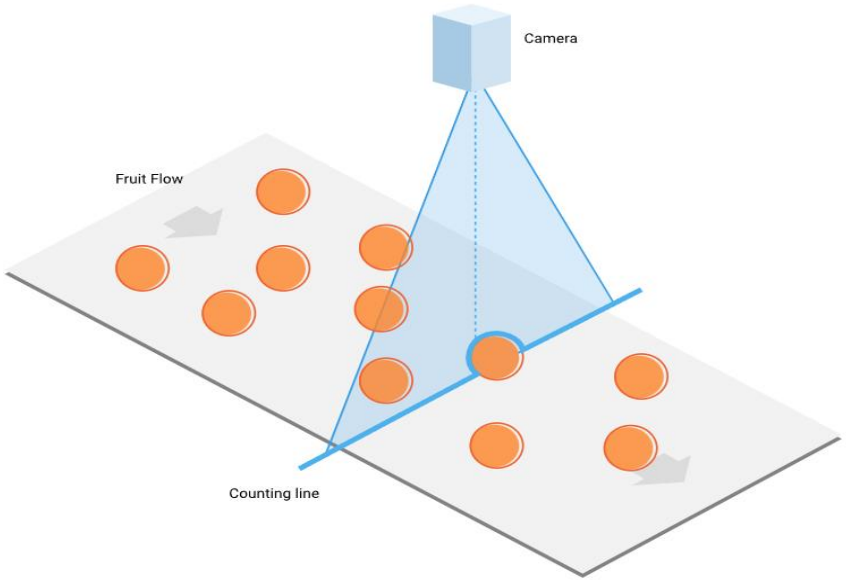


Рисунок 1.7 – Схема роботи Abto Fruit Counting

Реалізовані рішення для автоматичного підрахунку фруктів дозволяють оцінити потік свіжих продуктів на транспортері вашого пакувального підприємства шляхом розрахунку чотирьох основних показників.

Поточний потік плодів – кількість фруктів, оброблених за останню хвилину.

Середня плинність плодів – середня кількість фруктів, що обробляються за хвилину.

Загальна кількість фруктів – сума плодів, оброблених за час спостереження.

Використання потужностей – частка потенційної кількості фруктів, які фактично переробляються.

ScienceSoft — це глобальна компанія з IT-консалтингу та розробки програмного забезпечення зі штаб-квартирою в Мак-Кінні, штат Техас. Компанія допомагає організаціям створити ефективне програмне забезпечення для підрахунку запасів відповідно до їхніх потреб. Маючи сертифікати ISO 9001 та ISO 27001, ми застосовуємо зрілу систему управління якістю та гарантуємо, що співпраця з нами не створює жодних ризиків для безпеки даних наших клієнтів.

Зараз на ринку доступно кілька автономних систем підрахунку запасів, і жодна з них не є універсальним рішенням. Хоча стандартні рішення для управління запасами загального призначення покривають деякі функції підрахунку запасів і моніторингу рівня запасів, вони часто не в змозі повністю задовольнити потреби бізнесу в підрахунку запасів і не забезпечують сумісність з обладнанням, вибраним компанією. Високі витрати на підписку в поєднанні зі значними зусиллями щодо налаштування та встановлення плавної інтеграції програмно-апаратного забезпечення можуть зробити готові рішення для підрахунку запасів економічно недоцільними.

У розробці програмного забезпечення для ланцюгів постачання з 2012 року, у розробці програмного забезпечення для аналізу зображень з 2013 року та в IoT-сервісах з 2011 року ScienceSoft надає надійні рішення для підрахунку запасів, що задовольняють потреби підприємств у понад 30 галузях.

Вартість впровадження системи обліку запасів.

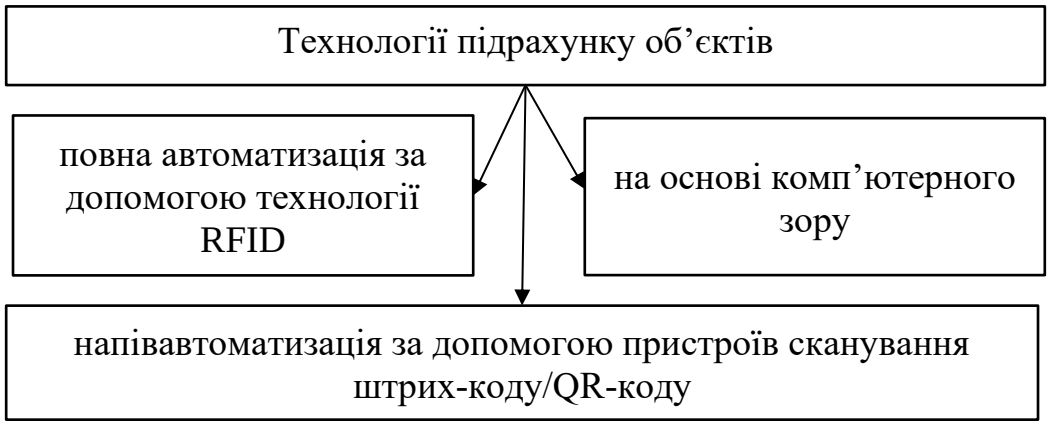


Рисунок 1.8 – Основні складові конвеєрної системи

Основним фактором витрат на розробку програмного забезпечення для підрахунку запасів є обраний підхід до підрахунку запасів (рисунок 1.8). Підхід визначає вимоги до можливостей та специфіки програмно-апаратних засобів обліку.

Вартість впровадження програмного забезпечення для підрахунку запасів значною мірою залежить від:

- Кількість і складність функціональних модулів рішення.
- Кількість і складність інтеграцій (з обладнанням, бухгалтерським програмним забезпеченням, програмним забезпеченням закупівель тощо).
- Кількість і складність веб- та/або мобільних додатків для різних груп користувачів (менеджери запасів, бухгалтери, команда складу, команда магазину тощо).
- Продуктивність програмного забезпечення, доступність, масштабованість, вимоги до безпеки тощо.

Аналіз запропонованих на ринку товарів дозволив зробити висновок, що спеціальне програмне забезпечення для підрахунку запасів середньої складності потребує $90 000–$250 000 інвестицій, тоді як вартість комплексної системи інвентаризації для великого підприємства може досягати $400 000+.

Вартість обладнання для підрахунку запасів суттєво різниться залежно від кількості апаратних засобів, необхідних компанії. Середні ціни на обладнання наступні:

- Комп’ютерне бачення: від 120 доларів США за статичну камеру CCD до 2000 доларів США за комерційний дрон із вбудованою камерою.
- Сканування штрих-коду/QR-коду: в середньому 0,5–4 долари США за етикетку зі штрих-кодом/QR-кодом + 200–2500 доларів США за портативний сканер.
- RFID: 0,05–10 доларів США за RFID-мітку + 3 000–20 000 доларів США за пристрій для зчитування RFID, включаючи встановлення та налаштування.

Переваги програмного забезпечення для підрахунку запасів:

До 15 разів швидше підрахунок запасів і на 25%+ скорочення витрат на оплату праці, пов’язаних із запасами, завдяки автоматизації.

Покращена видимість запасів завдяки відстеженню рівня запасів у реальному часі.

Зведений до мінімуму ризик дефіциту та надлишкових запасів завдяки точному прийняттю рішень щодо поповнення запасів на основі даних.

1.4 Постановка задач дослідження

В даному розділі на основі дослідження технологічних процесів преміщення та обліку товарів на підприємствах, виділено пареваги автоматизації логістичної складової. Проведений аналіз технологій переміщення товарів на невеликі відстані продемонстрували ефективність використання конвеєрів. При досліджені конвеєрів та систем з автоматичними переміщенням товарів дозволило виділити основні вимоги до їх проектування, структурних елементів та особливостей функціонування. Досліджено структури та функціональні можливості програмно-апаратних систем переміщення та обліку товаріа на основі використання конвеєрної стрічки, що надало моливість виділити їх основні переваги та недоліки, а також сфери та реальні приклади використання систем даного типу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати наступні задачі.

- провести класифікацію задач та сфер застосування конвеєрів;
- проаналізувати існуючі типи промислових конвеєрів;
- провести аналітичний огляд наявних програмних засобів виділення та підрахунку кількості об’єктів на конвеєрній стрічці;
- проаналізувати існуючі методи та алгоритми виділення, розпізнавання та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях;

- розробити алгоритм підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт;
- реалізувати програмний додаток виділення та підрахунку кількості предметів на конвеєрі з використанням механізму віртуальних воріт, провести тестування та порівняти з програмами-аналогами.

1.5 Висновки до розділу

Проаналізовано основні завдання та сфери застосування сфер застосування систем з конвеєрним механізмом, що дозволило проілюструвати важливість автоматизації процесів транспортування, підрахунку та оцінки якісті товарів під час технологічних процесів.

Проведено аналіз принципів функціонування транспортно-облікових систем з елементами конвеєрних стрічок, що дозволило виділити основні етапи та критерії, які необхідо вирішити при проектуванні систем для виділення та підрахунку об’єкті на рухомій поверхні.

Проведено дослідження програмних засобів виділення та підрахунку кількості об’єктів на конвеєрній стрічці, що дозволило виділити та додатково проаналізувати основні архітектурні рішення які використовуються під час реалізації програмно-апаратних систем даного типу.

2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ВИДІЛЕННЯ ОБ’ЄКТІВ НА РУХОМИХ ПОВЕРХНЯХ

2.1 Моделі та типи стрічкових конвеєрів

Конвеєр багато зробив для життєво важливих галузей, на які ми покладаємося щодня. Промисловий конвеєр використовується у виробництві та складанні важливих комп’ютерів, автомобілів та інших виробів. Конвеєр зменшує навантаження, підвищує ефективність і транспортує важкі матеріали. Цей винахід пройшов довгий шлях і зараз використовується в різних галузях промисловості та промислових умовах. У міру розвитку промислових технологій та інновацій зростає й технологія, яка використовується на наших фабриках, конвеєрах і промислових підприємствах тощо.

Більшість людей не знають, що конвеєри використовуються у великому відсотку матеріалів, які вони купують або споживають, таких як метал, продукти харчування, косметика, медичні товари та пластик. Конвеєри зазвичай використовуються для транспортування великогабаритних і сипучих матеріалів на великі відстані.

Конвеєрні стрічки використовуються на фабриках для транспортування матеріалу з однієї сторони фабрики на іншу з метою підвищення ефективності та зменшення робочого навантаження. Зараз вони використовуються в багатьох галузях промисловості, включаючи кар’єрну, гірничодобувну та переробну промисловість. Конвеєри бувають різних форм і розмірів, і вони використовуються на різних етапах виробництва залежно від галузі та розміру підприємства. Цей аспект виробничої складальної лінії став важливим.

Конвеєрні системи мають широкий спектр застосувань і функцій, які можна використовувати в різних промислових секторах для різноманітних операцій, починаючи від виробництва до пакування та навіть постачання. Проведемо аналіз трьох причин, чому вони такі важливі майже в кожній системі автоматизації (рисунок 2.1).

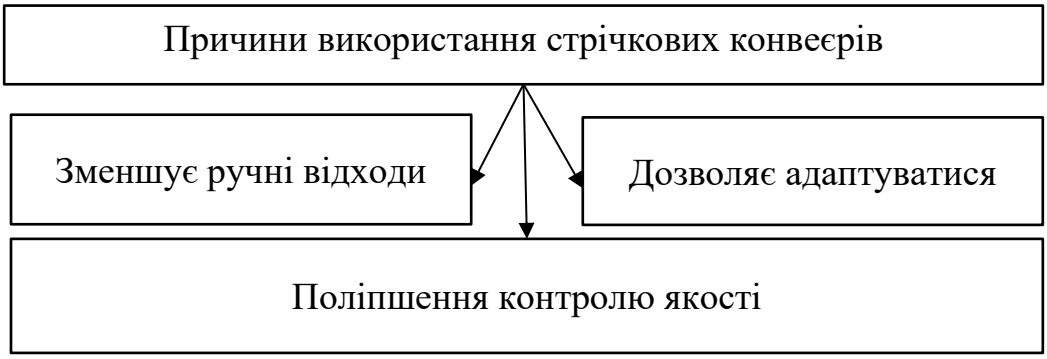


Рисунок 2.1 – Основні причини використання стрічкових конвеєрів

Зменшує ручні відходи. Певні технологічні завдання, такі як переміщення надзвичайно важких предметів на виробничій лінії, можна виконати без використання ручної праці. Насправді спроби виконати такі завдання людською працею призводять до ручних марнотрат і не додають вартості виробничому процесу. Крім того, підвищується ймовірність травм і нещасних випадків, що ставить під загрозу безпеку працівників підприємства. Усе це можна зменшити, автоматизувавши такі завдання. Конвеєри на виробничій лінії не тільки прискорять процеси, але й підвищать продуктивність заводу. Автоматизоване конвеєрне рішення звільняє співробітників від непродуктивної ручної праці, дозволяючи їм зосередитися на критичних завданнях розвитку бізнесу.

Дозволяє адаптуватися. Гнучкість має вирішальне значення для досягнення економних операцій. Модульні конвеєри допомагають досягти необхідної гнучкості для різних операцій. Їх також можна легко встановити в польових умовах. Модульні конвеєри дозволяють адаптувати конвеєрну систему до ваших конкретних потреб. Замість того, щоб інвестувати в конвеєрну систему, яку неможливо перемістити, інвестуйте в ту, яку можна перемістити, щоб краще відповідати вашим потребам.

Поліпшення контролю якості. Можна значно змншити відсоток браку та покращити контроль якості, впровадивши автоматизовані системи. Крім того, автоматизація допомагає виявляти критичні проблеми в продукті, такі як несправні деталі, небажаний метал тощо. Конвеєрні рішення допомагають

орієнтувати продукти для наступного складання або операції, гарантуючи, що час не витрачається на переміщення продукту. Автоматизоване рішення також збільшує пропускну здатність і забезпечує більшу задоволеність клієнтів завдяки високій якості продукції.

Проведемо класифікацію стрічкових конвеєрів (рисунок 2.2).

