

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»
УДК 004.42

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ І.Р. Пархомей
(підпис)

“ ___ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-72мп
(шифр групи)

_____ Петренко Антон Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, Поліщук М.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент головний інженер Мачульський Ігор Володимирович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ І.Р. Пархомей

(підпис)

«__» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Петренку Антону Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства»

науковий керівник дисертації доцент, Поліщук М.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 7 » 11 2018 р. № 4112-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – програмно-апаратний модуль розпізнавання овочів та фруктів.

4. Предмет дослідження – параметри автоматичної лінії ідентифікації якості товару.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити – аналіз процесу розпізнавання та класифікації об'єктів; аналіз наявних технічних рішень задач сортування товарів рослинного походження сільськогосподарського призначення; розробка ефективного алгоритмічного та програмного забезпечення задля розпізнавання та сортування продуктів у харчової промисловості.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу – шість плакатів.

7. Орієнтовний перелік публікацій – дві публікації.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 25. 11. 2017

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз предметної області	01.01.2018 р.	
2	Огляд технологій та конструкцій пристроїв розпізнавання	12.03.2018 р.	
3	Аналіз методів розпізнавання овочів та фруктів	21.05.2018 р.	
5	Розробка алгоритмічного забезпечення	07.07.2018 р.	
6	Розробка програмного забезпечення	15.08.2018 р.	
7	Розробка стартап-проекту	30.10.2018 р.	
8	Апробація, оформлення та підготовка до захисту роботи.	11.11.2018 р.	

Студент

(підпис)

Петренко А.І.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Поліщук М.М.

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Проблематика якісного розпізнавання та сортування продуктів харчування рослинного походження на виробництві має два прояви: з одного боку, це точність процесу ідентифікації, а з іншого – загальна пропускна здатність устаткування підприємства. Переважна більшість наявних робототехнічних рішень у сфері розпізнавання та сортування товарів фокусуються на збільшенні обсягів кінцевого виробництва, нехтуючи при цьому ресурсоефективністю та значними обсягами поживних мас продукції, що опиняються у відходах разом з пошкодженими тканинами, залишаючись при цьому придатними до споживання.

У даній магістерській дисертації запропонований спосіб сортування товарів сільськогосподарського призначення, а також апаратно-програмний комплекс здійснення даного способу. Дана система дозволяє підвищити ступінь використання початкової сировини, мінімізувати втрати поживних речовин у продуктах рослинного походження, а також підвищити фондівіддачу виробничих площ та роботизованих комплексів на кінцевому виробництві.

Ключові слова: розпізнавання образів, сортування товарів сільськогосподарського призначення, автоматизація технологічних процесів, раціональне природокористування.

Розмір пояснювальної записки – 125 аркушів, містить 7 ілюстрації, 23 таблиці, 6 додатків.

ABSTRACT

The problem of qualitative recognition and sorting of vegetable food in the production has two manifestations: on the one hand, it is the accuracy of the identification process, and on the other hand, the total capacity of the equipment of the enterprise. The majority of available robotic decisions in the field of product recognition and sorting focus on increasing the volume of final production, while neglecting resource efficiency and significant volumes of nutrients that are suitable for consumption, in waste, with damaged fabrics.

In the master's dissertation proposed the method of sorting of agricultural products, and hardware-software complex of realization this method. This system allows to increase the degree of use's raw materials, minimize the loss of nutrients in products of plant origin, and promote increasing exploitation efficiency of automatic complexes on the final production.

Keywords: image recognition, sorting of agricultural products, automation of technological processes, rational nature use.

The size of the explanatory note is 125 sheets, contains 7 illustrations, 23 tables, 6 appendices.

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: *Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства*

Київ – 2018 рік

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ РОЗПІЗНАВАННЯ.....	12
1.1 Основні положення.....	12
1.2 Основні сфери застосування і задачі.....	14
1.3 Основні етапи розпізнавання	18
1.3.1 Попередня обробка	18
1.3.2 Перетворення образу	21
1.3.3 Класифікація образів	28
1.4 Основні групи методів.....	29
1.5 Реалізації систем розпізнавання та сортування	33
1.5.1 Джерела даних та визначення класу МПК.....	33
1.5.2 Результати патентного пошуку	35
Висновки до розділу 1	44
РОЗДІЛ 2. МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ОВОЧІВ ТА ФРУКТІВ.....	45
2.1 Збереження продуктів рослинного походження.....	45
2.2 Типи втрат продукції та фактори її збереження	46
2.3 Апаратне забезпечення процесу сортування.....	48
2.4 ПЗЗ – камери.....	48
2.4.1 Моделі датчиків	50
2.5 Шум	53
2.6 Лінійні фільтри.....	56
2.7 Згортка.....	57
2.8 Аналіз на основі перетворення Фур’є.....	60
2.9 Медіані або нелінійні фільтри	63
2.10 Згладжування.....	64
2.10.1 Вибір фільтру згладжування.....	66
2.10.2 Використання гаусіану	67

2.11. Визначення меж	70
2.11.1 Пороговий метод.....	71
2.11.2 Використання лапласіану.....	72
2.11.3 Детектори меж на основі градієнту	74
2.11.4 Метод представлення орієнтації та кутів	77
Висновки до розділу 2	80
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	81
3.1 Визначення алгоритму.....	81
3.2 Вибір інструментарію розробки	84
3.3 Встановлення та налаштування програмних засобів	88
3.4 Створення програмного рішення	91
Висновки до розділу 3	98
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ	99
4.1. Опис ідеї проекту	99
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	101
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	102
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	109
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	113
Висновки до розділу 4	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	117
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	119
ДОДАТКИ.....	125

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CV – computer vision

GCC – GNU Compiler Collection

GPL – GNU Public License

GUI – Graphical User Interface

IDE – Integrated Development Environment

RTL – Runtime Library

AЗ – апаратне забезпечення

ГВС – гнучка виробнича система

ДПФ – дискретне перетворення Фур'є

КЗ – комп'ютерний зір

МБ – машинне бачення

ОДПФ – обернене дискретне перетворення Фур'є

ОПФ – обернене перетворення Фур'є

ПЗ – програмне забезпечення

ПК – персональний комп'ютер

ПР – промисловий робот

ПФ – перетворення Фур'є

РП – раціональне природокористування

РТК – робототехнологічний комплекс

ТП – технологічний процес

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ВСТУП

Динаміка розвитку людської спільноти, протягом останніх сторіч, демонструє виразну тенденцію, експоненційного характеру, щодо зростання кількості населення Земної кулі. Враховуючи історично сформовану практику нераціонального природокористування, а також обмежені наявні ресурси планети, гостро постає ряд питань, пов'язаних, в першу чергу, зі збереженням та відновленням сприятливої екологічної ситуації, запровадження нових перспективних трендів енергетичного розвитку, розв'язанням геополітичних конфліктів, виробленням ефективної глобальної соціально-економічної моделі розвитку, вирішенням продовольчої проблеми та ряду інших.

Саме питання забезпечення населення Земної кулі якісною їжею, на нашу думку, є одним з основоположних, у розрізі сталого розвитку людської нації, бо наявність дефіциту завжди породжує агресивну поведінку. Забезпечення продуктами харчування – це досить складна комплексна проблема, що включає в себе певні етапи: попередню обробку та культивуацію земельних угідь, вирощення та збір продуктів, їх сортування та обробка, розповсюдження тощо. Кожен з цих етапів може бути оптимізований за різними критеріями, проте нашу увагу привертає саме процес сортування продуктів, як один з дуже важливих і трудомістких, при значному ступеню монотонності роботи працівника. Кількість досліджень та розробок у цій області є досить значною, що свідчить про актуальність проблематики, та занепокоєність світової спільноти у вирішенні поставлених задач, як проміжної ланки задля досягнення глобальної мети.

Проведений аналіз здобутків вітчизняних та закордонних експертів у цій області, а також досвід роботи фахових підприємств у світі, свідчить, що за останні десятиріччя, завдяки значному розвитку технологій, особливо у сфері робототехніки, машинного зору, комп'ютеризованих систем управління

технологічними та операційними процесами, загальними тенденціями інформатизації та автоматизації, було досягнуто значного приросту у продуктивності функціонування подібних рішень, проте загальний розв'язок питання (навіть відносно сортування) забезпечення гастрономічних потреб кожної людини, лише з'явився на горизонті можливостей земної цивілізації.

Не зважаючи на давність постановки проблем розпізнавання образів, до сьогодення не знайдено загального рішення, що провокує розробку методологічних, алгоритмічних, програмних та технічних засобів, що підпорядковані сильній кореляції з предметною областю застосування. Загалом, напрям думки наявних рішень у сфері сортування фокусується на збільшенні пропускної здатності автоматичних та автоматизованих ліній чи цехів. Ігноруючи при цьому раціональне природокористування, здебільшого виконується бінарне визначення якості товару «придатний /не придатний», з подальшою утилізацією товарів «невідповідної» якості, рідше здійснюється поділ на декілька фракцій, у залежності від геометричних типорозмірів продукту та/або кольору та фактури, чи щільності зразку. Тому метою даної роботи було обрано пошук шляхів вдосконалення режимів швидкісного розпізнавання об'єктів сільського господарства, з мінімізацією втрат продуктів харчування, придатних до споживання. В якості об'єкту дослідження виступає програмно-апаратний модуль розпізнавання овочів та фруктів, а предметом слугують параметри автоматичної лінії ідентифікації якості товару.

Задачі, що ставляться перед дослідником задля досягнення мети наступні:

1. Провести аналіз процесу розпізнавання та класифікації об'єкту.
2. Виконати аналіз наявних технічних рішень задач сортування товарів рослинного походження сільськогосподарського призначення.
3. Розробити ефективне алгоритмічне та програмне забезпечення задля розпізнавання та сортування продуктів у харчовій промисловості.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ РОЗПІЗНАВАННЯ

1.1 Основні положення

Загалом, процес сортування харчових продуктів (як і інших матеріальних об'єктів) промислового масштабу можна характеризувати двома найважливішими аспектами: якістю транспортування та якістю розпізнання. Під першим, ми розуміємо певну систему, що забезпечує фізичне переміщення об'єктів через усі необхідні технологічні позиції. При цьому необхідно враховувати характеристики самих об'єктів виробництва, очевидно, що, наприклад, сталева болванка здатна витримати більші навантаження, ніж фарфорова ваза, без втрати своїх цінних властивостей, отримання дефектів та пошкоджень. А враховуючи, що сучасна техніка дозволяє досягати значних швидкостей при переміщенні об'єктів на виробництві, досягаючи граничних значень навантажень на свіжі овочі та фрукти, при яких останні можуть залишатися цілими та неушкодженими, ми вважаємо, що другий аспект цього питання, а саме якість та швидкість розпізнавання образів, являє собою більш цікаву та перспективну сферу задля оптимізації загального процесу сортування товарів.

Перш за все, для того, щоб розібратися з останніми досягненнями людського генію у питанні розпізнавання образів, необхідно приділити свою увагу саме теоретичним засадам вирішення проблеми. Як показують дослідження [1] сам процес «розпізнання» для живих істот відбувається у два етапи:

- 1) збір інформації про об'єкт (найчастіше за допомогою сенсорних систем організму) та її опрацювання;
- 2) співставлення отриманих даних з накопиченим досвідом (не завжди обмеженим короткочасним періодом земного життя), задля категоризації об'єкту належним чином;

Користуючись, набутою у процесі еволюції, складною системою сенсорних засобів та елементарних обчислювальних одиниць, пов'язаних надшвидкісним каналами передачі імпульсів, а також набутим за життя осмисленим досвідом існування – ми можемо з високою правдоподібністю відрізнити та класифікувати складні об'єкти, інформація про які, часом, відрізняється лише на кілька десятих, чи навіть сотих процента. Проте, використовувати ресурси людини для процесу сортування у промислових масштабах, найчастіше, недоцільно. Незважаючи на високу якість і точність розпізнання, цей процес, зазвичай, доволі монотонний, що викликає труднощі у людини через перевтому та втрату уважності, вже на 4-6 годині роботи. Тому автоматизація даних процесів дозволить перерозподілити наявні ресурси на вирішення більш важливих завдань, а також підвищить загальний рівень швидкодії, точності та стабільності виробничих потужностей.

Саме комбінація таких взаємопов'язаних факторів, як отримання інформації та її репрезентація, породжує ряд складнощів, наприклад: для ефективного процесу ідентифікації недостатньо простого набору «сенсорної» інформації (що може бути отримана за допомогою різноманітних датчиків), адже історично сформований, протягом багатьох поколінь, категоріальний апарат живих істот набув надскладних взаємозв'язків, які ще не вивчені до кінця, а тому не можуть бути синтезовані в повній мірі, людством. Хоча певні спроби були ще з 1960, коли провідні університети світу робили перші кроки на довгому шляху розробки штучного інтелекту (дослідники намагалися імітувати людську систему зору, як важливу ланку наділення механізмів інтелектуальною поведінкою та самосвідомістю) [2]. Але виявлені складнощі надовго притримали запал ентузіастів.

Тому, наукова дисципліна, що здобула свого розвитку з того часу, яка займається вивченням та поглибленням основних теоретичних засад, розробленням методів класифікації та ідентифікації об'єктів (як матеріального, так і

нематеріального світу), що можуть бути охарактеризовані як певна скінченна множина властивостей і ознак, виділяє два основних напрямки:

- Вивченням властивостей до розпізнавання живих істот, пояснення та моделювання даних процесів;
- Розвиток теорій і методів побудови приладів, націлених на вирішення конкретних прикладних задач [3].

Формально, задача розпізнання образів, може бути сформована як віднесення до певного класу об'єкту, базуючись на значимих характеристиках і властивостях останнього. Під «об'єктом» ми розуміємо певну впорядковану множину ознак, «клас» – це об'єднання об'єктів зі схожими характеристиками, а класифікатор (інколи використовують термін вирішальне правило) – це правило розподілення об'єкту до певного класу, у відповідності з його ознаками. Проте ці визначення досить загальні, а кількість сфер, де застосовуються елементи теорії розпізнавання – значна, це обумовлює досить широкий спектр методів і технік, які знайшли своє місце застосування на практиці. Якщо ж ми говоримо про теорії і технологію створення інтелектуальних машин, наділених здатностями до знаходження та визначення об'єкту, на основі його візуальних характеристик, то ми торкаємось сфери комп'ютерного зору.

1.2 Основні сфери застосування і задачі

Загалом, необхідність у високоякісному швидкому та точному розпізнаванні та інтерпретації образів технічними засобами простежується у багатьох сферах нашого існування, проте, головними областями де використовуються здобутки наукових досягнень виступають:

1. Штучний інтелект. У напрямку орієнтації у просторі робототехнічних систем, отримання інформації та взаємодії з елементами навколишнього середовища, а також у напрямку формування

понятійно-категоріального апарату, як невід'ємної складової частини свідомої істоти.

2. Військова сфера. Очевидно одна з найкрупніших сфер застосування, напрямки – виявлення та ідентифікації ворога; збір тактичних та стратегічних даних про об'єкти, тощо.
3. Медицина. У діагностиці захворювань та патологій, встановлення ступеню деформації аномальних структур. Морфометричний аналіз (для діагностики різних типів склерозів, хвороби Альцгеймера тощо). Аналіз хромосом, визначення генетичних патологій, лапароскопія та інше.
4. Біологія. Морфометричний аналіз еволюції, взаємозв'язок таксономії між формою та функцією, порівняльна анатомія, цитологія, ідентифікація та підрахунок клітин, характеристика клітин і ядерних форм, модифікація росту та форми, аналіз ходьби людей, мікроскопія.
5. Неврологія. Морфологічна таксономія нервових клітин, розвиток знань про взаємодію між формою та функцією клітин, порівняння клітин корових ділянок мозку з іншими видами, моделювання біологічно-реалістичних клітин, моделювання нейронних структур.
6. Фізика. Аналіз траєкторії руху часток, росту кристалів, утворення полімерів. Характеристика зоряних скупчень в астрономії. Використання у певних видах мікроскопії.
7. Промисловість і виробництво. Використання машинного зору у багатьох галузях (від легкої та харчової, до приладо- та машинобудівної) охоплює значну кількість областей діяльності: безпосереднє виробництво, контроль технологічних процесів, реалізація систем безпеки, контроль якості та інспекція випущених товарів, візуальний контроль та управління (облік, сканування баркодів) та інше. Автоматизація, роботизація, просторова розвідка.

8. Захист та правопорядок. У системи стеження та ідентифікації особистостей, різноманітних сканерах біометричних показників (відбитків пальців, обличчя, очей), розпізнавання людської ходи, підтвердження підпису, розпізнаванні автомобільних номерів тощо.
9. Топологічні системи. Формування деталізованих картографічних схем.
10. Сільське господарство. Контроль врожаю, підрахунок та визначення якості насіння, ідентифікація видів рослин, контроль дозрівання тощо.
11. Автономні транспортні засоби. Частково та повністю автоматична навігація у просторі, виявлення та класифікація перешкод.
12. Документообіг. Оптичне розпізнавання символів, вивчення історичних документів, мультимедійних сховищ даних.
13. Мистецтво. Комп'ютерна графіка, візуалізація, синтез зображень, створення особливих ефектів, відновлення відео, ігри, доповнена та віртуальна реальності.

Описані вище області застосування використовують у своїх цілях ряд технік комп'ютерного бачення, що об'єднують методи для отримання, опрацювання, аналізу та «розуміння» оцифрованих зображень, а також вилучення масштабних даних оточуючого середовища з метою отримання апріорної та апостеріорної інформації [4] [5] [6] [7]. Під «розумінням» мається на увазі трансформація візуальної інформації у певний опис образу, що може взаємодіяти з іншими процесами та провокувати відповідні дії. У певному світлі, це «розуміння» можна розцінювати як вилучення символічної інформації з даних зображення за допомогою геометрії, фізики, статистики та теорій навчання [8].

Найбільш типовими задачами виступають:

Розпізнавання – процес визначення наявності певного образу чи процесу у потоку візуальних даних. При чому можна виділити «класичні» проблеми

розпізнавання об'єкту – визначення одного (чи кількох) попередньо специфікованих або навчених образів, чи класів образів, зазвичай разом з локалізацією розташування на двовимірному зображенні, або позиції на тривимірній об'ємній сцені (Vlipraz, Google Goggles, LikeThat – програмні реалізації); *ідентифікацію* – як процес розпізнавання індивідуального екземпляру класу (обличчя, відбиток пальця, рукописний символ тощо); *виявлення* – діяльність спрямована на пошук конкретного стану, особливістю виступає використання відносно простих та швидких обчислень для знаходження специфічної локальної зони зображення, з ймовірним подальшим застосуванням складніших алгоритмів для коректності інтерпретації.

Так і більш «специфічні» застосування: *знаходження контенту* – виявлення у значних масивах зображень тих, що мають специфічне наповнення (зміст); *оцінка позиції* – оцінка положення чи орієнтації певного об'єкту відносно спостерігача (може бути використана для коректування дій робота-маніпулятора для вилучення елементів з накопичувачів, чи ліній); *оптичне розпізнавання символів* – визначення символу (рукописного чи ні) для подальшої інтерпретації у вигляді придатному до редагування та індексування; *читання двовимірних кодів* (QR чи матриці даних); *розпізнавання обличчя*; *технологія розпізнавання форм* (системи лічення людей, відокремлення людей (голова і плечі) від об'єктів).

Аналіз руху – визначення з потоку візуальних даних швидкості переміщення певних точок зображення, чи сцени загалом, чи навіть фіксатора зображення. Застосування: *одометрія* – встановлення тривимірної траєкторії руху камери, використовуючи її дані; *відстежування* – фіксація переміщень зі збереженням дистанція (наприклад, за живими істотами, чи транспортними засобами); *оптичний потік* – спостереження за рухом кожної точки зображення відносно певного базису, тобто відносний рух, як результат переміщення об'єкту і спостерігача.

Реконструкція сцени – відновлення тривимірної структури сцени, зазвичай виходячи з отриманих спостерігачем двовимірних проєкцій слідів руху образів або самої сцени.

Відновлення зображення – процес видалення з зображення різного роду шумів (самих пристроїв фіксації, розмиття при переміщенні тощо). Від найпростіших фільтрів певних частот, до методів, що використовують моделі вигляду локальних структур зображення, які відрізняють останні від шуму (спочатку проводиться аналіз даних зображення на наявність локальних структур, наприклад, грані чи ребра, а потім проводиться фільтрація з урахуванням отриманої інформації).

1.3 Основні етапи розпізнавання

У переважній більшості випадків, говорячи о проблемах розпізнавання образів, апелюють саме до комп'ютеризованих системних рішень. По суті, обчислення процесу ідентифікації та класифікації включає в себе кілька важливих сходинок, від захвату зображення до безпосереднього розпізнавання отриманого образу. У широкому розумінні, найрозповсюдженіші завдання процесу розпізнавання можуть бути розділені у три групи, попередня обробка, трансформація та класифікація. Давайте розглянемо кожен з них детальніше.

1.3.1 Попередня обробка

Перш за все, на шляху обчислювального морфологічного аналізу конкретного образу, постає отримання та збереження його зображення, з подальшим виокремленням важливих інформаційних структур з поміж інших. Необхідно також враховувати той факт, що цифрові зображення зазвичай пошкоджені різноманітними шумами та іншими негативними ефектами (оклюзія, спотворення

тощо), тому вимагають використання додаткових інструментів. Розглянемо, коротко, означені проблеми.

Отримання образу

Цей крок передбачає отримання зображення фізично (наприклад, камерою, фотоапаратом, сканером і т.п.) з подальшим його оцифруванням для передачі і обробки останнього обчислювальним пристроєм. Сама система збору зображень та його опрацювання, технічні пристрої, що будуть використані при цьому, у значній мірі залежать від конкретної задачі, що вирішується даною системою.

Виявлення образу

Одним з важливіших моментів на етапі попереднього опрацювання, необхідного для якісної роботи, щодо розпізнавання образів, виступає виявлення об'єкту, що включає в себе локалізацію того, що нас цікавить, задля подальшого детальнішого розгляду. Якщо на зображенні присутні декілька об'єктів, то можлива ситуація коли необхідно визначити кожний з них, враховуючи, що вони мають різні візуальні властивості (геометрію, колір, текстура тощо). Базовим підходом до виявлення образу виступає сегментація (наприклад, шляхом порогових значень). Зображення має бути належним чином сегментовано, щоб об'єкт, який нас цікавить, міг бути успішно виділений з поміж інших не важливих структур зображення (включаючи фон), виявлення образу є досить однозначним завданням.

Інакшим варіантом виступає інтерактивний підхід, що широко використовується у багатьох практичних ситуаціях. Наприклад, оператор виявляє об'єкт, що викликає інтерес, відмічає його, після чого зображення оброблюється алгоритмом розширення області, в результаті діяльності якого, отримується полігон точок відповідних до образу, що виявляється. Даний підхід є досить розповсюдженим у різноманітному програмному забезпеченні, проте існує низка

альтернатив задля виявлення об'єкту на зображенні. Наприклад, якщо об'єкт інтересу може бути представлений загальним шаблоном, то техніки розпізнавання шаблонів можуть бути застосовані для локалізації екземпляру класу на зображенні. З іншого боку, якщо поставлена задача передбачає аналіз потоку відеоданих, то течія на основі руху може бути використана для виявлення та локалізації положення об'єкту на зображенні. Загалом, навіть наявність значної кількості «локальних» рішень, виявлення образів та сегментація зображення може викликати значні труднощі, тим паче, у ситуаціях, коли неможливо належним чином контролювати процес отримання зображень (маються на увазі фактори освітлення, положення камери, фокус та інше).

Видалення шумів

Нажаль, у практичних задачах, переважна більшість усіх систем обробки цифрових зображень працюють із зашумленими екземплярами. Причому шум є наслідком не тільки недосконалості вимірювальних засобів та похибок квантування (що мають місце при отриманні зображення), але й може виникати в результаті застосування операцій по виявленню конкретних образів із зображення. Зазвичай процес виділення образу передує серії операцій по обробці зображення, таких як різноманітні фільтрації, поєднання та сегментація даних, що можуть призвести до появи збурень та дефектів практично на кожній стадії обробки. Більш того, квантування та вибірка, необхідні для отримання цифрових образів, зазвичай, виступають критичними джерелами шумів. Усі ці шумові компоненти, найчастіше, відображаються у виді невеликих модифікацій отриманих об'єктів. Таким чином, підходи до інтерпретації та опису образів мають бути стійкими до шумів, або включати механізми фільтрації останніх.

Операції з образом

Існує ряд важливих операцій, що можуть бути застосовані до образу. Наприклад, якщо необхідно розв'язати проблему порівняння двох чи більше об'єктів, їх необхідно нормалізувати (привести до однотипного формату), аби процедура мала сенс. Процес нормалізації зазвичай включає такі параметри, як масштаб, обертання та переміщення. Деформація образу, реєстрація та морфінг (ефект плавного переходу) зображення також є прикладами операцій обробки, що можуть бути застосовані до нормалізації та порівняння. Як правило, такі операції базуються на визначенні відображення між набором точок (орієнтирів) вздовж двох або більше образів, що дозволяє генерувати, інтерполюючи за часом, серію проміжних образів, які могли б бути отримані при перетворенні однієї фігури в іншу. Обробка образу може включати в себе також інтерактивне редагування (наприклад, видалення частини образу) та інші дії спрямовані на візуалізацію, чи обробку декількох об'єктів (додавання образів, перетин тощо).

1.3.2 Перетворення образу

Коли необхідний об'єкт виявлено та оброблено (наприклад, зменшено шум, проведена нормалізація), можна застосувати ряд технік спрямованих на отримання інформації з образу, задля її подальшого аналізу. Дані, зазвичай, отримуються за допомогою використання відповідних методів перетворення зображень. Подібні перетворення, по суті, апелюють до двох аспектів: представлення образу у більш придатній формі (в залежності від специфіки задачі) та отримання системи мір, яка буде застосована для створення класифікаційної моделі.

Еволюція образу

Доволі часто необхідно мати справу з послідовністю образів, що відповідають об'єкту, який мав розвиток протягом певного періоду часу. Наприклад, важливо

встановити відповідність між різними точками контуру шлуночку серця при його скороченнях, або досліджувати розвиток клітин (наприклад, нейронів) у період їхнього зростання. Всі означені проблеми можна розглядати в термінах перетворення образу, як еволюцію об'єкту.

Представлення образу

Як тільки об'єкт, що нас цікавить, локалізовано на зображенні (за допомогою виявлення та сегментації) його образ сприймається як сформована сукупність точок, що визначають даних об'єкт. У цьому сенсі, першим представленням образу об'єкта є набір точок, визначених у вихідному зображенні. Зазвичай, трапляється, що таке представлення, хоча і природньо випливає з процедури визначення образу, не є особливо корисним, навіть вважається громіздким для деяких цілей, у зв'язку з необхідністю збереження великого обсягу даних (тобто всі точки сегментованого образу треба якось зберігати) отже, наступна проблема, яку потрібно вирішити, полягає в тому, як правильно відображати образ, маючи на увазі відповідну схему представлення об'єкту, яка буде визначатися з урахуванням конкретних завдань. Подібні схеми можуть дозволяти (а можуть і ні) відновлення оригінального образу. Варто також підкреслити, що інформація, яка зберігає уявлення, є особливо важливою через те, що різноманітні образи накладаються на різні представлення, тоді як незбереження можуть приводити до однакових уявлень для різних форм (що є викликом дегенерованого або неінвертованого відображення), проте такі методи, що не зберігають частину інформації, корисні задля формування систем мір образу, при кластеризації та класифікації. І дійсно, обидва підходи, які мають як свої переваги так і недоліки, часто відносять до проблематики аналізу образу. Крім того, слід зазначити, що деякі існуючі методи дозволяють лише часткову реконструкцію об'єкту.

Важливішим критерієм для охарактеризування технік представлення образу виступає їх поділ на граничні та регіональні. Граничні (також відомі як контурні) підходи представляють об'єкт за його силуетом, в той час коли регіональні, оперує з об'єктом, як з відповідною двовимірною областю. Інтерпретуючи пласкі області з точки зору одновимірних одиниць, граничні методи менш вимогливі до обчислювальних ресурсів, ніж регіональні, проте існують винятки. Різниця може бути розглянута на прикладі проілюстрованому на рисунку 1.1. У контурному підході, при русі проти годинникової стрілки, відстань між точками А і В вздовж контуру, позначено як d на рис. 1.1(лівий), більша за відстань отриману методом на основі регіону (рис. 1.1(правий)). Загалом, якщо для точки А застосовується локальний аналіз контуру, то точка В не має сильного впливу на обробку даних для А. У протилежному випадку, при застосуванні технік регіону, точка В може значно впливати на результат обчислень для А.

