

Хмельницький національний університет  
Факультет програмування та  
комп'ютерних і телекомунікаційних систем  
Кафедра комп'ютерної інженерії та системного програмування

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів»


ДРКІСПр. 015100. 16.13 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-19-1

Керівник доктор техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри КІСП, д.т.н., проф.  
Т.О. Говорущенко  
05 05 2021 р.

  
Підпис Суржавська Н.С.  
Ініціали, прізвище

  
Підпис Лисенко С.М.  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2021

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 03 ” 09 2019 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Суржавській Наталі Сергіївні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі  
використанням вейвлет дескрипторів

Керівник проекту (роботи) Лисенко С.М., к.т.н., доцент

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.09.2020 р. № 118

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 05.05.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз методів розпізнавання обличчя





Модель процесу розпізнавання обличчя

Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІСП		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІСП		

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2020 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником	75.09.2019	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	15.10.2019	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	12.11.2019	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	-	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.03.2020	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.06.2020	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.08.2020	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2021	виконано
9	Попередній захист ДРМ	1.03.2021	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 06.05.2021	

Студент

Підпис



Ініціали, прізвище

Суржавська Н.С.

Керівник проекту (роботи)

Підпис



Ініціали, прізвище

Лисенко С.М.

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: «Метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів».

Автор роботи: Суржавська Наталія Сергіївна

Керівник роботи: д.т.н., доцент Лисенко С.М.

Пояснювальна записка: 83 с., 39 рис., 1 табл., 4 дод., 71 джерело.

**РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ, ВЕЙВЛЕТ, ДЕСКРИПТОР, RASPBERRY PI, ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ.**

Об'єктом дослідження є процес розпізнавання обличчя із застосування вейвлет перетворень.

Предметом дослідження є модель, метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів.

Метою дипломної магістра роботи є підвищення точності розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи основні положення системного аналізу, методів аналізу даних, теорії дискретної математики, методи вейвлет перетворень, теорії комп'ютерних мереж та систем.

Наукова новизна отриманих результатів:

- удосконалено метод розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів, який на відміну від відомих застосовує комбінаційне поєднання відомих методів вейвлет-перетворення і забезпечує підвищення точності розпізнавання обличчя за наявності імпульсних шумів.

- набула подальшого розвитку система розпізнавання обличчя, яка забезпечує розпізнавання обличчя з високою точністю.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів, який базується на застосуванні одноплатної комп'ютерної системи Raspberry PI 4.

Під час виконання досліджень було опубліковано статтю на тему «Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у пунктах пропуску» в журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» № 1 за 2020 рік.

## ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ .....	8
1.1 Метод гнучкого порівняння на графах (Elastic graph matching) .....	9
1.2. Розпізнавання обличчя із застосуванням нейронних мереж.....	12
1.3 Приховані Марківські моделі .....	14
1.4. Метод головних компонент або principal component analysis (PCA).....	15
1.5 Active Appearance Models (AAM) і Active Shape Models (ASM).....	19
1.6 Active Shape Models (ASM).....	22
1.6 Основні проблеми, пов'язані з розробкою систем розпізнавання обличчя .	24
1.7 Висновки та постановка задачі .....	25
2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ .....	26
2.1 Архітектурні особливості форматів зображень .....	26
2.2 Моделювання зображень для розпізнавання обличчя .....	27
2.3 Модель процесу розпізнавання обличчя.....	41
2.4 Висновки.....	45
3 МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	46
3.1 Основи методу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.....	46
3.2 Виділення ознак розпізнавання .....	47
3.3 Алгоритм розпізнавання обличчя на зображеннях .....	54
3.4 Процес створення бази ознак об'єктів.....	54
3.5 Процес розпізнавання обличчя .....	55