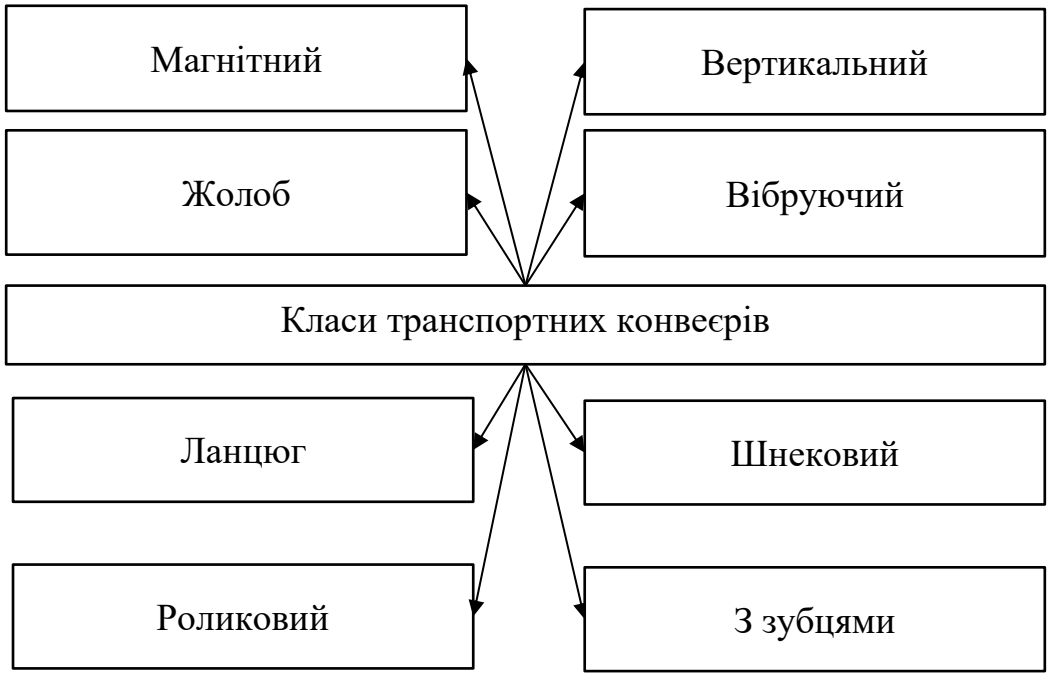


Рисунок 2.2 – Класифікація транспортних конвеєрів

1. Роликові конвеєрні стрічки. Всім очевидно, як випливає з їх назви в них використовується поверхня парного типу яка складається з стрічки та розміщеними під нею роликами, які вибираються в залежності від технічних вимог та інших особливостей товару який буде пересуватися даним конвейером. Вага, швидкість, напрям – це все дуже важливо. Дані конвеєрні стрічки є відносно короткими. І може бути ситуація, що вони складаються з пари однакових роликів. Однак при цьому слід вважати, що ролики повинні бути саме на кінцях, тільки в такому випадку вони можуть повноцінно функціонувати.

Роликове ліжко використовується лише в тих випадках, коли предмети можуть завантажувати на конвейерную за допомогою природної сили тяжіння. Це можна пояснити тим, що ручне завантаження даних конвеєрів може

призвести до механічних пошкоджень самої системи. Роликові конвеєрні стрічки з хорошою пропускною здатністю можуть транспортувати різні типи товарів на достатньо значні відстані, тому що вони є самостійними. Вони можуть самостійно зменшувати силу тертя завдяки своїй конструкції, відповідно, це зменшує енергетичні затрати на переміщення нашого товару.

Використовувати даний тип конвеєрів можна в різних ситуаціях. Наприклад, це може бути пакування товарів, сортування на складі, само собою складування, перевірка та транспортування різних товарів. До роликових конвеєрних стрічок також належать поштові сортувальні системи в офісах та пошта, а також багажні відділення в аеропортах.

2. До конвеєрних систем плоского типу відносяться такі, що складають в собі лише горизонтальну поверхню. Стрічковий конвеєр можна відзначити як найбільш використовуваних та найпоширеніших систем в сучасних виробництві. Звичайні стрічки використовується для внутрішнього переміщення різних об'єктів та товарів, оскільки вони є прості в експлуатації та можуть достатньо швидко бути інтегровані в нашу систему. Цей тип конвеєрний стрічки використовує синтетичні матеріали (поліестер або нейлон) які досить дешеві для того щоб зменшити собівартість. В даному випадку предмети розміщуються поверх рухомого ременя та переноситься від одного кінця до іншого. В загальному випадку сам конвейер та матеріали, які переміщується можуть бути виконані в різних матеріалів. Тому даний спосіб є надзвичайно універсальним, окрім того даний тип конвеєрів досить легко модернізувати. В стандартну будову входять центральні приводи та носові валики на яких кріпиться саме полотно.

Сфера застосування систем з плоскими стрічками. Їх часто обирають в різних промислових середовищах, зонах змивання та нешвидких лініях на яких складається різна продукція. Завдяки правильному ременюк системи можуть переміщувати дрібні м'які предмети або предмети неправильної форми при цьому не пошкоджуючи їх.

3. Стрічкові конвеєри з модульною архітектурою. Стандартні стрічкові конвеєри використовують в своїй основі одну петлю матеріалу, в той час,

модульні стрічкові конвеєрні використовують декілька петель, що складаються з двох з'єднаних частин, зазвичай з твердого міцного пластику. Дані сегменти можна знімати та замінювати окремо, замість того щоб викидати весь . Їх також легше адаптувати під конкретні проблеми. Вони є більш стійкии до зовнішніх подразників, а також гострих або абразивних матеріальних поверхонь. Даний підхід робить з модульних стрічкових конвеєрів більш простими в експлуатації. Модульні конвеєри якнайкраще підходять для виконання завдань під час яких товари транспортуються під різними кутами. Їхня архітектура дозволяє змінювати кути від потреб клієнта та особливостей приміщень де вони використовуються, а також застосовувати різні кути при нахилах і транспортування. При цьому використовується єдиний ремінь і двигун звісно, конвеєри інших типів в принципі, теж можна адаптувати під такі умови. Проте, це набагато складніше з технічної сторони. Використання пластикових модулів в даній конструкції дозволяє створити спеціальні конвеєри без шкоди для основної стрічки. Даний тип конвеєрів широко використовується для транспортування харчових продуктів та продуктів, які вимогливі до стандартів чистоти, оскільки вони дуже легко очищаються. Під час проектування даних конвеєрів можна регулювати відстань між окремими елементами, що значно спрощує процес налагодження. Окрім того, в основі даних конвеєрів як правило знаходиться пластик, що робить конвеєр надзвичайно зручним для виявлення металевих елементів.

4. Конвеєри, що містять зубці. Зубчикові конвеєри, як правило містять у своїй будові вертикальні елементи у вигляді зубців. Елементи призначені для транспортування сипучих матеріалів на круті піідйоми або спуски, при цьому забезпечують надійність транспортування та збереження предметів. Шипи можуть мати різноманітну форму, що дозволяє нормально налаштувати конвеєр під потреби замовникаю.

- Перевернута велика буква “Т.” Цей тип шипів стоїть перпендикулярно до поверхні пояса, це спроектовано для того, що б надати конвеєру

можливістьбільш гнучкого та надійного транспортування делікатних предметів. Даний тип використовується у випадках преміщення дрібних деталей.

- Велика буква “L.” Широка основа цієї шипи робить її більш стійкою до сил важеля. Деякі шипи також використовують вигнуті поверхні, для збільшення обєму транспортованого за один разу товарі. Цей тип затискачів призначений для транспортування дрібних матеріалів на круті схили.
- Перевернуте «V». В даному випадку, висота шипів не превищує 5 сантимутрів, для створення ефекту жолоба. Абразивні, важкі або великі сипучі матеріали переміщуютьс саме такими конвеєрами, оскільки архітектура даних конвеєрів дозволяє витримувати удари великої сили.
- Наконечники та кілочки. Ці види шипованих елементів відповідають особливим потребам. Для прикладу можна розглядати ситуацію, коли необхідно перемістити рідину, а даний підхід дозволяє уникнути протіканню. Їх використовують для переміщення фруктів або овочів. Додтого ж вони є економічно ефективними для предметів, які не займають усю ширину стрічки, наприклад прутів чи дрібних коробок коробок. Їх можна навіть розташувати для розрізненого переміщення продуктів, або для утримання/відбракування окремих продуктів в випадках виявлення неспівпадінь до стандарту.

Відгалуженням стрічки з кліщами є елеваторний ремінь. Розроблений із перегородками або ковшами, що розташовуються на рівновіддалених відстанях, він у загальному призначений для транспортування сипучих матеріалів на крутий схил.

5. Вигнуті стрічкові конвеєри. У випадку, якщо якийсь товар має подолати велику кількість кутів на своєму шляху доцільно використовувати стрічкові конвеєри, що містять раму. Дані конвеєри можуть змінювати свого руху та досягати кутів повороту до 180°. Справжні контейнери з елементами вигинів, як правило не містя прямих ділянок, та використовується у тих випадках, коли прості стрічкові конвеєри не дозволяють в повній мірі здійснити процес транспортування.

6.Конвеєри з елементами нахилу. Стандартні конвеєри мають як правило стрічку, що розташовуються горизонтально та дозволяє переміщувати продукти тільки в одній площині. Конвеєри містять центральний привід, двигун, а також одинарний або подвійний приймач. Замість використання гладкої стрічки даний тип конвеєрів в своїй основі має більш жорстку. Даний підхід дозволяє проводити транспортування продукції верх та вниз. Даний тип застосовується в поєднанні з стрічковими конвеєрами з зубцями. В основному вони використовуються для переміщення продуктів на різні висоти при цьому товар утримується без зовнішньої допомоги. В основі роботи даних конвеєрів лежить гравітація.

7. Санітарно-промивні конвеєри. В харчових магазинах, а також на підприємствах, що використовують харчові продукти для своєї роботи або фармацевтичних компанія до конвеєрів висуваються більш жорсткі вимоги. Часте миття або стерилізація повинні відповідати нормам. Санітарні або змивні конвеєри проектується саме для таких цілей. Конвеєр даного типу, як правило, в своїй основі оснащені плоскими дротяними стрічками, що легко змінюються та миються. Дана група конвеєрів може переміщувати товари при екстремальних температурах від низьких до критично високих. Окрім того, дані конвеєри можуть працювати в складних умовах, наприклад в харчовій промисловості це може бути перехід від горячої до низької температури протягом декількох метрів. Додатково конвеєри стійкі до різних чинників як вологість та липучість тощо. Дані конвеєри проектуються з урахуванням різної маси товарів які будуть через неї передаватись від дрібних до великих. Окрім того також враховується і форма товарів яка буде передаватися може бути як бочка так і простий ящик.

8. Спеціальні стрічкові конвеєрні системи. Розробляються і інші більш універсальні та спеціалізовані конвеєрні системи. Вони неотримали загального поширення, проте для беяких спеціалізованих варіантах без них не обійтись. Серед таких систем можна відмітити:

- Конвеєрні стрічки зі скловолокна – цей тип конвеєрних стрічок виготовляється зі скловолокна. Вони використовуються на виробництва технологічні процеси яких проходіть при екстремально високих температурах.

- Конвеєрні стрічки з наконечниками з металу – ця конвеєрні системи доповнюються металевими наконечниками для кращого керування складними машинами та їх частинами.

- Конвеєрні стрічки спроектовані для вузької ширини – розглянуті конвеєрної стрічки є найкращим вибором під час вирішення проблеми переміщення дрібних предметів предметів.

- Конвеєрні системи з елементами підсвітки – дані технологічні розробки оснащені освітлювальним приладом, який допомагає контролювати якість.

- Вакуумні конвеєрні стрічки – ця конвеєрна стрічка створює всмоктування, щоб утримувати легкі продукти на конвеєрні стрічці, при цьому врховуються швидкий рух та різні кути нахилу стрічки.

- Конвеєре з магнітними елементами – для транспортування товарів з металу, даний тип конвеєрів є оптимальним рішенням. В його основі лежать рівновіддалені електромагніти, які розміщені всередині конвеєра.

- Сендвіч-стрічкові конвеєрні рішення використовують в своїй конструкції дві стрічки, розташовані обличчям до лиця, щоб надійно транспортувати предмети під різними кутами нахилу або навіть вертикально.

9. Конвеєрні системи з роликами. Роликові конвеєри використовують паралельні ролики, встановлені в рамах, для транспортування продуктів самопливом або вручну. Діаметр ролика та розміри центру осі є важливими характеристиками.Роликові конвеєри зазвичай використовуються в програмах обробки матеріалів, таких як завантажувальні доки, обробка багажу та складальні лінії, серед іншого. Залежно від застосування та доступної площі конвеєри можуть бути прямими або вигнутими.

Роликові конвеєрні системи широко використовуються в багатьох галузях промисловості, зокрема у виробництві та логістиці, завдяки своїй універсальності та простоті використання. Прикладами є такі галузі:

- Контроль харчових продуктів;
- Логістика;
- Упаковка;
- Служба доставки поштою;
- Контроль багажу;
- Виробництво сталі;
- Проектування та виготовлення.

Це дуже швидка та безпечна система транспортування вантажів завдяки різноманітним датчикам та пристроям. Це зменшує ймовірність пошкодження товару. Також вони здатні витримувати великі навантаження.

Механізовані роликові конвеєри транспортують продукти за допомогою приводних роликів, встановлених на рамах. Важливими специфікаціями є тип приводу, діаметр ролика та матеріал, а також розмір центру осі. Механічні роликові конвеєри в основному використовуються для транспортування матеріалів, які потребують механічного транспортування продуктів. Ремені, ланцюги/зірочки та моторизовані ролики є прикладами різних типів приводів. Переробка харчових продуктів, виробництво сталі та пакування є одними із застосувань механічних роликових конвеєрів.

Рухомі магніти, встановлені під нерухомими пластинами, столами чи іншими типами немагнітних повзунків, використовуються конвеєрами для переміщення магнітних (чорних) матеріалів, які часто є у формі металобрухту. Магнітні конвеєри зазвичай використовуються як транспортери стружки в обробних центрах для видалення металевої стружки.

10. Жолобові або жолобкові конвеєри – це системи транспортування матеріалів, які використовують силу тяжіння для транспортування продуктів з одного рівня на інший уздовж гладких поверхонь. Матеріал жолоба, а також фізичні розміри, такі як довжина та ширина, є важливими характеристиками.

Жолобні конвеєри використовуються для різноманітних цілей, включаючи обробку брухту, пакування, поштових посилок або обробки пошти тощо. Жолоби розроблені з низьким коефіцієнтом динамічного тертя, що дозволяє

продукту або матеріалу легко ковзати, і можуть бути прямими або вигнутими залежно від вимог застосування.

11. Пневматичні/вакуумні конвеєри транспортують матеріали чи предмети всередині або через закриті труби, канали або вздовж поверхонь за допомогою тиску повітря чи вакууму. Залежно від середовища, що транспортується, матеріали конвеєра можуть бути металевими та неметалевими. Залежно від навантаження та вимог до пропускної здатності доступні різні розміри.