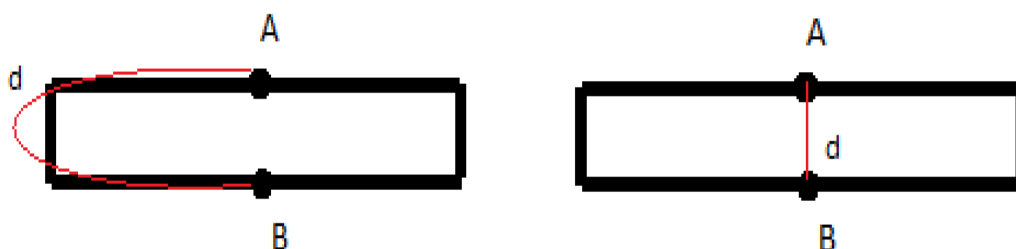


Рисунок 1.1. Відмінність при використанні різних підходів до представлення образу.

Опис образу, охарактеризування

Певні аспекти пов'язані з розпізнаванням образів апелюють до проблематики вилучення інформації про реальні об'єкти з оточуючого середовища. Це можуть бути дані про форму, при вивченні просторової конфігурації чи складності об'єкту. Подібні знання будуть у нагоді при дослідженні здатності об'єкту взаємодіяти з оточенням. У ситуації коли необхідно отримувати дані про образ застосовують методики опису образу (охарактеризування). Більш того, існує ряд ситуацій коли

подібні техніки виступають основоположними при розпізнаванні та класифікації образів. Також необхідно враховувати, що певні аспекти дослідження образу є більш пріоритетні за інші, у залежності від задач, що розв'язуються. Тому, доцільно починати вирішення багатьох задач з визначення певних домінантних функцій на образі (наприклад, пошук вершин або кутів для багатокутника). Очевидно, що тип подібних домінант корелює з поставленою задачею, хоча певні з них мають особливе значення та користуються значною популярністю при розпізнаванні образів. Однією з подібних функцій можна визначити кривизну границь об'єкту (особливо з точки зору кутів та відрізків сталого значення), наприклад при визначенні сегментів кола – маємо постійне не нульове значення кривизни, при дослідженні прямих ліній, навпаки, постійне нульове значення даної характеристики. Загалом, різноманітні підходи до вилучення даних про об'єкти можна класифікувати наступним чином:

Вимірювання образу: Найбільш розповсюджений метод охарактеризування об'єкту, що передбачає визначення та вимірювання особливих характеристик, наприклад, площа, периметр, кількість отворів, кути, значення кривизни, орієнтація точок контуру тощо. Ключовим моментом є описання характеристик образу за допомогою набору обмежень, які можна представити у вигляді чисел, щоб відобразити об'єктивну інформацію про образ.

Перетворення образу (на основі обробки сигналів): Різноманітні техніки обробки та перетворення даних досягли значного розвитку та визнання у багатьох сферах нашого життя, це й обробка сигналів, і телекомунікацій, оптика тощо. Важливий внесок також зробили чисельні методи вирішення диференціальних рівнянь часткових похідних. По суті, перетворення сигналу – це математичний інструмент, який виражає вхідний сигнал альтернативним способом, який більше придатний для маніпуляцій у межах конкретного завдання, ніж оригінальний. Найбільш вагомі перетворення, що здобули широкого розповсюдження це

перетворення Фур'є, вейвлет, Габор і перетворення Кархунен-Лоєва. Особливу увагу необхідно приділити саме першому, по суті, перетворення Фур'є є одним з найбільш потужних та універсальних перетворень, що розуміється як розклад даних в ряд Фур'є з подальшим вибором декількох коефіцієнтів (детальніше дане питання розглянуто у наступному розділі). Важливо зазначити, що перетворення можна розуміти у термінах представлення образу, адже вони є зворотними, тобто використання зворотного перетворення дозволяє отримати початковий образ (звичайно необхідно враховувати спрощення, що відбувається при відкиданні ненульових коефіцієнтів перетворення).

Декомпозиція образу: Техніки на основі розбиття образу на прості складові компоненти, які ще інколи називають примітивами (зазвичай використовується у контексті структурного та синтаксичного розпізнавання). Враховуючи, що «примітив» може мати дуже широкий спектр значень у залежності від задачі та типових об'єктів, знання про предметну галузь є надважливим у даному випадку. Незважаючи на це, існують деякі підходи, які є досить універсальними, щоб бути загальновизнаними як придатні для найрізноманітнішого застосування. Наприклад, однією з найважливіших проблем у контурному аналізі є заповнення геометричними примітивами відповідної площі, тобто так звана полігональна апроксимація. У даному підході, оригінальний контур повинен бути представлений набором прямолінійних сегментів, кожен елемент якого представляє частину оригінального образу. Важливо зазначити, що таке подання також може бути використане для здійснення обробки образу, наприклад задля фільтрації шумів (локальні шумові збурення, що фіксуються у контурних частинах, усуваються, коли ці частини представлені лініями сегментів) та стиснення даних (наприклад, цифровий контур прямої, що складається з сотні точок, може бути однозначно визначений за допомогою лише 2-ох кінцевих позицій). Іншим прикладом декомпозиції може виступати синтаксичний підхід, коли будується асоціація між

символом та геометричним примітивом, коли образ може бути інтерпретований як послідовність символів, а сама проблема розпізнавання передбачає процедуру синтаксичного аналізу отриманої послідовності символів (або рядків).

Опис образу на основі структур даних: Декілька важливих задач можуть бути розв'язані за допомогою представлення характеристик образів у термінах структур даних. Наприклад, проблема представлення дендритів нервових клітин, також відома як утворення дендрограми (зазвичай у вигляді бінарних дерев), має свої специфічні застосування у неврологічних дослідженнях. Надаючи не тільки чітке представлення шаблону розгалуження, подібні ієрархічні структури можуть містити інформацію про інші характеристики образу (розмір, ширина, ступінь згинання, значення кутів тощо) у зручному компактному вигляді. Загалом, саме комп'ютеризоване обчислення та обробка даних надали значної популярності дендрограмам, оскільки їх легко зберігати та обробляти обчислювальними засобами, що дозволяє стандартизувати дані, необхідні для обміну даними між різними лабораторіями, науковцями та іншими професіоналами. Також варто зазначити, що подібні структури високо цінуються при описі довільної розгалуженої системи (нервова чи судинна система живих істот, форми річок, будова дерева тощо).

Візуалізація образу

Відомі методи візуалізації, зазвичай, орієнтуються на зручному представленні людині значних обсягів інформації. Тому, даний аспект є важливим не лише для розвитку та підтримки інструментарію розпізнавання образів, а й задля контролю та перевірки отриманих образів за допомогою людини-оператора. Для першого випадку, візуалізація використовується для ефективного відображення отриманої інформації (наприклад, властивості, що мають бути досліджені, певні проміжні результати обробки, відфільтровані образи тощо), причому, отримані дані

можуть бути накладені на оригінальні об'єкти, або використовуватись як комбіновані характеристики задля об'єктивної оцінки переваг та недоліків технік, що застосовуються. З іншого боку, візуалізація образу також важлива задля допомоги людям експертам при прийнятті рішень, щодо вирішення конкретних проблем, наприклад, хірургу буде доречно побачити область, що підлягає оперуванню та її проблемні ділянки, задля формування плану дій та лікування, ще до того, як сам пацієнт з'явиться в операційній.

Стиснення образу

Обробка цифрових зображень, особливо високої якості, потребує значних затрат ресурсів, що може стати критичним обмеженням, особливо для систем реального часу. Загалом, стиснення даних, це проблема, з якою часто зустрічаються при обробці зображень, у тому числі, при розпізнаванні образів. Деякі методи пропонують доволі природній та ефективний підхід до стиснення інформації, серед таких контурні методи, які дозволяють представляти двовимірні об'єкти – одновимірними структурами. Наприклад, представлення трикутника, як певної площини, потребує сотні чи тисячі точок задля коректного відображення у дискретному просторі, використання ресурсів може бути зменшено, при представленні трикутника, лише за допомогою його контуру, що зекономить ресурси для збереження/опрацювання образу, бо тепер ми маємо справу лише з трьома прямими, проте ми можемо досягти ще більш значної економії та зручності, якщо представимо фігуру лише трьома точками, що відповідають вершинам трикутника. Таким чином, подальше стиснення контурів прокладає шлях до вражаючих значень компактування інформації, без втрати корисного навантаження, що, в свою чергу, призводить до підвищення обсягу даних, що можуть бути опрацьовані в одиницю часу відповідними алгоритмами.

1.3.3 Класифікація образів

Завершальним етапом, після обробки образу, його представлення та опису (виділення важливих характеристик), виступають алгоритми класифікації, що застосовуються задля визначення класової приналежності для кожного з розглянутих об'єктів. Існують два, важливих з практичної точки зору, аспекти класифікації образів. Перший – це питання, чи належить представлений образ до якогось попередньо визначеного класу, дане питання можна розглядати у термінах розпізнавання образів, апелюючи до так званої контрольованої класифікації (supervised classification). Коли існують класи об'єктів, які є цілком визначними, доступні приклади їх представників, та необхідно побудувати алгоритм, що на вході отримає певний образ, а на виході призначає його приналежність до однієї з груп. Наприклад, доволі істотною проблемою при автоматизованій заготовці коренеплодів (картоплі, цибулі тощо) постає питання виявлені шматочки землі, каміння, бруду та іншого сміття, що не становлять продукти харчування, у загальному товаропотоку на робочій ділянці.

Другий аспект пов'язаний з визначенням та ідентифікацією класів, що задіяні при роботі з популяцією раніше не класифікованих образів. У подібних випадках, ми говоримо про неконтрольовану класифікацію (unsupervised classification) чи кластеризацію. У розрізі даного підходу класифікація образу може бути інтерпретована як процес присвоєння останньому певної мітки, що визначає приналежність до класу, який, зазвичай, базується та визначається лише на інформації отриманій від не класифікованих шаблонів у наборі даних.

Обидва аспекти працюють з порівнянням образів, задля визначення міри подібності в тій чи іншій метричній системі. Зазвичай, це виконується завдяки визначенню особливих точок (наприклад, орієнтирів чи зближень) і дослідженням їх взаємозалежної конфігурації, тобто відповідності образів.

Під подібністю образів розуміється вимірювання об'єктивних критеріїв, які дозволяють визначити наскільки два образи є схожими (чи навпаки, відмінними). Необхідно зазначити, що критерій схожості, який є наріжним каменем у задачах класифікації, сильно варіюється у залежності від кожної специфічної проблеми. Наприклад, коли розмір об'єкта відіграє важливу роль, у якості критерію може бути обрана площа фігури, як міра схожості двох образів.

Відповідність образів – це процес у якому два і більше образів асоціюються між собою, зазвичай, у точковому режимі. Наприклад, при скануванні людини за допомогою томографії та магнітного резонансу, виникає потреба у вирівнюванні, так званій реєстрації, кожного з образів задля отримання карти відповідності між отриманими різними представленнями людського організму. Крім того, узгодження об'єктів є досить важливим для різних задач злиття даних та відновлення тривимірних образів (коли цілісний об'єкт апроксимується з відповідних двовимірних образів).

1.4 Основні групи методів

Враховуючи кількість сфер застосування, оглянутих вище, у сучасній теорії розпізнавання було розроблено значну кількість методів вирішення поставлених задач, більшість з них можна класифікувати на три основні категорії:

- Статистичні;
- Структурні;
- Нейромережеві.

Перший базується на математичній статистиці, використовуючи її термінологічний апарат задля формулювання та виведення правил класифікації. Звідси відразу і недолік: якщо щільність розподілення для усіх сукупностей образів та вірогідність приналежності образу до певного класу не відомі, то побудувати адекватний класифікатор буде доволі проблематично. Використання подібних методів оправдане, коли для класифікації даних достатньо елементарних кількісних

та символічних характеристик образу, таких як частоти та амплітуди коливання, чи площа контурного прямокутника, для встановлення міри близькості образів.

Наступний метод інтерпретує образ як сукупність елементарних частин, їх властивостей і атрибутів, та відношень на рівні з глобальними ознаками об'єкту. Наріжними моментами тут виступають вибір непохідних елементів сутності та їх відношень, задля подальшої агрегації граматики образів, та відповідної реалізації процесів аналізу. Даний підхід доцільно використовувати у задачах, де важлива інформація, що описує структуру кожного образу, а класифікатор виносить рішення і може зазначити ті властивості об'єкта, що унеможливають його розподілення до іншої категорії. Прикладом може слугувати задача розпізнавання зображення: у разі коли об'єкти складні та потребують значної кількості числа характеристик, опис сутності у вигляді ієрархічної структури простіших підобразів є доцільним.

Останній метод, очевидно, виходячи з назви, використовує штучні нейромережі задля виконання функцій розпізнавання. Дана група підходів є найбільш цікавою та перспективною для дослідження, адже кількість розробок у цій сфері неймовірна (звичайно вона не обмежується лише розпізнаванням і класифікацією образів, у застосуваннях присутні і прогнозування певних величин, прийняття рішень і управління, кластеризація, апроксимація, стиснення даних та асоціативна пам'ять, аналіз даних, задачі оптимізації тощо [9]). Кооперуючись та використовуючи спільні наробки, певні представники даного класу методів досягають результатів, що справді вражають [10]. Тому, щоб краще орієнтуватися, трішки поглибимось у «суть питання».

Для початку, нейромережа – це певна математична модель, що за принципами організації та функціонування мімікрує до біологічних нейронних мереж (які являють собою організовану певним чином систему нейронів, що пов'язані та/або функціонально з'єднані у нервову систему [11]). Механізми передачі

електрохімічних імпульсів, процеси утворення та поглиблення нейронних зв'язків, активізація та пригнічення останніх, та інші біофізичні аспекти добре вивчені вченими, проте нейромережі залишаються «чорними скриньками», тому що достовірно невідомо, як така система з «елементарних» утворень самоорганізується у складний класифікаційний апарат.

Нейромережі володіють рядом переваг, що обумовлюють їх широке застосування на практиці:

- Вирішення задач в умовах невизначеності. Навчаючись на множині прикладів, нейромережа здатна генералізувати властивості і залежності вхідних і вихідних даних, які невідомі заздалегідь.
- Стійкість до зовнішніх шумів. Немає необхідності у складній системі фільтрів, коли незначні ознаки образів будуть відсіяні в процесі ідентифікації.
- Здатність адаптуватися до змін у навколишньому середовищі.
- Паралелізм обчислень, що потенційно є шляхом до надзвичайної швидкодії системи.
- Розподіленість системи. У разі апаратної реалізації, при пошкодженні певного нейрону чи зв'язку негативний результат може бути знівельовано.

Нейромережа не «програмується» у звичному сенсі цього слова, вона навчається, звідси і перевага у якості та швидкості адаптації до змін навколишнього середовища, але й недолік, у вигляді ресурсів, що необхідно затратити на отримання «робочого» прототипу. Навчанням штучних нейронних мереж займається дисципліна під назвою «машинне навчання». Найпоширеніші методи навчання:

- Навчання з вчителем – коли інформаційний агент отримує знання про рішення певної задачі, шляхом отримання у якості прикладу конкретних вхідних та вихідних значень.

- Навчання без вчителя – коли інформаційний агент має самостійно виявити та сформулювати взаємозалежності у вхідних даних.
- Навчання з підкріпленням – коли інформаційний агент отримує знання шляхом взаємодії з середовищем функціонування, та прагне до максимізації певної довгострокової перспективи.

Дуже важливим залишається питання «перенавчання», коли похибка результату класифікації, у процесі навчання штучної нейромережі, починає не зменшуватися, а, навпаки, збільшуватися. Подібна поведінка може бути наслідком «збиткової» генералізації (тобто виявлення певних «хибних та неважливих» взаємозв'язків у характеристиках вхідних об'єктів), замалого масиву навчальної вибірки, або неадекватної структури моделі самого процесу навчання. Для боротьби з подібними явищами, найпростішим, хоча і досить ефективним, рішенням може виступати поділ навчальної вибірки на дві підмножини, що попарно не перетинаються, для навчання на одній з них та подальшому тестуванні якості процесу на іншій.

Загалом, штучні нейромережі можна класифікувати за багатьма ознаками, наприклад, за типом вхідної інформації (виділяють аналогові, двійкові та образні), за типом активізаційної функції нейронів (лінійні, порогові, логістичні, гаусові, гіперболічні, синусо- та косинусоїдальні з насиченням, трикутні та інші), за архітектурою (одношарові та багатошарові), за структурою (прямого поширення, рекурсивні, зустрічного поширення), за методом навчання, за типом настроювання ваг (фіксоване та динамічне), за методами редукції, топологічними моделями, критеріями обслуговуваності, базовими моделями (персептрон, сітка Хопфілда, сітка Гроссберга, когнітроон, неокогнітрон, згорткові нейромережі та інші [12]).

Особливої уваги заслуговують саме згорткові нейронні мережі. Ця увага обумовлена вражаючими результатами конкурсу ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge), що був заснований у 2010 році. Змагання об'єднує

дослідницькі команди зі всього світу та пропонує позмагатися в розпізнаванні образів. На 2011 рік, гарним показником вважалась похибка класифікації у 25% з використанням «класичних» методів розпізнавання образів. Проте, вже на наступний рік, переможцем стала система глибинного навчання на основі згорткових нейромереж, що показала революційний результат у 16%, а у подальші роки дослідження і розробки в цій області змогли зменшити похибку до кількох відсотків [13].

Вже у 2015 вчені констатували, що в певних завданнях проведеного конкурсу, машини перевершили своїх творців [14]. Найкращі алгоритми відчують складнощі до розпізнавання малих та незначних об'єктів (наприклад, мураха на квітці), також є проблема з різноманітними світлофільтрами (все більш розповсюджене явище у сучасних цифрових камерах), тобто ті види зображень, що не викликають проблем у людей, проте, там де нам досить важко точно класифікувати об'єкт, мається на увазі класи з обширною та дрібною структурою (наприклад, порода собак, птахів, риби тощо), згорткові нейромережі показують досить гарні результати. Досягнення у 2017 році демонструють похибку класифікації у 2.25%, та похибку локалізації у 6.23%, тобто прогрес за 10 років більш ніж у 10 разів, а враховуючи експоненціальну тенденцію пришвидшення розвитку технологій на планеті та зростаючу можливість використання розподілених обчислень задля навчання масивних нейромереж – з'являється прецедент для появи якісно нових, швидкодіючих систем розпізнавання та класифікації образів.

1.5 Реалізації систем розпізнавання та сортування

1.5.1 Джерела даних та визначення класу МПК

Задля орієнтування у науково-технічних здобутках, за окресленою тематикою, огляду останніх досягнень в області, визначення сфер впливу

інтелектуальної власності винахідників, окреслення ступеню досягнень дослідників, а також пошук та збір інформації, що становить практичну цінність, було проведено дослідження усіх відкритих джерел, з використанням пошукових систем, а також проведено патентний пошук у відповідних фондах, а саме:

- УКРПАТЕНТ – база даних національного патентного відомства;
- РОСПАТЕНТ – база даних федеральної служби по інтелектуальній власності, патентам і товарним знакам Російської Федерації;
- WIPO (World Intellectual Property Organization) – Всесвітня Організація Інтелектуальної Власності. За допомогою пошукової служби PATENTSCOPE®, можна отримати доступ до міжнародних патентних заявок та національних/ регіональних патентних баз даних.
- USPTO – база даних патентного відомства Сполучених Штатів Америки;
- Google Patent Search – база даних відповідної корпорації;
- Canadian Patents Database – база даних патентного відомства Канади;
- Esp@cenet – база даних Європейського патентного відомства (можливий пошук у понад 80 країнах і регіонах);
- ЕАПВ – база даних Євразійського патентного відомства;
- SIPO – база даних державного відомства інтелектуальної власності Китайської Народної Республіки.
- PAJ – база даних патентного відомства Японії.

Також були використані сервіси Free Patents Online та PRIOSMART, що забезпечують доступ до патентних баз даних різних країн світу.

Пошук за патентними базами виконувався відповідно до міжнародної патентної класифікації (актуальною на момент написання роботи є МПК-2018.01 [15]), за відповідними ознаками:

Розділ В – різноманітні технологічні процеси; транспортування.

Клас 07 – виокремлення твердих матеріалів; сортування. Підклас С – сортування поштових відправлень і документації; сортування одиничних виробів

або матеріалів, що зберігаються у купі, які можна сортувати як окремі предмети, наприклад шляхом вибору. Група 5 – сортування за параметрами та властивостями виробів або матеріалів, що підлягають сортуванню, наприклад за допомогою пристроїв, що сприймають чи визначають вище означені параметри або властивості. Підгрупи: 04 – сортування за розмірами; 08 – сортування за властивостями, що виміряні електричними та електронними засобами; 10 – сортування за властивостями, що виміряні світлочутливими засобами; 28 – сортування з використанням електричних засобів управління; 342 – сортування за оптичними ознаками (наприклад, за кольором).

Кла: 65 – транспортування, пакування, зберігання, маніпулювання тонким або нитковидним матеріалом. Підклас В – засоби та пристрої для упаковки виробів та матеріалів. Група 5 – пакування виробів у тару. Підгрупа 10 – заповнення тари шляхом індивідуального складання виробів або заповнення рівнями.

Підклас G – засоби для зберігання та транспортування, наприклад конвеєри для завантаження та розвантаження. Група 57 – штабелювання виробів. Підгрупа 24 – що переміщуються цілком.

Таким чином, пошук виконувався за напрямками: B07C 5/04; B07C 5/08; B07C 5/10; B07C 5/28; B07C 5/342; B65B 5/10; B65G 57/24. Отримані результати наведені у наступному підрозділі, дублікати виключені з розгляду.

1.5.2 Результати патентного пошуку

Відомий прилад [16] призначений для відбраковування виробів, який базується на вимірювальному блоці у вигляді пневматичного датчика, що містить сопла виявлення, розташовані в одній площині у декілька паралельних рядів, блок формування керуючого сигналу поєднує пневмопідсилювач з ударною модуляцією, дросель, турбулентні підсилювачі та пневмоелектричний перетворювач

контактного типу. Головним недоліком даного приладу є виконання сортування лише за геометричними характеристиками виробу, що є незадовільним для вирішення поставлених задач (в умовах раціонального природокористування), також визначення ознак об'єкту виконується поданням струменю стисненого повітря, що може провокувати додаткові ушкодження продуктів харчування при їх сортуванні та зниження точності процесу при кореляції з параметрами оточуючого середовища (атмосферний тиск, вологість тощо).

Відомий винахід [17], що являє собою електронні конвеєрні ваги, які містять вагову платформу, що спирається на два датчики ваги, датчик швидкості руху конвеєру, блок імпульсів швидкості, генератор, тригери та дільники частоти. Очевидним недоліком даного підходу є визначення класу сортування об'єкту лише за ваговими характеристиками, що нераціонально у випадку сортування продуктів харчування, адже однакові за масою продовольчі екземпляри можуть кардинально відрізнятися за кількістю поживних речовин придатних до споживання.

Відомий прилад [18], що призначений для контрольних-сортувальних технік у різноманітних сферах промисловості, в т.ч. легкій та харчовій. Вимірювання характеристик об'єкту дослідження досягається за рахунок силового впливу (стиснення) боковими безкінечними стрічками, що має на меті розрив цілості продукту, при досягненні якого, виконується скидання відповідним механізмом. До основних недоліків даного методу сортування можна віднести відсутність можливості класифікації образів за будь-якими візуальними характеристиками, а також механічний вплив, що може призвести до фатальних пошкоджень цілості оболонки продукту харчування, особливо у разі вже наявного відхилення від норми.

Відомий пристрій [19], що відноситься до обладнання для транспортування і сортування великої рогатої худоби і свиней, що може бути використаний у харчовій (м'ясопереробній) промисловості. Серед головних переваг даної техніки можна

визначити сортування продуктів за візуальними характеристиками (отриманими системою оптичної камери, що обладнана фотоелектричним датчиком та світловідбивачем), а також автоматичне прийняття рішень щодо придатності того чи іншого продукту. Проте оглянутому методу характерні і суттєві недоліки, такі як транспортування об'єктів сортування вантажонесучими гаками, що є неприйнятним для овочів та фруктів, а також оснащення оптичної камери, яке є дуже чутливим до характеристик як самого джерела світла, так і поверхні відбиття.

Відомий метод [20], призначений для сортування продукції, який містить необхідні ознаки міжнародної патентної класифікації. До переваг даного способу можна віднести автоматичний процес транспортування продукту вздовж перевірочних пунктів та його сортування за допомогою оптичних засобів. Проте заявлений метод використовує джерело випромінювання у діапазоні ближнього інфрачервоного випромінювання, яке передається через рухомий продукт в первинній упаковці, і отримує вихідний сигнал (рішення сортування) відповідно до інтенсивності прийнятого випромінювання при декількох різних довжинах хвиль, що робить його доцільним при сортуванні рідин та дисперсій, але непридатним до застосування у сортуванні твердих продуктів харчування високої щільності. Також відсутня можливість сортування за будь-якими геометричними типорозмірами.

Відомий спосіб [21] визначення забарвлення сім'янок соняшнику, його аналізу програмним продуктом ImageJ (free open source program) з подальшим розподілом зразків на групи. Головним недоліком виступає повністю ручний режим опрацювання екземплярів, що є неприпустимим у промислових масштабах, а також використання стороннього програмного забезпечення, що може призводити до додаткових похибок сортування при неналежній підготовці та налаштуваннях програмних інструментів.

Відомий метод [22] та пристрій, що призначені для сортування твердих побутових відходів (може бути використаний для сортування продуктів харчування). Перевагами цього методу виступають повністю автоматичний цикл сортування та відсутність апріорної інформації про об'єкти, що надходять на конвеєр. Основним недоліком є характеристика за якою відбувається сортування, а саме – щільність/ питомий об'єм, тобто прилад придатний до сортування різнорідних матеріалів, проте у рамках конкретного класу виникають закономірні складнощі (наприклад, щільність двох яблук одного сорту відрізняється несуттєво).

Відомий прилад [23] призначений для сортування сільськогосподарської продукції з використанням лазерного освітлення об'єкту. Наявна можливість сортування за кольором, розміром, формою та іншими характеристиками, що доступні аналізу засобами машинного зору. Головними недоліками виступають: по-перше, складна оптична схема, чутлива до незначних переміщень, по-друге, поверхня розгортання лазерного потоку (дзеркальна призма) повинна мати значну швидкість обертання для встановлення цілісної картини сканованого об'єкту, по-третє лазерний сортувальник, що не містить модулятор інтенсивності може нанести шкоду об'єкту сканування під час його опромінення.

Відома установка [24] призначена для сортування зібраних коренеплодів (таких як картопля, цибулю тощо), вона включає в себе конвеєрну подачу об'єктів, чутливий оптичний датчик здатний опрацьовувати зображення у деякому діапазоні довжин хвиль, задля отримання та аналізу пікселей у об'ємному потоці, механізм відсікання з потоку непридатних екземплярів. До недоліків окресленого підходу можна віднести: прийняття рішень на основі даних отриманих з датчику, що виконує формування зображення лише при дослідженні об'єкту у 1 площині, що може провокувати недостатню якість сортування; похибка визначення якості об'єкту, що породжена одночасною обробка усього потоку овочів загалом; загальне сортування лише на дві фракції «придатний/непридатний».

Відомий винахід [25] призначений для автоматичного сортування плодів, що складається з двох перпендикулярно розташованих транспортерів (один для надходження плодів зі сховища, інший транспортує відсортований потік об'єктів), лінійки пневматичних ежекторів, засобу оптичного контролю потоку (виконаного у виді двомірної ПЗС матриці). Головними недоліками даного винаходу можна назвати наступне: сортування лише за трьома класами продукції; використання ежекторів для розподілення потоку, що можуть завдавати додаткових механічних навантажень на плоди; момент падіння плодів при зміні транспортеру; виконання сортування для потоку загалом, що знижує точність класифікації; залежність ширини ежекторів від типу плодів.