3.6 Експериментальні дослідження ефективності роботи методу при вирішенні задачі розпізнавання обличчя на зображеннях .....	56
3.6.1. Дослідження впливу значення порога $\delta$ на точність розпізнавання.....	57
3.6.2. Дослідження ефективності роботи комбінації вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші при розпізнаванні обличчя в присутності шуму на зображеннях .....	61
3.6.3 Застосування методу для розпізнавання обличчя на відеозаписах .....	64
3.7 Процес розпізнавання обличчя на послідовностях відеоряду.....	64
3.8 Висновок .....	65
<b>4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ ДЕСКРИПТОРІВ .....</b>	<b>66</b>
4.1 Схема функціонування програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення .....	66
4.2 Апаратні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення .....	67
4.3 Програмні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення .....	71
4.3.1 Налаштування OpenCV 3 для реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.....	72
4.3.2 Тестування камери.....	72
4.3.3 Розпізнавання обличчя засобами спроектованого програмно-технічного засобу.....	74
4.3.4 Збір даних.....	75
4.3.5 Навчання системи розпізнавання обличчя .....	76
4.3.6 Процес розпізнавання .....	77
4.4 Висновок .....	81

ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	84
Додаток А Програмна реалізація захоплення відео-потoku, який буде сформовано камерою RPi і відображення двох кольорів в BGR та режимі сірого .....	94
Додаток Б Програмний код розпізнавання обличчя.....	95
Додаток В Програмний код завантаження датасету зображень .....	96
Додаток Г Програмний код навчання системи розпізнавання обличчя.....	98
Додаток Д Програмна реалізація розпізнавання обличчя .....	100
Додаток Е Програмна реалізація захоплення відео-потoku.....	102
Додаток Ж Презентація виступу .....	103
додаток З Публікація .....	119

## **СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ**

МГК - метод основних компонентів

ШНМ – штучні нейронні мережі

ПЗ - програмне забезпечення

МН – машинне навчання

## ВСТУП

В умовах тотального впровадження цифрових технологій, зокрема цифрового зору для вирішення задач різного спрямування питання розпізнавання обличчя – надзвичайно важливе.

Розпізнавання обличчя - це спосіб розпізнати або підтвердити особу людини за допомогою обличчя. Система розпізнавання обличчя може використовуватися для розпізнавання фотографій, відеозаписів або людей у режимі реального часу. Розпізнавання обличчя - це категорія біометричної безпеки. Інші форми біометричного програмного забезпечення включають розпізнавання голосу, розпізнавання відбитків пальців та розпізнавання сітківки або райдужки. Незважаючи на зростаючий інтерес до інших цілей, ця технологія в основному використовується для забезпечення безпеки та правоохоронних органів.

Існує багато методів розпізнавання обличчя, однак їх точність не завжди відповідає поставленим вимогам, тому розроблення нових та удосконалення відомих методів розпізнавання обличчя є актуальною задачею.

Метою дипломної магістра роботи є підвищення точності розпізнавання обличчя.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

1. Дослідити методи розпізнавання обличчя.
2. Розробити моделювання зображень для розпізнавання обличчя .
3. Розробити модель процесу розпізнавання обличчя.
4. Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення
5. Реалізувати програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет.

Об'єкт дослідження - процес розпізнавання обличчя із застосування вейвлет перетворень.

Предмет дослідження - модель, метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи основні положення системного аналізу, методів аналізу даних, теорії дискретної математики, методи вейвлет перетворень, теорії комп'ютерних мереж та систем.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. удосконалено метод розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів, який на відміну від відомих застосовує комбінаційне поєднання відомих методів вейвлет-перетворення і забезпечує підвищення точності розпізнавання обличчя за наявності імпульсних шумів.

2. набула подальшого розвитку система розпізнавання обличчя, яка забезпечує розпізнавання обличчя з високою точністю.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів, який базується на застосуванні одноплатної комп'ютерної системи Raspberry PI 4.

Під час виконання досліджень було опубліковано статтю на тему «Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у пунктах пропуску» в журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» № 1 за 2020 рік. С. 27-40.