Пневматичні/вакуумні конвеєри в основному використовуються для обробки матеріалів, таких як збирання пилу, обробка паперу, доставка квитків тощо, а також у хімічних, мінеральних, брухтових і харчових процесах.

a)

b)

c)

d)

Рисунок 2.3 – Приклад роликового конвеєра (a), модульний стрічковий конвеєр (b), стрічкові з зубцями(c), санітарно-промийвий конвеєр(d)

2.2 Методи виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях

У сучасному швидкому темпі виробництва та логістики точний і ефективний підрахунок продукції має вирішальне значення для підтримки продуктивності та прибутковості. Традиційні методи підрахунку продуктів на конвеєрній стрічці можуть зайняти багато часу та бути схильними до помилок. Однак поява технології машинного зору революціонізувала цей процес, уможлививши високошвидкісний підрахунок із винятковою точністю.

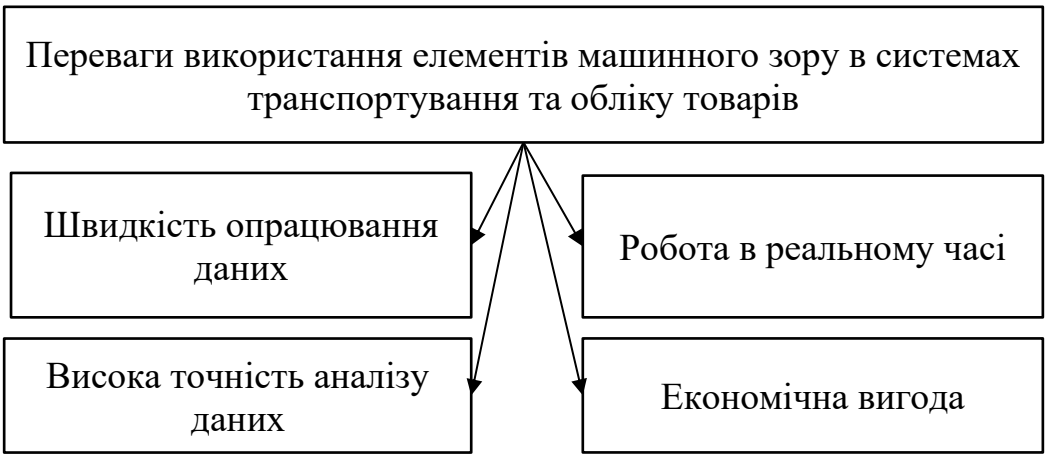


Рисунок 2.4 – Переваги використання елементів машинного зору в задачах виявлення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях

Системи машинного зору, оснащені вдосконаленими камерами та алгоритмами обробки зображень, забезпечують неперевершену швидкість і ефективність підрахунку продукції. На відміну від людей-операторів, які обмежені можливостями візуального сприйняття та обробки, системи машинного зору можуть швидко аналізувати великі обсяги візуальних даних у режимі реального часу. Ця можливість забезпечує високу швидкість підрахунку, значно покращуючи продуктивність і продуктивність.

Використовуючи камери високої роздільної здатності та потужні методи обробки зображень, системи машинного зору можуть виявляти та відстежувати

продукти, що швидко рухаються конвеєрними стрічками. Технологія може обробляти зображення з неймовірною швидкістю, дозволяючи миттєво ідентифікувати та підраховувати окремі продукти. Цей рівень автоматизації мінімізує час простою, оптимізує робочий процес і гарантує, що виробничі лінії працюють на максимальній потужності.

Точний підрахунок є життєво важливим для управління запасами, контролю якості та виконання замовлень. Машинний зір чудово забезпечує точний підрахунок продуктів, усуваючи неточності, пов’язані з ручними методами підрахунку. Алгоритми машинного зору можуть виявляти навіть найтонші зміни у формі, розмірі або кольорі продукту, забезпечуючи точну ідентифікацію та підрахунок.

Системи машинного бачення використовують передові методи аналізу зображень, такі як виявлення країв, розпізнавання візерунків і підбір кольорів, щоб ідентифікувати та підраховувати продукти на конвеєрних стрічках. Алгоритми можна навчити розпізнавати конкретні характеристики продукту, що забезпечує високий рівень точності та адаптивності. Здатність розрізняти схожі на вигляд продукти або варіанти упаковки особливо цінна в галузях з різноманітними товарними лініями.

Технологія машинного бачення не тільки підраховує продукти, але й забезпечує моніторинг і контроль якості в реальному часі. Аналізуючи зображення, зроблені камерами, встановленими вздовж конвеєрної стрічки, системи машинного зору можуть ідентифікувати дефектні або пошкоджені продукти, гарантуючи, що лише високоякісні товари проходять через виробничу лінію. Ця можливість допомагає запобігти дорогим проблемам контролю якості та відкликанню продукції, захищаючи як виробників, так і споживачів.

Системи машинного зору можна запрограмувати на виконання різноманітних перевірок якості, включаючи виявлення неправильних етикеток, перевірку цілісності упаковки, виявлення відсутніх компонентів і оцінку розмірів продукту. Негайно позначаючи невідповідності або дефекти, виробники

можуть негайно вживати коригувальні дії, зменшуючи відходи та покращуючи загальну якість продукції.

Впровадження технології машинного зору для високошвидкісного підрахунку на конвеєрних стрічках забезпечує довгострокову економію коштів. Хоча вартість початкового налаштування може бути вищою, ніж традиційні методи підрахунку вручну, переваги переважують інвестиції з часом. Зменшуючи трудомісткі підрахункові завдання та мінімізуючи помилки, виробники можуть оптимізувати свою операційну ефективність, підвищити продуктивність і зменшити загальні витрати на оплату праці.

Більше того, системи машинного бачення сприяють мінімізації розбіжностей у запасах, запобіганню недостатньому або надлишковому запасу та оптимізації управління ланцюгом поставок. Точний підрахунок продуктів гарантує, що рівень запасів відповідає попиту, мінімізуючи витрати, пов’язані з відсутністю запасів або надмірними запасами.

Спеціальне програмне забезпечення для підрахунку запасів – це спосіб для компаній отримати точний підрахунок запасів і функції контролю, необхідні для підвищення ефективності процесу та використання інноваційних підходів до автоматизації підрахунку.

Сучасні методи та технічні підходи рекомендують компаніям створювати спеціальне рішення для підрахунку запасів у таких випадках:

- Потрібне програмне забезпечення для підрахунку запасів, яке надає певні функції, наприклад:

- Повністю автоматизований підрахунок конкретних предметів інвентарю на основі комп’ютерного зору з використанням спеціальних алгоритмів аналізу зображень.

- Виявлення на основі аналітики недоречних, неправильно маркованих, пошкоджених складських товарів.

- Спеціальні правила процесу та тригери для автоматизованої звірки фізичних і бухгалтерських запасів.

- Мультимодальний підрахунок запасів (з використанням портативної машини для підрахунку запасів, зчитувача RFID та камери комп’ютерного бачення в певній комбінації) тощо.

- Потрібне гнучке рішення для підрахунку запасів, яке легко розвивати, наприклад, із розширеними функціями, такими як аналітика на основі штучного інтелекту або підрахунок об’єктів інвентаризації, що перекриваються, з підтримкою машинного зору.

- Є необхідність плавно та економічно ефективно інтегрувати програмне забезпечення для підрахунку запасів із наявними корпоративними системами (WMS, програмне забезпечення для закупівель, програмне забезпечення для бухгалтерського обліку тощо) та наявне обладнання.

- Компанія створюєте систему управління запасами на основі блокчейну і вам потрібно підтримувати незмінні записи всіх результатів підрахунку запасів у розподіленій книзі.

Під час проектування та реалізації програмних розробок наобхідно враховувати наступні фактори, які допомагають максимізувати рентабельність інвестицій програмного забезпечення для підрахунку запасів:

Максимальна автоматизація. Щоб усунути трудомісткий і схильний до помилок ручний підрахунок запасів, увімкніть точне відстеження рівня запасів і розташування в реальному часі.

Плавна інтеграція з критично важливими для бізнесу системами. Для забезпечення безперебійного потоку даних між програмним забезпеченням для підрахунку запасів і системами керування апаратним забезпеченням компанії, програмним забезпеченням для закупівель.

Наказова аналітика на основі ШІ. Щоб надати фахівцям з інвентаризації розумні рекомендації, наприклад, щодо оптимального часу для поповнення запасів або перерозподілу для підтримки оптимальних рівнів запасів у різних складських, торгових і виробничих приміщеннях.

Приклади використання сучасних підходів для ораганізації підрахунку об’єктів та їх особливостей наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Порівняння підходів до проектування систем обліку

Метод/ Хар-ки	Підрахунок запасів на основі штрих- або QR-кодів	Підрахунок запасів на основі RFID за допомогою автономних пристроїв	Підрахунок запасів за допомогою комп'ютерного зору
Ступінь автоматизації	Напівавтомат	Повністю автоматизований	Повністю автоматизований
Функціональні можливості	− Ручне сканування штрих-кодів і QR-кодів на упаковці товарних одиниць за допомогою сканерів, мобільних або носимих пристроїв. − Автоматичний розрахунок рівня запасів на основі даних, отриманих зі штрих-кодів і QR-кодів.	− Автоматизована передача даних з RFID-міток, розміщених на товарно-матеріальних цінностях, до встановлених на об’єкті RFID-зчитувачів. − Автоматичний розрахунок рівня запасів на основі даних, отриманих з RFID-міток. −	− Автоматизоване захоплення товарно-матеріальних цінностей у вигляді людського ока та їх підрахунок за допомогою камер, встановлених на об’єкті, на роботах або дронах. −
Основні переваги	− Покращена швидкість підрахунку в порівнянні з традиційним фізичним підрахунком. − Не потрібно налаштовувати складну апаратну інфраструктуру.	− Швидкий і точний підрахунок запасів навіть у великих складських приміщеннях під час отримання та відправлення. − Повністю виключаються ручні зусилля	− Миттєвий і точний підрахунок статичних і рухомих предметів інвентарю, інвентарю в купах, стопках тощо, включаючи торкання та накладання об’єктів, без участі людини. − Можливість підрахувати запаси, не марковані штрих-кодами, QR-кодами, RFID-мітками.
Основні обмеження	− ручне сканування є трудомістким, тривалим і схильним до помилок.	− Висока вартість впровадження через необхідність встановлення зчитувачів RFID і розміщення RFID-міток на кожному окремому предметі.	− розробка, навчання та налагодження моделі комп’ютерного бачення потребують залучення фахівців із обробки даних, що збільшує початкові інвестиції в проект.

При використанні компютерного зору використовують декілька підходів для виділення та розпізнавання об’єктів. Традиційний підхід до обробки

зображень. Цей підхід є найбільш доцільним, якщо об’єкт, який потрібно ідентифікувати, має конкретні відмінні атрибути, які легко ідентифікувати. Крім того, об'єкт повинен відрізнятися від фону. Наприклад, визначення деталі в металевому цеху за її формою та розташуванням отворів для шурупів. Або ідентифікація друкованої плати за допомогою розміщення компонентів, а також їх форм та інших візерунків. Або ідентифікація частин Lego за їх кольорами, формами та кількістю наявних рядків і стовпців тиснених кіл. Цей підхід використовує заздалегідь визначені правила для класифікації об’єкта в ту чи іншу групу. Параметри, які використовуються цими правилами, є фіксованими та не змінюються, що означає, що алгоритм не «вчиться» з попереднього досвіду для використання, коли він зустрічає нові зображення.

Підхід машинного навчання. Цей підхід є найбільш прийнятним, коли варіації візуального вигляду певного об’єкта різноманітні (навіть після того, як зроблено коригування перспективи камери), і доступна велика кількість зразків зображень для навчання. Наприклад, розпізнавання окремих облич, рослин і тварин, де використовується дуже велика кількість параметрів для створення повної та остаточної ідентифікації. Зразки зображень, які використовуються для навчання, повинні бути репрезентативними як для об’єкта, так і для середовища, в якому цей об’єкт буде розпізнаватися. Цей підхід базується переважно на статистиці. З цієї причини вибір зразків, які використовуються для навчання, матиме великий вплив на його точність.

Гібридний підхід. Коли в дію вступають аспекти обох підходів, необхідний гібридний підхід. Наприклад, коли алгоритм обробки зображень оновлює параметри зі своїх правил відповідно до нових наборів зображень, він адаптується до нових даних шляхом навчання. Іншим прикладом є алгоритм машинного навчання, який поєднує численні функції, отримані за допомогою різних методів обробки зображень, щоб отримати найкращий результат.

Використовуючи камери з високою роздільною здатністю, складні алгоритми обробки зображень і можливості моніторингу в реальному часі, виробники можуть оптимізувати свою роботу, підвищити продуктивність і

покращити контроль якості. Переваги використання машинного зору для високошвидкісного підрахунку значні й застосовуються в таких галузях, як виробництво, логістика та складське господарство. Оскільки технологія продовжує розвиватися, то можемо очікувати подальших удосконалень, які розкриють ще більше потенціалу для автоматизації та оптимізації виробничого процесу. Впроваджуючи машинне бачення, компанії можуть отримати конкурентну перевагу, зменшити витрати та забезпечити точний підрахунок продукції на конвеєрах у сучасному швидкоплинному бізнес-ландшафті.

2.3 Алгоритм підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях

Для реалізації алгоритму виділення та підрахунку кількості об’єктів на рухомій поверхні за основу було обрано механім віртуальних воріт. В даному підході по обидві сторони рухомої конвеєрної стрічки встановлюються датчики, які під час своєї роботи створюють безперервний промінь над поверхнею стрічки. Таким чином умворюються віртуальні ворота. При проходженні таких віртуальних воріт об’єкт відбиває своєю поверхнею промінь, при цьому відбувається розрив який сигналізує про те що крізь ворота «пройшов» об’єкт, а отже кількість об’єктів необхідно збільшити на один. Проте такий підхід має ряд недоліків. Серед основних є те, що окремі об’єкти повинні бути розташовані на конвеєрні стрічці на достатній відстані, в іншому випадку програмно-апаратна система буде вважати декілька об’єктів як єдине ціле. Для зменшення впливу даного фактора на кінцевий результат підрахунку запропоновано включити в систему підрахунку фотофіксуючий елемент. Дану камеру розмістити над конвеєрною стрічкою та вмикати її у момент розриву променя на віртуальних воротах. Внесення додаткового апаратного елементу дозволить проаналізувати об’єкт на конвеєрній стрічці та класифікувати його як обин чи декілька об’єктів. Це підвищить точність спрацювання системи обліку товарів, проте потребує

додаткової розробки прасрамної складової для опрацювання та аналізу отримуних зображень. Проведені дослідження показали, що така система хоча і матиме більшу вартість, проте зменшиться кількість некоректних спрацювань та підвищаться її функціональні можливості. Для проведення оцінки запропонованого алгоритму його блок-схема наведена на рисунку 2.5.