Відомий пристрій [26], що застосовується для автоматичного сортування об'єктів за візуальними характеристиками (конкретно колір та відбиваюча здатність). Серед переваг можна виділити поштучне дослідження образів у робочій зоні, мультикласове розподілення, відсутність фази вільного падіння, що, по-перше, зменшує складність виконуючих механізмів та ступеню пошкодження об'єктів (за рахунок відсутності моменту «зіткнення»), по-друге, мінімізація відхилення руху образу при сталій траєкторії, і, як наслідок, зменшення «поля зору» зони фотоприймача без втрати чутливості, по-третє, знімається обмеження на тривалість прийняття рішення (можливе застосування складних алгоритмів розподілення), щодо класифікації образу до певного класу, яке, по суті, є різницею між моментами входженням об'єкту в зону реєстрації та досягнення розподільного механізму, тобто тривалості вільного падіння, що визначається фізичною висотою установки. До недоліків слід віднести відсутність можливості розпізнавання за геометричними типорозмірами, чутливість приладу до фону кільця транспортуючого диску, чутливість до відбиваючого показнику об'єкту сортування, а також, необхідність використання додаткових засобів задля формування траєкторії руху часток.

Відомий пристрій [27] призначений для виміру та аналізу параметрів об'єктів за допомогою оптичної системи. Головними недоліками виступають: неможливість поштучного подання образів у зону аналізу, сортування на дві категорії «придатний/непридатний», наявність фази вільного падіння, що породжує проблеми описані у попередньому розборі патенту.

Відомий спосіб [28], що застосовується для сортування об'єктів за оптичними характеристиками. Основним недоліком є сам метод ідентифікації, який ґрунтується на опроміненні рентгенівськими променями об'єкту задля досягнення люмінесцентної віддачі, що є придатним для сортування, наприклад, мінералів, чи інших об'єктів неживої природи, але застосування є неприпустиме для продуктів харчування людини, в наслідок негативного впливу рентгенівського випромінення.

Відомий винахід [29], що застосовується для сортування картоплі (як вказує автор, пристрій може бути застосований до інших сільськогосподарських культур, такі як яблука чи морква). Головною перевагою оглянутого винаходу виступає можливість, за відносно простого конструктивного виконання, використовувати систему роликів з коливальним зворотно-поступовим рухом для обертання об'єктів ідентифікації, що надає можливість для обстеження практично усієї поверхні продукту. Недоліками виступають: необхідність одночасного розпізнання образів, які рухаються паралельними «жолобами», що висуває ряд обмежень, як на засоби отримання оптичної інформації, так і на складність і швидкодію застосовуваних алгоритмів класифікації; можливість виконання лише бінарного розподілу; використання вібраційних елементів, що вимагають додаткового калібрування, аби мінімізувати ступінь механічних пошкоджень заподіяних продуктам харчування.

Відомий пристрій [30], що виконує сортування твердих матеріалів. Серед переваг: простота конструкції та можливість багатокласової класифікації. Недоліки: сортування лише за геометричними типорозмірами.

Відомий метод сортування зернових культур та установка для його здійснення [31]. Недоліками винаходу можна визначити: наявність фази вільного падіння, вади цього процесу описані вище (див. винахід 26); бінарна класифікація; використання ударного пристрою у вигляді поршню для фізичного розділення потоку, що провокує додаткове механічне навантаження на продукти.

Відомий винахід [32], що використовується для автоматичного сортування продуктів. Серед переваг: дослідження усієї поверхні об'єкту, за рахунок налагодження швидкості обертання роликів транспортуючого пристрою та положення перевірочних пунктів, кожен з яких містить як мінімум один пристрій візуальної реєстрації, оптична вісь якого розташована перпендикулярно до напрямку руху потоку образів. Недоліком виступає можливість сортування лише за діаметром продукту, що не забезпечує належну якість в умовах раціонального природокористування.

Відомий спосіб, та пристрій його реалізації для сортування томатів [33]. Головними обмеженнями даного способу можна назвати: наявність фази вільного падіння; використання пневматичних механізмів розділення потоку об'єктів; додаткова складність конструкції, що реалізує функцію розділення продуктів, що рухаються занадто близько; бінарна класифікація товарів.

Відомий винахід [34], цільовим призначенням якого є сортування потоку товарів (конкретно сумок) за оптичними, та, у разі необхідності, іншими ознаками (наприклад, використання датчиків вологості для визначення наявності клею, чи температурні сенсори, у разі використання розігрітого компоненту). Основними недоліками оглянутого методу є: огляд (інспекція) продукту лише у одній площині, тобто формування рішення щодо придатності товару по неповній інформації; розділення товаропотоку з подальшим фактичним скиданням об'єктів неналежної якості у відстійники, фізична відстань до яких та фактична глибина (яка в свою

чергу взаємозалежна з ємністю накопичувача), мають суворі обмеження щодо параметрів, які впливають на навантаження які може перенести об'єкт сортування, без механічних пошкоджень продуктів виробництва; також можна вважати недоцільним використання попереднього пункту обстеження товару на відповідність до представлених «шаблонів» системі, даний підхід оправданий у випадку строго типізованого, фіксованого за габаритами та пропорціями виробництва, проте зазнає складнощів при роботі з образами що мають стохастичний характер прояву параметрів (кольору, типорозмірів тощо).

Відомий спосіб, та відповідна система його реалізації [35], призначена для сортування виробничих заготовок, що складається з конвеєру, пункту отримання оптичної інформації, обчислювального блоку та не менш ніж одного маніпулятора, задля розділення товаропотоку. До головних переваг можна віднести: можливість гнучкого налаштування обладнання при багатокласовому розподіленні; бережне відношення до об'єкту у процесі транспортування з основного потоку (загального, невідсортованого) до побічних (відсортованих). Серед недоліків: сортування усього потоку одночасно (висуває обмеження як до роздільної здатності так і до куту огляду оптичного елементу); складність виконання операції переміщення до побічних потоків (використання робототехнічних маніпуляторів, яким необхідно або зберігати, або кожного разу обчислювати положення конкретної заготовки, яку необхідно вилучити з потоку); необхідність ранжування пунктів сортування за зростанням часу прийняття рішення алгоритмічним забезпеченням, адже перший пункт розподілення розташований відносно близько до системи отримання оптичних даних, що значно скорочує час на класифікацію конкретного об'єкту до відповідної групи.

Відома система визначення типу та розподілення об'єктів [36], проте її властиві недоліки у вигляді: виконання сортування базуючись лише на геометричних типорозмірах образів; дослідження частини поверхні, статичного

продукту по відношенні до точки позиціонування на транспортному конвеєрі, що провокує пониження якості сортування.

Відомий метод сортування матеріалів [37], не дивлячись, що система має перевагу у вигляді виконання багатокласового розподілення заснованого на представлених образах, вона не може бути доцільно застосована для сортування продуктів сільськогосподарського призначення, адже рішення приймається на основі виміряного обсягу люмінесцентного потоку від об'єкту, який отримується завдяки рентгенівському опроміненню останнього.

Відомий винахід [38], що призначений для розпізнавання продуктів, що послідовно проходять декілька пунктів обстеження зазнаючи при цьому обертальних рухів. Головними недоліками виступають: необхідність зупинки у кожному пункті ідентифікації; неможливість обстеження усієї поверхні продукту; бінарна класифікація об'єкту; відсутність можливості сортування за геометричними типорозмірами продукту.

Відомий метод та пристрій його здійснення [39] спрямований на визначення вигляду об'єкту, базуючись на отриманих зображення п'яти поверхонь продукту, за допомогою складної оптичної системи дзеркал. Серед недоліків необхідно визначити: сильну пряму залежність якості сортування від роздільної здатності оптичного елемента; відсутність обертального руху продукту, що унеможливорює дослідження усієї фактури поверхні; аналогічно попередньому випадку, відсутність можливості сортування за геометричними типорозмірами продукту.

Відома установка [40], що застосовується для сортування овочів та фруктів (на прикладі чорниці). Даному пристрою властиві ряд недоліків: сортування загального товаропотоку одночасно, що накладає обмеження на оптичний елемент устаткування; чутливість до черги надходження об'єктів (вона має бути попередньо заданої форми); використання додаткових перевірючих пунктів задля окремого

визначення геометричних типорозмірів продукту; наявність ділянок де мають бути задіяні оператори.

Висновки до розділу 1

У даному розділі розглянуто основу еволюційно сформованого категоріального апарату людини, визначено головні етапи біологічного процесу розпізнавання. Досліджено стан розвитку сучасної теорії розпізнавання образів, виявлений основний спектр задач, а також методів та технік задля їх вирішення. Проведена робота, що спрямована на отримання та поглиблення комплексних теоретичних знань у предметній області. Визначено основні моменти на яких базуються технічні та технологічні рішення індустрії сортування продуктів. Поглиблене розуміння морально-етичної проблематики застосування технологічних здобутків сучасного людства у боротьбі за ефективне та дбайливе природокористування, особливо у питанні забезпечення гастрономічних потреб.

Проведено аналіз науково-технічних вітчизняних та закордонних здобутків у сфері розпізнавання та сортування об'єктів, розглянуто основні типові методи, способи та пристрої їх реалізації, які застосовуються на практиці (технічна інформація про котрі розповсюджується у відкритому доступі). Незважаючи, на високу кількість розробок, що, зазвичай, спрямовані на вирішення якоїсь конкретно специфікованої задачі, оптимальне загальне рішення ще не знайдено, що породжує все нові дослідження та розробки, а також надії на вирішення питань розпізнавання у розрізі продовольчої потреби. За отриманими результатами було прийнято рішення щодо створення апаратно-програмного комплексу сортування товарів сільськогосподарського призначення орієнтованого на раціональне природокористування та підвищення ресурсовикористання початкової сировини.

РОЗДІЛ 2. МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ОВОЧІВ ТА ФРУКТІВ

2.1 Збереження продуктів рослинного походження

Забезпечення принципів раціонального природокористування у виробничій сфері передбачає максимізацію використання наявних ресурсів (інтелектуальної складової колективу, кількості людино-годин, промислового устаткування, енергоносіїв, наявного простору задля акумуляції продукції тощо). А враховуючи, що динамічний ринок гастрономічних потреб кінцевих споживачів сильно диференційований, що, у свою чергу, породжує питання розподілення отриманого врожаю між різними кінцевими продуктами харчування. Наприклад, зрощені помідори можуть бути продані як свіжі овочі (хоча, з чисто ботанічної точки зору, помідор – це ягода), або вже як соус (кетчуп), або як томат-паста чи томат-пюре, чи навіть просто як томатний сік.

Усе це широке різноманіття кінцевих товарів споживання накладає додаткові обмеження на автоматичні та автоматизовані системи, що використовуються протягом усього виробничого циклу харчової промисловості, проте, і відкриває нові можливості задля оптимізації. Тобто, необхідно мати на увазі, що у залежності від типу кінцевої продукції виробництва, може бути виконане розподілення загального товару потоку на декілька фракцій, у залежності від наявності та ступеню пошкодження поживних тканин овочів та фруктів, що в свою чергу, дозволяє зберегти частково пошкоджені продукти від викидання (мінімізація відходів рослинного походження), та підвищити загальний рівень ефективності виробничого устаткування, при одночасному русі у напрямку загального раціонального природокористування. Для того, щоб розібратися, як саме необхідно сортувати, обробляти та зберігати сільськогосподарську продукцію розглянемо основні види її втрат та фактори, що безпосередньо впливають на ступінь збереження зрощеної продукції.

2.2 Типи втрат продукції та фактори її збереження

Загалом виділяють два типи втрат: у якості та у масі. Причому, зазвичай, обидва типи йдуть «рука об руку», тобто констатується одночасно і втрата в масі поживних речовин, і зниження якості товару, що обумовлено зниженням концентрації корисних речовин. За типом впливу можна виділити механічні та біологічні втрати. За джерелом причин, поділяють такі втрати, що можливо уникнути при правильній організації відповідних етапів виробництва (збереження, транспортування тощо) та таких, що неможливо позбутися, зберігаючи товари у природньому вигляді, через вплив біологічних факторів (так званий, природний спад). До останнього типу витрат можна віднести дихання рослинної продукції чи випаровування вологи, що призводять до зменшення маси збереженої продукції, зазвичай, за один сезон зберігання (близько 6-8 місяців) втрати становлять від 3 до 8 % [41].

Розглянемо основні фактори, що впливають на тривалість збереження сільськогосподарської продукції у прийнятній якості. Виділяють наступні групи:

- Біотичні чинники(біохімічні, мікробіологічні, розвиток шкідників);
- Абіотичні чинники (відносна вологість повітря, газовий склад, повітрообмін, освітленість) ;

Також, необхідно зазначити, що дані чинники є взаємозв'язаними, адже вплив певних зовнішніх факторів неживої природи безпосередньо корелює з інтенсивністю різноманітних процесів життєдіяльності як рослин, так і інших мікро- та макроорганізмів. Зупинимось детальніше на першому типі факторів, адже вони є важливішим, бо абіотичні фактори легше змінювати і регулювати задля досягнення бажаних результатів.

Біохімічні фактори, це ті, що обумовлені дією власних ферментів у продукті. Серед найвпливовіших: дихання та гідроліз. Дихання – це процес виробництва

енергії, при якому дисимілюються органічні сполуки (зазвичай, одномолекулярні вуглеводи) з подальшим утворенням побічних продуктів: вуглекислого газу, тепла та, у залежності від типу дихання, аеробного чи анаеробного, вода чи етиловий спирт відповідно. Овочі та фрукти мають відносно високу інтенсивність дихання, через наявність значних обсягів вільної води. Також, необхідно враховувати, що тепло та волога, що виділяються при диханні, додатково сприяють підвищенню інтенсивності даного процесу. Гідроліз – це процес дисиміляції складних органічних сполук до простіших, під дією відповідних ферментів, та за участю води. У «сухому залишку», гідроліз пришвидшує процеси старіння та псування, особливо чутливі – знов ж таки, овочі та фрукти.

Мікробіологічні фактори – це процеси впливу різноманітних мікроорганізмів на продукти харчування. До цієї групи належать бродіння (дисиміляція безазотистих органічних речовин (цукрів) під дією ферментів, що виділяються бродильної мікрофлорою), гниття (глибокий розпад білків і продуктів їх гідролізу під впливом гнильних бактерій) та пліснявіння (розвиток різних видів цвілевих грибів). Саме мікробіологічні фактори чинять найбільш суттєву шкоду продуктам харчування рослинного походження при зберіганні.

Отже, збереження продукції у належному обсязі вимагає застосування відповідних заходів, від забезпечення санітарно-технічних норм у сховищах, з метою оптимізації впливу абіотичних чинників, до різноманітних способів консервації та переробки продукції, задля припинення процесів життєдіяльності патогенної мікрофлори. Саме тому, оптимізація процесу сортування товарів рослинного походження, з метою підвищення природокористування, вимагає як кореляції з урахування особливостей подальшого виробничого циклу та умов збереження продуктів харчування, так і врахування самої моделі розповсюдження різноманітних пошкоджень, та їх впливу на якісний та кількісний стан кінцевого продукту.

2.3 Апаратне забезпечення процесу сортування

Забезпечення апаратної складової процесу розпізнавання овочів та фруктів виконується за рахунок використання експериментального устаткування, що розроблено доцентом кафедри Технічної кібернетики «КПІ ім. Ігоря Сікорського» Поліщуком Михайло Миколайовичем. Метою спільної розробки є підвищення якості сортування продуктів харчування, що націлене на мінімізацію відходів рослинного походження (підвищення ступеню природокористування початкової сировини), за рахунок визначення класу об'єкту з урахуванням наявності пошкоджених (тим чи іншим способом) тканин, їх обсягу, та загального коефіцієнту технологічного процесу, що визначає як швидко той чи інший об'єкт може бути перероблений на кінцевий продукт споживання, задля припинення втрат сільськогосподарських товарів під дією патогенних чинників біологічного походження.

Технічний результат досягається тим, що пристрій містить: накопичувальну ємність; завантажувальний пристрій; транспортний конвеєр з встановленим перевірочним пунктом, що складається з 3-ьох ПЗЗ-камер в ортогональному базисі; програмний блок прийняття рішень; розподільний лоток, орієнтація якого, відносно приймальних накопичувачів, визначається прийнятим рішенням, що корелює з мінімізацією відходів рослинного виробництва.

Зображення апаратного комплексу, що використовується задля реалізації системи сортування продукції сільського господарства, з урахуванням ступеню пошкодження тканин рослин, присутне у додатку В.

2.4 ПЗЗ – камери

Як було зазначено вище, задля фізичного отримання зображення використовуються камери на приладах із зарядовим зв'язком (ПЗЗ-камери). У ПЗЗ-датчику використовується прямокутна решітка з вузлів (де збираються електрони),

з покриттям тонкою кремнієвою пластиною, задля реєстрації кількості світової енергії, що потрапляє на кожен з них (рисунок 2.1). Кожен з вузлів утворюється через нарощування слою діоксиду кремнію на пластинці з подальшим осадженням на діоксид провідникової затворної структури. Коли фотон падає на кремнієву пластину, породжується пара електрон-дірка (має місце фотоперехід), та електрони потрапляють у потенційну яму, отриману внаслідок прикладення позитивного електричного потенціалу до відповідного затвору. Електрони, що з'являються на кожному з вузлів, збираються за фіксований період часу T . [42,43]

На даному етапі, заряди, що зберігаються на окремих вузлах, переміщуються за допомогою зарядового зв'язку: задля переміщення зарядових пакетів від одного вузла змінюються потенціали затворів, при цьому пакети розповсюджуються окремо. Зображення зчитується з пристрою порядково, кожен рядок передається паралельно до регістру послідовного виводу, що містить по одному елементу у кожному стовбці. У проміжку між зчитуванням двох рядків регістр послідовно передає свої заряди на вихідний підсилювач, який генерує сигнал, пропорційний отриманому заряду. Цей процес продовжується допоки не буде зчитане зображення цілком. Варто зазначити, що цифрова вихідна інформація у більшості ПЗЗ-камер перетворюється в аналоговий відеосигнал, а тільки потім потрапляє до механізму захвату кадра, який створює кінцеве цифрове зображення.

У кольорових ПЗЗ-камерах масового виробництва, зазвичай, використовується ті ж мікросхеми, що і для чорно-білих, за винятком використання рядків або стовбців датчиків чутливих до червоного, зеленого або синього кольорів (досягається за допомогою фільтра, що пропускає лише необхідну довжину хвилі). Можливі та інші моделі фільтрів, наприклад, мозаїка з блоків два на два, що містить два зелених, один червоний та один синій рецептор (модель Байера, заснована на біологічних особливостях побудови ока людини). Просторова роздільна здатність камер на окремому ПЗЗ, очевидно, обмежена, тому у високоякісних екземплярах

використовують розсіювач пучка, задля розподілення зображення по трьом різним ПЗЗ через кольорові фільтри. Після чого окремі кольорові канали оцифровуються окремо (отримання RGB-view), або об'єднуються у складний кольоровий відеосигнал (NTSC USA, SECAM Europe, PAL Japan), або у комбінований, з розподіленням даних про колір та яскравість.

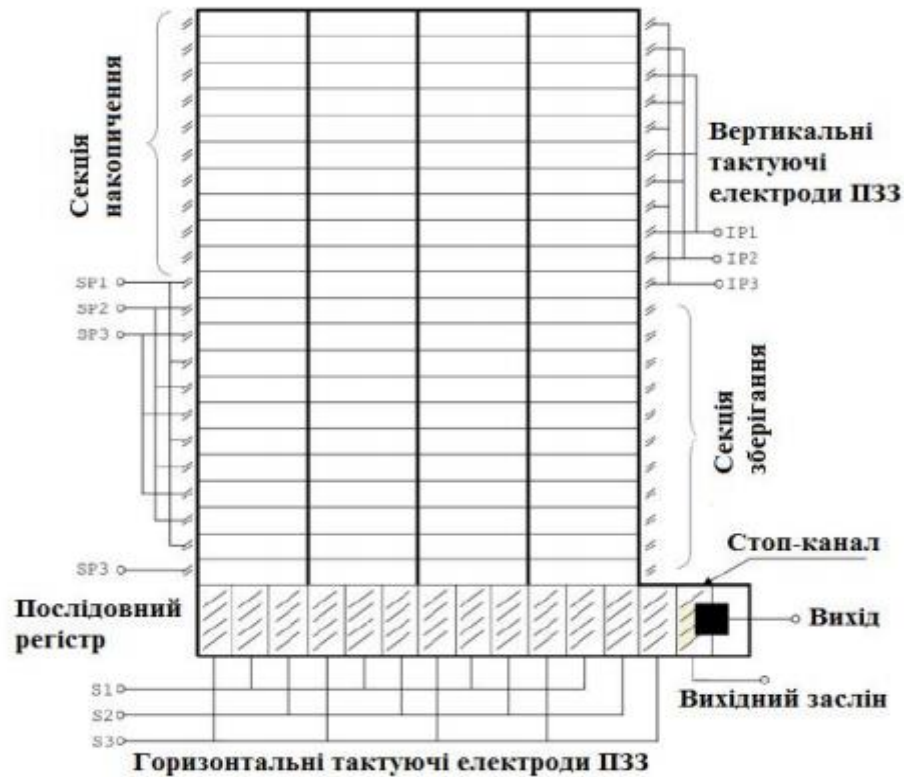


Рис. 2.1. Пристрій ПЗЗ

2.4.1 Моделі датчиків

Розглянемо, у загальному випадку, модель датчиків чорно-білих ПЗЗ-камер, адже в силу зазначених вище умов, кольорові можна вважати аналогічними, при розгляді кожного кольорового каналу окремо з урахуванням відповідної реакції фільтрів.

Кількість електронів I , зареєстрованих у клітині, розташованій у рядку r та в стовбці c схеми ПЗЗ, можна представити як:

$$I(r, c) = T \iint_{\lambda \rho \in S(r, c)} E(p, \lambda) R(p) q(\lambda) dp d\lambda,$$

де T – час збору електронів, а інтеграл обчислюється по всій області клітини $S(r, c)$ та діапазону довжини хвиль, на які ПЗЗ дає ненульову реакцію, E – сила світла на одиницю площі та одиницю довжини хвилі (тобто освітленість) у точці p , R – просторова реакція вузла, q – квантовий вихід пристрою (тобто кількість породжених електронів на одиницю енергії падаючого світла).

У загальному випадку E та q залежать від довжини хвилі λ , а E та R залежать від розташування точки p в області $S(r, c)$.

Підсилювач на виході ПЗЗ перетворює заряд, зібраний на кожному з вузлів, у напругу, яку можна виміряти. У більшості камер ця напруга за допомогою електроніки перетворюється у низькочастотний відеосигнал, пропорційний I . Аналогове зображення можна ще раз перетворити у цифрове шляхом механізму захвату кадру, який просторово звиряє відеосигнал та квантує значення яскравості у кожній точці зображення, або пікселі (від англ. picture element – дослівно, елемент зображення).

Існують декілька фізичних явищ, задля врахування яких необхідно коректувати ідеальну модель камери, наведену вище: якщо джерело світла занадто яскраве (тобто заряд накопичуваний на вузлу, розповсюджується на сусідні вузли) зображення розмивається. Цього можна уникнути, контролюючи освітлення, проте інші фактори, такі як дефекти виготовлення, теплові та квантові ефекти, квантовий шум – невід’ємна частина процесу створення зображення. Дані фактори необхідно враховувати при роботі з отриманими моделями зображень. Ефекти квантової фізики додають внутрішню невизначеність у процес фотопереходу на кожному вузлу (дробовий шум). Більш точно, кількість електронів, виникаючих у результаті цього процесу, можна позначити випадковим цілим $N_I(r, c)$, яке підкорюється закону

розподілення Пуассона, з середнім значенням $V(r,c)I(r,c)$, де $V(r,c)$ – число від нуля до одиниці, яке інтерпретується як зміна просторової реакції та квантовий вихід по всьому зображенню, а також підраховує погані пікселі. Електрони, що вилітають з кремнію в результаті теплового руху, додаються до заряду кожного вузлу збору. Їх вклад називають тіньовим потоком, та його можна позначити випадковим цілим $N_{DC}(r,c)$, середнє значення $\mu_{DC}(r,c)$ якого зростає з температурою. Ефект тіньового потоку можна контролювати охолодженням камери. Додаткові електрони вилітають з електроніки ПЗЗ (струм зміщення), та їх число також можна позначити випадковою величиною $N_B(r,c)$, яка підпорядкована закону розподілення Пуассона, з середнім значенням $\mu_B(r,c)$. Підсилювач на виході додає шум зчитування, його можна змоделювати дійсним числом R (яке підпорядковане розподіленню Гауса) зі середнім значенням μ_R та середньоквадратичним відхиленням δ_R . [44]

Існують і інші джерела невизначеностей (наприклад, ефективність переносу заряду), проте, зазвичай, ними можна знехтувати. Дискретизація аналогової напруги механізмом захвату кадру також породжує як геометричні ефекти (мерехтіння рядків), які можна усунути за допомогою калібровки, так і шум квантування, який можна позначити випадковим числом $Q(r,c)$, середнє значення якого дорівнює нулю, з однорідним розподіленням в інтервалі $[-\frac{1}{2}\delta, \frac{1}{2}\delta]$ та дисперсією $\frac{1}{12}\delta^2$, де δ – шаг квантування. Це дає наступну модель цифрового сигналу $D(r,c)$:

$$D(r, c) = Y(N_I(r, c) + N_{DC}(r, c) + N_B(r, c) + R(r, c)) + Q(r, c),$$

де Y – загальний коефіцієнт посилення камери та підсилювача.

Статистичні властивості даної моделі можна оцінити за допомогою радіометричного калібрування камери, наприклад, тіньовий потік можна оцінити, вимірюючи число тестових зображень у темноті ($I = 0$). [45]

Після отримання зображень, по каналам зв'язку вони передаються до програмованого блоку прийняття рішень, де опрацьовуються та породжують сигнал задля виконання відповідного сортування. Проте перш ніж рішення буде прийнято необхідно провести ряд операцій спрямованих на покращення вхідного сигналу, з подальшим виділенням корисної інформації. Розглянемо типовий математичний апарат, яким ми будемо оперувати. Почнемо з простіших концепцій (моделі шуму, лінійні фільтри, згортка,) та поступово перейдемо до більш цікавих (методи визначення меж об'єкту).

2.5 Шум

Головна проблема при роботі з цифровими зображеннями – це шуми. Зазвичай доводиться працювати безпосередньо зі значеннями окремих пікселів, чи локальних груп, показники яких можуть бути відчутно спотворені впливом різних типів шумів, відповідно, отримані результати будуть неточними.

У загальному випадку «шум» визначає такі данні, з яких неможливо (невідомо як, чи взагалі не потрібно) отримати корисну інформацію, усе інше можна назвати корисним сигналом. Шум може бути змодельований синтетично, що допомагає у дослідженні та при реалізації систем машинного зору.

Досить поширеною, через свою простоту, може слугувати модель адитивного стаціонарного гаусового шуму, коли до кожного значення пікселю зображення додається певне значення, обране на основі гаусового розподілу вірогідностей. Майже завжди середнє значення останнього дорівнює нулю, в якості параметру моделі використовується середньоквадратичне відхилення.