!

## 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ

В даний час успішно розробляються галузі, пов'язані з обробкою даних та видобутком даних. Проблема розпізнавання обличчя є однією з основних практичних проблем, і її вирішення сприяє значному розвитку теорії розпізнавання зразків [1-3].

Розпізнавання обличчя використовується в різних сферах людської діяльності [4-7]. Ця тенденція з'явилася на початку 1980-х, але з розвитком 1990-х її активний розвиток розпочався зі створенням інформаційно-пошукової системи для ідентифікації.

Проблема автоматичного розпізнавання обличчя є відносно новою і досі не вирішена до кінця. За останні кілька років було запропоновано багато різних методів виявлення та розпізнавання об'єктів, таких як фільтр Габора [8, 9], метод основних компонентів (МГК, РСА) [10], нейронна мережа [11, 12], еволюційний алгоритм. Алгоритм AdaBoost, довідкова векторна машина, згорткова нейронна мережа тощо. Сьогодні сфера обробки даних успішно розвивається. Проблема розпізнавання обличчя є однією з основних практичних проблем, і її вирішення сприяє значному розвитку теорії розпізнавання малюнків. Розпізнавання обличчя використовується в різних сферах людської діяльності. Проблема автоматичного розпізнавання обличчя є відносно новою і досі не вирішена до кінця. За останні кілька років було запропоновано багато методів виявлення та ідентифікації об'єктів, таких як фільтр Габора, метод основних компонентів (РСА), нейронна мережа, еволюційний алгоритм, алгоритм AdaBoost, згорткова нейронна мережа тощо. Однак цим методам не вистачає точності, надійності та швидкості в реальних складних середовищах, і вони характеризуються наявністю шуму в зображеннях та відеопослідовностях.

Однак цим методам не вистачає точності, надійності та швидкості в реальних складних середовищах, і вони характеризуються наявністю шуму в зображеннях та відеопослідовностях. Метод вирішення проблеми розпізнавання обличчя повинен забезпечувати достатню точність розпізнавання та високошвидкісну обробку відео.

Тому необхідно вдосконалити методи та алгоритми розпізнавання обличчя у режимі реального часу на нерухомих зображеннях та відео.

Незважаючи на велику різноманітність представлених алгоритмів, можна виділити загальну структуру процесу розпізнавання обличчя, представлену на рисунку 1.1.

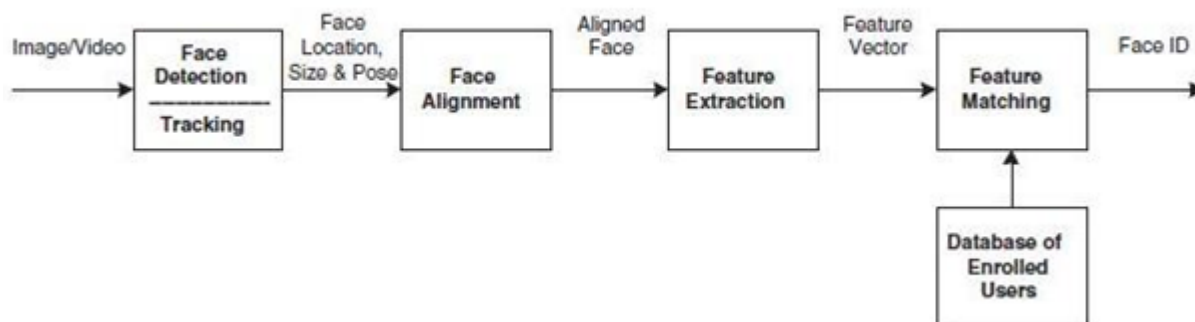


Рисунок 1.1. - Загальний процес обробки зображення обличчя [1]

На першому етапі виявлення обличчя та розташування на зображенні. На фазі розпізнавання зображення обличчя вирівнюються (геометрія та яскравість), обчислюються символи та безпосередньо розпізнаються - обчислені символи порівнюються зі стандартами в базі даних. Головною відмінністю всіх запропонованих алгоритмів є обчислення символів та встановлене порівняння між ними.