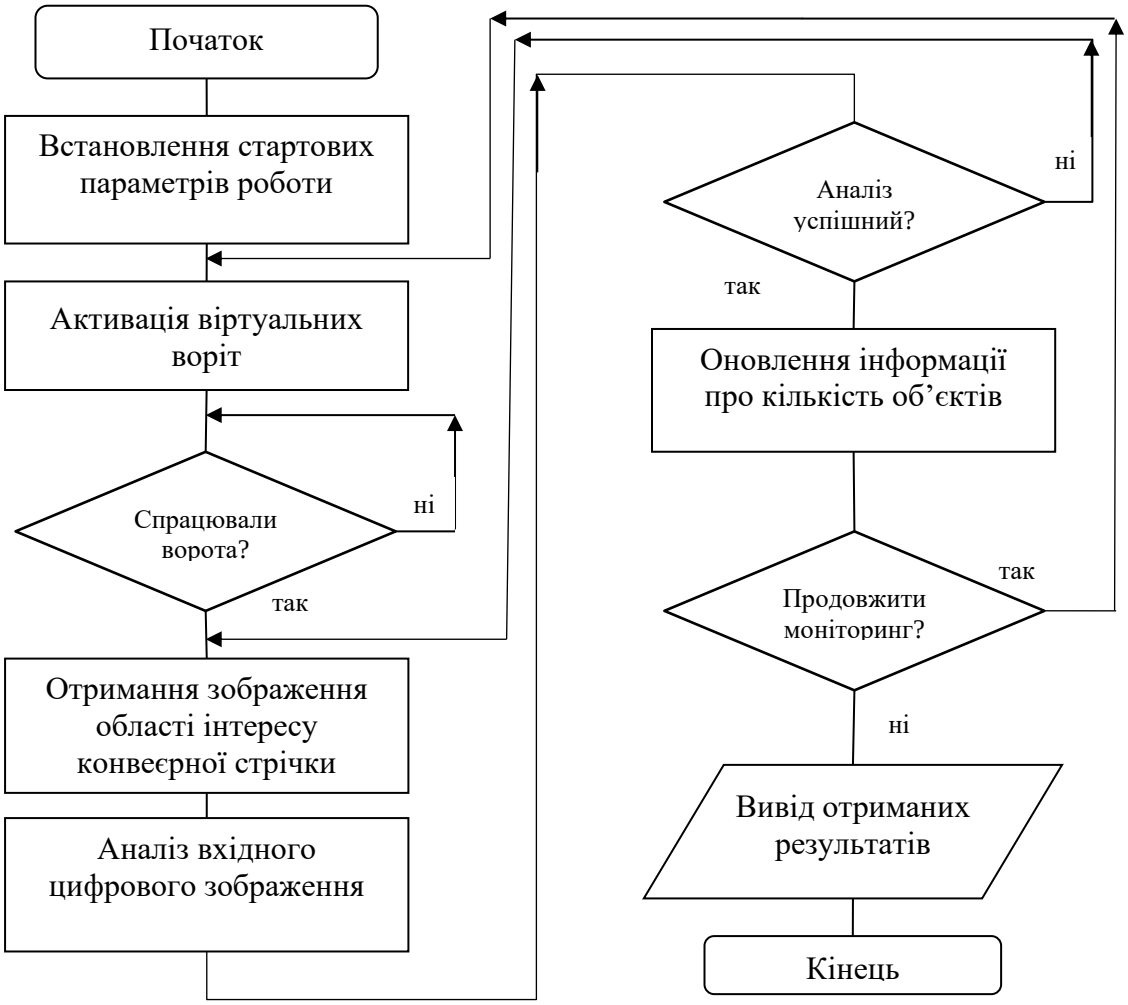


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму виділення та підрахунку об’єктів на рухомій поверхні за допомогою підходу віртуальних воріт

Запропонований алгоритм базується на поєднанні іцнформації з двох давачів та дозволяє працювати програмно-апаратній системі в автоматичному режимі. Запропонований алгоритмскладається з наступних етапів:

1) Активація руху конвеєра та системи віртуальних воріт.

2) Перевірка нерозривності променя у віртуальних воротах. Якщо промінь активний, то переходимо на пункт 3 інакше на пунк .

3) Якщо промінь на віртуальних воротах було розірвано, то переходим на пунк 4 інакше на пункт 2.

4) Активація камери та отримання зображення області інтересу конвеєрної стрічки.

5) Проведення попереднього аналізу над вхідним цифровим зображенням. Проводиться бінариація та виділення контурної лінії отриманого об’єкта.

6) Порівняння отриманої контурної лінії з еталонним значенням. Якщо контурні лінії є подібними, то вважаємо, що в області інтересу знаходиться один об’єкт та переходимо на пункт 7, інакше на пунк 4.

7) Збільшуємо кількість об’єктів які було виявлено на рухомій конвеєрній стрічці.

8) Проводиться перевірка продовження руху конвеєрної стрічки. Якщо рух продовжується переходимо на пункт 2, інакше пункт 9.

9) Вивід результатів робти системи на пристрій зберігання інформації та вимкнення системи підрахунку кількості об’єктів на рухомій поверхні.

Аналіз вхідного зображення відбувається на основі простих алгоритмів порівняння двох кривих, оскільки на конвеєрі, як правило, перебувають об’єкти одного або декількох класів. Це дозволяє працювати програмній системі в режимі реального часу та опрацьовувати великі об’єми вхідної інформації. Під час попереднього аналізу використовуються тільки алгоритми порогової сегментації (бінаризації) та контурного аналізу. Використання невеликої кількості алгоритмів обробки цифрових зображень, а також частоті отримання нових кадрів дозволяє в програмно-апаратній ситемі використовувати не самі потужні компоненти. А це зменшує вартість системи обліку в цілому.

Перевагами запропонованого алгоритму можна вважати наступні:

- використання двох систем отримання вхідного потоку даних;

- використання елементів компютерного зору для зменшення кількості некоректних спрацювань;
- використання алгоритмів цифрової обробки зображень які є не вимогливі до анаратних засобів;
- простота реалізації та низька вартість програмно-апаратної системи реалізованої на запропонованому алгоритмі.

Недоліки:

- неможливість розпізнавання об’єктів які розташовані на конвеєртій стрічці один над одним;
- необхідність спеціалізованого програмного забезпечення для роботи запроновагого алгоритму.

Виявлені недоліки не є критичними та вимагають незначних додаткових часови та фінансових витрат, проте дзволяють збільшити точність та цункціональні моливості запропонованого алгоритму.

2.4 Висновки до розділу

Проведно огляд та класифікацію конвеєрних стрічок, на основі принципів їх функціонування, що дозволило обрати стрічкові конвеєри та підхід на основі використання віртуальних воріт як базовий для алгоритму виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях.

Розроблено алгоритм виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях, що в подальшому, дало можливість розробити та провести моделювання програмно-апаратної системи підрахунку кількості об’єктів на конвеєрній стрічці.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА СИСТЕМА ПІДРАХУНКУ ОБ’ЄКТІВ НА РУХОМИХ ПОВЕРХНЯХ

3.1 Структура програмного додатку системи підрахунку об’єктів

У сучасному індустріальному світі, що постійно розвивається, виробники завжди шукають кращі способи виконання завдань. Вони не просто намагаються йти в ногу з часом; вони прагнуть бути попереду. Головною причиною цього є хвиля нових технологій, яка змінює наше уявлення про виробництво.

Оскільки виробники прагнуть більшої точності та ефективності, звернення до інновацій ШІ стає помітною тенденцією. Комп'ютерний зір у виробництві викликає особливий інтерес. Подібно до того, як наші очі надсилають інформацію в наш мозок, щоб зрозуміти, що ми бачимо, комп’ютерний зір допомагає машинам зрозуміти, що вони бачать, аналізуючи зображення чи відео.

Прийняття та визнання комп’ютерного бачення свідчить про значний зсув у виробничих технологічних тенденціях у бік більш керованої даними, автоматизованої та інтелектуальної операційної системи, оголошуючи четверту промислову революцію. У цій статті досліджується ажіотаж навколо систем зору у виробництві, потенційне застосування комп’ютерного зору у виробництві та збираються думки експертів щодо комп’ютерного зору та того, що чекає в майбутньому.

Поєднання комп’ютерного зору з машинним навчанням відкриває цілий світ можливостей. Оскільки ці технологічні сфери перетинаються, виробники отримують унікальний шанс використати їхню об’єднану потужність. Ця суміш створює інтелектуальні виробничі системи, які регулюють і точно налаштовують у дорозі, використовуючи дані в реальному часі. Він також представляє інструменти прогнозування, які допомагають компаніям передбачати проблеми, планувати технічне обслуговування та запобігати проблемам на ранніх стадіях. За допомогою цих передових інструментів виробники можуть не лише вдосконалювати свою роботу, але й продовжувати розширювати межі

можливого. Цей новий підхід до прийняття рішень із використанням даних змінює гру, готуючи основу для майбутнього, де швидкі коригування, точність і планування наперед є стандартною практикою.

Використовуючи комп'ютерний зір у виробництві, виробники можуть автоматизувати багато процесів. Аналізуючи візуальні дані, отримані з виробничого цеху, системи комп'ютерного зору можуть точно ідентифікувати та відстежувати об'єкти, контролювати робочий процес і виявляти аномалії, такі як несправності обладнання або дефекти продукції. Наприклад, під час перевірки якості комп'ютерний зір можна використовувати для виявлення поверхневих дефектів або вимірювання точності розмірів, що, у свою чергу, призводить до меншої кількості проблем з якістю, менше переробок і скорочує час, витрачений на непотрібні перевірки прямими працівниками. На складальних лініях комп'ютерний зір можна використовувати для автоматизації перевірок контролю якості, гарантуючи, що кожен продукт відповідає необхідним стандартам перед переходом до наступного етапу виробництва.

Система роликових стрічкових конвеєрів – це процес, який використовується в різних галузях промисловості для легкого транспортування важких вантажів з одного місця в інше. Зараз більшість компаній використовують важкі конвеєрні системи, які, як правило, споживають більше енергії. Важка система складання також створює проблеми через технічне обслуговування критичних компонентів і призводить до збільшення робочої сили та споживання часу, що не допомагає галузям досягти прибуткового зростання. Обробка матеріалів є невід'ємною частиною промисловості та забезпечує значну частку загального виробництва електроенергії. Обробка матеріалів включає різні типи, такі як підйомники, конвеєри тощо, з яких конвеєри є найбільш корисними та менш трудомісткими системами для безперервного переміщення матеріалів у промисловості. Стрічковий конвеєр широко використовується для безперервного транспортування різного обладнання з кращою ефективністю та міцністю. Важливо зменшити енерговитрати та енергетичні витрати на транспортування матеріалів. Таким

чином, цей процес заснований на підвищенні ефективності енергії стрічкових конвеєрів, оскільки це основні причини цієї системи, які споживають енергію.

Оскільки розроблювальна система буде складатись з двоє частин (апаратної для запуску фотокамери та програмної для аналізу отриманих цифрових зображень), то для реалізації програмної частини було використано цифрову бібліотеку для оборбки ки зображень OpenCV.

Обрана бібліотека OpenCV (Open Source Computer Vision) – це бібліотека комп'ютерного зору, що містить реалізовані алгоритми для обробки зображень з відкритим вихідним кодом. Вона розроблена для забезпечення інструментів для роботи з комп'ютерним зором у реальному часі. Вона надає значний функціонал для обробки зображень та відео, що включає можливості розпізнавання об'єктів, виділення та коментування ознак, калібрування камер, відстеження руху, виявлення облич та багато іншого. Серед ключових аспектів та можливостей OpenCV можна виділити:

Широкий спектр мов програмування, які підтримує дана бібліотека. OpenCV надає інтерфейси для використання різними мовами програмування, таких як C++, Python, Java та багато інших. Це робить бібліотеку доступною для широкого кола розробників.

Великий масив функцій та структур для роботи з цифровими зображеннями. OpenCV надає широкий набір функцій для обробки зображень, включаючи фільтрацію, перетворення колірних просторів, корекцію яскравості та контрасту, а також інші методи покращення та зміни зображень.

Можливість обробки як окремих зображень так і потокового відео. Бібліотека забезпечує можливості обробки відеопотоків, включаючи отримання, запис та аналіз кадру за кадром. Це дозволяє розробляти програмні рішення для відеоспостереження, аналізу руху та інших сценаріїв.

Окремий набір реалізованих алгоритмів для розпізнавання та класифікації зображень. OpenCV надає алгоритми для розпізнавання об'єктів зображення. Це включає детекцію об'єктів, трекінг, аналіз форм і контурів.

Інтегровані засоби для реалізації елементів машинного навчання. OpenCV також включає модулі машинного навчання для навчання класифікаторів, детекторів та інших моделей, що робить її потужним інструментом для розробки додатків та систем штучного інтелекту.

Цифрова бібліотека містить реалізоції інтерфейсів для робти з різними типами цифрових камер, що значно спрощує інтеграцію апаратних фотофіксуючих елементів в проектовані системи. OpenCV надає інструменти для калібрування камер, вилучення параметрів камери та виконання різних геометричних перетворень.

OpenCV має велику документацію, включаючи безліч прикладів коду та посібників. Є також активна спільнота розробників, що забезпечує підтримку та обмін досвідом. OpenCV є однією з ключових бібліотек у галузі комп'ютерного зору і знаходить застосування в різних галузях, таких як медична діагностика, автоматизоване відеоспостереження, робототехніка, а також розробка додатків для доповненої реальності та багатьох інших.

Проведений аналіз програмних систем обробки цифрових зображень показав, що в основі більшості систем закладено модульний підхід. Модульний підхід у проектуванні архітектури програмної системи надає низку істотних переваг, підвищуючи підтримуваність, масштабованість та загальну гнучкість системи. Якщо проаналізувати переваги даного підходу більш детальніше, то можна зробити наступні висновки. Модульний підхід дозволяє розбити систему на невеликі, автономні компоненти, які можуть працювати незалежно один від одного. Це спрощує сприйняття та розуміння архітектури системи, оскільки розробники можуть зосереджуватися на обмеженій кількості модулів без необхідності розглядати всю систему цілком. Кожен модуль виконує певні функції та має чітко визначені інтерфейси, полегшуючи взаємодію між компонентами. Модулі дають можливість повторного використання програмного коду. Попередньо створені та протестовані модулі можуть бути легко інтегровані у різні проекти, прискорюючи процес розробки та знижуючи ймовірність помилок. Дану перевагу часто використовують при створенні

великих систем, де функціональність може повторюватися у різних частинах проекту. В свою чергу ізольованість окремих модулів спрощує процес тестування та виявлення помилок. Зміни в одному модулі не повинні істотно впливати на інші, що забезпечує високий ступінь незалежності компонентів. Це також дозволяє проводити часткові апгрейди та модифікації без необхідності перебудовувати всю систему. Також слід відмітити, що такий підхід в проектування архітектури забезпечує гнучкість при додаванні чи видаленні нових функціональних елементів в систему. Нові модулі можуть бути легко впроваджені, а модулі, що не використовуються, можуть бути замінені або видалені без серйозних наслідків для іншої системи. Це сприяє легкості адаптації системи до вимог, що змінюються.