Нехай, маємо дискретний лінійний фільтр з ядром G , застосуємо його до шуму (зазначеної вище моделі, з середнім значенням μ та середньоквадратичним

відхиленням δ) зображення N . Реакція фільтру у довільній точці i, j буде дорівнювати:

$$R(N)_{i,j} = \sum_{u,v} G_{i-u,j-v} N_{u,v}$$

Оскільки шум стаціонарний та розраховані величини не залежать від вибору точки, для простоти положимо, що індекси рівні нулю та відкинемо їх. Припустимо, що носій ядра скінченний, так, що вклад дає тільки деяка підмножина випадкових змінних (запишемо її як $n_{0,0}, \dots, n_{r,s}$. Математичне очікування цієї характеристики буде наступна:

$$\begin{aligned} E[R(N)] &= \int_{-\infty}^{\infty} \{R(N)\} p(N_{0,0}, \dots, N_{r,s}) dN_{0,0} \dots dN_{r,s} = \\ &= \sum_{u,v} G_{-u,-v} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} N_{u,v} p(N_{u,v}) dN_{u,v} \right\} \end{aligned}$$

Даний результат можна отримати після заміни усіх змінних та інтегрування по всім змінним, відсутнім у всіх членах суми. Оскільки усі $N_{u,v}$ – незалежні нормально розподілені випадкові величини зі середнім значенням μ , отримаємо:

$$E[R(N)] = \mu \sum_{u,v} G_{i-u,j-v}$$

Можна знайти і дисперсію шумової характеристики. Визначимо величину

$$E[\{R(N)_{i,j} - E[R(N)_{i,j}]\}^2],$$

або, що теж саме, величину

$$\int \{R(N)_{i,j} - E[R(N)_{i,j}]\}^2 p(N_{0,0}, \dots, N_{r,s}) dN_{0,0} \dots dN_{r,s}$$

Це в свою чергу, можна представити як:

$$\int \left\{ \sum_{u,v} G_{-u,-v}(N_{u,v} - \mu) \right\}^2 p(N_{0,0}, \dots, N_{r,s}) dN_{0,0} \dots dN_{r,s}$$

Даний вираз можна розкласти на суму інтегралів двох типів. Члени виду

$$\int G_{-u,-v}^2(N_{u,v} - \mu)^2 p(N_{0,0}, \dots, N_{r,s}) dN_{0,0} \dots dN_{r,s}$$

(для довільних u та v) можна проінтегрувати доволі просто, оскільки усі $N_{u,v}$ незалежні; інтеграл буде дорівнювати $\delta^2 G_{-u,-v}^2$. А члени виду

$$\int G_{-u,-v} G_{-a,-b} (N_{u,v} - \mu)(N_{a,b} - \mu) p(N_{0,0}, \dots, N_{r,s}) dN_{0,0} \dots dN_{r,s}$$

(для довільних u, v та a, b) дають нулі (через незалежність шумових складових). Тобто отримуємо наступний вираз:

$$E[\{R(N)_{i,j} - E[R(N)_{i,j}]\}^2] = \delta^2 \sum G_{u,v}^2$$

Недоліки моделі адитивного стаціонарного гаусового шуму:

При детальному розгляді моделі адитивного стаціонарного гаусового шуму ми приходимо до розуміння, що це погана модель шуму зображення. По-перше, ця модель допускає існування позитивних (а головне і негативних) значень пікселів довільної величини. Проте, при правильному виборі середньоквадратичного відхилення для камер, що отримують зображення при достатньому рівні освітленості, це не становить значної проблеми, адже такі значення пікселів навряд з'являться на практиці. При відновленні зображення з шумом «проблемним» пікселям можна присвоювати, відповідне, нульове або максимальне значення.

По-друге, шумові значення абсолютно незалежні, тобто в цій моделі не враховується можливість існування групи пікселів, реакція яких зкорельована, можливо через особливості оптичної системи камери, або через теплові плями у інтегральній мікросхемі камери. Вирішення цієї проблеми дещо складніше, і подібні моделі значно складніші з аналітичної точки зору.

По-третє, дана модель не описує «мертві» пікселі (тобто ті, що при будь-яких обставинах видають нуль або максимальний вихід). «Мертві або биті» пікселі зустрічаються тоді, коли середньоквадратичне відхилення достатньо велике та існує деяке порогове значення для пікселів, що відображаються. Проте, не дивлячись на вищезначені вади, адитивна модель гаусового шуму має значну перевагу, а саме – простота оцінки реакції фільтрів на змодельовані таким чином випадкові процеси. Це дозволяє виміряти та оцінити ефективність роботи фільтру на зашумлений сигнал зображення.

2.6 Лінійні фільтри

У загальному випадку, два зображення відрізняються один від одного не тільки (і не стільки) значеннями окремих пікселів, а характерною конфігурацією їх невеличких груп. Головна стратегія при обробці зображення – це застосування зваженої суми значень пікселів, з використанням різних наборів вагових коефіцієнтів задля пошуку різних моделей зображення. Незважаючи на простоту, даний процес дозволяє згладжувати шумові компоненти на зображенні, визначати межі та інші елементи.

Опис багатьох явищ потребує доволі простої моделі. Маючи певне зображення, створимо масив даних того ж розміру. Елементи масиву – це зважені суми значень пікселів, що оточують відповідну точку зображення, важливо, що набір коефіцієнтів при обробці одного об'єкту є постійним. Приклад: визначимо

локальне середнє значення фіксованої області. Використаємо блок пікселів розмірністю $(2k+1) \times (2k+1)$. Якщо на вході маємо зображення F , тоді вихід буде:

$$R_{i,j} = \frac{1}{(2k+1)^2} \sum_{u=i-k}^{u=i+k} \sum_{v=j-k}^{v=j+k} F_{uv} .$$

Вагові коефіцієнти в дану випадку дорівнюють деякій константі, проте ефективніше використовувати набір, де в центрі значення коефіцієнтів є максимальним, та швидко спадаючими при русі у напрямку границь. Такий набір застосовується при одному з видів згладжування, що спостерігається у розфокусованих системах лінз. Незалежно від вибору вагових коефіцієнтів вихід цієї процедури інваріантний відносно зсуву, тобто значення виходу залежить лише від значень оточуючих пікселів, а не від їх розташування, також він є лінійним тому, що вихід суми двох зображень буде дорівнювати сумі двох входів цих зображень, отриманих окремо для кожного. Ця процедура називається лінійною фільтрацією.

2.7 Згортка

Стандартний набір вагових коефіцієнтів, яким користуються при лінійній фільтрації, зазвичай називається ядром фільтру. Процес застосування ядра – згорткою. Якщо відомо ядро фільтру H , то згортка зображення F дасть зображення R . Компонент (i,j) матриці R визначається наступним чином:

$$R_{i,j} = \sum_{u,v} H_{i-u,j-v} F_{u,v} .$$

Кажуть матриця H згорнута матрицею F , що дало R . Діапазон сумування не уточнюється, фактично, сумування виконується по достатньо значній області u і v , де враховуються усі ненульові значення. Більш того, вважається, що всі невизначені значення дорівнюють нулю.

Згладжування через усереднення

Зазвичай, значення пікселю на зображенні корелює з сусідніми. Якщо ми маємо шум, який зберігає цю кореляцію, ми можемо спробувати зменшити його негативний вплив на зображення через заміну значень конкретного пікселю на зважений середній результат значень по сусідам (це дозволяє усунути «грубі промахи» у значеннях пікселів, що породжені шумовою компонентою, або утворенні так званими «битими» пікселями самої оптичної установки).

Даний процес, розрахований задля певною фіксованою областю з центром у цьому пікселі, рівнозначний згортці з ядром у вигляді блоку одиниць, помножених на деяку константу. Причому вибір точки, необхідно узгоджувати з областю сумування. Проте даний підхід не є досить ефективним.

Згладжування за допомогою гаусіана

Більш прийнятною моделлю може виступати симетричне гаусове ядро. Назва пояснюється тим, що такий вигляд має щільність розподілення вірогідностей для двомірної нормальної (гаусової) випадкової змінної з заданою коваріантністю:

$$G_{\delta}(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta^2} \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\delta^2}\right),$$

де δ – середньоквадратичне відхилення гаусіана, виміряне у відстані між пікселями.

Дане ядро утворює специфічне зважене середнє, для якого вагові коефіцієнти центральних пікселів вагомо більші ніж на границях (дивись рисунок 2.2). Такий підхід пригнічує шумові компоненти, задовольняючи вимогу подібності пікселів, проте дозволяє віддаленим пікселям не так сильно впливати на отримане значення.

Дискретне ядро згладжування можна отримати, побудувавши масив $2k+1 \times 2k+1$, значення елемента (i,j) визначається як:

$$H_{i,j} = \frac{1}{2\pi\delta^2} \exp\left(-\frac{((i-k-1)^2 + (j-k-1)^2)}{2\delta^2}\right)$$

Причому, використовуючи замале δ лише один елемент матриці буде ненульовим. При використанні великого δ , k також має бути значним, інакше будуть ігноруватися пікселі, що мають впливати з суттєвими ваговими коефіцієнтами.

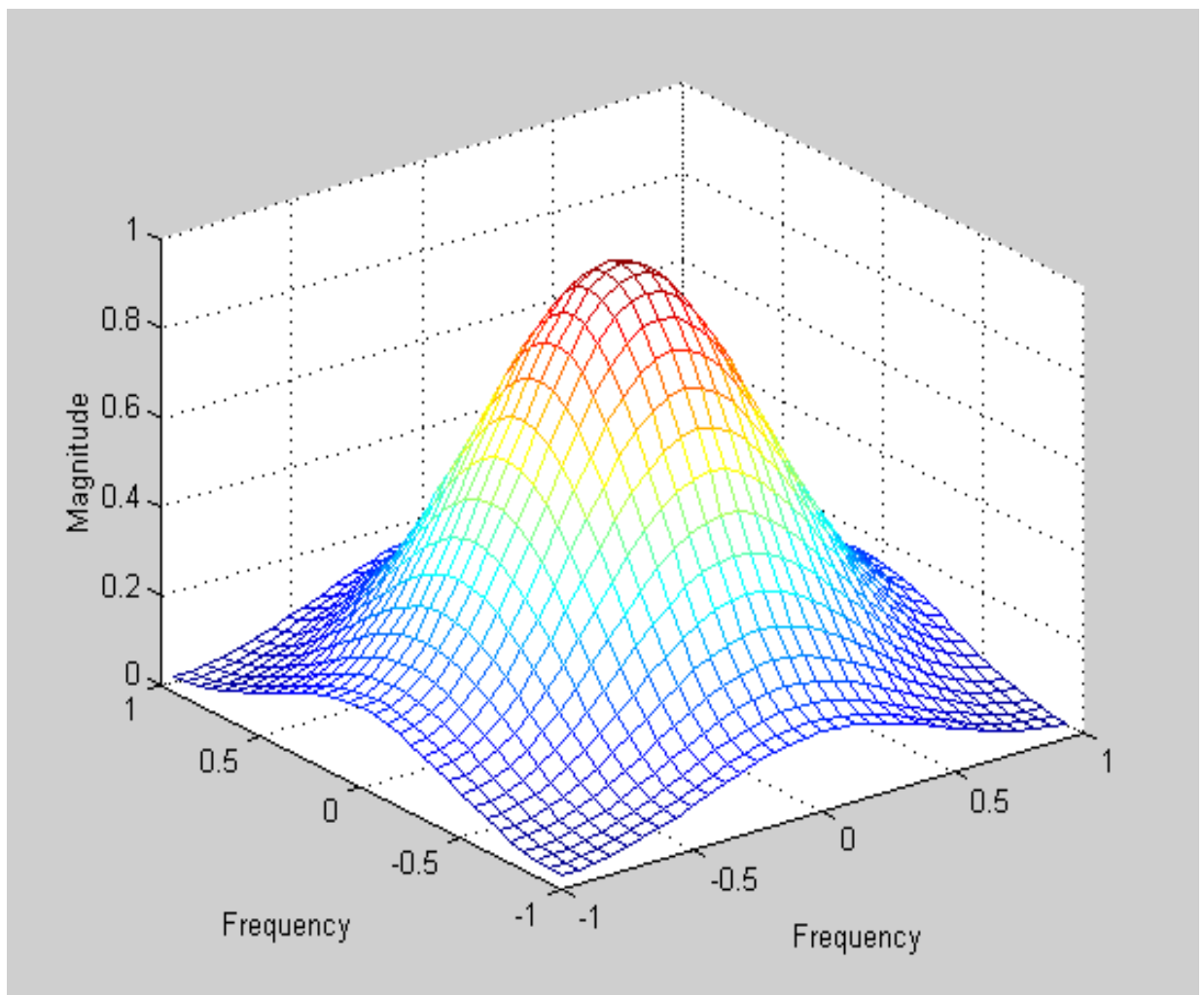


Рис. 2.2. Симетричне гаусове ядро у двовимірному просторі.

2.8 Аналіз на основі перетворення Фур'є

Перетворенням Фур'є двовимірного безперервного сигналу $g(x, y)$, коли воно існує, називають функцію вигляду:

$$G(u, v) = \mathfrak{F}\{g(x, y)\} = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp\{-j2\pi(ux + vy)\} \partial x \partial y$$

Обернене перетворення Фур'є функції $G(u, v)$ визначається як:

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}\{G(u, v)\} = \iint_{-\infty}^{\infty} G(u, v) \exp\{j2\pi(ux + vy)\} \partial u \partial v$$

Визначимо Фур'є пару як $g(x, y) \leftrightarrow G(u, v)$. А двовимірну дельта функцію Дірака як:

$$\delta(x, y) = \begin{cases} \text{not define if } x = 0 \text{ and } y = 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\iint_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) \partial x \partial y = 1$$

та її Фур'є образ обрахований як:

$$\begin{aligned} \mathfrak{F}\{g(x, y)\} &= \iint_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) \exp\{-j2\pi(ux + vy)\} \partial x \partial y \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) \exp\{0\} \partial x \partial y = \iint_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) \partial x \partial y = 1 \end{aligned}$$

Загалом, двовимірне Фур'є перетворення представляє ряд можливостей задля практичного опрацювання та аналізу зображення, причому зазвичай функції аналогічні до одновимірних Фур'є перетворень. У таблиці нижче наведено

найкорисніші властивості двовимірних перетворень сигналу (додатково дивитись [51]).

Таблиця 2.1: Властивості двовимірних Фур'є перетворень, покладаючи, що $g(x, y) \leftrightarrow G(u, v)$.

Властивість	Опис
Сепарабільність (подільність)	Дискретне Фур'є перетворення може бути обчислене у термінах одновимірного перетворення сигналу по рядкам, з подальшим аналогічним перетворенням по стовбцям (або навпаки).
Просторове перетворення (зсув)	$g(x - x_0, y - y_0) \leftrightarrow \exp[-j2\pi(ux_0 + vy_0)]G(u, v)$
Частотне перетворення (зсув)	$\exp[j2\pi(xu_0 + yv_0)]g(x, y) \leftrightarrow G(u - u_0, v - v_0)$
Симетрія зв'язності	$G(u, v) = G^*(-u, -v)$
Поворот на θ	$g(x \cos \theta + y \sin \theta, -x \sin \theta + y \cos \theta) \leftrightarrow G(u \cos \theta + v \sin \theta, -u \sin \theta + v \cos \theta)$
Лінійність суми	$g_1(x, y) + g_2(x, y) \leftrightarrow G_1(u, v) + G_2(u, v)$
Лінійність множення на скаляр	$\alpha g(x, y) \leftrightarrow \alpha G(x, y)$
Масштабування	$g(\alpha x, \beta y) \leftrightarrow \frac{1}{ \alpha\beta } G\left(\frac{u}{\alpha}, \frac{v}{\beta}\right)$
Середнє значення	Середнє значення по зображенню безпосередньо пропорційне до $G(0,0)$
Теорема згортки	$g(x, y) * h(x, y) \leftrightarrow G(u, v)H(u, v)$ $g(x, y)h(x, y) \leftrightarrow G(u, v) * H(u, v)$
Теорема кореляції	$g(x, y) \circ h(x, y) \leftrightarrow G^*(u, v)H(u, v)$ $g^*(x, y)h(x, y) \leftrightarrow G(u, v) \circ H(u, v)$
Диференціація	$\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^m \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^n g(x, y) \leftrightarrow (j2\pi u)^m (j2\pi v)^n G(u, v)$

Важливість Фур'є перетворень у області обробки сигналів та зображень важко переоцінити, серед головних причин цього факту:

- 1) Перетворення Фур'є є ядром лінійної обробки та розширення сигналу, воно надає надійний математичний інструментарій задля розуміння

деяких важливих процедур обробки, таких як чисельне диференціювання, визначення границь, редукція шуму, багатоступеневе опрацювання тощо. Теорія аналізу Фур'є забезпечує не тільки важливу концептуальну систему суджень, але і достатнє підґрунтя задля розробки нових алгоритмів і теорій.

- 2) Фільтрування зображення у частотній області. Застосування певного фільтру до зображення, є еквівалентним до добутку відповідних Фур'є образів (зображення та маски фільтру), цей факт можна використовувати у тих задачах, коли є потреба розробити фільтр саме у частотній області, замість просторової.
- 3) Ефективність імплементації фільтруючого алгоритму. Безпосереднє застосування двомірних лінійних фільтрів можуть бути доволі ефективними при обробці зображень, у разі, якщо вікно обробки досить мале (детальніше питання розглянуто далі у розділі). Проте, при збільшенні вікна практична ефективність фільтрації різко спадає. Перетворення Фур'є виступає важливим інструментом, що дозволяє обійти цю проблему, адже відповідно до теореми згортки, лінійний фільтр може бути замінений з використанням алгоритму швидкого перетворення Фур'є, що має складність порядку $O(n \log n)$.
- 4) Зазвичай, більшість енергії середньостатистичного зображення розташована вздовж низькочастотних коефіцієнтів ряду.

Двовимірне дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) дискретного сигналу

$g_{p,q}$ визначається як:

$$G_{r,s} = \mathfrak{F}\{g_{p,q}\} = \frac{1}{MN} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} g_{p,q} \exp\{-j2\pi(\frac{pr}{M} + \frac{qs}{N})\}$$

Обернене перетворення Фур'є для $G(u, v)$ яке повертає $g(x, y)$ виглядає:

$$g_{p,q} = \mathfrak{F}^{-1}\{G_{r,s}\} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} G_{r,s} \exp\{j2\pi(\frac{pr}{M} + \frac{qs}{N})\}$$

Таким чином, маємо пару перетворення Фур'є $g_{p,q} \leftrightarrow G_{r,s}$.

Двовимірне ПФ може бути застосоване зі складністю порядку $O(N^2 \log N)$ використовуючи одновимірне ШПФ застосоване послідовно до рядків/стовбців зображення. Частотна фільтрація зображення f фільтром g отримується за допомогою множення F на G , з подальшим застосування зворотного ПФ. Проілюструємо описаний алгоритм:

- Обрати $G(r,s)$;
- Обрахувати ПФ $F(r,s)$;
- $H(r,s) = F(r,s) G(r,s)$;
- Обрахувати ОПФ $h(p,q)$;

Відмітимо, що G може бути обраховане як ПФ просторового фільтру g , так саме як і безпосередньо створено у частотній області. У наведеному вище алгоритмі h позначає результуюче зображення.

2.9 Медіані або нелінійні фільтри

Інша класична техніка, що застосовується задля фільтрації зображення відома як медіана фільтрація. Цей підхід подібний до усередненого фільтрування (коли значення обраховується як сума зважених коефіцієнтів певного околу), проте на відміну від цього методу, медіанна фільтрація не є лінійною, вона не має жодних вагових коефіцієнтів на масці фільтру. Отримані значення пікселів, що входять в окіл поточної точки, сортуються за зростанням, після чого обирається середнє значення (медіана) масиву, яка і присвоюється поточній точці. Приклад проілюстровано на зображенні 2.3.

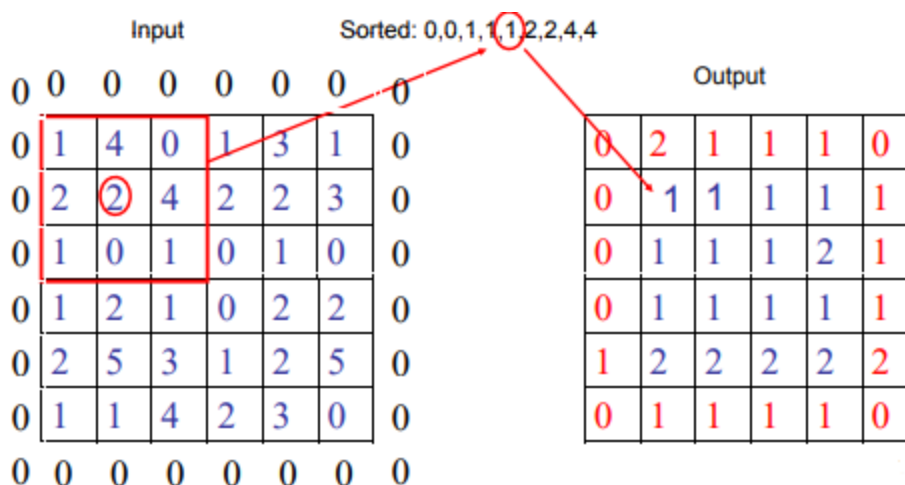


Рис. 2.3. Приклад медіанної фільтрації.

У даному випадку застосований медіанний фільтр з розміром вікна 3x3, вхідне зображення 6x6. Причому значення «поза» зображенням заповнені нульовими коефіцієнтами, у загальному випадку це не є строгим правилом, та можна використовувати і інші підходи (заміна на значення пікселю перед межею, деформація обчислень на границях з урахуванням форми, тощо).

Головною задачею медіанної фільтрації (як це не дивно) є видалення пікселів, значення яких сильно відрізняється від значень сусідів, вважаючи, що такі відхилення породжені шумовими компонентами сигналу. Реалізації подібних фільтрів зі своїми особливостями мають широке розгалуження, більш детально вони оглянуті у роботі [52].

2.10 Згладжування

Навіщо нам потрібно згладжування? У загальному випадку, зміна значення відображається на цілій групі пікселів. Наприклад, контур предмету може перетворитися на ланцюжок точок, у яких похідна зображення буде великою. У більшості моделей шуму великі значення похідної зображення, зумовлені шумом, являються локальними подіями. Це означає, що згладжування продиференційованого зображення – це деяке об'єднання шуканих змін та

пригнічення дії шуму. Альтернативна інтерпретація: шукані зміни не будуть пригнічуватися при згладжуванні, при якому нівелюється шумовий ефект.

Існує ще одне пояснення того, чим корисне згладжування. Припустимо, що зображення з шумом було згладжено, а потім продиференційовано. По-перше, ядро згладжування знижує дисперсію шуму, оскільки зазвичай намагаються застосовувати позитивні ядра згладжування, для яких

$$\sum_{u,v} G_{u,v} = 1,$$

а це означає, що

$$\sum_{u,v} G_{u,v}^2 \leq 1.$$

По-друге, намагання пікселів бути схожими на своїх сусідів зростає: якщо взяти стаціонарний адитивний гаусов шум і згладити його, то значення пікселів у отриманому сигналі більше не будуть незалежними. По суті, в цьому і є згладжування – спосіб передбачення значення пікселю зображення виходячи зі значень сусідніх з ним пікселів. У той же час, якщо пікселі намагаються бути схожими один на одного, тоді похідні мають бути менше (адже вони показують наскільки пікселі відрізняються від сусідів).

Якщо розмірковувати з точки зору просторових частот, можна показати, що енергія стаціонарного адитивного гаусового шуму однакова для усіх частот. Якщо не намагатися покращити дану ситуацію, то мапа величини градієнту, скоріше за все, буде містити випадкові великі значення, обумовлені шумом. Фільтрація за допомогою гаусового фільтру пригнічує ці високі просторові частоти. Маються і практичні сфери застосування згладженого шуму (витікає з його подібності до певної природньої текстури, використовується у комп'ютерній графіці та дизайні [46]).

2.10.1 Вибір фільтру згладжування

Фільтр згладжування можна підібрати, взяв модель меж та скориставшись деяким набором критеріїв задля вибору того фільтру, що краще усього реагує на дану модель. Дана задача є доволі складною для двовимірного простору, оскільки межі можуть виявитись викривленими. Умовно вибір фільтру згладжування складається з формулювання одновимірної задачі з подальшим застосуванням ротаційно-симетричного варіанту двовимірного фільтру.

Одновимірний фільтр варто шукати виходячи з моделі меж. Загальноприйнята модель – це східчаста функція з невідомими ваговими коефіцієнтами при наявності стаціонарного адитивного гаусового шуму, яка задається як

$$\text{межа}(x) = AU(x) + n(x),$$

де

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x < 0 \\ 1, & \text{якщо } x > 0 \end{cases}$$

Значення $U(0)$ не істотне. Величину A зазвичай називають контрастом межі. Задля одновимірної задачі визначення величини градієнту еквівалентне обчисленню квадрату реакції похідної. Тому, зазвичай, шукають фільтр оцінки похідної, а не фільтр згладжування (який потім можна відновити по фільтру оцінки похідної).

У роботі [47] описаний метод вибору фільтру оцінки похідної за допомогою неперервної моделі оптимального підбору трьох критеріїв.

- Відношення сигнал/шум – фільтр повинен сильніше реагувати на межу при $x=0$, ніж на шум.
- Локалізація – реакція фільтру повинна досягати максимального значення при наближенні до $x=0$.

- Низький рівень хибних співпадінь – характеристика повинна мати тільки один максимум у адекватній близькості до $x=0$.

Коли неперервний фільтр знайдено, його необхідно дискретизувати. Названі вище критерії можна комбінувати різноманітними способами, що породжує множину різних фільтрів. Помічено, що оптимальні фільтри згладжування, отримані при багатьох комбінаціях цих критеріїв, дуже сильно схожі на гаусіани, в силу просторової конфігурації вагових коефіцієнтів. На практиці оптимальні фільтри згладжування замінюються гаусіанами без особливих втрат у якості.

Вибір δ задля оцінки похідної, зазвичай, називають вибором масштабу згладжування. Реакція фільтру похідної сильно залежить від масштабу. Наприклад, маємо вузькі смуги на постійному фоні (нехай, тигрова шкура). Згладжування при масштабі меншому за ширину смуги, означає, що буде помітно початок та кінець смуги, інакше (масштаб більший за ширину смуги) смуга згладжується до рівня фону і фільтр на неї не реагує.

2.10.2 Використання гаусіану

Хоча гаусіан не виступає єдиним можливим ядром згладжування, він зручний, оскільки володіє рядом особливостей. По-перше, якщо згорнути гаусіан гаусіаном, отримаємо ще один гаусіан:

$$G_{\delta_1} ** G_{\delta_2} = G_{\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}}.$$

Тобто, можна отримати сильно згладжене зображення, повторно згладивши уже згладжене зображення. Це дуже важлива властивість, оскільки дискретна згортка може бути занадто ресурсоємною операцією (особливо при значному ядрі фільтру), а, зазвичай, необхідні зображення з різним ступенем згладжування.

Ефективність. Розглянемо згортку зображення з гаусовим ядром з δ у один піксель. Хоча гаусове ядро ненульове по всій безкінечній області, більшу частину цієї області заповнюють (завдяки експоненційній формі) дуже малі значення. Задля такого δ , точки за межами цілочисельної решітки 5×5 з центром у початку координат мають значення менше, ніж $e^{-4} = 0,0184$, а точка за межами цілочисельної решітки 7×7 , відповідно, $0,0001234$. Це означає, що внеском цих точок можна знехтувати і представити дискретний гаусіан як невеликий масив (5×5 чи 7×7 , у залежності від бажання, і, відповідно, до кількості бітів, що описують ядро).

Проте, якщо δ дорівнює 10 пікселів, може знадобитися масив 50×50 , а може і більше. Підрахував кількість операцій, можна переконатися, що згортка зображення адекватних розмірів з масивом такого розміру є доволі ресурсоемною задачею. Альтернатива – повторна згортка з меншим ядром – значно ефективніше, адже вже не потрібно запам'ятовувати проміжні значення кожного пікселю. Це пояснюється тим, що згладжене зображення у деякому сенсі надлишкове (більшість пікселів містить значну частину значень своїх сусідів). Отже, деякими пікселями можна знехтувати. Таким чином, виходить доволі ефективна стратегія: згладжування, підвибірка, згладжування, підвибірка і т.д. У результаті маємо зображення, що містить туж саму інформацію, що і сильно згладжене зображення, але при цьому воно набагато менше та його легше отримати.

Центральна гранична теорема. Гаусіан володіє ще однією властивістю: задля родини функцій, що мають практичну цінність, будь-яка багатократна згортка будь-якого члену цієї родини з самим собою дає гаусіан. Разом з асоціативністю згортки, це передбачає, що якщо обрати різні ядра згладжування та багатократно застосувати їх до зображення, то результат буде таким самим, якби зображення згладжувалось за допомогою гаусіана.

Гаусіан можна розділяти. Ізотропний гаусіан можна факторизувати наступним чином:

$$G_{\delta}(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta^2} \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\delta^2}\right) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \exp\left(-\frac{x^2}{2\delta^2}\right)\right) * \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta^2}\right)\right)$$

та отримати добуток двох одновимірних гаусіанів. У загальному випадку, функція $f(x, y)$ яка розкладається на $f(x, y) = g(x)h(y)$, називається тензорним добутком. Зазвичай, ядра фільтрів, які є тензорними добутками, називають роздільними ядрами. Дана властивість корисна, наприклад, згортка з роздільним ядром фільтру еквівалентна згортці з двома одновимірними ядрами – по напрямленню x та по напрямленню y .