### 1.1 Метод гнучкого порівняння на графах (Elastic graph matching)

Суть цього методу зводиться до еластичного порівняння графіків, що описують зображення персонажів. Грані людини представлені у вигляді графіків із зваженими вершинами та ребрами [1]. На етапі розпізнавання одне із зображень (посилання) залишається незмінним, тоді як інше деформується, щоб найкраще відповідати першому. У такій системі розпізнавання графіка може бути як

прямокутною сіткою, так і структурою, сформованою з точки обличчя (антропометрична форма).

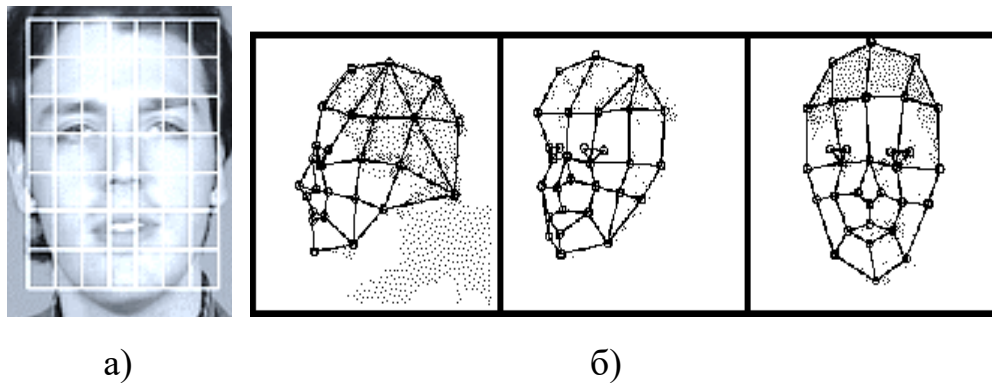


Рисунок 1.2 - Приклад структури графа для розпізнавання обличчя:

- а) представлення у формі регулярної решітки;
- б) представлення у формі графа на основі точок обличчя (антропометрична форма)

У вершинах графіка знаходиться розрахункове значення ознаки, як правило, фільтр Габора або його впорядкований набір комплексних значень-вейвлет Габора (система Габора), ці значення обчислюються в деяких локальних областях вершини графа за допомогою фільтрації Габора Детектор конвертує значення яскравості пікселів для відповідної локалізації [2-5].

Ребра графіка зважуються на відстані між сусідніми вершинами. Використовуйте певні функції деформації ціни для розрахунку різниці (відстань, дискримінаційні ознаки) між двома графіками. Ця функція враховує різницю між значеннями ознак, розрахованими у вершинах, і ступенем деформації ребра графіка.