У результаті модульний підхід у проектуванні архітектури програмної системи забезпечує ефективне управління складністю, покращує гнучкість та підтримуваність системи, сприяє повторному використанню коду та забезпечує легкість внесення змін. Ці переваги роблять модульний підхід важливим елементом у розробці програмного забезпечення.

На основі проведеного аналізу необхідних функцій та завдань системи моніторингу та підрахунку товарів на рухомій поверхності було рзроблено узагальнену структуру. Дана структура складається з двох великих моділів які поділяються на ряд блоків. Такий підхід було обрано у звяфзку з тим, що система підрахунку може працювати як в режимі віртуальних воріт на основі аналізу перервності інфрачервоного променя так і у вдосконаленому, під час якого інфрачервоний промінь працює не для підрахунку окремих елементів, а в якості активатора системи фотофіксації з подальшим аналізом отриманих цифрових зображень. Зміна режиму робти з одного стану в інший проводиться користувачем в ручному режимі та залежить від того що саме буде транспортуватись конвеєрною стрічкою. До критеріїв, які необхідно врвхувувати для максимально ефективної роботи системи слід віднести: тип товарів, їх розміри, швидкість руху конвеєра, відстань між окремими об’єктами тощо. Узагальнену структуру системи моніторингу наведено на рисунку 3.1.

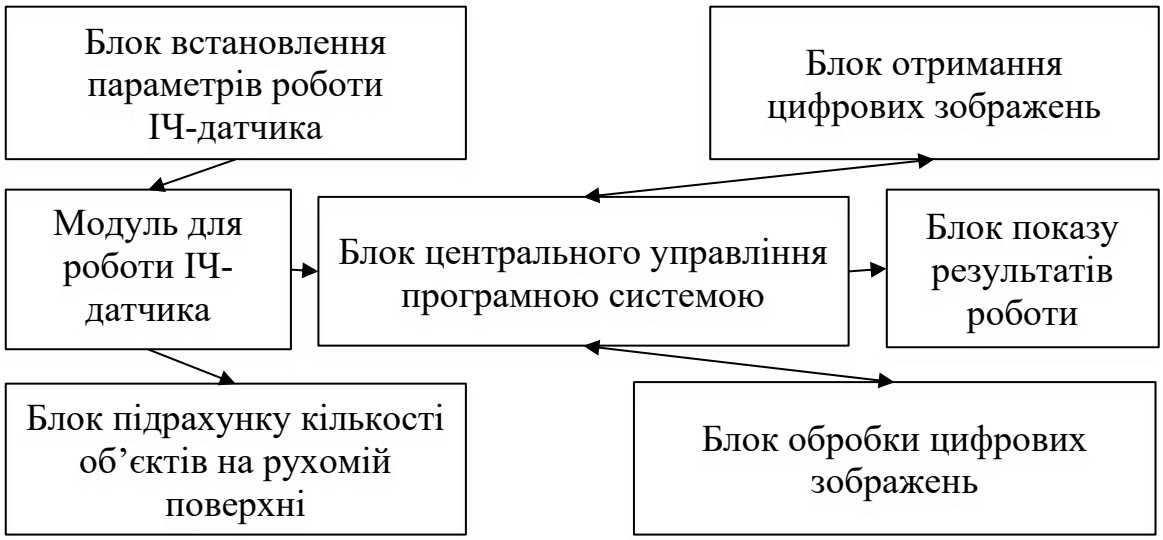


Рисунок 3.1 – Узагальнена структура системи підрахунку об’єктів на рухомій поверхні

Для більшого розуміння запропонованої архітектури проаналізуємо функціональні можливості кожного з виділених блоків окремо.

Блок центрального управління програмною системою. Даний блок відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного та точного функціонування всього процесу. Серед основних його функціональних завдань є загальний моніторинг та управління всіма аспектами роботи системи. В ньому реалізована взаємодіє з датчиками та камерами, встановленими на конвеєрі. Датчики можуть виявляти переміщення товарів, а камери знімати зображення для подальшого аналізу. Завдяки цій взаємодії система отримує необхідну інформацію для точного підрахунку. Блок управління здатний виявляти та коригувати помилки в процесі підрахунку. Наприклад, якщо товар розташований на конвеєрі неправильно, то система повинна повідомити користувача про це і перейти в режим очікування рішення оператора. Блок управління також забезпечує можливість оновлення програмного забезпечення системи, що дозволяє впроваджувати нові алгоритми обробки зображень та покращення в процесі експлуатації. Він також моніторить стан усіх компонентів системи, надаючи інформацію про автивність усіх компонентів та їх коректну роботу. Таким чином, блок управління в архітектурі

системи підрахунку товарів на конвеєрі відіграє ключову роль у забезпеченні точності, ефективності та надійності виробничого процесу, взаємодіючи з датчиками, камерами, базою даних та іншими компонентами для досягнення цілей системи.

Блок встановлення параметрів роботи ІЧ-датчика. Для коректної роботи системи в режимі механічного підрахунку слід провести корекцію роботи самого інфрачервоного датчика. Інфрачервоні датчики – це пристрої, здатні сприймати інфрачервоне випромінювання, яке є частиною електромагнітного спектра з довжиною хвилі від 700 нм до 1 мм. Датчики вимірюють інтенсивність інфрачервоного випромінювання, перетворюючи його на електричний сигнал. Важливим елементом інфрачервоних датчиках є пірометричний елемент або термопара, який генерує електричний сигнал при зміні температури. Температурні зміни на об'єкті створюють різницю в інфрачервоному випромінюванні, і датчик помічає ці зміни, перетворюючи їх на сигнал, який може бути інтерпретований відповідно до температури об'єкта. Серед параметрів роботи, які потребують налаштування є:

- мінімальний час перетину променя. Даний параметр сприяє зменшенню випадків хибного спрацьовування лічильника через час менший ніж необхідно для того щоб об’єкт покинув область віртуальних воріт;
- максимальний час перетину променя. Даний параметр дозволяє активувати фотокамеру через ймовірність накладання/дотикання декількох одиниць товару одна на одну
- висоту розташування самого датчика, дозволяє змінювати положення датчика по осі ординат в залежності від розмірів транспортованих об’єктів.

Блок підрахунку кількості об’єктів при механічному підході. Даний блок є допоміжним та служить для передачі інформації про стан променя у віртуальних воротах. В залежності від тривалості відсутності променя, може приймати рішення про збільшення значення лічильника підрахунку товарів або ж підключати систему додаткового візуального моніторингу за допомогою обробки цифрового зображення області інтересу. При коректних часових

затримках роботи датчиків результат передається в базу даних з відповідним дублюванням на дисплей системи.

Блок встановлення параметрів роботи цифрової камери. Дана структурна одиниця належить до частини програмно-апаратної системи яка відповідає за організацію процесу підрахунку за допомогою аналізу цифрових зображень. А саме, дозволяє встановити початкові параметри активації та роботи цифрової камери. Серед основних параметрів, які задаються в даному блоці є тип та формат зображень які будуть формуватись під час процесу фотофіксації, необхідність включення/виключення додаткових фільтрів, необхідність додаткової попередньої обробки отриманих зображень тощо.

Блок отримання цифрових зображень. Дана структурна одиниця призначена для завантаження та підготовки зображень для аналізу та обробки. Він служить вхідною точкою, через яку система отримує доступ до візуальних даних, необхідних для різних завдань, таких як виявлення об'єктів з подальшою фіксацією отриманих результатів. В залежності від технічних можливостей камери та налаштувань роботи програмної системи цифрові зображення можуть бути передані у різних форматах, таких як JPEG, PNG, BMP та інші. Крім того, вхідні дані можуть включати параметри, пов'язані з характеристиками зображення, такі як роздільна здатність, кольорова гама, метадані та інше.

Основний результат роботи модуля введення - це цифрове зображення області інтересу на конвеєрній стрічці, підготовлене для подальшої обробки. Модуль введення інформації тісно взаємодіє з іншими модулями системи обробки цифрових зображень. Наприклад, він передає попередньо оброблені зображення модулю обробки, де при потребі застосовуватись алгоритми фільтрації, покращення контрастності тощо.

Блок обробки цифрових зображень. Даний елемент системи моніторингу та підрахунку товарів на рухомій поверхні включає в себе велику кількіть алгоритмів та засобів для обробки та аналізу цифрових зображень та дозволяє проводити інтелектуальний аналіз отриманих даних. Модуль використовує технології комп'ютерного зору для автоматичного розпізнавання об'єктів та їх

характеристик, що забезпечує автоматизований процес обробки. У той же час, взаємодія з модулями виводу дозволяє подати результати обробки у зручній формі для користувача, наприклад у вигляді візуалізації або звітів. Оскільки даний блок має складну внутрішню структуру (рисунок 3.2), то проаналізуємо його основні групи алгоритмів.

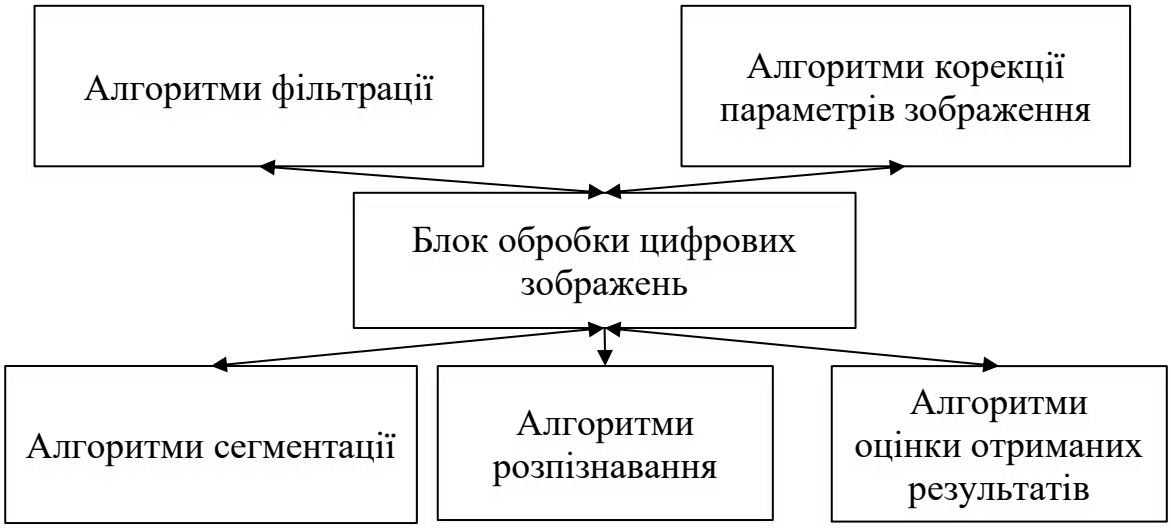


Рисунок 3.2 – Узагальнена структура блоку обробки цифрових зображень

Група алгоритмів фільтрації. Алгоритми призначені для зміни характеристик зображення з метою поліпшення якості, видалення шуму або виділення певних характеристик. Серед реалізованих фільтрів можна відмітити:

- фільтр усереднення. Проводить заміну значення кожного пікселя на середнє його околиці. Використовується для розмиття зображення та згладжування шуму;
- медіанний фільтр. Значення кожного пікселя замінюється медіанним значенням його околиці. Ефективний при видаленні шуму та збереженні країв;
- фільтр Гауса. Використовує вагові коефіцієнти у формі функції гауса для згладжування зображення. Застосовується для розмиття та згладжування.
- фільтр Собеля. Використовується для виділення меж у зображенні. Він обчислює градієнт інтенсивності пікселів та виявляє зміни яскравості.

- фільтр різкості. Підкреслює межі та деталі, збільшуючи різницю в інтенсивності пікселів.

Застосування конкретного фільтра залежить від параметрів роботи системи. Комбінування різних фільтрів може дати найкращий результат, залежно від конкретних потреб обробки зображень.

Група алгоритмів сегментації. Алгоритми сегментації цифрових зображень виконують поділ зображення на сегменти подібних показників виділення об'єктів і структур. В системі використано ряд алгоритмів сегментації реалізованих в бібліотеці OpenCV. Реалізовані алгоритми використовують схожість пікселів за певним критерієм для розділення зображення на однорідні методи. Вибір методу залежить від характеристик зображення та поставлених завдань. Порогова обробка може бути ефективною для чітких меж, тоді як машинне навчання краще підходить для складніших сценаріїв. Комбінування методів часто застосовується для покращення точності сегментації у різних сценаріях.

Група алгоритмів розпізнавання. Дана група алгоритмів спрямована на виявлення та ідентифікацію об'єктів зображення. Серед алгоритмів які використовуються в програмній частині є алгоритми, що працюють на основі аналізу виділених ознак. Алгоритм SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) виділяє ключові точки об’єктів при цьому враховується те, що вони повинні бути стійкі до масштабування та повороту. Та алгоритм SURF (Speeded-Up Robust Features), який за суттю подібний до алгоритму SIFT, але більш ефективний у обчисленнях і забезпечує високу стійкість до афінних перетворень. Ці алгоритми використовуються для виділення окремих товарів на конвеєрній стрічці. Вибір конкретного методу залежить від контексту, вимог задачі та характеристик даних.

Модульний підхід дозволив провести розбиття цілісної задачі розробки програмно-апаратної системи для моніторингу та підрахунку кількості товарів. Окрім того, використання даного підходу дозволило значно зменшити часові затрати на етапі програмної реалізації запропонованого алгоритму.

Для підтвердження правильності та коректності запропонованої архітектури програмного-апаратної системи було проведено ряд досліджень по модулюванню поведінки елементів системи у можливих ситуаціях. Для даного дослідження було використано механізм моделювання на основі набору UML моделе. Використання Unified Modeling Language (UML) діаграм у процесі розробки програмного забезпечення надає цінний інструмент для покращення комунікації, розуміння та управління проектом. Ось кілька ключових причин, чому UML діаграми сприяють покращенню процесу розробки.