Роздільними виступають і багато інших ядер. Вони дають дискретні уявлення, які можна розділяти. Наприклад, якщо H – дискретне роздільне ядро фільтру, то існують вектори f та g , такі що

$$H_{i,j} = f_i g_j$$

Цю властивість можна визначити за допомогою лінійної алгебри, оскільки ранг вхідної матриці H має бути рівним одиниці. У комерційних пакетах задля виконання згорток перед застосуванням ядра до зображення його часто перевіряють на роздільність. Це вигідно у тих випадках, коли ядро є нероздільним. Якщо число ядер мале, то така апроксимація дозволяє відчутно зекономити на згортках. Ця стратегія особлива ефективна, коли необхідно згорнути зображення багатьма різноманітними фільтрами, у такому випадку намагаються представити кожне з цих ядер як зважену суму роздільних ядер, які є тензорними добутками невеликої кількості базових елементів. Після цього можна згортати зображення з базисними елементами, а потім формувати різні зважені суми з метою згортки зображення з різними фільтрами.

Накладання у передискретизованих гаусіанах. Будь-яке практично використане гаусове ядро є дискретним наближенням гаусіана, дискретизованого по сітці в один піксель. Це означає, що для того щоб вихідне ядро можна було відновити за його дискретним наближенням, воно не повинне містити елементів з просторовою частотою, що перевищує 0.5 піксель⁻¹. Для гаусіана це неможливо, адже його Фур'є-перетворення також є гаусіаном, відповідно, має необмежену полосу частот. Все, що можна зробити – прийняти, що енергія у сигналі, що накладається, не повинна перевищувати певного порогового значення – тобто, вважається, що існує мінімальне значення δ , доступне для фільтру згладжування на дискретній сітці (для значень менших, за цей мінімум, фільтр згладжування накладається погано).

2.11. Визначення меж

Різка зміна яскравості зображення викликає інтерес дослідника по декільком причинам. По-перше, різкі зміни найчастіше виникають на границях об'єктів – це може бути зображення світлішого об'єкту на темному фоні, чи навпаки. По-друге, різкі зміни яскравості можуть бути наслідком зміни відбиваючої здатності на достатньо специфічних структурах (наприклад, плями у далматинця). По-третє, подібні різкі зміни можуть бути породжені у наслідок зміни орієнтації поверхні.

Точки зображення зі значними різкими перепадами яскравості називають граничними або межовими точками. Зазвичай існує завдання пов'язати ці точки з контурами предметів, проте, на практиці, це може бути досить складною задачею, адже, складно виявити межі, які мають певне семантичне значення без інформації більш високого рівня про зображення.

Далі розглянемо методи визначення меж об'єкту, що моделюються як різкі зміни яскравості зображення. Спочатку розглянемо простіші техніки, у першому методі використовується припущення, що рівень яскравості дослідного об'єкту та

фону достатньо відмінні. У другому випадку використовується той факт, що найбільш швидкі зміни відбуваються при зниканні двовимірного аналогу другої похідної. Альтернатива полягає у явному пошуку точок, у яких градієнт досягає екстремуму.

2.11.1 Пороговий метод

Найпростіший та найбільш застосовуваний метод пошуку об'єкта на зображенні базується на певному пороговому принципі. Початкова ідея цього методу неймовірно проста, передбачається, що ми можемо відсортувати, наприклад, світлі об'єкти, від темного фону (чи навпаки). Зазвичай, не виникає ситуації при якій усі пікселі фону мають одне значення, проте, загалом, вони лежать у певному діапазоні, так само як і точки об'єкту, що нас цікавить. Тому, найбільш прямолінійною реалізацією є поділ усіх точок зображення на приналежність до одного з двох класів (об'єкт / задній фон) через встановлення певного граничного значення, що характеризує обидва класи. Наприклад, темний фон матиме значну яскравість (у рамках RGB представлення), а світлі об'єкти – меншу. Тому алгоритм порогового методу визначення об'єкту може бути інтерпретований наступним чином:

- Задля кожного пікселю зображення
 - Якщо *значення пікселю* більше за *пори́г*
 - Відмітити піксель як фон;
 - Інакше: позначити як об'єкт.

Подібний підхід може бути досить ефективним, особливо, у поєднанні зі статистичним аналізом зображення (коли можна точніше встановити необхідні межі та покращити точність алгоритму). Проте, метод також має і свої недоліки. По-перше, не завжди значення пікселю об'єкту є сильно відмінним від значення пікселю фону; по-друге, визначення конкретного порогового значення може бути

досить важкою задачею; по-третє, характеристики отриманих зображень можуть варіюватися у певному діапазоні виходячи з оптичної системи утворення знімків (наприклад, зміна освітлення, оптичні ефекти, дефекти устаткування тощо).

2.11.2 Використання лапласіану

У одномірному випадку друга похідна сигналу дорівнює нулю, якщо значення першої похідної досягає екстремуму. Це означає, що задля того, щоб знайти значні перепади яскравості пікселю зображення, необхідно шукати там, де друга похідна дорівнює нулю. Даний метод застосовується і в двовимірному випадку. Аналогом другої похідної, що інваріантний відносно поворотів, виступає лапласіан. Лапласіан двовимірної функції – це величина

$$(\nabla^2 f)(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}.$$

Важливо, що перед застосуванням лапласіану зображення необхідно згладити. Також, відмітимо, що лапласіан – це лінійний оператор, отже, дія лапласіану рівнозначна згортці зображення з деяким ядром (яке позначається як K_{∇^2}). З асоціативності згортки випливає, що:

$$(K_{\nabla^2} ** (G_{\sigma} ** I)) = (K_{\nabla^2} ** G_{\sigma}) ** I = (\nabla^2 G_{\sigma}) ** I.$$

Це важливо, оскільки як і задля першої похідної, згладжування з подальшим застосуванням лапласіану рівнозначно згортці зображення з лапласіаном ядра, що застосовувалось при згладжуванні. Ядро, що отримане подібним чином, з $\sigma=1$ (можна вважати як віднімання центрального пікселю від зваженого середнього значення оточення) зображено на рисунку 2.3. Подібне ядро також може бути успішно замінене різницею двох гаусіанів – один з малим значенням σ , інший – з великим.

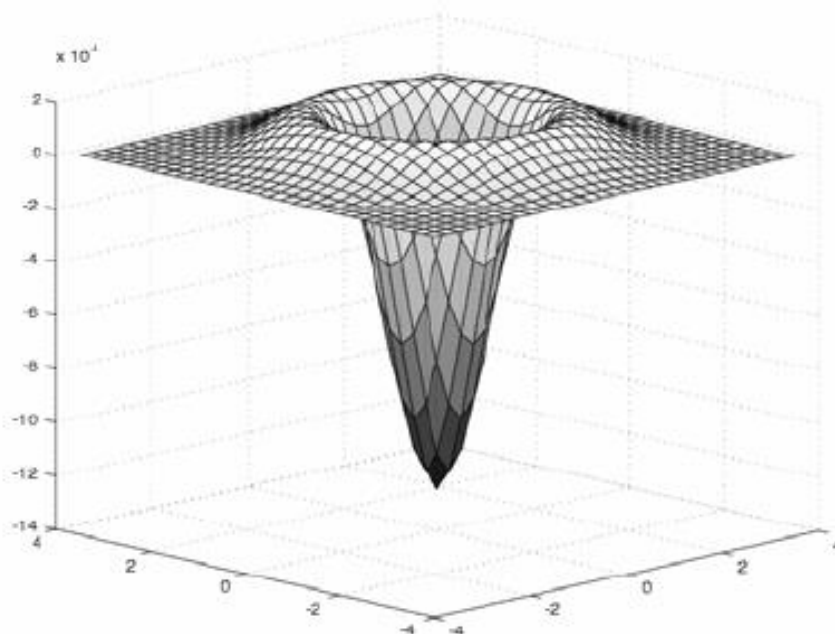


Рис. 2.3. Лапласіан гаусового фільтру

Таким чином, проводиться згортка зображення з використанням лапласіану гаусіану у певному масштабі, відмічаються точки, у яких функція обертається в нуль (переходи через нуль). Далі необхідно перевірити, чи дійсно у цих точках градієнт досить великий. Даний метод вперше був запропонований в роботі [48].

Реакція лапласіану гаусового фільтру позитивна з однієї сторони межі та негативна з іншої. Це означає, що додавання деякої частини цієї реакції до вихідного зображення дає картину, на якій межі чіткіші, а деталі роздивитися легше. Вперше це спостереження було використане у фотографічному методі, який називається нерізким маскуванням (зادля того, щоб на яскравих ділянках розмитого позитива краще можна було розрізнити деталі, від значення яскравості віднімається локальне середнє значення цієї області). Приблизно того ж результату можна досягти, якщо відфільтрувати зображення за допомогою різниці гаусіанів, помножив результат на деяку константу, та додати отримане значення до вхідного зображення. Тепер різниця між двома гаусовими ядрами схожа на лапласіан

гаусового ядра, і доволі часто одне замінюється іншим. Це значить, що при нерізкому маскуванні доданок, що відповідає межі, додається до вхідного зображення.

Даний метод, на сьогодні, не користується значною популярністю. Оскільки лапласіан гаусового фільтру не орієнтований, його характеристика складається з перпендикулярних та паралельних до межі компонент. Це означає, що на кутах, де змінюється напрям паралельної складової, виникають деякі проблеми. Границі гострих кутів визначається доволі неточно, а у тригранних та складніших кутах це утворює значні труднощі задля правильного запису топології кутів.

2.11.3 Детектори меж на основі градієнту

У детекторах меж на основі градієнту оцінюється значення градієнту (майже завжди із застосуванням згладжування гаусіаном), і ця оцінка використовуються задля визначення положення кутових точок. Як правило, величина градієнту може бути великою вздовж широких смуг на зображенні. Проте, контури об'єктів – це звичайні криві, тому бажано отримати криву, складену з найбільш характерних точок цих смуг.

Очевидним здається підхід пошуку точок, у яких значення величини градієнту максимальне у напрямку, перпендикулярному до краю. При такому підході перпендикулярність напрямку до краю можна оцінити за напрямку градієнта (дивитись рисунок 2.4). Таким чином, узагальнений алгоритм пошуку може бути сформульований наступним чином:

- Оцінити градієнт зображення;
- З оцінки визначити величини градієнту;

- Знайти точки зображення, у яких значення величини градієнту максимальне у напрямі, що перпендикулярний до межі, та значне за модулем; дані точки і будуть граничними.

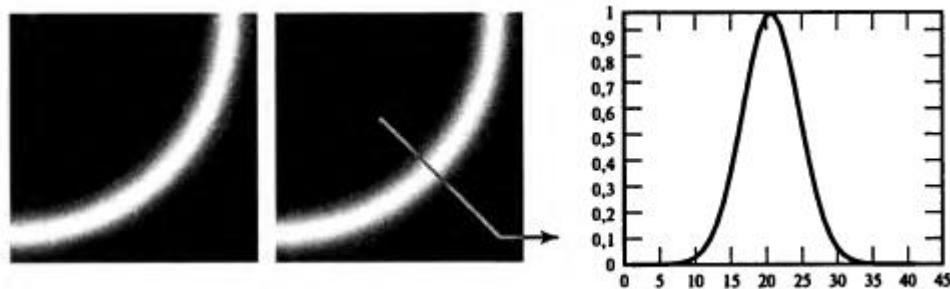


Рис. 2.4. Максимальне значення градієнту вздовж широких смуг, які зазвичай відображають граничні точки. Зображення зліва – смуга з великим значенням градієнту; у центрі напрям розрізу; праве зображення - пік у цьому напрямі.

Немаксимальне пригнічення

При відомих оцінках величини градієнту необхідно знайти граничні точки. Величину градієнту можна розглядати як послідовність невисоких пагорбів. Локальні екстремуми – це вершини пагорбів. Найкращий критерій – розрізати градієнт на маленькі ділянки вздовж напрямку градієнту, який повинен бути перпендикулярний до границі, та відмітити точки ділянки, у яких ця величина максимальна. У результаті отримаємо ряд точок вздовж вершин початкового ланцюга пагорбів, даний процес називається немаксимальним пригніченням, його узагальнений алгоритм виглядає наступним чином:

- Поки є неперевірені точки з великим значенням градієнту:
 - Знайти початкову точку, яка є локальним максимумом у напрямку, перпендикулярному градієнту, виключаючи вже розглянуті точки;

- Поки можливо розширюємо ланцюг, що проходить через поточну точку, для цього:
 - передбачаємо набір наступних точок за допомогою напрямку, перпендикулярному градієнту;
 - знаходимо точку (якщо така існує) локального максимуму у напрямку градієнту;
 - перевіряємо, чи є значення градієнту у максимумі достатньо великим;
 - помічаємо, що ця точка та її оточення вже перевірені;
- фіксуємо наступну точку, що стає поточною;
- кінець;
- кінець.

Слідування межею

Зазвичай очікується, що граничні точки будуть розташовані вздовж кривої ланцюжком. Тому два аспекти немаксимального пригнічення мають особливе значення, а саме: визначення чи є дана точка граничною; якщо так, знайти наступну граничну точку. Тобто необхідно знайти граничну точку, відмітити її, продовжити усі ланцюжки, що проходять через дану точку, відмічаємо всі точки на цих ланцюжках, та повторюємо знову для непомічених точок.

Визначити, чи є значення градієнту в даній точці максимальним, можна порівняти його з сусідніми пікселями зліва та справа за напрямком градієнту. Вектор градієнту може не проходити через наступний піксель, у цьому разі можна використати інтерполяцію (зазвичай застосовується лінійна), задля визначення значення градієнту у необхідних точках.

Якщо піксель визначається граничною точкою, тоді наступну можна вгадати зробивши крок, перпендикулярно градієнту. Причому, загалом крок не обмежується одним пікселем, розглядається локальна група поблизу заданого

напряму. Подібний підхід дозволяє сформувати набір кривих, які можуть бути інтерпретовані як границі об'єктів на зображенні.

Гістерезис

Багато з отриманих кривих дозволяють адекватно описати контур об'єкту. Частково це пояснюється тим, що максимумами величин градієнту відзначалися поза залежністю від того, наскільки велике значення цього максимуму. На практиці, доцільно застосовувати порогову перевірку, задля того, щоб переконатися, що максимум перевищує певну межу. Це в свою чергу може породжувати розриви границь. Тому доречно застосувати концепцію гістерезису; є два порогових значення, на початку ланцюжка використовується більше, а потім, слідуючи межею, менше. Це дозволяє покращити отриманий результат.

2.11.4 Метод представлення орієнтації та кутів

Визначати межі на кутах досить складно, оскільки задля оцінки орієнтації градієнту не достатньо оцінити часткові похідні по x та y . У гострих або «невдало» розташованих кутах ці оцінки часткових похідних зазвичай виявляються неправильними, оскільки їх носій буде перетинати кут. Існує значна кількість спеціальних детекторів меж на кутах, у яких розшуковуються ділянки з сильним коливанням градієнту. У більш загальному випадку, достатньо корисний опис ділянки зображення надає статистика градієнту у цій ділянці. Вікна (фрейми) зображення умовно можна поділити на чотири якісних типи:

- з гладкою вибіркою, коли рівень яскравості приблизно дорівнює константі;
- зі східчастою вибіркою, де в межах вікна є різкі зміни яскравості зображення вздовж одного напрямку;
- з анізотропною текстурою, де в межах вікна є декілька малих ліній (наприклад, волосся);

- з ізотропною текстурою, де в межах вікна є будь-яка двовимірна текстура (наприклад, пляма чи кут).

Усі ці випадки відповідають різним типам поведіння градієнту зображення. У вікнах першого типу, вектор градієнту короткий; другого – існує невелика множина довгих співнаправлених векторів; у вікнах з анізотропною текстурою існує множина векторів градієнту, що направлені у дві сторони; у останньому класі вікон вектор градієнту коливається.

Дані різновиди можна доволі легко зобразити, якщо подивитись на коливання у межах вікна. Зокрема, наступна матриця добре описує поведінку орієнтації у межах вікна:

$$H \approx \sum_{\text{ВІКНО}} \{(\nabla I)(\nabla I)^T\} \approx \sum_{\text{ВІКНО}} \left\{ \begin{array}{cc} \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial x} ** I\right) \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial x} ** I\right) & \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial x} ** I\right) \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial y} ** I\right) \\ \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial x} ** I\right) \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial y} ** I\right) & \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial y} ** I\right) \left(\frac{\partial G_\sigma}{\partial y} ** I\right) \end{array} \right\}$$

У вікні з гладкою вибіркою обидва власних значення цієї матриці малі, оскільки малі усі елементи. У вікні зі східчастою вибіркою можна очікувати, що одне власне значення, пов'язане з градієнтом межі, буде великим, а інше – малим, тому що декілька градієнтів направлені в різні боки. У вікні з анізотропною текстурою матимемо подібні значення, за винятком того, що велике значення буде ще більше, оскільки меж, що вносять свій вклад, буде більше. У вікнах з ізотропною текстурою обидва власних значення будуть великими.

Поведінку цієї матриці легше усього зрозуміти, побудувавши еліпси:

$$(x, y)^T H^{-1} (x, y) = \varepsilon$$

задля деякої малої константи ε . Ці еліпси накладаються на вікна зображення. Їх головна та малі осі відповідають величині власних значень; це означає, що великий

круг відповідає вікну з ізотропною текстурою, а вузький витягнутий еліпс вказує на вікно з східчастою вибіркою (дивитись рисунок 2.5 та 2.6). Таким чином, кути можна позначати, відмічаючи точки, у яких площа цих еліпсів має екстремальне і велике значення. Точність локалізації, корелює з розмірами вікна та поведінкою градієнту. Більш точної локалізації можна досягти за рахунок детальнішої моделі шуканого куту (дивитись роботи 49 або 50).

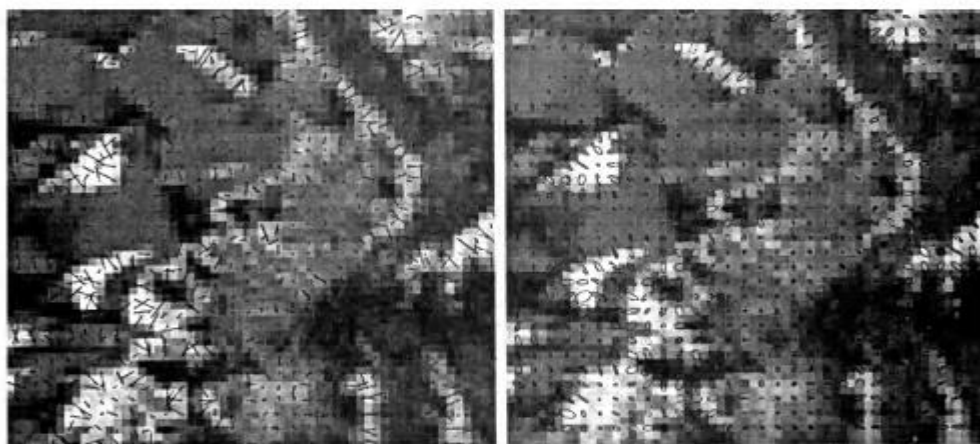


Рис. 2.5 Поле орієнтації елемента частини зображення. Зліва орієнтація у вигляді векторів (значення менше за певний поріг, ігноруються). Справа зображені еліпси для вікна 3×3 .

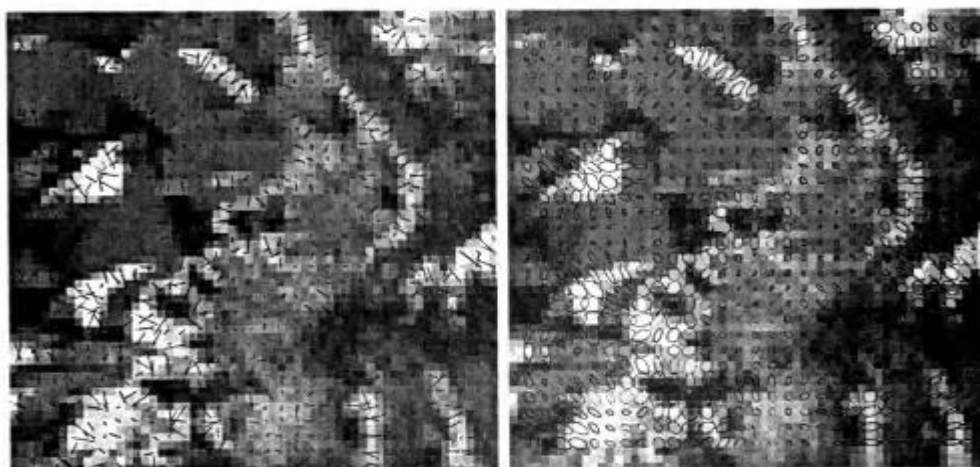


Рис. 2.6. Поле орієнтації елемента частини зображення Аналогічно 2.5, окрім розміру вікна – 5×5 .

Висновки до розділу 2

У даному розділі було розглянуто основні концептуальні умови та фактори, що впливають на процес сортування та виробництва кінцевої продукції з товарів рослинного походження сільськогосподарського призначення. Визначена кореляція цих процесів, яка має бути врахована при побудові класифікатору.

Проведені дослідження, щодо апаратного комплексу виконання операції розпізнавання та сортування, визначені типові фізичні характеристики пристроїв та каналів надходження зображень – проєкцій дослідного об'єкту до програмованого блоку прийняття рішень. Розглянуті типові проблеми при утворенні та акумуляції цифрових зображень, які зазвичай виникають у наслідок недосконалості устаткування при отриманні оптичної інформації та проблем дискретизації аналогового сигналу у двовимірному просторі.

Розглянуто найпоширенішу модель шуму та методи боротьби з негативними впливами на вхідне зображення (згладжування, фільтрація). Отримані теоретичні знання та практичні навички в області математичного інструментарію оперування зображенням. Визначені необхідні методи обробки інформації, що мають буду застосовані при побудові програмного забезпечення, їх основні переваги та недоліки.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Визначення алгоритму

Виходячи з міркувань, наведених у попередніх розділах, можна зробити висновок, щодо основної задачі, яка має виконуватись програмним продуктом, а саме – класифікація вхідного образу, що є відповідним оцифрованим зображенням-проекцією об'єкту, що досліджується, задля сортування, та розподілення останнього до одного з вихідних класів, базуючись, головним чином, на обсязі придатної до використання поживної маси продукту рослинного походження сільськогосподарського призначення, навіть при наявності ушкоджень різної природи (як механічних, так і біохімічних).

Даний процес класифікації має бути заснований на певному відношенні балансу, де з однієї сторони – враховуються фізичні характеристики продукту (геометричні типорозміри, кольорове забарвлення, фактура та текстура поверхні, тощо), а з іншої – характеристика виробничого циклу ГВС з урахуванням деструктивних та патогенних процесів, що протікають у продуктах харчування у природньому стані, через «живий початок» даної множини об'єктів (тобто кореляція з режимом роботи конкретних РТК, здатних перероблювати сортовані товари на кінцеву продукцію у певний, визначений, проміжок часу, задля помірного запобігання зростання обсягу пошкодженої тканини овочів та фруктів, а, отже, і підвищенню ступеню природокористування початкової сировини).

Враховуючи, що використання розробленого апаратно-програмного комплексу задля вирішення поставлених задач дозволяє уникнути ряду додаткових операцій по опрацюванню вхідних зображень програмним продуктом. По-перше, різниця швидкостей між відсікачем на виході з накопичувача та конвеєром транспортування дозволяє завжди отримувати лише один екземпляр об'єкту у

пункті перевірки, тобто ми опрацьовуємо лише один образ (три його ортогональні проєкції) за раз. По-друге, доступ до ПЗЗ – камер дозволяє провести калібрування та налаштування оптичних параметрів, а також відповідного освітлення задля отримання оптимальних за якістю вхідних даних. По-третє, виконання знімку обладнанням у фіксованому положенні, при проходженні об'єктом конкретно визначеної точки, дозволяє уникнути проблем з масштабом образів у сигналі (він завжди буде сталим) та, відповідно, відмовитись від операцій по нормалізації отриманих зображень. На доданок, певне кольорове забарвлення полотна транспортного конвеєру може бути використане задля імплементації обчислювально-легких алгоритмів попередньої класифікації (наприклад, техніки порогового значення) з метою підвищення пропускнуої здатності комплексу у разі необхідності.

Таким чином, у загальному випадку, послідовність дій при виконанні сортування спроектованим ПЗ має наступний вигляд: отримання зображення; згладжування, фільтрування за необхідністю; визначення об'єкт на зображенні; визначення приналежності до продуктів харчування; знаходження характеристик об'єкту (типорозміру та кольору); виконання класифікації з урахуванням коефіцієнту втрат часу на обробку пошкодженої товарної одиниці; розповсюдження рішення (цей пункт передбачає видачу керуючого сигналу на розподільний лоток, який виконує фізичне розподілення загального товаропотоку до необхідної накопичувальної ємності, а також ведення логу діяльності програмного модулю, який буде використаний у майбутньому).

Означена вище послідовність і лежить в основі алгоритму розпізнавання та класифікації товарів сільськогосподарського призначення, з метою мінімізації відходів рослинного походження, та підвищення рівню використання початкової сировини, тобто оптимізації природокористування, як кроку на шляху сталого

розвитку глобального суспільства. Графічне представлення формалізованого алгоритму наведений у додатку Г.

Надамо невеличкі коментарі з приводу означених кроків:

Крок 2+3) Надання довідкової інформації користувачу додатку за потребою, щодо основних концепцій, а також використаних методах обробки зображення та схем прийняття кінцевих рішень.

Крок 4) Визначає процес отримання відповідних оцифрованих проєкцій об'єкту, що розглядається у трьох площинах.

Крок 5+6) Враховуючи фізичну обмеженість засобів отримання цифрових зображень, на даному кроці, за потреби, виконується фільтрація отриманих знімків з метою видалення шуму, а наявна можливість обрати тип фільтру та обмеження застосування.

Крок 7) Виконується виявлення об'єкту на сцені, визначаються його фізичні властивості, такі як: геометричні характеристики та колір.

Крок 8+9) Приймається рішення щодо придатності до споживання поточного об'єкта розгляду. У разі, якщо об'єкт ідентифікований не як продукт харчування, чи має занадто сильні пошкодження, що роблять подальші дії по його використанню за призначенням неможливими, - тоді об'єкт маркується відповідним чином та відсортовується з загального товаропотоку.

Крок 10) Приймається рішення щодо типу сортування продукції, у залежності від наявності та ступеню пошкодження об'єкту, що має маркер «придатний».

Крок 11) Для «непошкодженого» продукту, виконується сортування за геометричним типорозміром, з метою визначення апаратної ємності зберігання останнього.

Крок 12) Для «пошкодженого» продукту, виконується сортування за ступенем пошкодження об'єкту по відношенню до його загальних обсягів, з метою визначення апаратної ємності зберігання останнього.

3.2 Вибір інструментарію розробки

Мовою розробки додатку було обрано C++. Критерієм вибору слугували:

- **Доступність.** Компілятори мови розповсюджуються у відкритому доступі (певні версії). Існують сотні різноманітних IDE на будь-який колір та смак. Тисячі книжок, публікацій та інших навчальних матеріалів, які допомагають отримати необхідні теоретичні знання та певні практичні навички.
- **Розповсюдженість.** На сьогодні C та «плюси» можна скомпілювати та запустити на тисячах різних девайсів, від потужних мейнфреймів до розумних кавоварок, що свідчить про переваги мови, які доведені часом, користувальницькою зацікавленістю та виявленою повагою.
- **Продуктивність.** Наявність можливості прямої маніпуляції з пам'яттю пристрою, застосування директив препроцесора, гнучкий механізм використання ресурсів на етапі компіляції, дозволяють досягати значних показників швидкодії розроблених додатків.
- **Універсальність (еклектизм).** Мова має досить значний набір засобів, що дозволяє використовувати її у широкому спектрі задач, причому, і як для низькорівневого програмування, так і задля високорівневого.
- **Власні вподобання.** Зважаючи на незначний досвід розробки малих доданків, мова викликає суб'єктивну симпатію за зручність та функціональність.

Загалом, у процесі визначення мови, враховувались такі властивості проєктованої системи, як сумісність та переносимість, ефективність та продуктивність, зручність використання, надійність та захищеність, а також можливість супроводу.