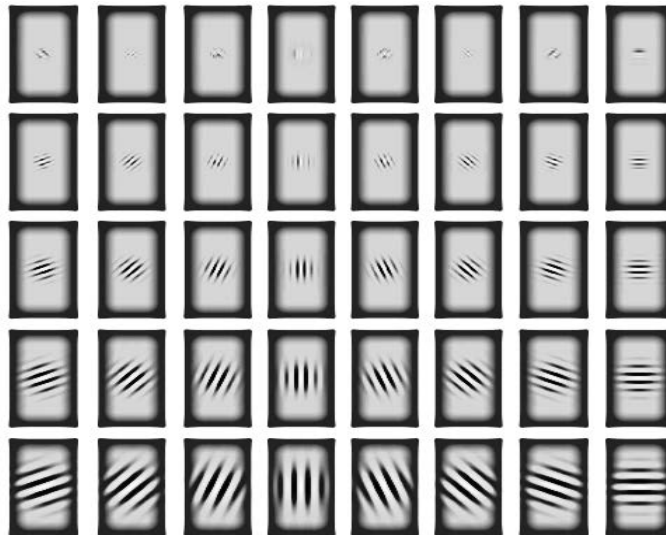


Рисунок 1.3 – Перелік на основі виявлення фільтрів Габора

Деформація графіка відбувається шляхом переміщення кожної вершини відносно її вихідного положення в певних напрямках на певну відстань і вибору різниці між значенням ознаки (відгуком фільтра Габора) у вершині деформованого графіка та відповідною вершиною еталонного графіка. Буде найменшим. Ця операція виконується по черзі над усіма вершинами графіка, поки не буде досягнута мінімальна сумарна різниця між ознаками деформованого графіка та опорного графіка. Значення функції деформації ціни, де графік деформований, буде використовуватися як міра різниці між вхідним зображенням обличчя та еталонним графіком. Цей процес "релаксаційної" деформації повинен виконуватися на всіх контрольних особах, вбудованих у базу даних системи. Результатом ідентифікації системи є стандарт з найкращим значенням функції деформації ціни.

Деякі публікації показують, що навіть за наявності різної емоційної міміки та зміни кута обличчя до 15 градусів ефективність розпізнавання все ще становить 95-97%. Однак розробники еластичної системи порівняння на графіку посиляються на високу обчислювальну вартість цього методу. Наприклад, при роботі на паралельному комп'ютері з 23 комп'ютерами потрібно приблизно 25 секунд для порівняння вхідного зображення обличчя з 87 контрольними зображеннями.

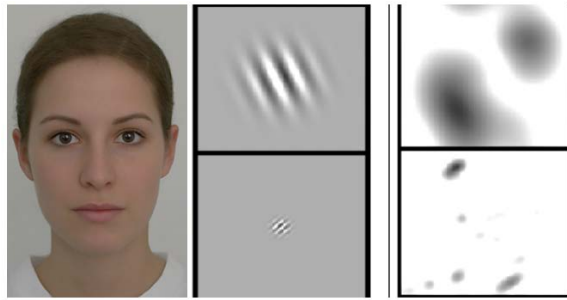


Рисунок 1.4 - Згортка зображення обличчя з двома фільтрами Габора

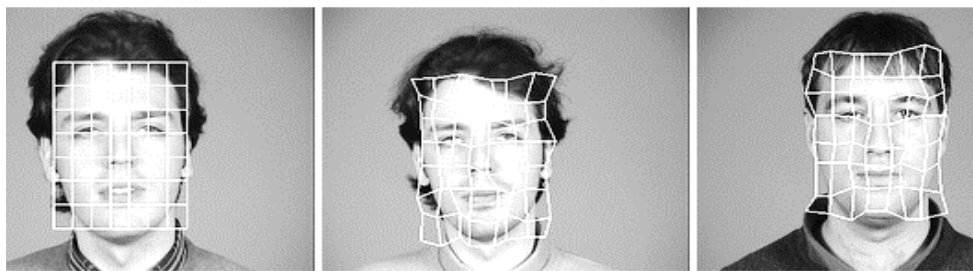


Рисунок 1.5 - Регулярна решітка з деформацією графа

Недоліки: обчислювальна складність процесу розпізнавання висока. Низька технологічність при запам'ятовуванні нових стандартів. Робочий час має лінійну залежність від розміру бази даних персоналу.

## 1.2. Розпізнавання обличчя із застосуванням нейронних мереж

В даний час існує близько дванадцяти типів нейронних мереж (НА). Одним з найбільш широко використовуваних варіантів є мережа, побудована на багат шаровому персептроні, що дозволяє класифікувати вхідне зображення / сигнал на основі попередніх налаштувань / підготовки мережі [6-13].

Серія тематичних досліджень була проведена на нейронних мережах. Суть навчання полягає в регулюванні ваги зв'язків між нейронами в процесі вирішення задачі оптимізації методом градієнтного спуску. У процесі вивчення надзвичайних ситуацій ключові ознаки автоматично видаляються, визначається їх важливість і встановлюється взаємозв'язок між ними. Передбачається, що завдяки загальним

можливостям навчені надзвичайні ситуації зможуть застосувати досвід, отриманий в процесі навчання, до невідомих зображень.