По-перше, UML діаграми забезпечують стандартизацію візуального представлення структури та поведінки системи. Це усуває можливі непорозуміння, пов'язані з різними тлумаченнями текстових описів, що значно спрощує взаєморозуміння між учасниками проекту. Розробники, тестувальники, менеджери та замовники можуть використовувати єдиний набір графічних позначень для чіткого представлення архітектури та функціональності системи.

По-друге, UML діаграми дозволяють проводити аналіз та проектування системи на вищому рівні абстракції. Це дозволяє команді швидко сфокусуватись на ключових аспектах системи, уникаючи зайвих деталей на ранніх етапах розробки. Абстракція допомагає виділити основні елементи та їх взаємозв'язки, що в кінцевому підсумку сприяє створенню більш чистої, ефективної системи, що легко підтримується.

До складу UML моделей входить велика кількість різних заготовок, проте для дослідження запропонованої архітектури було обрано тільки дефкі з них. Перше дослідження проводилось з метою виділення груп користувачів які будуть взаємодіяти з системою, підкреслити їх можливі запита та прописати сценарії поведеніки системи в умовах реальної роботи. Для цього використано механізм та моливості діаграми прецедентів. Приклад діаграми прецеденів наведено на рисунку 3.3.

В результаті першого етапу моделювання структури програмної складової систми поніторингу було виділено групи користувачів які взаємодіятимуть з програмою під чаї виконання поставлених завдань.

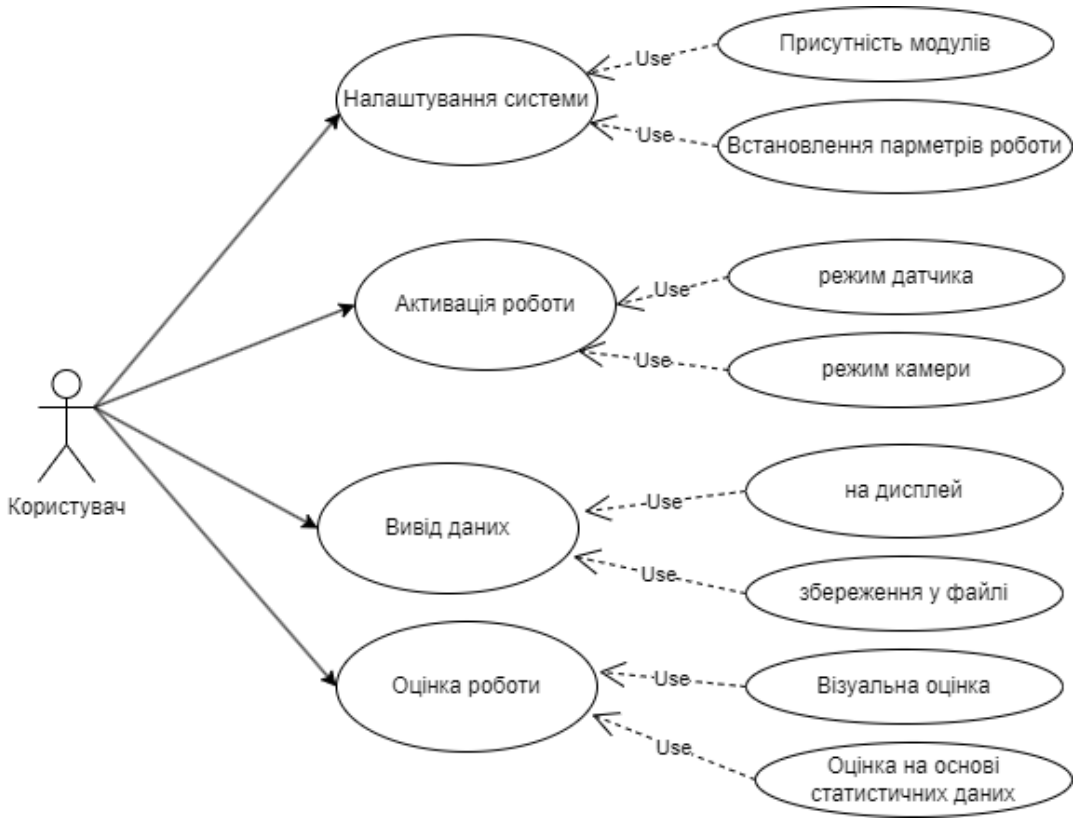


Рисунок 3.3 – Діаграма прецедентів програмної системи

Так група «Користувачі» - це група людей які мають мінімальні можливості для взіємодії з програмною системою, проте чайчастіше її використовують. Для зручного використання їм надається можливість встановллювати параметри робти системи проводити моніторинг результатів роботи, а також вибирати режим функціонування системи підрахунку та моніторингу. Такий набір функцій дозволяє даній групі користувачів у повній мірі виконувати поствлені на них функціональні завдання при цьому їх взаємодія з самою системою є мінімальною, що дозволить меншити вплив людського фактору на кінцевий результат роботи системи. Окремо можна вибілити функцію оцінки результатів роботи системи. В даній реалізації користувчі мають можливість як візуально проаналізувати реакцію системи на проходження товарів через віртуальні ворота, так і проаналізувати вміст лог файлу, який фармує система під чс винекнення спірних ситуацій на етапі виділення обєктів на конвеєрній стрічці.

Важливим етапом дослідження структури програмної системи є оцінка послідовності протікання процесів та моливість їх розпаралелення. Для виявлення можливих накладань процесів під час роботи програмної системи було проведено моделювання на основі діаграми послідовностей. Результат моделювання наведено на рисуноку 3.4.

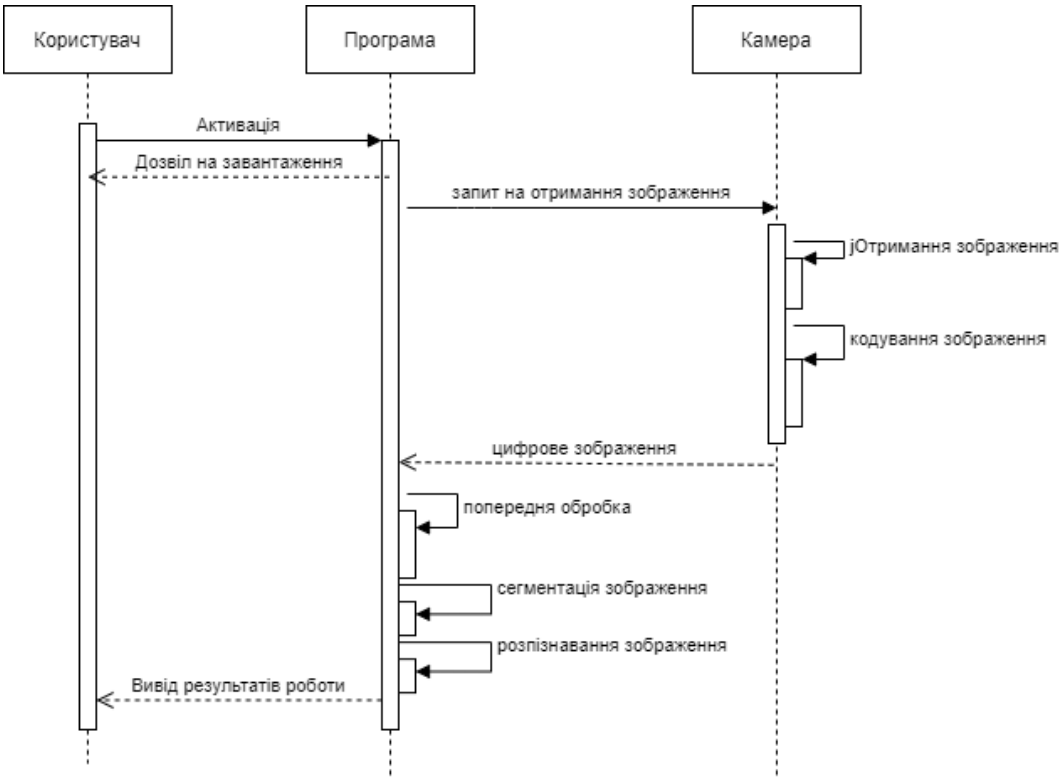


Рисунок 3.4 – Діаграма послідовності програмної системи

При візуальному аналізу діаграми послідовностей можна виділити основіні часові затримки на кожному з етапів роботи програми. Отож оцінка, показала, що всі процеси відбуваються послідовно, можуть мати між собою деякі часові затримки у зв’язку з недостатньою швидкістю руху конвеєрної стрічки. Тому, в структуру програмної системи було закладено механізми нарощування функціональних можливостей або прискорення руху конвеєрної стрічки з залежності від технологічних процесів. Програмна система працює в автономному режимі, що зменшує навантаження на користувача, та в загальному випадку. Зводить його роль до пасивного спостерігача.

Під час проектування модуля попередньої обробки цифрових зображень було розроблено ієрархію класів для коректної та зручної взаємодії між цифровою дібліотекою OpenCV та власним програмним кодом. Для виявлення усіх взаємозвязків та можливостей порганізації наслідування між різними класами було проведено моделювання структури класів за допомогою діаграми класів. Результати провденого моделювання наведено наведена на рисунку 3.5

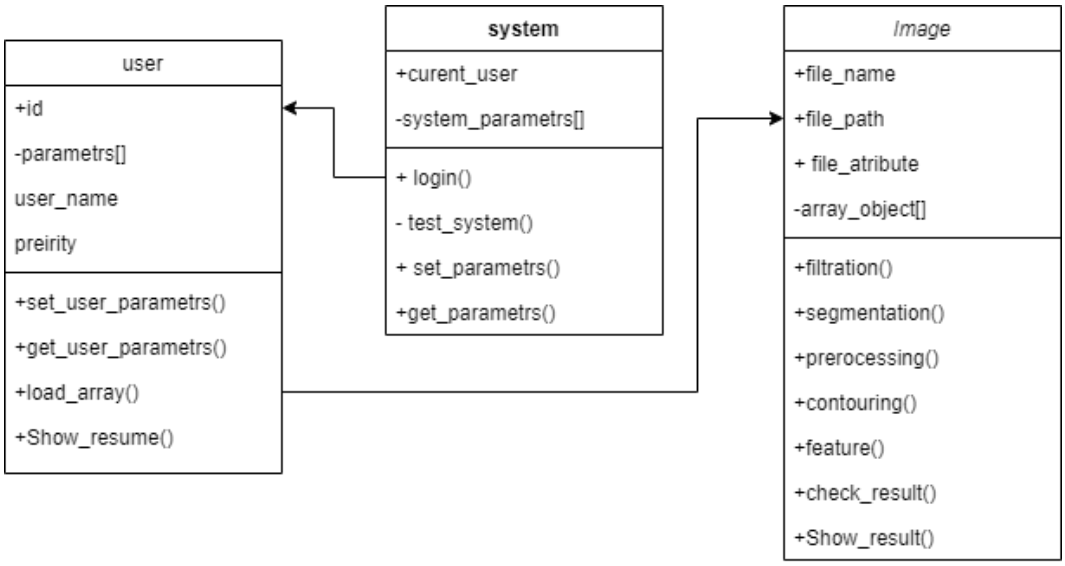


Рисунок 3.5 – Діаграма класів програмної системи

Даний набір класів використовується в модулі обробки цифрових зображень, оскільки для роботи інших модулів не потрібно настульки складна система класів. Для їх реалізації достатньо стандартного набору прострих та візуальних класів, що пропонує мова програмування java.

Проведене моделювання продемонструвало цілісніст запропонованого програмного рішення, можливість адаптації системи під різні технічні вимоги та стійкість системи при винекненні різних помилкових ситуацій. Позитивні результати теоретичного моделювання та оцінки запропонованих рішень дозволяє зробити висновки, що базові елементи були обрані правильно, а їх поєднання створює цілісну систему. Для подальшого дослідження запропонованого алгоритму та архітектурних рішень необхідна практична реалізація.

Для візуалізації роботи програмної системи було розроблено дві можливості. Система може відображати результати своєї роботи за допомогою стандартного міні цифрового led дисплею або при використанні додаткового апаратного забезпечення передавати інформацію про свою роботу на екран монітора. При використанні першого підходу виводиться інформація тільки прокількість об’єктів, які переднулиуявну лінію віртуальних воріт. У другому випадку програмна система відобразить більше інформативних даних як про поточний стан системи так і про попередні критичні ситуації які відбувались з системою. Окрім того при підключенні дисплею користувачі можуть у зручний спосіб змінити параметри налаштування роботи системи.

Під час експлуатації системи користувач мінімально взаємодіє з основними елементами програмної системи, а для виконання поставлених завдань йому необхідно виконати мінімальну кількість операцій. Послідовність необхідних дій відображено на рисунку 3.6:

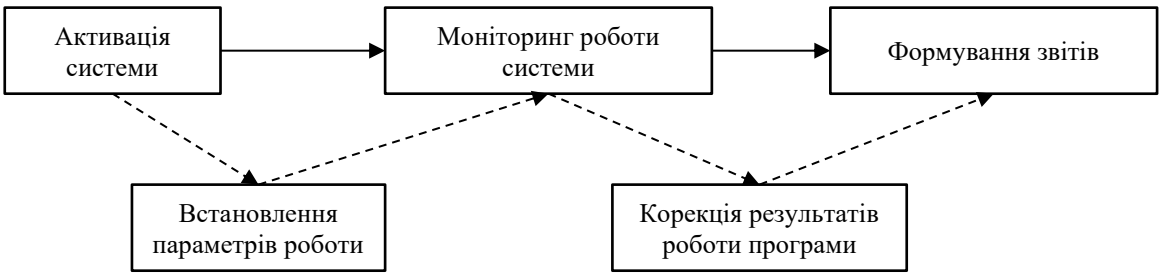


Рисунок 3.6 – Послідовність дій користувача при роботі з порограмно-апаратною системою моніторингу та підрахунку товарів на конвеєрі

Як показано на схемі користувачу достатньо активувати роботу програмної системи і вона може працювати повністю в автоматичному режимі. На користувача покладена роль спостерігача та коректора роботи під час винекнення помилкових ситуацій. Проте частину помилкових ситуацій система може ігнорувати або виправляти власними функціональними моливостями. Наприклад, якщо об’єкти дотикаються один до одного.