У якості компілятора мови було обрано GNU Compiler Collection (gcc), через підтримку необхідної мови (чесно кажучи, починаючи з версії 4.8 розробка самого компілятора загалом була переведена на C++ замість C, та задля білду компілятору з вихідного коду необхідно відтепер мати C++ компілятор, з підтримкою стандарту не нижче C++2003 [53]), а також підтримку значної кількості різноманітних процесорів, платформ та архітектур. Не менш важливим чинником при виборі слугував той факт, що це відкрите (opensource) програмне забезпечення, що розповсюджується з ліцензією GNU GPL 3 (General Public License), тобто розповсюджується з відкритим кодом, як «суспільне надбання», що, на нашу скромну думку, є дуже важливим чинником при популяризації та підвищенні загального рівня культури розробки програмного забезпечення.

GCC, зазвичай, обирається у разі розробки програмного забезпечення, яке має коректно працювати на великій кількості різноманітних апаратних платформ. Відмінності між «рідними» для кожної платформи компіляторами призводять до труднощів при розробці продукту, а крім того, при використанні різноманітних компіляторів сильно ускладнює складальні скрипти, що мають збирати ПЗ для всіх апаратних платформ. При використанні GCC для компіляції коду під різні платформи буде використано один і той самий синтаксичний аналізатор, тому якщо відбулась вдала збірка продукту для однієї з цільових платформ, то велика вірогідність, що програма буде коректно зібрана і для інших платформ.

Операційною системою розробки послуговувала ліцензійна MS Windows 7, через свою популярність, звичність та розповсюдженість, а також це була одна з умов розробки. Розрядність системи x64, задля можливості використання встановлених восьми гігабайт оперативної пам'яті десктопу. Додатковою перевагою виступали методичні матеріали, різноманітні туторіали та статті професійного спрямування, що допомагали у налаштуванні та застосуванні тих чи інших розширених інструментальних засобів.

Виходячи з обраної ОС, необхідно також використати відповідний набір інструментів розробки, у нашому випадку MinGW, який містить компілятор, нативний програмний порт gcc під Windows разом із сетом вільно розповсюджуваних бібліотек імпорту та RTL, а також файли заголовків WinAPI. Враховуючи розрядність системи будемо використовувати MinGW-w64, він забезпечує більш повну підтримку Win32 API (відносно 32 розрядної версії [54]), підтримку необхідної архітектури, підтримку великих файлів, та ряд інших зручних інструментів (DDK, DirectX, GCC multilib тощо), а також підтримку pthreads (включаючи можливість використання стандарту C++11 бібліотеки libstdc++, що є, як буде показано пізніше, важливим при збірці бібліотек OpenCV з вихідних файлів).

Як фреймворк розробки було визначено Qt 5.11.1 [55]. Перевага даному IDE надавалась через: відкритість та доступність, використання ліцензії GNU GPL (є і інші, по типу Qt commercial або GNU LGPL, проте це не так важливо); зручний та нативно зрозумілий інтерфейс у привабливій кольоровій гаммі; наявність досить обширної ієрархії готових класів, що надає програмісту високий рівень абстракції, а також значно спрощує та пришвидшує процес розробки кінцевого продукту; неймовірно зручна, «майже» повна та дуже корисна, детальна та чітка документація; використання типобезпечної системи сигналів та слотів Qt; кросплатформність та сумісність; додаткові інструменти задля підвищення якості написаного коду (наприклад, утиліти lupdate/lrelease задля створення мультимовних додатків, OpenGL задля побудови тривимірної графіки тощо). Крім того, важливою перевагою є й певна модель розробки додатків, певний каркас їх структури, при дотримання «гарного стилю програмування на C++/ Qt» істотно знижується частота таких помилок додатків, як витік пам'яті (memory leaks), необроблювані виключення, незакриті файли або незвільнені дескриптори ресурсних об'єктів, чим нерідко страждають програми написані «на голому C++».

Задля спрощення роботи з функціями і алгоритмами обробки зображень застосовувалась бібліотека машинного зору OpenCV [56]. Дана бібліотека загального призначення розповсюджується з відкритим кодом та може бути застосована задля операцій обробки сигналу, визначення змісту зображення, маніпуляціями з його структурою, визначення та розпізнавання об'єктів, побудови різних класифікаторів, застосування машинного навчання та багато чого іншого. Вона була оприлюднена у 2000 році, і з тих часів здобула визнання десятків тисяч користувачів по всьому світу. На сьогодні реалізовано понад 2500 оптимізованих класичних та практичних алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання. Конкретно нас цікавлять функції лінійної фільтрації, згладжування, реалізація Гаусового фільтру, ДПФ та частотний фільтр на його основі, базові порогові операції, модуль глибоких згорткових нейромереж (у перспективі).

Значною перевагою бібліотеки OpenCV є її відкритість (може бути вільно застосована у академічних та комерційних цілях), а також те, що і вона сама, як і її інтерфейс, реалізовано на C++, тобто не доведеться використовувати додаткових інструментів задля виклику необхідного функціоналу. Дана бібліотека користується гарною репутацією та суспільним відгуком, задля отримання навичок по роботі з нею існує значна кількість навчальних матеріалів, відео-уроків, а також форумів, де можна отримати консультацію та допомогу, при вирішенні тієї чи іншої конкретної задачі, від досвідчених користувачів системи. Усе це сприяло прийняттю рішення, щодо використання даної сторонньої бібліотеки як математичного ядра обробки даних, у рамках проекту підвищення природокористування у розрізі промислового розпізнавання продуктів сільськогосподарського призначення.

Також, задля того щоб скористатися усіма вищезначеними інструментами необхідно додатково мати:

- Сmake – відкритий крос-платформовий набір інструментів задля генерації сценаріїв складання (знадобиться при збірці OpenCV) [57];
- Python – високорівнева мова програмування, необхідно встановити інтерпретатор v.2.7 (обов'язково! Необхідний компонент збірки Qt);
- Ruby and Perl – дві динамічні високорівневі мови програмування (також необхідні для збірки Qt)

Означені інструменти нам необхідні задля коректного результату при встановленні та налаштуванні обраних засобів на кінцеву станцію розробки програмного продукту.

3.3 Встановлення та налаштування програмних засобів

Переходимо до встановлення вищезгаданих засобів. Почнемо з компілятора. Завантажуємо з офіційного сайту актуальний інсталятор mingw для x64 розрядного Win7 (на момент написання роботи доступна версія 8.1.0). Запускаємо, майстер установки допоможе у процесі інсталяції, єдине на що треба звернути особливу увагу, при виборі специфікації зазначити необхідну архітектуру (i686 замість x86_64), а у комбобоксі потоки (threads) обрати posix (замість win32). Справа в тім, що у багатьох збірках MinGW під Windows не підтримується робота з потоками через «std::thread», у цьому випадку, при збірці бібліотеки openCV ми можемо отримати помилку типу «*error: 'thread' in namespace 'std' does not name a type std::thread*», яка не дозволить вдало завершити процес інсталяції.

Після завершення встановлення програми, необхідно занести шлях до теки з компіляторами у змінну середовища PATH («Цей комп'ютер» – «Додаткові параметри системи» – «Змінні середовища...» – «Системні змінні» – знаходимо змінну «PATH» та додаємо у список абсолютну адресу до теки bin у щойно

створеному при інсталяції фолдері mingw-64. Це необхідно задля того щоб запустити з командного рядку інструкцію «make»). Також задля уникнення ряду проблем на етапі збірки бібліотеки комп'ютерного зору, наполегливо рекомендується скопіювати бібліотеки (розширення .dll) з вищезазначеної теки bin, до директорії «C:/Windows/System32».

Тепер необхідно завантажити Smake (актуальна версія на момент написання роботи 3.13.0) з офіційного сайту, знову ж таки враховуючи розрядність операційної системи. Розпаковуємо архів до необхідної директорії, задля зручності використання інструменту передбачений GUI, у теці bin задля запуску оброти «smake-gui.exe». Навіщо нам Smake? Він дозволяє зекономити цілу прірву часу автоматизуючи процес збірки сценаріїв, та звільняючи нас від необхідності у ручному редагуванні конфігураційний файлів збірок. Аналогічно першому кроку додаємо Smake до системних змінних середовища PATH.

Далі Qt. При розробці програмного забезпечення використовувалась версія 5.11.1. Загалом, задля встановлення можна використати online-installer з офіційного сайту та провести інсталяцію у автоматизованому режимі. Проте, у цьому випадку, задля збірки бібліотек буде використаний компілятор, що розповсюджується у стандартному наборі Qt (MinGW 5.3.0), що у подальшому може викликати проблеми при компіляції коду з використанням сторонньою бібліотеки OpenCV. Тому ми використаємо альтернативний варіант. Спочатку необхідно завантажити архів з вихідним кодом з сайту (чи git-репозиторію). Розпаковуємо у зручному місці, далі додаємо до системних змінних середовища наступні дані: QTDIR=[абсолютний шлях до теки з Qt]; MINGWDIR=[абсолютний шлях до встановленого раніше компілятору]; PYTHON2DIR=[абсолютний шлях до інтерпретатору пітона]; також необхідно додати шляхи до тек bin інструментів Ruby та Perl.

Після того, як усі шляхи прописані, запускаємо командний рядок, переходимо (за допомогою команди «cd») до теки «..Qt/Src/» та виконуємо команду «configure», задля уникнення помилок під час збірки необхідно явно вказати спосіб підтримки OpenGL, використовуємо найтипівіший вибір «-opengl desktop». Після завершення конфігурування послідовно виконуємо команди «mingw32-make» та «mingw32-make install».

Наступним кроком беремося за OpenCV. Завантажуємо бібліотеку (актуальна на сьогодні 4.0.0 – rc, проте ми використовуємо 3.2.0). Розпаковуємо архів та створюємо додаткову теку «build» (куди будемо збирати бібліотеку). Далі нам знадобиться smake запускаємо GUI, після чого у розгорнутому вікні натискаємо «Browse Source» обираємо теку розпакованої бібліотеки, потім натискаємо «Browse Build» та вказуємо свіже створену теку. Далі тиснемо «Configure» у комбобоксі діалогового вікна обираємо «MinGW Makefiles», тобто бажаємо створити файли для обробки нашим gcc. У пункті нижче обираємо «Specify native compilers» та визначаємо шляхи до компіляторів C та C++ встановленого mingw-64 (у нашому випадку необхідно обрати файли «x86_64-w64-mingw32-gcc.exe» та «x86_64-w64-mingw32-g++.exe» відповідно).

Далі натискаємо «Finish», очікуємо, та отримуємо зконфігурований файл. Нам необхідно внести у цей файл деякі зміни: зняти флаг «ENABLE_PRECOMPILED_HEADERS» (у Cmake є зручний пошук, задля виявлення необхідних опцій), зняти флаг «BUILD_ITT»; зняти флаг «WITH_MSMT»; перевірити (за потреби виправити) шлях до інтерпретатору Python; встановити флаг «ENABLE_CX11»; встановити флаги «WITH_QT» та «WITH_OPENGL»; у разі наявності додаткових бібліотек до OpenCV вказати шлях до них у пункті «OPENCV_EXTRA_MODULES_PATH». Після внесених змін знову натиснути «Configure». По завершенню операції ми отримуємо новий вивід з декількома новими рядками (відміченими червоним кольором), необхідно внести

нові зміни, а саме необхідно встановити шляхи до тек з Qt (відповідно до обраного компілятора), після чого встановити «CMAKE_BUILD_TYPE» на значення «Release», знову натиснути «Configure», а по завершенню «Generate».

Після завершення генерації файлу, за допомогою cmd переходимо до папки «build» та запускаємо команду «mingw32-make», якщо усі попередні дії виконані коректно, то можливо (бо це не точно), після завершення збірки ви не отримаєте жодних помилок і можна буде виконати команду «mingw32-make install». У разі успішного завершення інсталяції залишається лише додати бібліотеки компіляторів OpenCV до системних змінних оточення. У протилежному випадку (отримання помилок при збірці та встановленні), нажаль, немає «універсального засобу», тому необхідно проводити роботу над помилками, шукати інформацію та виправляти недоліки власноруч (у нашому випадку значну поміч було знайдено саме на форумах (stackoverflow, cybyrforum, github тощо).

Останній крок, це підключення встановлених бібліотек OpenCV до проектів Qt. Задля цього необхідно виконати дві прості дії. По-перше, модифікувати .pro файл проекту додаванням «INCLUDEPATH += [path to opencv build include libs]», «LIBS += [path..]\libopencv_core400.dll» (номер може відрізнятись в залежності від компілятора зборки), та аналогічним чином інші .dll бібліотеки у папці bin (for build opencv). По-друге, у файлі реалізації .cpp підключити необхідні заголовочні файли сторонньої бібліотеки, наприклад «#include <opencv2/core/core.hpp>» або «#include<opencv2/highgui/highgui.hpp>» або те що потребується у конкретному кінцевому проекті.

3.4 Створення програмного рішення

Використовуючи описаний алгоритм у пункті 3.1, виконаємо його реалізацію та створимо відповідне програмне забезпечення. Перш за все, звернемо увагу на те, що, нажаль, на поточному етапі розробки, немає можливості провести

безпосередню апробацію методів обробки зображення на знімках отриманих за допомогою апаратного комплексу (застосування комбінації трьох ПЗЗ – камер), у силу того, що кінцевий прототип установки ще не реалізовано. Тому, у якості зображень, задля опрацювання системою, створенні деякі синтетичні вхідні дані, що емулюють реальні продукти харчування рослинного походження, з урахуванням можливості наявних пошкоджень біотичного та абіотичного походження.

Для початку визначимо функціональність та спроекуємо відповідний зручний інтерфейс. Додаток має надавати користувачу наступні можливості:

- Вибір зображення задля опрацювання;
- Застосування засобів покращення якості зображення;
- Визначення класу приналежності об'єкту, що розглядається;
- Отримання довідкової інформації.

Відповідний графічний інтерфейс користувача має забезпечувати:

- Наочне представлення проєкцій об'єкту;
- Зручний доступ до функціональності додатку;
- Можливість налаштування як засобів обробки, так і режимів сортування;

Виходячи з вищезначених моментів створено відповідний GUI, у спокійній та необтяжливій гамі сірого кольору, який зображений у додатку Д.

Переходимо до реалізації функціоналу. Перш за все, ми створюємо новий проєкт Qt. Запускаємо Qt Creator, на вкладці «Початок» обираємо «Проєкти» - «Новий проєкт» та обираємо «Додаток Qt Widgets». Далі необхідно задати ім'я проєкту, у нашому випадку, робоча назва «Recognizer», обрати директорію розміщення збірки, обрати необхідні комплекти інструментів, у даному випадку нас цікавить саме «MinGW64». Далі задаємо ім'я для класу, заголовочного файлу, та

файлу вихідного коду, а також відмовляємось від створення форми (ми зберемо її власноруч). За бажанням можна додати контроль версій.

Створюємо елементи інтерфейсу та розташуємо їх відповідним чином. Створюємо необхідні слоти (дії) та підключаємо до відповідних сигналів. Наступним кроком підключаємо необхідні бібліотеки OpenCV (дивитись пункт 3.3). Задля відображення проєкцій використовуємо OpenGL Widgets. Відкриття зображення виконується конструкцією

«Mat img = imread(filename);»,

де Mat – це клас бібліотеки OpenCV який є базовим контейнером зображення; img – ім'я змінної; imread – функція класу cv яка виконує зчитування зображення, приймає 2 параметри: абсолютну адресу зображення «filename» та прапор відкриття (якщо не вказується, за замовченням дорівнює IMREAD_COLOR, тобто завантаження зображення, з подальшим конвертування у трьохканальну RGB модель, без альфа каналу, що відповідає за насиченість) саме цей формат представлення нас влаштовує.

Враховуючи, що ми працюємо з 3-ма проєкціями одного зображення (вид у плані, фронтальний та боковий) створення «filename» отриманих цифрових результатів підпорядковуються деякому шаблону. Наприклад, «A.07.12.N18_f» або «B.10.11.R07_p», де перша буква (може бути не одна) визначає партію виробництва на підприємстві, «07.12» (чотири цифри попарно розділені крапкою) – місяць та число обробки партії, N18 (буква + двозначне число) – унікальний ідентифікатор об'єкту, «_f» (буква через нижнє підкреслення) – тип проєкції, тобто «_f», «_p», чи «_s» – фронтальна проєкція, вид у плані та бокова проєкція відповідно.

Також, необхідно зважати, що ми будемо працювати з потоком даних, тобто необхідно забезпечити пакетність завантаження, обробки та класифікації

зображень, проте залишимо можливість опрацьовувати по одному об'єкту за побажанням користувача. Таким чином, якщо користувач має на меті обробити тільки один об'єкт, у відповідному групбоксі «Type of Input» (тип вхідної інформації) необхідно встановити значення «Single Img» (одне зображення), у протилежному випадку обрати «Sets of Img» (набір зображень) після чого натиснути кнопку «Open...».

З нашого боку виконуємо перевірку, та за її результатом необхідні дії:

```

« if (rb_sing.isChecked()) { // перевіряємо режим відкриття ,якщо одинарний
    filename_f = QFileDialog::getOpenFileName (this, tr ("Open Front Image
Projection"), "Q:\Qt\Projects\Recognizer\ImageBase" tr("Images(*.*)"));
    if (filename_f.exists()) // перевіряємо файл на існування
        img_f = imread(filename_f); //якщо все добре, завантажуюємо
    filename_s = QFileDialog::getOpenFileName (this, tr ("Open Side Image
Projection"), "Q:\Qt\Projects\Recognizer\ImageBase" tr("Images(*.*)"));
    if (filename_f.exists())
        img_s = imread(filename_f);
    filename_p = QFileDialog::getOpenFileName (this, tr ("Open Plane Image
View"), "Q:\Qt\Projects\Recognizer\ImageBase" tr("Images(*.*)"));
    if (filename_f.exists())
        img_p = imread(filename_f); } else {...}

```

Надамо невеличкі коментарі з приводу вищезначеного коду. Елемент «rb_sing» наслідує клас QPushButton, за допомогою цього компоненту визначається режим сортування, функція «isChecked()» повертає «true» у разі, якщо радіобатон натиснутий. У даному випадку ми послідовно просимо користувача обрати файл відповідної проекції у нативному вікні провідника (задля цього використовується функція «getOpenFileName» класу «QFileDialog», використані параметри: «this» - покажчик на батьківське вікно, «tr ("Open Front Image

Projection")» назва відкритого вікна провідника, функція «*tr*» використовується у подальшому при виконанні перекладу інтерфейсу на інші мови задля зручності кінцевих користувачів по всьому світу, далі вказана адреса початкової теки провідника, а також фільтр пошуку, за розширенням файлів, у даному випадку відображуються усі, але користувача просять обрати саме зображення, за потреби можна обмежитись лише певними форматами). У разі коректно вказаної адреси виконуємо завантаження до зарезервованих контейнерів зображення типу «*Mat*». У наведеному вище фрагменті наочно продемонстроване використання сильно розгалуженої ієрархії готових класів Qt задля задоволення найрізноманітніших кінцевих потреб розробника, детальніше про класи можна дізнатися у документації.

При обранні протилежного типу вхідної інформації, тобто наборів зображень, користувачу подібним образом надається можливість визначити теку з зображеннями, після чого вона буде перевірена на коректність адреси та вмісту (тому що кількість зображень у теці має бути кратна трьом, з відповідними іменами файлів, задля коректної роботи додатку).

Після завантаження зображення, вони будуть відображені у відповідних вікнах графічного інтерфейсу. За потреби може бути виконана обробка зображень з метою згладжування. Передбачене використання 4-ьох типів фільтрів: нормалізованого блокового фільтру, Гаусового фільтру, медіанного та білатерального фільтру (останній не був розглянутий у розділі 2, тому зазначимо, що це нелінійний фільтр, у якому інтенсивність кожного пікселю обчислюється шляхом зваженої усередненої суми інтенсивності за сусідами). Застосування та зміна параметрів фільтрації можуть бути викликані натиском кнопки «*Smoothing*», за потреби фільтрації може взагалі ігноруватися (обрати пункт «*None*» у діалоговому вікні «*Smoothing*»).

Задля надання додаткової довідкової інформації з приводу роботи фільтрів зокрема, а також інших можливостей додатку в цілому використовується кнопка «Help». Натиснення якої викликає нове діалогове вікно з спеціально розробленою інтерактивною довідкою (причому формату html з невеличким додаванням css та js, що дозволяє отримати інформаційну допомогу, за потреби, безпосередньо у браузері, версії більше за ІЕ 6.0).

Переходимо до основної функції додатку, а саме розпізнавання. Дія викликається натиском відповідної кнопки «Analyze». Першим кроком перевіряється чи коректно завантажені зображення (чи обране джерело обробки), у разі не проходження перевірки користувач отримає попередження та прохання повторити вибір об'єкту дослідження. Також необхідно визначити тип сортування (бінарний чи багатокласовий). У першому випадку виконується розподілення товарів на «придатний \ непридатний». У другому розподілення ведеться у залежності від розмірів продукту, обсягів пошкоджень та значення коефіцієнту дисбалансу операційного часу обробки продукції τ . Якщо попередні дії виконані коректно, до зображень буде послідовно застосований оператор Лапласіану задля визначення розмірів об'єктів та, за наявності, обсягів пошкоджень. Оператор має вигляд:

$$\text{Laplacian}(\text{src_img}, \text{dst}, \text{ddepth}, \text{kernel_size}, \text{scale}, \text{delta}, \text{BORDER_DEFAULT}),$$

де `src_img` – вхідне зображення; `dst` – вихідне; `ddepth` – глибина зображення призначення (рекомендується обирати більше за вхідне, задля уникнення переповнення); `kernel_size` – розмір ядра; `scale` – факультативний масштабний коефіцієнт для обчислених лапласіанських значень; `delta` – опціональне значення дельти, яке додається до результатів перед зберіганням їх в `dst`; `BORDER_DEFAULT` – метод екстраполяції пікселів.

Після того, як зображення оброблено, ми маємо розмір об'єкту (на одній з проєкції) у пікселях та, за наявності, обсяг пошкоджених тканин. Знаючи роздільну здатність оптичної установки, можна, за потреби, обрахувати значення пікселю у мм (зазвичай коливається від 1 до 5 мм на піксель), та перейти до метричної системи обчислення. Проте нас більше цікавить саме відношення пошкодженої площі до загальної площі продукту (так званий процент пошкоджень)у безрозмірному відношенні.

По завершенню визначення загального проценту пошкоджень тканин, як середнього для 3-ьох проєкцій, отримане значення множиться на коефіцієнт дисбалансу часу обробки відсортованої продукції τ , та у залежності від отриманого результату приймається рішення щодо розподілення загального товаропотоку. Даний коефіцієнт визначається для кожного кінцевого виробництва, та має наступний фізичний зміст: якщо устаткування підприємства здатне перероблювати усю пошкоджену продукцію, що пройшла сортування, вчасно та не викликаючи значного очікування надходження товарів до переробки, коефіцієнт τ визначається рівним одиниці. У протилежному випадку значення коефіцієнту $\tau > 1$ пропорційне до збільшення часу очікування переробки на кінцевий продукт, що символізує постійну неминучу втрату поживних речовин через процеси, що протікають у товарах сільськогосподарського призначення в силу їх «живого початку» (мається на увазі діяльність патогенної мікрофлори та інших чинників зниження якості товару під час зберігання, дивитись розділ 2.1 та 2.2).

За результатом роботи програми (одиничний випадок аналізу), користувач отримує наступні дані:

- Total Volume – загальний обсяг продукту;
- Affected Areas – загальний обсяг пошкоджених тканин;
- ID – ідентифікатор об'єкту дослідження;
- % – процент пошкоджень;

- Log – у дану частину додатку буде занесено інформацію, щодо виконаних операцій розпізнавання (також лог буде записаний у постійну пам'ять, задля використання у подальшій розробці);

Загалом, враховуючи тенденції розвитку теорії розпізнавання образів, та практичних алгоритмів, усе більш чітко можна усвідомити, що майбутнє у цій сфері належить штучним нейромережам (дивитись пункт 1.4). Тому даний проект має на меті, зібравши достатню базу зображень (тут і використовується логування), провести навчання класифікаторів побудованих на архітектурі глибоких згорткових нейромереж, що, у перспективі, дозволить оптимізувати процес розпізнавання та сортування товарів сільськогосподарського призначення у значнішій мірі.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було оглянуто основні моменти щодо організації робочої станції розробника ПЗ та створення самого продукту. Визначені основні засоби розробки, їх взаємозалежна структура та зв'язок, означені переваги, які відігравали суттєву роль у прийнятті рішення щодо використання того чи іншого інструментального засобу. Проведено інсталяція, налаштування та тестування необхідних інформаційних продуктів.

Базуючись на отриманих у попередніх розділах результатах розроблено та висвітлено основні функціональні можливості програмного додатку, сформовано алгоритм дій, а також спроектовано та створено зручний графічний інтерфейс користувача, що його реалізує. Здобуто навички та досвід, при роботі з техніками комп'ютерного зору, розглянуто основні питання на які зверталася увага при написанні програмного коду, наведені коментарі та пояснення задля кращого розуміння процесу прийняття рішення, щодо конкретного кінцевого продукту сортування.

РОЗІДЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ

Даний розділ присвячено розробленню маркетингових аспектів створення стартап-проекту, задля визначення принципової можливості ринкового впровадження технологічних здобутків оглянутих у роботі, а саме: вибору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспективних реалізацій та виробленню маркетингової стратегії виходу на ринок.

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Здійснення логістичного сортування товарів сільськогосподарського призначення	1 Харчова промисловість	Підвищення ступеню використання природної сировини.
	2 Агропромислові комплекси	Мінімізація відходів виробництва продукції; рух у напрямку «зеленої економіки».

Головна ідея розробки полягає у просуванні раціональних концепцій використання наявних обмежених ресурсів планети задля задоволення своїх потреб, пропонується рішення у сфері гастрономічних проблем, що може бути використане у харчовій та агропромисловості.

Споживачам пропонується надійний та ефективний апаратно-програмний комплекс, що дозволяє мінімізувати відходи рослинного походження продукції сільськогосподарського призначення, збільшити ступінь використання зібраних культур, та, загалом, виступає перехідною ланкою у організації «зеленого» виробництва замкненого циклу.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Recognizer (власний проект)	TOMRA [58]	СМС [59]	GREEFA [60]			
1	Продуктивність	4500* шт/год	1-4 т/год	~1.2 т/год	До 40000 ** шт/год	+		
2	Габарити	1400x700x550	3585x1279 x2320	2940x840 x1160	За потребою замовника			+
3	Енергозатрати	0,8 кВт	5 кВт	1,1кВт	Відповідно до габаритів та продуктивності		+	
4	Критерії сортування	Розмір + ступінь пошкодження	Розмір, форма, колір	Оптична оцінка оператором	Оптична оцінка оператором			+

* - приблизно 810 кг/год (для середнього яблука у 180 гр);

** - у залежності від кількості ліній конвеєру сортування.

Відношення вище оглянутих характеристик розробленого проекту, та існуючих аналогів, свідчить, що потенційний товар може бути достатньо конкурентоспроможним у межах як локального, так і глобального ринків.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Далі проведемо перевірку можливих технологій реалізації ідей проекту. Визначення технологічної здійсненності, у свою чергу, передбачає аналіз наступних складових (таблиця 4.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Отримання зображення	Аналогові камери на ПЗЗ матриці	Є у наявності	Доступно, можна придбати
		Цифрові IP камери	Аналогічно	Аналогічно
		Цифрові HD-SDI камери	Аналогічно	Аналогічно
2	Оперування зображенням	Нативні C++ засоби	Необхідно реалізувати	У вільному доступі
		OpenCV	Є у наявності	Аналогічно
3	Розпізнавання	Нативні C++ засоби	Необхідно реалізувати	У вільному доступі
		OpenCV	Є у наявності	Аналогічно
4	Взаємодія з користувачем	Qt	Необхідно реалізувати	Частково у вільному доступі*
		MS Visual Studio	Аналогічно	Аналогічно
5	Прийняття рішення	Qt	Необхідно реалізувати	Частково у вільному доступі*
		MS Visual Studio	Аналогічно	Аналогічно
Σ	Обрана комбінація технологій реалізації ідей проекту: ПЗЗ-камери + OpenCV + Qt.			