Найкращі результати в області розпізнавання обличчя (на основі аналізу публікацій) показують згорткові нейронні мережі або ущільнені нейронні мережі (далі СНА) [14-21], що є новим типом когнітивних препаратів для когнітивних прискорювачів. Причиною успіху є можливість розглянути двовимірну топологію зображення в порівнянні з багатошаровим перцептроном.

Основними особливостями СНР є місцеве рецепторне поле (забезпечує локальний двовимірний зв'язок нейронів), загальний масштаб (забезпечує виявлення певних ознак у будь-якій позиції зображення) та ієрархічна структура з просторовою вибіркою (просторовий суб-вибірки)). Завдяки цим нововведенням, СНР може частково протистояти змінам масштабу, переміщенню, обертанню, змінам кутів та іншим деформаціям.

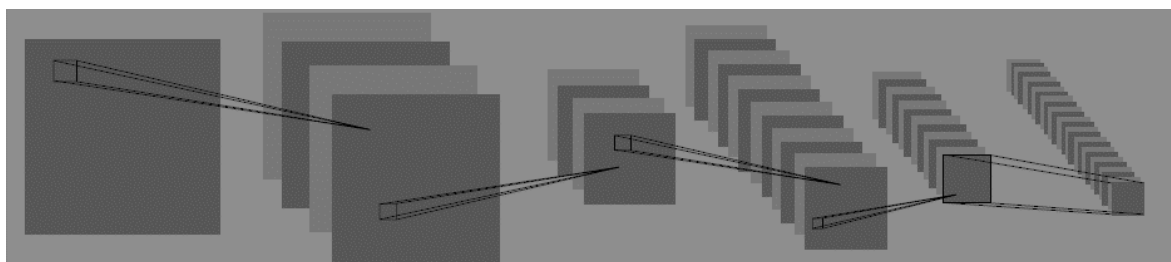


Рисунок 1.6 - Схематичне зображення архітектури згорткової нейронної мережі

Тест SNA, заснований на базі даних FACE-REC, містить 96% точності розпізнавання. База даних містить персональні зображення з невеликими змінами в освітленні, пропорціях, просторовому обертанні, положенні та різних емоціях.

SNA була розроблена DeepFace [22-25] і придбана Facebook для розпізнавання облич користувачів своїх соціальних мереж. Всі особливості архітектури закриті.