3.2 Модулі програмно-апаратної системи моніторингу

Цифрове зображення складається з кінцевої кількості елементів, кожен з яких має певне розташування та значення. Ці елементи називаються елементами зображення, елементами зображення або пікселями. Перед тим як перейти до обробки зображення, воно перетворюється в цифрову форму. Серед багатьох і різноманітних можливих етапів обробки та аналізу, які виконуються на цифровому зображенні, для дослідження основними є виявлення та сегментація країв зображення, а також процеси зіставлення та розпізнавання зображень. Покращення зображення: обробка зображення таким чином, щоб результат був більш придатним для конкретного застосування. (збільшення або зменшення розмитості зображення, що не в фокусі, виділення країв, покращення контрастності зображення або освітлення зображення, видалення шуму) Сегментація зображення передбачає поділ зображення на складові частини або виділення певних аспектів зображення. (пошук ліній, кіл або певних форм на зображенні, на аерофотознімку, ідентифікація автомобілів, дерев, будівель або доріг. Виявлення країв – це тип техніки сегментації зображення, головним завданням якого є визначення наявності край або лінію на зображенні та окреслює їх відповідним чином. Превітт, Собел і Кенні розробили інші оператори детектора країв, чиї оператори маски для обох осей x і y. Оператори маски [3x3] масиви (матриці). Оператори маски для трьох операторів визначення країв. Зіставлення зображень як процес зіставлення полягає в пошуку відповідності між різними наборами даних. Набори даних можуть представляти зображення, фотографії, карти або будь-яку іншу форму моделі об’єкта. завжди було складною проблемою в галузі дослідження та розробки зображень. Деякі фактори, які можуть створювати проблеми під час зіставлення зображень, включають, але не обмежуються ними, зміни у вмісті зображення, обертання площини, зміну масштабу, зміну освітлення та відмінності, викликані електронним шумом. Основний принцип зіставлення полягає в пошуку в усіх

пікселях потрібної області, яка ідентична заданому шаблонному зображенню. Однак, оскільки зображення зазвичай мають величезну кількість пікселів, з точки зору продуктивності нереально застосовувати повний пошук у просторі зображення. З цієї конкретної причини запропоновані алгоритми зіставлення зображень покращено, щоб скоротити час пошуку та отримати оптимізовану продуктивність. Алгоритми зіставлення зображень класифікуються як; на основі області, на основі ознак, моделі трансформації, прямі методи, методи просторової області, методи частотної області та методи на основі природи зображення. Для цілей експерименту та моделювання в цій статті запропоновано та прийнято відносно простий алгоритм узгодження. Умова: обидва зображення мають однакові розміри. Якщо всі пікселі виявляються ідентичними, тоді вхідні зображення вважаються збігаються. Однак алгоритм може прийняти деякі відмінності між відповідними пікселями та все одно розглянути рішення про відповідність для вхідних зображень, якщо користувач фіксує порогове значення для таких прийнятних відмінностей.

Для прикладу розглянемо реалізацію програмного коду класу для бінаризації цифрового зображення на основі алгоритму порогової сегментації мові Java з використанням бібліотеки OpenCV (рисунок 3.7).

```
public class ImageSegmentation {
     public static void main(String[] args) {
          System.loadLibrary(Core.NATIVE_LIBRARY_NAME);
          Mat originalImage = Imgcodecs.imread("image.jpg");
          Mat grayImage = новий Mat();
          Imgproc.cvtColor(originalImage, grayImage,
Imgproc.COLOR_BGR2GRAY);
          Mat thresholdedImage = new Mat();
          Imgproc.threshold(grayImage, thresholdedImage, 128,
255, Imgproc.THRESH_BINARY);
         Imgcodecs.imwrite("image_segmented.jpg",
thresholdedImage);
     }
}
```

Рисунок 3.7 – Приклад реалізації класу для сегментації цифрового зображення

Для більшого розуміння опишемо основні етапи роботи даної реалізації. Для початку робти необхідно завантажити та налаштувати роботи цифрової

бібліотеки з програмним проектом, для цього використовуємо стандартні засоби мовипрограмування Java:

```
System.loadLibrary(Core.NATIVE_LIBRARY_NAME);
```

У бібліотеці OpenCV властивість NATIVE_LIBRARY_NAME використовується для отримання назви бібліотеки OpenCV, яка повинна бути завантажена в системі. Це часто використовується при роботі з нативними (C/C++) частинами OpenCV в засобах програмування, таких як Java.

Наступним етапом при бінаризації цифрового зображення за допомогою мехінізмів бібліотеки OpenCV є завантаження вхідного цифрового зображення та проведення підготовчих операцій з метою отримання зображення у відповідності до усіх вимог програмнних функцій. Для цього проводиться перекодування вхідного зображення у формат зображення у градаціях сірого. Дана процедура відувається за допомогою наступного програмного коду:

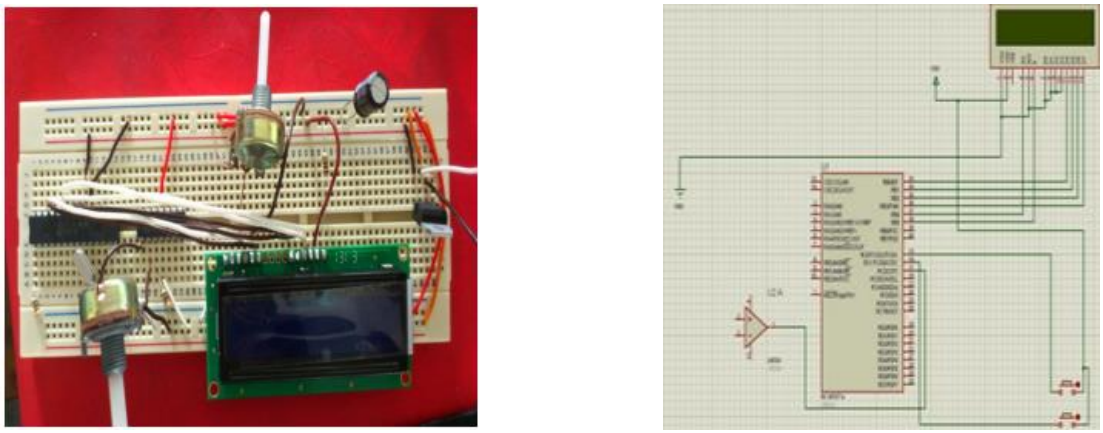
```
        Mat MyGrayImage = new Mat();
        Imgproc.cvtColor(inputOriginalImage, MyGrayImage,
Imgproc.COLOR_BGR2GRAY);
```

Після проведення усіх попередніх обробок вхідне зображення передається на вхід функції порогової сегментації. Парамтри даної функції є відповідно саме підготовлене вхідне зображення, обраний алгоритм сегментації а також параметри роботи даного алгоритму. Приклад процедури сегментації наведено нижче:

```
        Mat MyThresholdedImage = new Mat();
        Imgproc.threshold(MyGrayImage, MyThresholdedImage, 128,
255, Imgproc.THRESH_BINARY);
```

Тут застосовується гранична обробка: значення пікселів, що перевищують поріг (у даному випадку, 128), стають максимальними (255), а решта - мінімальними (0).

Структура апаратної системи підрахунку товарів на конвеєрі з використанням датчиків може бути поділена на кілька ключових компонентів, призначених для ефективного моніторингу, обробки даних та підрахунку товарів. Реалізація апаратної складової системи підрахунку кількості об’єктів наведено на рисунку 3.8.



a) b)

Рисунок 3.8 – Приклад апаратної реалізації (a) та схема (b) системи моніторингу на основі віртуальних воріт

Ось основні елементи структури такої системи:

Інфрачервоні датчики Використовуються для виявлення наявності товарів на конвеєрі. Інфрачервоні промені можуть бути перервані, коли товар переміщається, що сигналізує про проходження об'єкта.

Мікроконтролер або PLC (Programmable Logic Controller): Приймає дані від датчиків та координує роботу всієї системи. Обробляє сигнали, керує швидкістю конвеєра та реагує на зміни у навколишньому середовищі.

Модуль обробки даних Відповідає за обробку даних від датчиків. Може включати алгоритми комп'ютерного зору для сегментації та аналізу зображень товарів.

Алгоритми підрахунку: Відстежують рух товарів на конвеєрі та підраховують їх кількість на основі даних від датчиків.

Панель керування або інтерфейс користувача: Забезпечує операторам контроль над системою та дозволяє моніторити процес підрахунку товарів.

Така структура забезпечує ефективну автоматизацію процесу підрахунку товарів на конвеєрі, використовуючи різні типи датчиків та технологій комп'ютерного зору для точного та швидкого виконання завдання.

3.3 Тестування та аналіз реалізованого програмного додатку

Для оцінки функціональних можливостей розробленої системи було розроблено та виконано ряд тестів. Тестування проводилось на конвеєрній стрічці довжиною 1,5 метри яка була сконструйована за допомогою двох двох циліндрів, натягнутого між ними полотна та приводилась в дію за допомогою електричного мотору. Така система дозволяла проводити тестові випробування та проводити калібровку системи під час та після процесу її розробки. При проведенні тестування ло проведеня ряд експериментів які дозволили врахувати різні ситуації при експлуатації програмно-апаратної системи. Серед критеріїв які були визнані як важливі зокрема є:

- розміри та форма транспортованих об’єктів;
- коректність розташування об’єктів на стрічці;
- нерівномірний рух конвеєрної стрічки;
- режими фіксації потрапляння об’єкта в віртуальні ворота (тільки датчик чи до датково аналіз зображення).

Даний перелік критеріїв надає можливість змоделювати ситуації які виникають під час роботи систем моніторингу та підрахунку обєктів на конвеєрних стрічках.

Для узагальненя результатів проведених тестів та на основі обраного набору критеріїв було сформонано декілька основних груп ситуацій, які найчастіше можуть виникати під час експлуатацій систем даного типу:

- стандартний режим роботи конвеєра;
- різнотипні об’єкти для транспортування;
- збої в роботі самого конвеєра;
- максимальний рівень складності.

Для більшого розуміння особливостей кожної з груп проаналізуємо кожну з них:

- стандартний режим роботи конвеєра – під час цього режиму робту, конвеєр працює з постійною швидкістю, об’єкти транспортуються одного типу, роташовані по центру стрічки та в одному напрямі. Відстань між обєктами стандартизована відсутність накладання або дотикання різних обєктів один до одного. Ідеальні умови для функціонування конвеєрної системи. Дану групу будемо вважати еталонною;
- різнотипні об’єкти для транспортування – для ускладнення завдання аналізу та виділення окремих об’єктів на конвеєрну стрічку будуть в випадковому порядку подаватись предмети різної форми, розмірів. Даний тип експериментів проілюструє як саме система моніторингу зможе адаптуватись до зміни часових інтервалів між початком фіксації об’єкта та завершенням його проходження через віртуальні ворота;
- збої в роботі самого конвеєра. Для проведення експерементів третього типу предмети для транспортування будуть мати однакову форму та розташовуватись в одному напрямку. Проте конвеєрна стрічка буде рухатись з змінною швидкістю. Цільданого експерименту полягає в тому чи зможе система адаптуватись до зміни часових інтервалів між послідовними об’єктами;
- максимальний рівень складності. Дана група експериментів характеризується присутністю усіх можливих ситуацій які можуть відбуватись під час роботи конвеєра. Об’єкти постійно будуть змінювати свої рзміри, форму, подаватись з різними часовими затримками, можлива ситуація дотикання

сусідних об’єктів між собою. Швидкість руху конвеєрної стрічки постійно буде змінюватись від максимального прискорення до фактичної зупинки.

Розроблені групи для провдення тестових випробувань дозволяють провести повноцінний аналіз розробленої програмно-апаратної системи моніторингу та підрахунку товарів на конвеєрній стрічці на основі підходу віртуальних воріт. Під час проведення тестових запусків для групи «стандартний режим роботи конвеєра» розроблена стсема відпрацьовувала без збоїв, підрахунок завжди був правильним, система не потребувала стручання оператора. Під час виконання тестів для групи «різнотипні об’єкти для транспортування» в загальному система спрацьовувала без помилок. У більшості експериментів кількість обєктів було підраховано вірно, система не сигналізувала про винекнення аварійни ситуацій. Основні недоілки виникали у випадках якщо прадмети були або завеликим або замалими для заданих параметрів мінімального та максимального часового інтервалі вроходження одного об’єкта. Результати тестування групи «збої в роботі самого конвеєра» були подібними до результатів першої групи. Аналіз отриманих результатів показав, що швидкість руху конвеєрної стрічки мінімально впливає на результати підрахунку. Датчик чітко реагує на проміжки між сусідними об’єктами, а допоміжна система фіксації за допомогоб камери дозволяє розділити об’єкти у випадку їх близького роташування. Повна зупинка руху конвеєрної стрічки не вносить похибку в результати підрахунків, оскільки промінь датчика не переривається, а отже система вважає, що наступний обєкт ще не прибув у площну віртуальни воріт. При тестуванні останньої групи «максимальний рівень складності» були виявлені фіксації помилок системи під час розпізнавання окремих об’єктів. Оскільки як і полотно конвеєра так і обєкти, що подавались на нього були випадковими, то система не завжди встигала адаптуватись до поставлених умов. Проте дана група тестуів була скоріше штучною і використовувалась для перевірки роботи системи в критичних, аварійних ситуація. В результаті система зафіксувала несправності, зберігала відомасті у файлі та сигналізувала оператору. Результати наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Узагальнена таблиця результатів тестування

Тестові групи	Вплив об’єктів для транспортування	Вплив роботи конвеєра	Похибка підрахунку об’єктів	Можливість адаптації до умов роботи	Фіксація помилок під час роботи
Стандартний режим роботи конвеєра	Мінімальний вплив	Мінімальний вплив	0%	Так	Відсутня
Різнотипні об’єкти для транспортування	Відчутний вплив	Мінімальний вплив	до 5%	Так	Відсутня
Збої в роботі самого конвеєра	Звичайний вплив	Відчутний вплив	до 1%	Так	Відсутня
Максимальний рівень складності	Відчутний вплив	Відчутний вплив	10-15%	Проблеми з адаптацією	Фіксуються появи помилок

Результати проведених тестів показали, що створення системи підрахунку обєктів на основі механізме віртуальних воріт є правильною. А додавання дублюючого механізму виділення обєктів за допомогою фотофіксації збільшує надійність роботи розробленої системи.

3.4 Висновки до розділу

Розроблено структуру та проведено моделювання системи моніторингу, що надало можливість здійснити реалізацію програмно-апаратної системи підрахунку об’єктів на основі технології віртуальних воріт.

Здійснено практичне тестування розробленої системи на основі набору тестових груп, що показало коректність роботи запропонованого алгоритму та структури програмно-апаратної системи моніторингу та підрахунку об’єктів на рухомій поверхні.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу існуючих систем моніторингу та підрахунку обєктів на рухомих поверхнях, а також запропонованому алгоритмові та структурі програмної системи можна зробити такі висновки:

1. Проаналізовано основні завдання та сфери застосування сфер застосування систем з конвеєрним механізмом, що дозволило проілюструвати важливість автоматизації процесів транспортування, підрахунку та оцінки якісті товарів під час технологічних процесів.