* - у залежності від обраної ліцензії.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що технологічне виконання проекту є реальним, визначені основні інструментальні

засоби, що будуть використані, а також розглянуто їх наявність та доступність для розробника.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Задля встановлення напрямку розвитку конкурентоспроможного продукту необхідно провести дослідження ринкової ситуації, визначити основні потреби потенційної цільової аудиторії, а також товари та послуги конкурентів. Почнемо з поверхневого дослідження ринку збуту.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Назва показнику стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	3
2	Загальний обсяг ринку, тис.т	~9500 [61]
3	Динаміка ринку	Стогнує
4	Наявність обмежень для входу	Складна геополітична ситуація
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	У відповідності до ISO 9001
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	48 [62]

Проведений аналіз свідчить, що поточні умови на національному ринку сільськогосподарської продукції є помірно-несприятливими задля входження нового гравця. Проте, враховуючи, що рентабельність сфери перевищує банківський процент по депозиту (більш ніж у 3 рази), вкладення коштів у проект має сенс.

Надалі визначимо потенційну цільову аудиторію товару, її характеристики, а також сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару у відповідних групах.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних ЦА	Вимоги споживачів до товару
Раціональне розподілення загального товаропотоку продукції сільськогосподарського походження	Державні підприємства	Державна аграрна політика; Підвищення ефективності використання земельних угідь; Інтеграції до глобального руху «зелених».	Відповідність встановленим нормам та стандартам сортування. Надійність та відмовостійкість. Продуктивність та ефективність. Сертифікація.
	Корпоративні приватні клієнти	Корпоративна політика збагачення; Збільшення капіталовіддачі; Престижність та репутація; Власні переконання.	Гнучке налаштування та конфігурування. Швидка зворотна реакція. Усебічна підтримка та супроводження.

Маючи представлення про потенційних клієнтів, проведемо дослідження ринкового середовища. Головні фактори, які спричиняють вплив, зведені до таблиць 4.6 (загрози) та 4.7 (можливості).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст	Можлива реакція
1	Сильна конкуренція	Цілеспрямовані дії конкуруючих фірм направлені на досягнення значних фактичних та/або фіктивних переваг продукції	<p>Всебічний розвиток продукції;</p> <p>вивчення та охоплення нових ринків збуту;</p> <p>досягнення консенсусу та поділу зон впливу.</p>
		Використання засобів недобросовісної конкуренції	Фіксація та збирання фактичних даних правопорушення з подальшим зверненням до правоохоронних структур
2	Економічна та соціально-політична нестабільність	<p>Зменшення покупної здатності населення;</p> <p>девальвація державної грошової одиниці;</p> <p>деструктивні соціальні геополітичні процеси;</p> <p>замороження ресурсів та активів підприємств;</p>	<p>Балансування цінової політики;</p> <p>Охоплення глобальних ринків;</p> <p>Диверсифікація наявних фінансових інструментів;</p> <p>Звернення до арбітражних установ задля захисту прав та свобод.</p>
3	Науково-технічний прогрес	Револьюційні досягнення в області комп'ютерного зору та машинного бачення	Своєчасна інтеграція та підтримка інновацій.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст	Можлива реакція
1	Глобальні потреби «сталого розвитку»	Обмеження наявних ресурсів проковує людство до використання «зелених технологій»	Усебічно розвиватися у напрямку «сталості продукту та виробничого циклу»
2	Загострення продовольчих проблем	Зростання попиту на якісні продукти харчування	Масштабування виробництва
3	Науково-технічний прогрес	Революційні досягнення в області комп'ютерного зору та машинного бачення	Своєчасна інтеграція та підтримка інновацій.
4	Репутація	Вироблення чіткої корпоративної політики; здобування собі «імені» та знаходження однодумців.	Прагматична та високоморальна політика породжує якісно нові перспективи.

Наступним кроком є вивчення пропозицій на ринку, встановлення загальних рис, що характеризують конкурентів на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
1. Вказати тип конкуренції: монополістична	Кілька фірм-конкурентів. Товари частково унікальні Вступ до сфери не є складним. Фірми слабо впливаю на ціну.	Помірна стратегія виходу на ринок; розвиток специфічних характеристик товару; розвинений CRM.

Продовження таблиці 4.8.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародна	Фірми-конкуренти розповсюджують свої товари та послуги на світовому рівні.	Зниження витрат виробництва; переміщення капіталів;
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Продукт розрахований на застосування у аграрному секторі харчової промисловості України.	Використання унікальних властивостей продукту; розвиток тісної співпраці з клієнтами; оптимізація та покращення товару.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Товарно-родова. Конкуренція на рівні технології задоволення потреб. Існує конкуренція з іншими методами та відповідними алгоритмами реалізацій.	Наголошення на «природорациональному» підході до задоволення потреб; витиснення з ринку товарів-субститутів.
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Логічний розвиток та оптимізація процесу сортування товарів сільськогосподарського призначення	Вдосконалення та розширення технік та підходів організації процесу; гнучка цінова політика задля зміцнення позицій.
6. За інтенсивністю: марочна	Конкуренти пропонують схожі продукти та послуги тим самим групам цільових покупців за східними цінами.	Розвиток власного бренду; створення репутація за рахунок, інноваційних та високопродуктивних рішень та продуктів.

Скористаємось аналізом конкурентної боротьби у галузі, за моделлю М. Портера задля більш глибокого визначення ринкових відносин.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	TOMRA Greefa СМС	Доступ до ресурсів; гнучкі ціни.	Концентрація постачальників	Продуктова диференціація; контроль якості; висока чутливість до змін ціни.	Ціна; змінні витрати
Висновки:	На ринку спостерігається інтенсивна конкуренція; великі іноземні гравці борються за свою частку ринку, поглинаючи дрібніших конкурентів.	Бар'єри входу на ринок є досить незначними; наявні як фактичні та і гіпотетичні конкуренти; орієнтовні строки виходу на ринок 6-8 місяців.	Постачальники можуть вплинути на ринок лише створивши значні масивні кооперації.	Клієнт виступає основним джерелом надходження умов роботи на ринку.	Витіснення примітивними транспортно-сортувальними рішеннями

Таким чином, за результатами аналізу можна зробити висновок про принципову можливість входження в ринок. Визначено основні сильні сторони, які повинен мати продукт задля забезпечення конкурентоспроможності, дані фактори визначались з урахування характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару, а також стану маркетингового середовища.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Цінова політика	Користувач обирає найвигідніше співвідношення ціна/якість.
2	Інноваційні технології	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.
3	Доступ до постачальників	Налагоджений логістичний зв'язок; раціональне природокористування в умовах обмеженості ресурсів.
4	«Зелена економіка»	Інтеграція до глобального процесу переходу до моделі сталого розвитку.

За визначеними факторами проведемо аналіз сильних та слабких сторін конкурентоспроможності проекту.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сторін проекту «Recognizer»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Цінова політика	15		G	T,C				
2	Інноваційні технології	18	C	T,G					
3	Доступ до постачальників	12					C	G	T
4	«Зелена економіка»	19		C	T,G				

Умовні позначення конкуруючих фірм: Т – TOMRA; С – CMC; G – Greefa;

На завершальному етапі аналізу можливості ринкового впровадження стартап-проекту необхідно скласти SWOT-матрицю, базуючись на отриманій вище порівняльній характеристиці.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • цінова політика; • інноваційні технології; • «зелена економіка». 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • доступ до постачальників.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • постійно зростаючий попит; • свідомий вибір «сталих» технологій; • оптимізація алгоритмів обробки зображень; • розвиток штучних нервових мереж. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> • витиснення конкурентами за рахунок обсягів; • складна економічна та геополітична ситуація, що веде до зменшення як національних постачальників, так і споживачів.

На основі отриманих даних визначимо альтернативні стратегії виходу на ринок, з урахуванням орієнтовного оптимального часу їх реалізації.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Перехід до багатопоточного товаророзподілення задля підвищення продуктивності	90%	2-4 міс.
2	Охоплення нових глобальних ринків збуту	60%	6-8 міс.

З точки зору отримання ресурсів та строків реалізації оптимальнішою виступає стратегія під номером 1.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим кроком розроблення ринкової стратегії виступає визначення методики охоплення ринку та опис цільових груп потенційних споживачів

Таблиця 4.14. Вибір груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Компанії, що просувають раціональне природокористування	висока	високий	мала	середня
2	Компанії, що зацікавлені у мінімізації відходів переробки сільськогосподарської продукції	висока	помірний	значна	середня
3	Фірми, що прагнуть підвищити ефективність використання ресурсів	помірна	помірний	середня	мала
Які цільові групи обрано: 1, 2 та 3.					

Враховуючи, що стартап-проект спрямований на декілька цільових груп споживачів, обрана стратегія диференційованого маркетингу задля охоплення ринку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Перехід до багатопоточного товаророзподілення задля підвищення продуктивності	Диференційований маркетинг	Підвищення продуктивності та обсягів переробки при мінімізації відходів рослинного походження	Стратегія диференціації

Далі визначимо найвірогіднішу стратегію конкурентної поведінки на ринку.

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект першопроходцем на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів	Копіювання основних характеристик конкурентів	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Частково	Комбінація. Акцент на розширенні ринку.	Ні	Наслідування лідера на початкових етапах, задля скорочення витрат, з подальшим переходом до диверсифікованої стратегії лідера

* - визначення базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки за М.Портером.

Наступним кроком є розробка стратегії позиціонування, що розкриває формування ринкового іміджу (асоціативної хмари для споживача), на основі

обраної стратегії власного розвитку та реакції конкурентів, а також головних вимог кінцевих споживачів до постачальників та продукту загалом.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару ЦА	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Вибір асоціацій, задля комплексної позиції компанії
1	<p>Відповідність встановленим нормам та стандартам сортування.</p> <p>Надійність та відмовостійкість.</p> <p>Продуктивність та ефективність.</p> <p>Сертифікація.</p> <p>Гнучке налаштування та конфігурування.</p> <p>Швидка зворотна реакція.</p> <p>Усебічна підтримка та супроводження.</p>	Стратегія диференціації	Унікальність запропонованого рішення	Інноваційність, надійність, якість, продуктивність, ефективність, вигідність, екологічність, раціональне природокористування, сталий розвиток.

За отриманими результатами було складено узгоджену стратегію ринкової поведінки стартап-проекту.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, що отримає споживач.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода товару	Ключові переваги перед конкурентами
1	Цінова політика	Прийнятне співвідношення ціна/якість.	Низькі ціни, широка «цінова парасолька»
2	Інноваційні технології	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.	Унікальна технологія прийняття рішення
3	Доступ до постачальників	Налагоджений логістичний зв'язок; раціональне природокористування в умовах обмеженості ресурсів.	Тісна взаємодія з виробниками та постачальниками, дисконтні програми для «постійних клієнтів»
4	«Зелена економіка»	Інтеграція до глобального процесу переходу до моделі сталого розвитку.	Підняття та зміцнення репутації бренду, за відповідний внесок у збереження навколишнього середовища

Розробимо тривірневу маркетингову модель товару, вточнимо ідею продукту, його фізичні характеристики, певні особливості процесу експлуатації.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Дозволяє виконувати раціональне логістичне сортування товарів сільськогосподарського походження		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічність; 2. Надійність; 3. Технологічність; 4. Екологічність; 5. Безпечність.		
	Якість: буде оцінена після проведення тестування за стандартами ISO 9001		
	Пакування: розробляється		
	Марка: TechSort corporation: Recognizer ©		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – усебічна інформаційна підтримка		
	Після продажу – програми лояльності; гарантії та страхування; розвиток та підтримка нових рішень.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності та ноу-хау.			

Визначимо цінові межі на потенційний товар (остаточний кошторис буде визначено після фінансово-економічного аналізу), виходячи з ринкової ситуації, а також доходів ЦА.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів ЦА	Верхня та нижня межі ціни на товар
1	800 – 45 000 \$	1000 – 80 000 \$	Закрита інформація	8 000 – 10 000 \$

Далі встановимо основні системи збуту, визначимо та обґрунтуємо глибину каналів, а також участь посередників.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, постачальника товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Економічна та логістична вигідність	Транспортування; зберігання; інформування.	Дворівневий канал	Комбінована

На завершення розробимо концепцію маркетингових комунікацій, ґрунтуючись на обраній основі позиціонування та визначеній специфіці поведінки ЦА.

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки ЦА	Канали комунікації клієнтів	Ключові позиції	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Найраціональніша політика задоволення своїх бізнес-потреб	Інтернет; прямі контакти; телефонія; друковані видання.	Цінова політика; інноваційні технології; «зелена економ.»	Донести концепцію переваг товару до потенційних споживачів	Обґрунтування необхідності раціонального природокористування пропозиція готових рішень наявних проблем

За отриманими результатами була сформована ринкова стратегія, що включає в себе концепцію товару, каналів збуту, просування у маси, а також попередній прогноз ціноутворення, що ґрунтується на конкурентних перевагах ідеї, стану та динаміки ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, а також зазначено альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до розділу 4

У даному розділі розглянуто основні етапи розробки повноцінної концепції стартап-проекту. Враховуючи значний попит на товари подібної категорії на ринку, високу рентабельність, а також позитивну динаміку росту глобального ринку (на відміну від національного), визначена істотна можливість реалізації ідеї з подальшою комерціалізацією.

З огляду на потенційні групи клієнтів, відсутність значних бар'єрів входження на ринок, диверсифіковану конкуренцію та наявність якісно відмінних характеристик продукту, можна стверджувати про перспективність даної розробки. За потреби існує кілька альтернативних сценаріїв розвитку стартапу, з урахуванням потреб цільової аудиторії. Подальшу імплементацію проекту можна вважати доцільною.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації було розглянуто проблему раціонального природокористування при організації виробництва переробки продукції сільськогосподарського призначення. Проведено детальний аналіз загального процесу розпізнавання та класифікації об'єкту, визначені основні функціональні операції та типові задачі, що вирішуються, а також необхідна інструментальна база. Виконаний аналіз науково-технічних здобутків, як вітчизняних, так і закордонних джерел, у сфері розпізнавання та сортування продуктів рослинного походження, а саме овочів та фруктів.

За результатами проведених досліджень було розроблено та запропоновано ефективний алгоритм оптимізації процесу сортування продукції, задля підвищення ступеню використання початкової сировини на підприємстві, (збільшення міри природокористування) та мінімізації відходів рослинного походження при загальній оптимізації виробничого процесу. Основні отримані висновки по роботі були оприлюднені у рамках публікацій у національних та міжнародних технічних виданнях.

Базуючись на отриманому алгоритмі, було спроектоване та запрограмоване відповідне програмне забезпечення, задля реалізації необхідного функціоналу. При створенні програмного модулю автором дотримувались максимально зручні та адекватні технології розробки, з метою спрощення розуміння структури проекту та пришвидшення навчання кадрів, при збільшенні команди спеціалістів, у разі масштабування. Інтерфейс додатку спроектований таким чином, щоб мінімізувати навантаження на кінцевого користувача та створити максимально зручний та зрозумілий програмний продукт. Використання додатку спрямоване на інтеграцію з описаним прототипом, задля підвищення якості реалізації функції сортування товарів сільськогосподарського призначення на кінцевому виробництві.

На основі розроблених технологій, було створено та проаналізовано перспективи розвитку у площині стартап-проектів. Визначено основні конкурентоспроможні переваги продукту, головні потенційні групи клієнтів, концепції просування на ринку та охоплення нових сфер впливу. Виходячи з об'єктивних факторів, даний проект є комерційно привабливим задля подальших розробок та покращення технологій сортування товарів сільськогосподарського призначення при мінімізації відходів рослинного походження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження «Мозок Людини» [Електронний ресурс]: 1 випуск / Д.Ігелман – 2015. – Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=SsL1S4RGY_4
2. Richard Szeliski (30 September 2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Science & Business Media. pp. 10–16. ISBN 978-1-84882-935-0.
3. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов, М.: Мир, 1978. – 412 с.
4. Reinhard Klette (2014). *Concise Computer Vision*. Springer. ISBN 978-1-4471-6320-6.
5. Linda G. Shapiro; George C. Stockman (2001). *Computer Vision*. Prentice Hall. ISBN 0-13-030796-3.
6. Tim Morris (2004). *Computer Vision and Image Processing*. Palgrave Macmillan. ISBN 0-333-99451-5.
7. Bernd Jähne; Horst Haußecker (2000). *Computer Vision and Applications, A Guide for Students and Practitioners*. Academic Press. ISBN 0-13-085198-1.
8. David A. Forsyth; Jean Ponce (2003). *Computer Vision, A Modern Approach*. Prentice Hall. ISBN 0-13-085198-1.
9. Wu, J.; Chen, E. (May 2009). Wang, H., Shen, Y., Huang, T., Zeng, Z., eds. A Novel Nonparametric Regression Ensemble for Rainfall Forecasting Using Particle Swarm Optimization Technique Coupled with Artificial Neural Network. 6th International Symposium on Neural Networks, ISNN 2009. Springer. doi:10.1007/978-3-642-01513-7-6. ISBN 978-3-642-01215-0.
10. Результати конкурсу розпізнавання зображень [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://image-net.org/challenges/LSVRC/2017/results>
11. "Artificial Neural Networks as Models of Neural Information Processing | Frontiers Research Topic". Retrieved 2018-02-20.

12. Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Complex Pattern Recognition [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.amazon.com/Neural-Networks-Applied-Sciences-Engineering/dp/084933375X/>
13. Does an AI need to make love to Rembrandt's girlfriend to make art?, The Guardian (6 May 2016).
14. A Learning Advance in Artificial Intelligence Rivals Human Abilities, The New York Times (10 December 2015).
15. Електронна МПК Міжнародної Організації Інтелектуальної Власності [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.wipo.int/classifications/ipc/ipcpub/?notion=scheme&version=20180101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=f&fipcp=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>
16. Патент UA 953 МПК В07С 5/04. Пристрій для сортування виробів.
17. Патент UA 1115 МПК В07С 5/04, G01F 11/00. Електронна конвеєрна вага.
18. Патент UA 7391 МПК В07С 5/04. Пристрій для сортування предметів.
19. Патент UA 67127А МПК В07С 5/34. Мікропроцесорна система керування сортуванням напівтуш худоби і свиней.
20. Патент UA 90847 МПК В07С 5/342, А61В 5/00, G01N 21/31. Спосіб визначення кількісного складу рухомого продукту, апаратура для визначення кількісного вмісту інсуліну у рухомому продукті, застосування апаратури і установка для розфасовки розчинів і дисперсій, що включає апаратуру.
21. Патент UA 107096 МПК В07С 5/10, А01С 1/00, А01М 11/00, G01N 21/00. Спосіб визначення забарвлення сім'янок соняшнику.
22. Патент UA 107096 МПК В07С 5/04, В07С 5/24, В07С 5/34, В07В 13/08, В07В 13/04 В29В 17/02, G01N 9/36. Спосіб автоматичного сортування твердих відходів.

23. Патент UA 112246 МПК В07С 5/34, В03В 13/02, G01N 21/88, G07D 5/02. Оптоволоконний лазерний сортувальник.
24. Патент UA 117566 МПК G01N 21/85, В07С 5/342. Спосіб і пристрій для обробки зібраних коренеплодів.
25. Патент RU 67481 МПК В07С 5/10, В07С 5/342. Устройство автоматической сортировки плодов.
26. Патент RU 2424859 В07С 5/342. Устройство сортировки объектов по визуальным признакам.
27. Патент RU 146689 В07С 5/342. Устройство для измерения и анализа параметров объектов малой крупности.
28. Патент RU 12534 В07С 5/342. Рентгенолюминесцентный сепаратор.
29. Патент RU 2351409 В07С 5/10. Устройство для контроля картофеля или подобных продуктов.
30. Патент RU 2351409 В07В 13/04, В07С 5/04. Устройство для сортировки твердых материалов по размерам.
31. Патент RU 2495728 В07В 13/00, В07С 5/342. Устройство для сортировки зерна.
32. Патент RU 2243502 G01В 11/10, В07С 5/10, В07С 5/342. Способ и устройство проверки при автоматической сортировке продуктов, такие как фрукты.
33. Патент RU 2102854 А01D 33/08, А01D 46/00, В07С 5/342. Способ сортировки томатов и устройство для его осуществления.
34. Патент US 20180154396A1 В07С 5/12, В07С 5/10, В07С 5/06. Спосіб та пристрій для сортування сумок (Method and machine for sorting bags).
35. Патент US 20180056335A1 В07С5 /10, В07С 5/362, В65G 47/902, В07С 5/38, В07С 5/16. Спосіб та система сортування заготовок (Workpiece sorting system and method).

36. Патент US 20170312789A1 B07C5 /10, B07C 5/36, B07C 5/34, B65G 43/08, B65G 47/54. Візуальна класифікація об'єкту та система розподілення (Vision based item typing and separation system).
37. Патент US 20170014868A1 G01N 23/223, B07C 5/10. Система сортування матеріалів (Material sorting system).
38. Патент US 5156278 B07C5/10. Система и спосіб розпізнавання продукту (Product discrimination system and method therefor).
39. Патент EP 0258810A3 B07C 5/3422, B07C 5/10, G01B 11/00. Спосіб та пристрій визначення форми виробів (Method and apparatus for inspecting the appearances of articles).
40. Патент WO 2017/125872 B07C5 5/342, B65G 37/02. Система обробки овочів та фруктів, таких як чорниця та подібних (System for processing fruit or vegetable products of the type of blueberries and the like).
41. Технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studies.com.ua/lektsii/lektsionniy-kurs-technologiya-chraneniya-i-pererabotki-selskochozyaystvennoy-produktsi-5-lektsiy.html>
42. Boyle W. and Smith G.[1970] Charge couple semiconductor devices, Bell Systems Technical Journal, 49, pp. 587-593.
43. Amelio G., Tompsett M. and Smith G. [1970] Experimental verification of the charge couple device concept, Bell Systems Technical Journal, 49, pp. 593 – 600.
44. Snyder D., Hammound A. and White R. [1983] Image recovery from data acquired with a charge-coupled-device camera, Journal of the Optical Society of America A 10(5), pp. 1014-1023.
45. Healey G. and Kondepudy R. [1994] Radiometric CCD camera calibration and noise estimation, IEEE Trans. Pattern Analysys and Machine Intelligence, 16(3), pp. 267-276.

46. Ebert D.S., Musgrave F.K., Peachey D., Worley S. and Perlin K., eds [1998] Texturing and Modeling, Morgan Kaufman.
47. Canny J. [1986] A computational approach to edge detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), pp 679-698.
48. Marr D. and Hildreth E. [1980] Theory of edge detection, Proceedings of Royal Society of London B-207, pp. 187-217.
49. Harris C. and Stephens M. [1988] A combined corner and edge detector, Alvey Conference, pp.147-152.
50. Schmid C., Mohr R. and Bauckhage C.[2000] Evaluation of interest point detectors, International Journal of Computer Vision, 37(2), pp 530-535.
51. K.R. Castleman [1996], Digital Image Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
52. I. Pitas and A.N. Venetsanopoulos, Morphological Shape Decomposition, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12(1), January 1990.
53. GCC 4.8 Release Series. Changes, New Features, and Fixes [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gcc.gnu.org/gcc-4.8/changes.html>
54. Tools Mingw-w64 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mingw-w64.org/doku.php>
55. IDE Qt [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.qt.io/>
56. OpenCV project [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.opencv.org/master/index.html>
57. CMake [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cmake.org/>
58. TOMRA Corporation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.tomra.com>
59. Системи модернізації складів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://sms-skladtehnika.com>
60. Greefa [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.greefa.com/>

61. Міністерство аграрної політики України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.minagro.gov.ua/monitoring?nid=19035>
62. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА В УКРАЇНІ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://global-national.in.ua/archive/21-2018/27.pdf>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства

Відомість магістерської дисертації

ІК-72.19 4112.02 ВП

Аркушів 1

2018

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломну роботу	2	
2	A4	ІК-72.194112.01 ПЗ	Пояснювальна записка	125	
3	A4	ІК-72.194112.02 ВП	Додаток А. Відомість магістерської дисертації	1	
4	A4	ІК-72.194112.03 ТЗ	Додаток Б. Технічне завдання	3	
5	A3	ІК-72.194112.04 ДП	Додаток В. Апаратний комплекс	1	
6	A3	ІК-72.194112.05 АП	Додаток Г. Блок схема алгоритму	1	
7	A3	ІК-72.194112.06 ДП	Додаток Д. GUI ПЗ	1	
8	A3	ІК-72.194112.07 ДП	Додаток Е. Публікації результатів	1	

						ІК-72.19 4112.02 ВП		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Петренко А.І.			Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Поліщук М.М.					1	1
Н. контр.		Пасько В.П.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФІОТ, гр. ІК-72мп			
Затв.		Пархомей І.Р.						

ДОДАТОК Б

Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства

Технічне завдання

ІК-72.19 4112.03 ТЗ

Аркушів 3

2018

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ» ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра технічної кібернетики

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник проекту

_____ к.т.н., доц. Поліщук М.М.

« 25 » 11 2018 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою ТК

_____ д.т.н, проф. Пархомей І.Р.

« ___ » _____ 201_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»

«Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства»

Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ІК-72.194112.03 ТЗ			
Розроб.		Петренко А.І.			Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Поліщук М.М.					1	3
Н. контр.		Пасько В.П.			Технічне завдання	КПІ ім. Ігоря Сікорського ФІОТ, гр.ІК-72мп		
Затверд.		Пархомей І.Р.						

1. НАЙМЕНУВАННЯ І ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Найменування роботи – «Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства».

Область застосування: харчова промисловість, агропромислові комплекси, використання при організації робототехнічних комплексів.

2. ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на виконання роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр професійний», затверджене наказом по університету «Київський Політехнічний Інститут» ім. І. Сікорського від 07.11.2018р № 4112-с.

3. ЦІЛЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

Метою даного проекту є пошук шляхів вдосконалення режимів швидкісного розпізнавання об'єктів сільського господарства, з мінімізацією втрат продуктів харчування, придатних до споживання, з розробкою відповідних апаратних та програмних засобів.

4. ДЖЕРЕЛА РОБОТИ

Джерелами роботи є науково-технічна література з теорії розпізнавання образів, комп'ютерного зору та машинного бачення, а також патентна документація способів та пристроїв сортування товарів сільськогосподарського походження.

5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1 Технічні характеристики апаратного комплексу:

- Продуктивність: ~ 4500 одиниць за годину;
- Габарити: 1400x700x 550 мм;
- Енергозатрати: 1 кВт;
- Сортування за оптичними показниками.

					ІК-72.194112.03 ТЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		2

5.2 Вимоги до програмного забезпечення:

- Визначення приналежності до певного класу продуктів харчування;
- Визначення наявності пошкоджень біотичного та абіотичного походження;
- Розподілення по категоріям за геометричними розмірами та/або (у разі наявності) за обсягом пошкоджених тканин;
- Фіксація та документування прийнятих рішень.

5.3 Ліцензування та стандартизації:

- Захист системи, як об'єкта інтелектуальної власності;
- IEEE Std 610.12-1990
- ISO/IEC 90003:2004;
- ISO/IEC 25000:2014;
- GNU GPLv3.

5.4 Умови експлуатації:

- Повинні відповідати вимогам ГОСТ 1201 005-88.