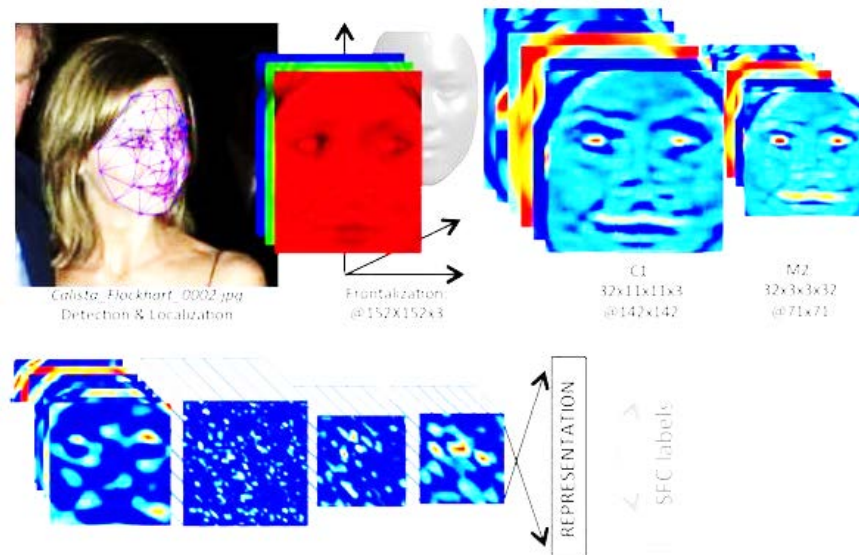


Рисунок 1.7 - Принцип роботи системи DeepFace

Недоліки нейронних мереж: додавання нової опорної поверхні до бази даних вимагає повного мережевого навчання з усіх доступних наборів (досить тривалий процес, залежно від обсягу вибірки від 1 години до декількох днів). Математичні проблеми, пов'язані з навчанням: ввести локальний оптимум, вибрати оптимальні кроки, перекваліфікуватись тощо. Важко формально визначити стадію вибору архітектури мережі (кількість нейронів, кількість шарів, характер зв'язків). Узагальнюючи все вищесказане, ми можемо зробити висновок: NA - це «чорна скринька», яка важко інтерпретувати результати.

### 1.3 Приховані Марківські моделі

Одним із статистичних методів розпізнавання обличчя є модель прихованого Маркова (SMM) з дискретним часом [26-33]. SMM використовує статистичні властивості сигналу та враховує його просторові характеристики. Елементи цієї моделі включають: набір прихованих станів, набір станів спостереження, матриця ймовірностей переходів, початкова ймовірність стану. У кожного своя марковська модель. Під час ідентифікації об'єкта перевірте модель Маркова, створену для даної бази даних об'єктів, і шукайте відповідну модель, щоб сформулювати максимальну ймовірність спостереження даної послідовності спостереження

об'єкта. Наразі жодного прикладу комерційного використання SMM для розпізнавання обличчя не знайдено.

Недоліки: параметри моделі необхідно вибирати для кожної бази даних; SMM не має роздільної здатності, тобто алгоритм навчання лише максимізує реакцію кожного зображення на свою модель, але не мінімізує реакцію на інші моделі.

#### 1.4. Метод головних компонент або principal component analysis (PCA)

Метод аналізу основних компонентів (PCA), заснований на перетворенні Карунена-Лоєва, є одним із найвідоміших і вдосконалених методів. Спочатку в статистиці використовувався метод основних компонентів, щоб зменшити простір об'єктів, не втрачаючи багато інформації. У проблемі розпізнавання обличчя він в основному використовується для представлення зображення обличчя невеликими розмірами векторів (основних компонентів), а потім порівнює його з контрольним вектором, вбудованим у базу даних [34-41]. Основною метою методу основних компонентів є значне зменшення розмірності простору об'єктів, щоб найкраще описати «типові» зображення, що належать до багатьох граней. За допомогою цього методу ви можете виявити різну мінливість у навчальних зразках зображень обличчя та описати цю мінливість на основі декількох ортогональних векторів, які називаються власними поверхнями.

Набір векторів ознак, отриманих одночасно у навчальних зразках зображень обличчя, використовується для кодування всіх інших зображень обличчя, представлених зваженою комбінацією цих векторів ознак. Використовуючи обмежену кількість векторів ознак, ви можете отримати стислу апроксимацію вхідного зображення обличчя, яке потім може зберігатися в базі даних як вектор коефіцієнта, що також є ключем до пошуку бази даних обличчя. Суть методу основних компонентів полягає в наступному. Спочатку весь набір тренувань для обличчя буде перетворений у загальну матрицю даних, де кожен рядок є рядком

екземплярів зображень обличчя. Усі грані в навчальному наборі повинні бути зменшені до однакового розміру та використана нормалізована гистограма.