2. Проведено аналіз принципів функціонування транспортно-облікових систем з елементами конвеєрних стрічок, що дозволило виділити основні етапи та критерії, які необхідо вирішити при проектуванні систем для виділення та підрахунку об’єкті на рухомій поверхні.

3. Проведено дослідження програмних засобів виділення та підрахунку кількості об’єктів на конвеєрній стрічці, що дозволило виділити та додатково проаналізувати основні архітектурні рішення які використовуються під час реалізації програмно-апаратних систем даного типу.

4. Проведно огляд та класифікацію конвеєрних стрічок, на основі принципів їх функціонування, що дозволило обрати стрічкові конвеєри та підхід на основі використання віртуальних воріт як базовий для алгоритму виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях.

5. Розроблено алгоритм виділення та підрахунку об’єктів на рухомих поверхнях, що в подальшому, дало можливість розробити та провести моделювання програмно-апаратної системи підрахунку кількості об’єктів на конвеєрній стрічці.

6. Здійснено практичне тестування розробленої системи на основі набору тестових груп, що показало коректність роботи запропонованого алгоритму та структури програмно-апаратної системи підрахунку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гриненко А.А., Горішній Я.І. Алгоритм опрацювання та аналізу об’єктів на рухомих зображень. Збірник тез VIII Науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі»., Тернопіль, 05 грудня 2023 р. с. 10.

2. Шевчук В.В., Гриненко А.А. Алгоритм опису об’єктів цифрових зображень на основі контурного аналізу. Збірник тез VIII Науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі»., Тернопіль, 05 грудня 2023 р. с. 12.

3. S. M. Shinde and R.B. Patil, “Optimization Technique Used for the Roller Conveyor System for Weight Reduction," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 1, no.5,2012.

4. D.A. Hounshell, From the American System to Mass Production, The Development of Manufacturing Technology in the United States, (The Johns Hopkins University Press,1984) 1800-1932.

5. Vanamane, S. S., Mane, P. A. and Inamder, K. H., “Design and its Verification of Belt Conveyor System Used for Mould Using Belt Comp Software,” International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering, vol. 1, no.1, pp. 48-52 ,2011.

6. I. A. Daniyan, A. O. Adeodu and O. M. Dada, “Design of a Material Handling Equipment: Belt Conveyor System for Crushed Limestone Using 3 roll Idlers,” Journal of Advancement in Engineering and Technology, vol.1, no.1,2014.

7. Aniket A Jagtap, Shubham D Vaidya, Akash R Samrutwar, Rahul G Kamadi and Nikhil V Bhende, “Design of Material Handling Equipment: Belt Conveyor System for Crushed Biomass Wood Using V Merge Conveying System,” International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, vol.4, no.2,2015.

8. Seema S. Vanamane and Pravin A. Mane, “Design Manufacture and Analysis of Belt Conveyor System used for Cooling of Mould,” International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), vol.2, no.3,2012.

9. Mr. Memane Vijay and Prof. N. S. Biradar, “Design and Analysis of Belt Conveyor System of Sugar Industry for Weight Reduction,” Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), vol.2, no.5,2015.

10. Sanjay Prakash Dabadea, Rohan Prakash Chumbleb-Automatic Sorting Machine Using Conveyor Belt - IJIERE e-ISSN: 2394 - 3343 p-ISSN: 2394 - 5494 Volume 2, Issue 5, 2015 International Journal of Advanced in Management, Technology and Engineering Sciences Volume 7, Issue 12, 2017 ISSN NO : 2249-7455 293 http://ijamtes.org/

11. Wu Li, Yang Zheng, Dong Xinfa, 2010 : The design and research of belt transport system based on PLC, Advances in Energy Engineering (ICAEE), 2010. International Conference, pp. 120 – 124.

12. Porkuian, Igor Kurganov Technological Institute, Volodymyr Dahl the East-Ukrainian National University, Lugansk , Ukraine Research of the Automatic Control System of belt conveyor on the technical basis of the Industrial Controller Schneider electric Olga COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012, Vol. 12, No.4,223-228.

13. Mr. Amol Kharage, Prof. Balaji Nelge, Prof. Dhumal Ketan: International journal of engineering sciences &research technology. Analysis and optimization of gravity roller conveyor using ansys. (2015), vol.-4, issue-4, page no. 296-301.

14. Tabello Mathaba, Xiaohua xi: A Parametric Energy Model for Energy Management of Long Belt Conveyors.(2015), page no. 13591–13608.

15. Mr. Yogesh Padwal, Mr. Satish M. Rajmane, Swapnil S. Kulkarni: Design and analysis of a roller conveyor forweight optimization & material saving. (2013), E-ISSN2249–8974, page no. 138–140.

16. D.K. Nannaware, R.R. Kharde: Design and Optimization of Roller Conveyor System. (2014), vol.-5, issue-7, pageno.-1254-1258.

17. Mr. Suhas Shinde, R.B. Patil: Design and Analysis of a Roller Conveyor System for Weight Optimization and Material Saving. (2012), vol.-3, issue-1, page no. 168–173.

18. Mr. Imran Khan, Prof. Ravindra Gandhe: International journal of engineering sciences & research technology.Study and analysis of roller conveyor in material handling. (2015), vol-4, issue-8, page no. 724–728.

19. Ms. Jyotsna Pawar, D.D.Date, Pratik Satav: Design and optimization of roller in belt conveyor system weightreduction. (2014), vol-2, issue-8, page no. 34–37.

20. Shirong Zhanga, Xiaohua Xiab: Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors. (‘Journalhomepage: www.elsevier.com/locate/apenergy,) 2011.

21. Mr. Vijay Memane, Prof. N. S. Biradar: Design and Analysis of Belt Conveyor System of Sugar Industry forWeight Reduction. (2015), Vol-2, Issue- 5, page no. 1473–1477.

22.S.S. Gaikwad, E.N. Aitavade, “Static Analysis Of A Roller Of Gravity RollerConveyor For Structural Strength & Weight Optimization” PG student, Prof, Mechanical Engineering Department, Tatyasaheb KoreInstitute of Engineering andTechnology,Warananagar, Tal.-Panhala, Dist.Kolhapur-416113, India, International Journal ofAdvanced Engineering TechnologyVol./IV,Oct-Dec.,2013.

23.D.K. Nannaware, R.R. Kharde, “Design andOptimization of Roller Conveyor System”PGstudent, Pravara Rural EngineeringCollege,Loni, India, Professor, Pravara RuralEngineering College,Loni, India,International Journal of Scientific &Engineering Research, Volume 5, Issue 7,July-2014.

24.Suhas M. Shinde, R.B. Patil, “Design and Analysis of a Roller Conveyor System forWeight Optimization and Material Saving”Jawaharlal Nehru College of Engineering, Aurangabad, (M.S.)International Journal on EmergingTechnologies Vol.3 Issue 25 April, 2012.

25.S.H. Masood, B. Abbas, E. Shayan • A. Kara“An investigation into design andmanufacturing of mechanical conveyors Systems for food processing”, Springer - Verlag London Limited 2004.

26. M. A. Alspaugh, “Latest Developments inBelt Conveyor Technology” MINExpo 2004, Las Vegas, NV, USA. September 27, 2004.

27. Shirong Zhang, Xiaohua Xia “Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors”, Department of Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, ChinaDepartment of Electrical, Electronic andComputer Engineering, University ofPretoria, Pretoria 0002, South Africa ‘www.elsevier.com/locate/apenergy’16 March 2011.

28. Daniel J. Fonseca, Gopal Uppal, Timothy J. Greene, “A knowledge -based system for conveyor equipment selection”Department of Industrial Engineering. The University ofAlabama, Tuscaloosa 35487, USA,ExpertSystems with Applications 26 (2004) 615 – 623.

29. Lihua ZHAO, “Typical failure analysis and processing of belt conveyor” School of Mechanical Engineering, Northeast DianliUniversity, Jilin City, Jilin ProvinceChangchun Road 169,132012,China, FirstInternational Symposium on Mine SafetyScience and Engineering,sciverse scincedirect, Procedia Engineering 26 (2011) 942 – 946.

30. Pawar Jyotsna, D.D.Date, And Pratik Satav, “Design And Optimization Of Roller In BeltConveyor System For Weight Reduction” PG Student, Terna Public Charitable TrustCollege Of Engineering Osmanabad, India,Associate Professor, Terna Public CharitableTrust College of Engineering Osmanabad,India Proceedings of 10th IRF InternationalConference, 01st June-2014.

31. B.E. Gite , Miss. Suvidha R. Margaj,”Carbon AD [Kharage, 4(4): April, 2015] ISSN: 2277-9655 Scientific Journal Impact Factor: 3.449(ISRA), Impact Factor: 2.114

32. Yibowei Moses, Ichetaonye Simon,and Idehenre Maxwell, “Mechanical Properties of Carbon Fibre and Metal Particles Filled Epoxy Composite”Department ofMetallurgical & Materials Engineering,University of Lagos-Nigeria Department ofPolymer & Textile Technology, YabaCollege of Technology-Nigeria, InternationalJournal of Emerging Technology andAdvanced Engineering (IJETAE), Volume 3,Issue 11, November 2013) 664.

33. Mr. Rajratna A. Bhalerao, Dr. R.J. Patil, “Transient and Mode Shape Analysis of Gravity Roller Conveyor for Weight Reduction” Department of Mechanical Engineering. International Journal ofInnovative Science, Engineering &Technology(IJISET), Vol. 1 Issue 5, July2014.

34. Yogesh T. Padwal, S.M.Rajmane, “Weight Reduction Technique used for A Roller Conveyor”PG Sudent, Mechanical engineering Dept. Assistant Professor,Mechanical engineering Dept.Bharat RatnaIndira Gandhi College ofEngineering,Solapur,(M.S) India.International Journal of Latest Trends inEngineering and Technology (IJLTET), Vol.3 Issue 1 September 2013.

35. Chetan Kothalkar, T. Wankar and R.S. Wankar, “ Analysis of the short distancegravity actuated oscillatory trolley conveyor” Scientific Officer, BRIT, BARC- Vashicomplex, Vashi, Navi Mumbai -400705,India, CIRCOT, Matunga, Mumbai, India,Sinhagad college of engineering , Pune,India, 14th National Conference on Machinesand Mechanism, NIT, Durgapur, India,December 17-18, 2009.

36. Rick Garrity, “The Basics Of ConveyorEngineering Belt, Roller And Gravity” Manager, system engineering Interlakeconveyors, INC 300HWY 44 EastShepherdsville, Kentucky 40165.

37. Kurganov I.D.: Automatic adaptive belt tension control systems, “Ore mining”, Krivoy Rog, KTU, №86, pp. 155-159.

38. Liberman Y.L., Gorbunova L.N.: Stipulation of device operability conditions for automatic takeup, Izvestiya vuzov. Journal of Mining Science, №5, pp. 76-79.

39. Nazarenko V.M., Sokotnyuk Y.A.: Belt conveyor transfer functions as a controlled system, Izvestiya vuzov. Journal of Mining Science, №1, pp. 110-114.

40. Leehter Yao: Fuzzy control of belt conveyor in the manufacturing process, Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, 1995, International IEEE/IAS Conference on, pp.748 – 754.

41. Wu Li, Yang Zheng, Dong Xinfa: The design and research of belt transport system based on PLC, Advances in Energy Engineering (ICAEE), 2010. International Conference, pp. 120 – 124.

42. Porkuryan O.V., Kurganov I.D.: Algorithm realization concept of belt conveyor automatic control system based on PLC TSX 37-22 Schneider Electric industrial controllers, “Ore mining”, Krivoy Rog, KTU, №93, pp.135-139.

43. Wang Wenbin et al. Mechanical design manual [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.

44. GB 5431-2008, code for design of belt conveyor engineering [S]. Beijing: China Planning Press, 2008.

45. Beijing lifting and Transportation Machinery Research Institute, DT (II) a belt conveyor design manual [S]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2003.

46. Song Weigang, design of belt conveyor for bulk materials [M]. Shenyang: Northeast University Press, 2004.

47. A. Kirjanow, "The possibility for adopting an artificial neural network model in the diagnostics of conveyor belt splices", Interdisciplinary issues in mining and geology, vol. 6, pp. 1-11, 2016.

48. D. Wiecek, A. Burduk and I. Kuric, "The use of ANN in improving efficiency and ensuring the stability of the copper ore mining process", Acta Montanistica Slovaca, vol. 24, no. 1, pp. 1-14, 2019.

49. I. Shareef and H. Hussein, "Implementation of artificial neural network to achieve speed Control and Power Saving of a Belt Conveyor System", Eastern-European Journal of enterprise technologies, vol. 2, no. 110, pp. 44-53, 2021.

50. Y. Yuan, W. Meng and X. Sun, "Research of fault diagnosis of belt conveyor based on fuzzy neural network", The Open Mechanical Engineering Journal, vol. 8, pp. 916-921, 2014.

51. O. Pihnastyi and G. Kozhevnikov, "Control of a Conveyor Based on a Neural Network", International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, pp. 295-300, 2020.

52. M. Bajda, R. Blazej and L. Jurdziak, "Analysis of changes in the length of belt sections and the number of splices in the belt loops on conveyors in an underground mine", Engineering Failure Analysis, vol. 101, pp. 439-446, 2019.

53. R. Król, W. Kawalec and L. Gladysiewicz, "An effective belt conveyor for underground ore transportation systems", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 95, no. 4, pp. 1-9, 2017.

54. V. Zaika, Yu. Razumny and V. Prokuda, "Regulated drives influence on coal flow and energy efficiency of mine conveyor transport system", Naukovyi Visnyk Natsional. Hirnych. Univer., vol. 3, pp. 82-88, 2015.

55. B. Jeftenić, L. Ristić, M. Bebić, S. Štatkić, D. Jevtić, I. Mihailović, et al., "Realization of system of belt conveyors operation with remote control", Structural integrity and life, vol. 10, no. 1, pp. 21-30, 2010.

56. B. Doroszuk, R. Król and J. Wajs, "Simple design solution for harsh operating conditions: redesign of conveyor transfer station with reverse engineering and DEM simulations", Energies, vol. 14, pp. 1-13, 2021.

57. W. Kawalec and R. Król, "Generating of electric energy by a declined overburden conveyor in a continuous surface mine", Energies, vol. 14, pp. 1-13, 2021.

58. A. Tynynyka, "Application of the entropic coefficient for interval number optimization during interval assessment", Technology and design in electronic equipment, vol. 3, pp. 49-54, 2017.