					ІК-72.194112.03 ТЗ	Лист
						3
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ДОДАТОК В

Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарств

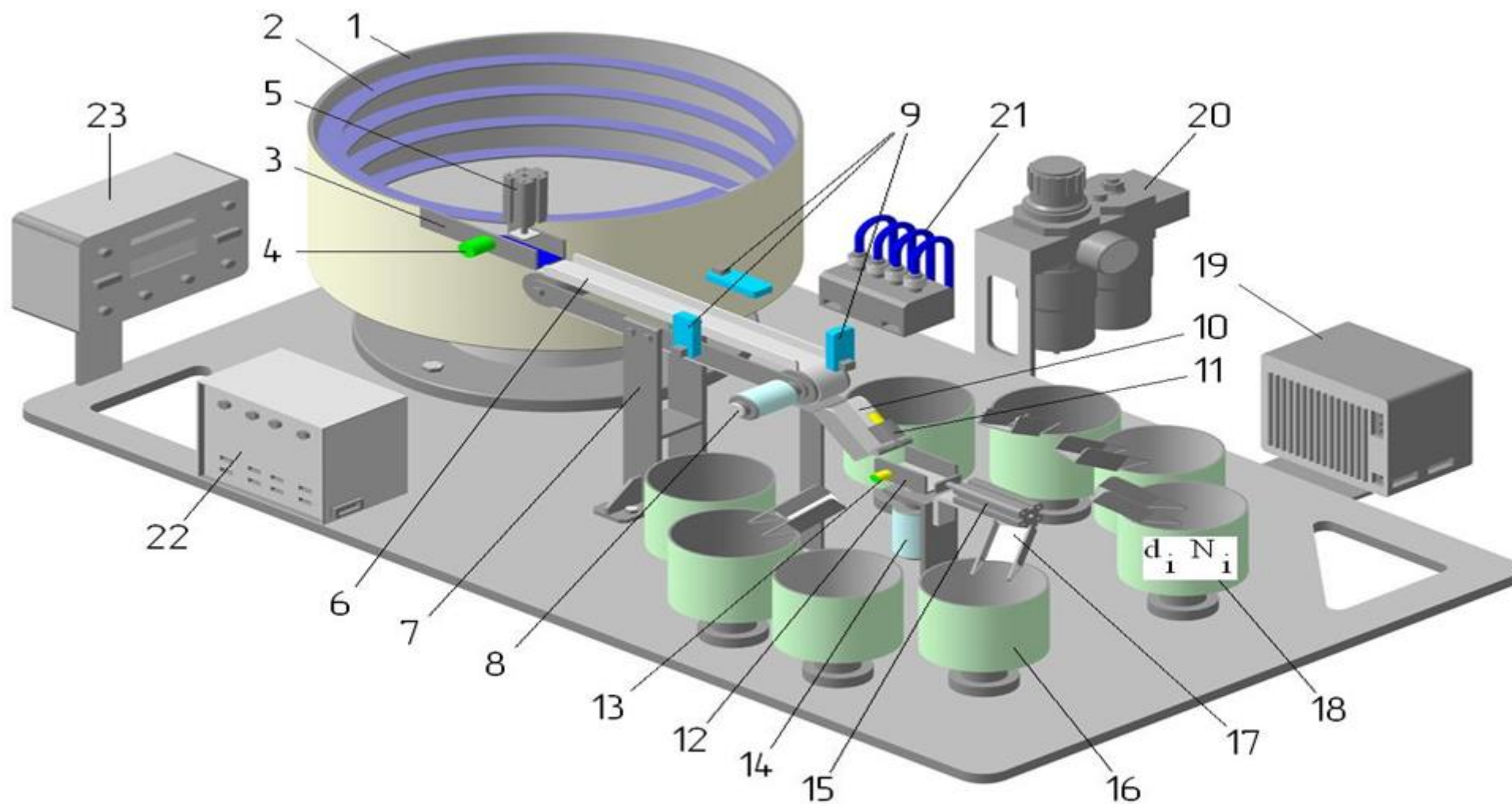
Апаратний комплекс

ІК-72.19 4112.04 ДП

Аркушів 1

2018

Апаратний комплекс системи сортування



- 1.Вібраційний бункер
- 2.Спіральні доріжки
- 3.Лоток видачі
- 4.Фотодатчик
- 5.Відсікач
- 6.Стрічковий транспортер
- 7.Стійка
- 8.Привід
- 9.ПЗЗ-камери
- 10.Перехідний лоток
- 11.Поворотна шторка
- 12.Розподільний лоток
- 13.Фотодатчик
- 14.Поворотний привод
- 15.Штовхач
- 16.Накопичувальні ємності
- 17.Вхідні лотки
- 18.Маркування
- 19.Блок живлення
- 20.Блок підготовки стисненого повітря
- 21.Колектор розподілу
- 22.Контролер
- 23.Пульт керування

Демонстраційний плакат № 1
до магістерської дисертації на тему
«Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства»

Розробив: Петренко А.І.
Прийняв: Поліщук М. М.

ДОДАТОК Г

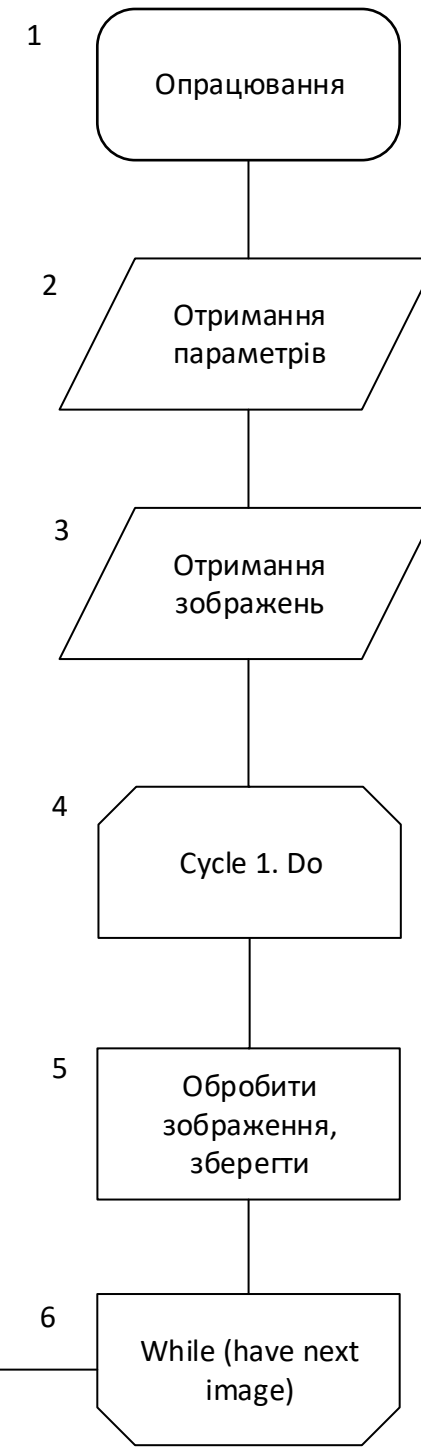
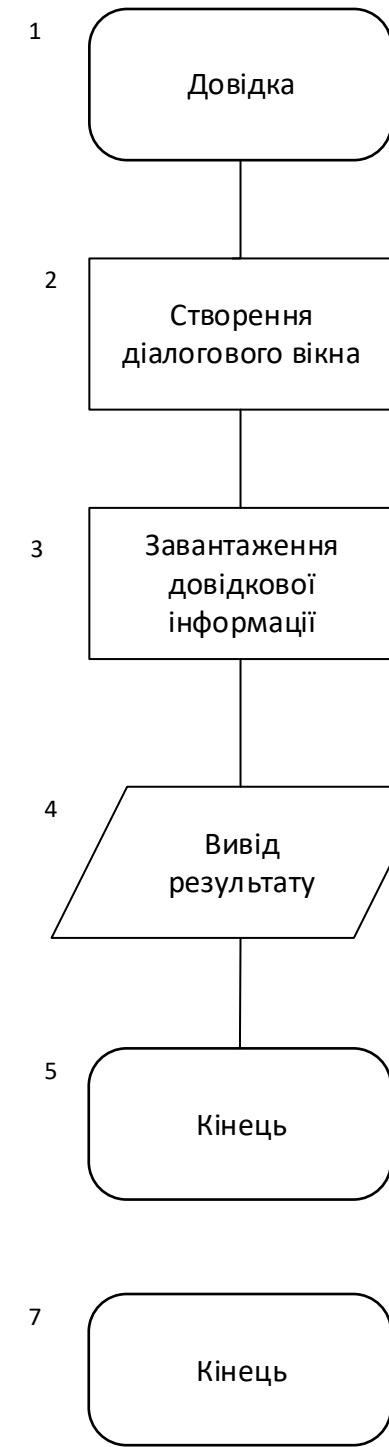
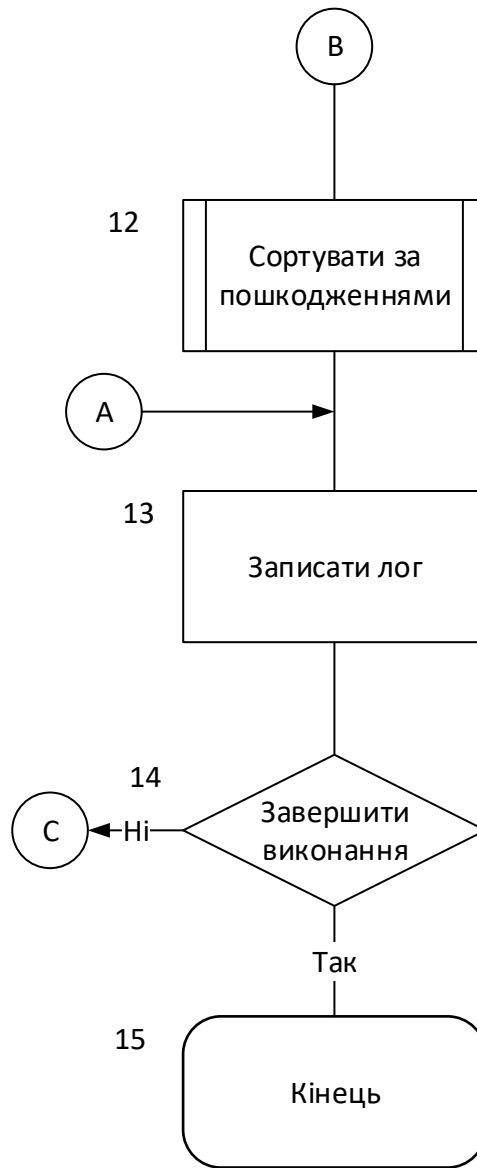
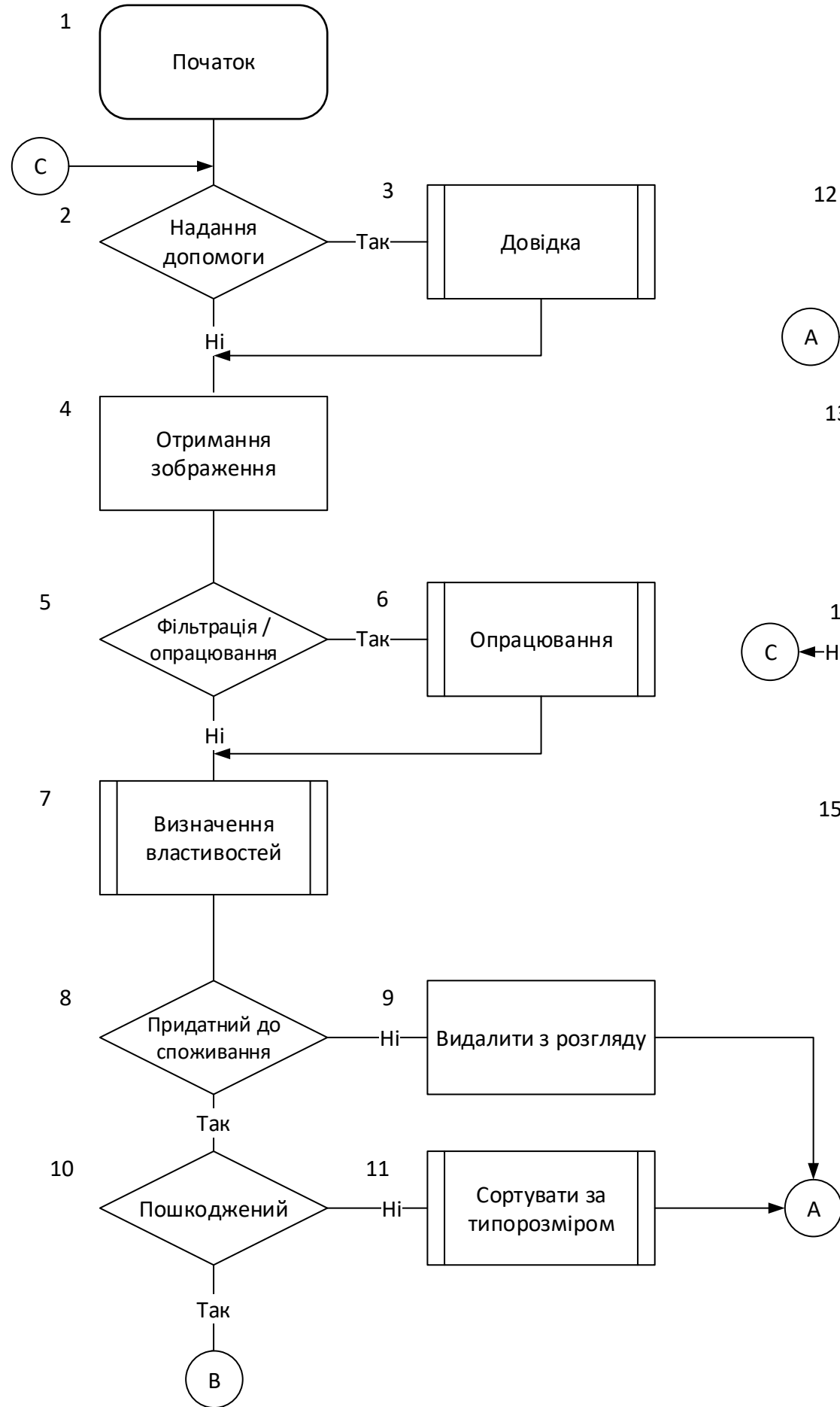
Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства

Блок схема алгоритму

ІК-72.19 4112.05 АП

Аркушів 1

2018



					ІК-72.194112.05 АП			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підп.	Дата	Блок-схема алгоритму	Лім.	Масса	Масштаб
Розроб.		Петренко А.І.						1:1
Перевів.		Поліщук М.М.						
Т.конр.						Лист 1	Листів 1	
Н.конр.		Пасько В.П.			Кафедра Технічної кібернетики	НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» ФІОТ гр. ІК-31		
Затв.		Пархомей І.Р.						

ДОДАТОК Д

Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства

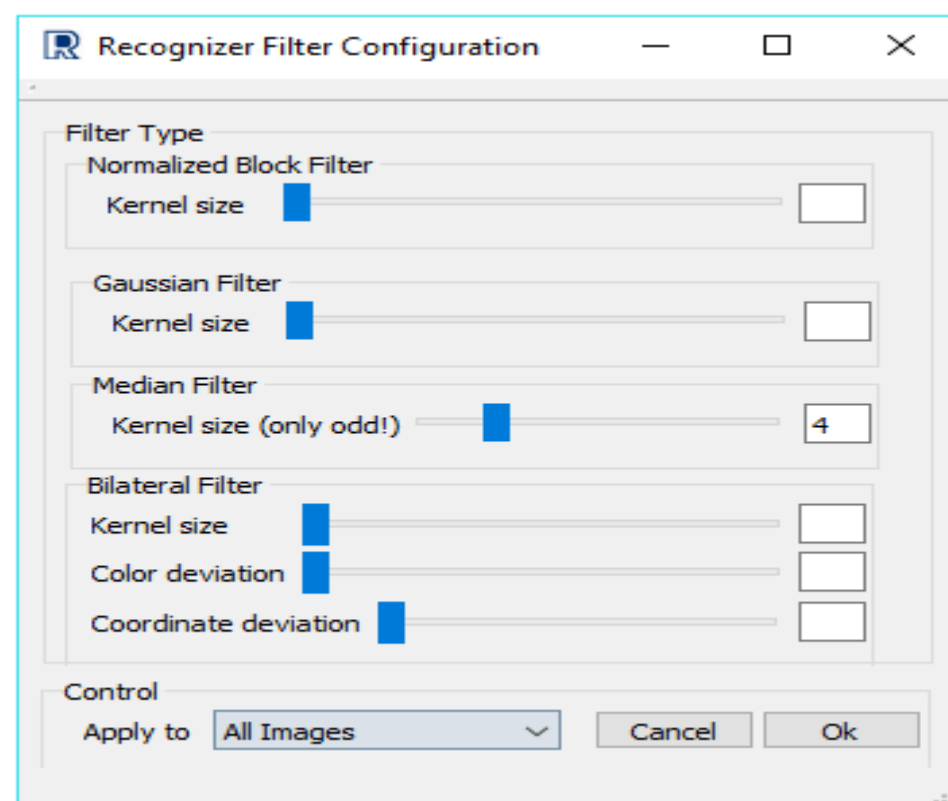
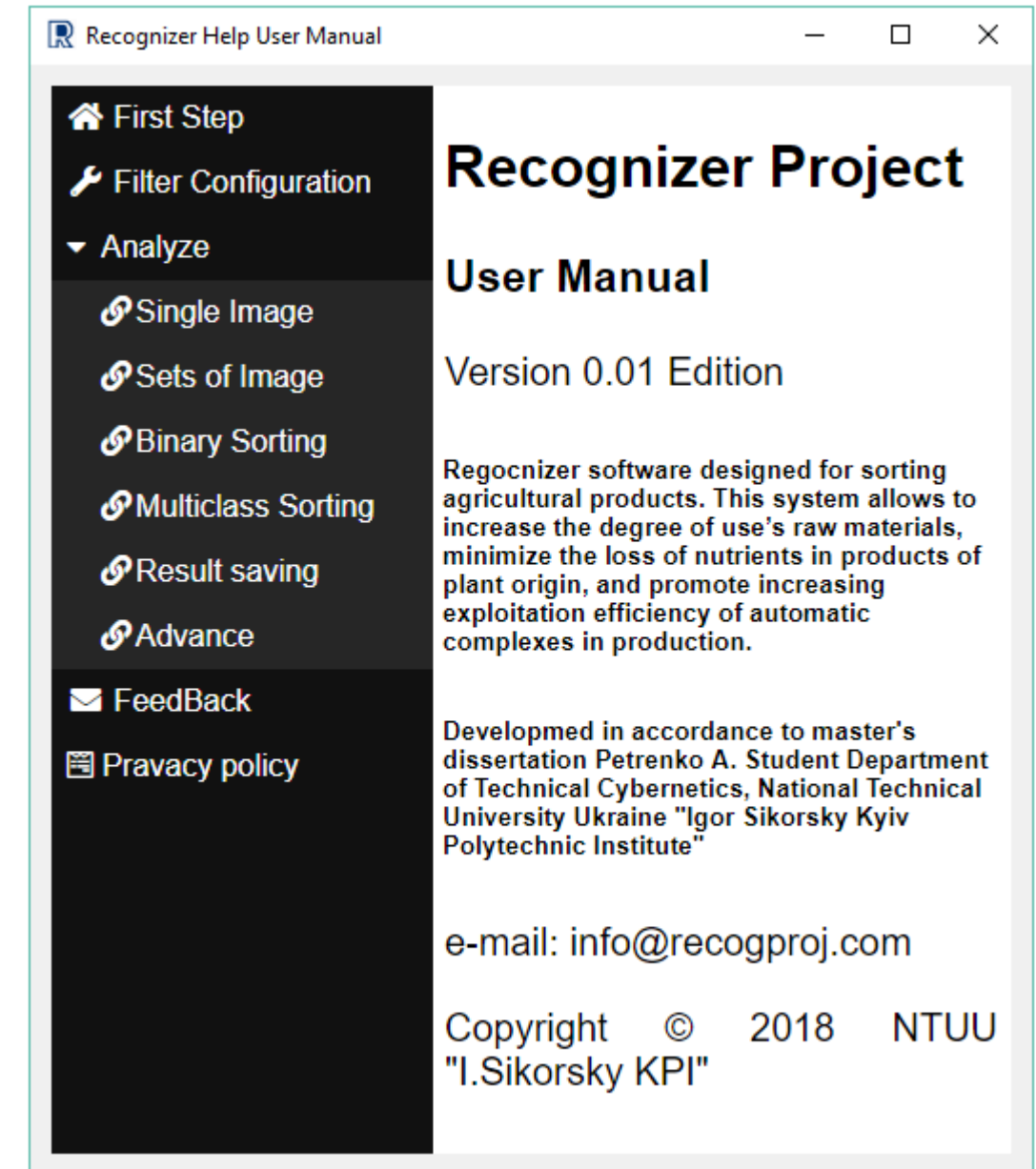
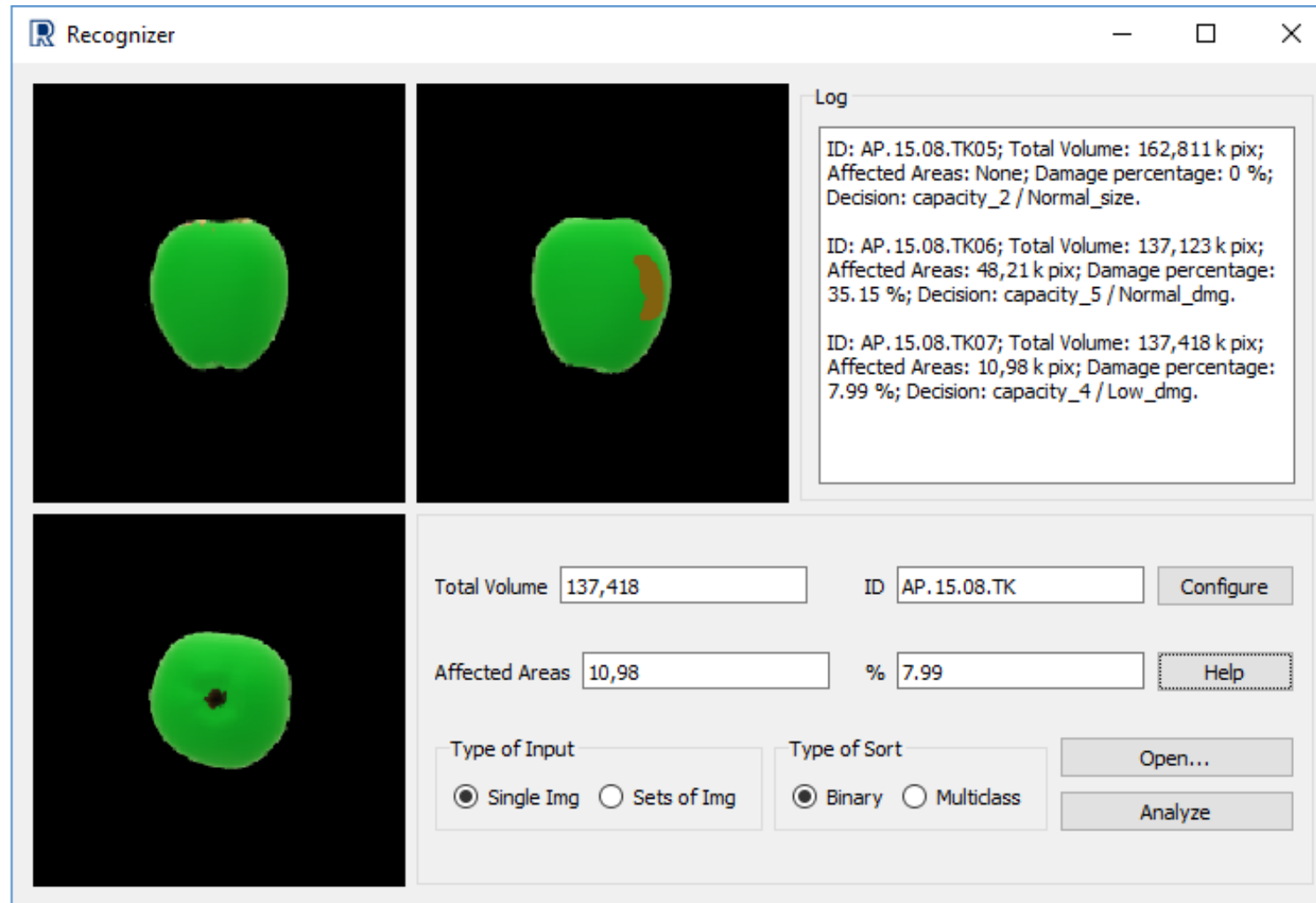
GUI програмного забезпечення

ІК-72.19 4112.06 ДП

Аркушів 1

2018

Graphical User Interface Програмного Забезпечення



Демонстраційний плакат № 2
до магістерської дисертації на тему
«Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства»

Розробив: Петренко А.І.
Прийняв: Поліщук М. М.

ДОДАТОК Е

Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства

Публікації результатів

ІК-72.19 4112.07 ДП

Аркушів 1

2018

Публікація результатів



for vast profits is, well, vast, but the trick is landing equipment and, presumably, people to operate it, on an asteroid that's moving at the speed of thousand miles per hour. A few years have yet to pass before we have space minerals in our computers. The early astronauts were unable to get life insurance, perhaps understandably, for such a risky venture. So to ensure their families would be taken care of if they failed to return, they would autograph pictures of themselves, which could then be auctioned off if needed. Luckily for heroes such as Neil Armstrong, they never were.

LITERATURE

1. www.wikipedia.org
2. <https://www.tinngly.com/journal/10-amazing-facts-about-space-exploration/>

Антон Ігоревич ПЕТРЕНКО
магістр (сп. ІК-72м)

факультету інформатики та обчислювальної техніки,
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

RESOURCE-EFFICIENT MANUFACTURE IN CONDITIONS UNCERTAINTY DIMENSIONAL PARAMETERS OF MINERALS РЕСУРСОЕФЕКТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РОЗМІРНИХ ПАРАМЕТРІВ МІНЕРАЛІВ

Today, the exponential growth of global population and the historical practice of inefficient exploitation of wealth, leads to the extreme exacerbation of the problem of effectively meeting the unlimited needs of mankind in conditions of limited available resources of the planet. The achievement of the common good requires to transition to other, essentially different principles of management, according to idea of civilization sustainable development. One of the main principles is resource-efficient production. It allows significantly reducing amount of waste and increasing degree of use raw materials.

The largest consumers of natural resources are energy, instrumentation and machine, food and light industry, and jewelry industry. This work is directed at the last type of industry and aims to minimize waste semiprecious and jewel raw materials in production.

ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЇ УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ

СЕКЦІЯ 1.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА УПРАВЛІННЯ

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС СОРТУВАННЯ ТОВАРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Петренко Антон Ігоревич

*Кафедра технічної кібернетики
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
Україна, Київ*

Динаміка розвитку людської спільноти, протягом останніх сторіч, демонструє виражену тенденцію, експоненційного характеру, щодо зростання кількості населення Земної кулі. Враховуючи історично сформовану практику нерационального природокористування, а також обмежені наявні ресурси планети, гостро постає ряд питань, пов'язаних, в першу чергу, з збереженням та відновленням сприятливої екологічної ситуації, запровадження нових перспективних трендів енергетичного розвитку, розв'язання геополітичних конфліктів, виробленням ефективного глобальної соціально-економічної моделі розвитку, вирішенням продовольчої проблеми та ряду інших.

Питання забезпечення населення Земної кулі якісною їжею, на нашу думку, є одним з основоположних, у розрізі сталого розвитку людської нації. Це досить складна комплексна проблема, що включає в себе певні етапи: попередню обробку та культивування земельних угідь, вирощення та збір продуктів харчування, їх сортування та обробка, розповсюдження тощо. Кожен з цих етапів може бути оптимізований за різними критеріями, проте нашу увагу привертає саме процес сортування продуктів, як один з дуже важливих і трудомістких, при значному ступені монотонності роботи працівника. Кількість досліджень

Доповіді конференції українською мовою 117

Секція 1. Інформатика, обчислювальна техніка та управління 117

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС СОРТУВАННЯ
ТОВАРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 117
Петренко Антон Ігоревич

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЛІНГВІСТИКИ



ПРОГРАМА

II Всеукраїнської студентської
науково-практичної конференції
з міжнародною участю

**«Наука XXI століття:
виклики, пріоритети, перспективи
досліджень»**

22 березня 2018 р.

м. Київ

80	ПАТАЛАХА Ярослав Сергійович	INFORMATIONSSICHERHEIT IN OFFENEN NETZEN	Лисонченко О.І.	Четурна З.В.	196
81	ПЕКАРЧУК Михайло Сергійович	INTRODUCTION TO CONTAINERS WORLD	Поліщук Л.Г.	Мойсєвич С.М.	198
82	ПЕРЕБИЙНІС Андрій Леонідович, ТОЛКАЧОВ Денис Віталійович	ANALYSIS OF MOBILE TERMINAL OPERATING SYSTEM (ANDROID, IOS) PROTECTION	Застєго Г.І.	Житко С.А.	200
83	ПЕРІМОВ Роберт Романович	PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT OF SPACE TECHNOLOGIES	Чікова Н.В.	Чікова Н.В.	203
84	ПЕТРЕНКО Антон Ігоревич	RESOURCE-EFFICIENT MANUFACTURE IN CONDITIONS UNCERTAINTY DIMENSIONAL PARAMETERS OF MINERALS	Поліщук М. М.	Антонович І.І.	205

Демонстраційний плакат № 3
до магістерської дисертації на тему
«Система розпізнавання овочів та фруктів для сільського господарства»

Розробив: Петренко А.І.
Прийняв: Поліщук М. М.