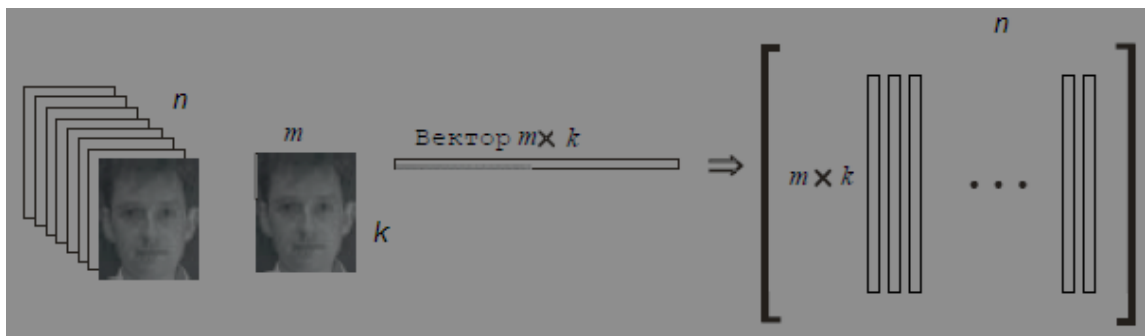


Рисунок 1.8 - Перетворення навчального набору обличчя в одну загальну матрицю  
X

Потім нормалізуйте дані та зменшіть рядки до 0-го середнього значення та першої дисперсії для обчислення матриці коваріації. Для отриманої матриці коваріації вирішена задача визначення власного значення та відповідного власного вектора (власної поверхні). Потім відсортуйте власні вектори в порядку зменшення власних значень, зазвичай зберігаються лише перші k векторів:

$$\frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} > A, \quad (1.1)$$

Де A – поріг, зазвичай (0.9 or 0.95)

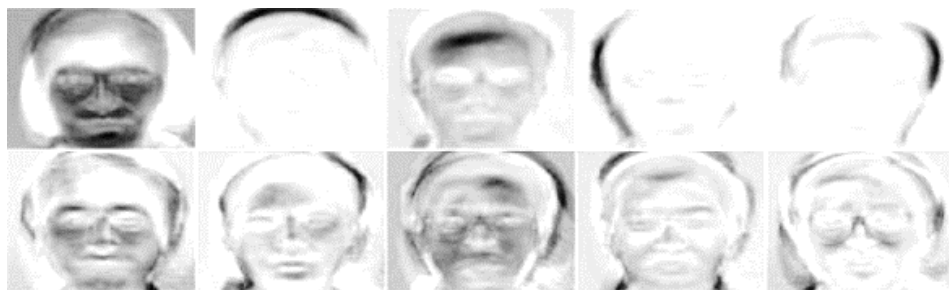


Рисунок 1.9 – Результат роботи алгоритму PCA. Приклад перших десяти власних векторів (власних обличчя), отриманих на якому навченому наборі обличчя

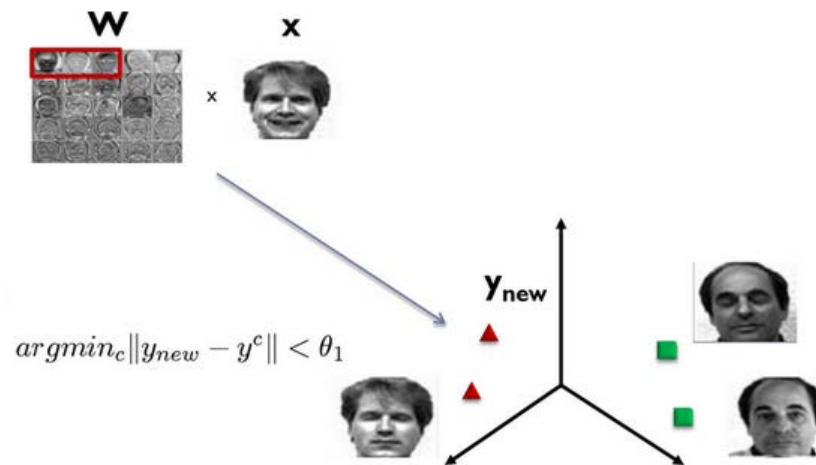


Рисунок 1.10 – Відображення обличчя в тривимірному метричному просторі, отриманому за трьома власними особами і подальше розпізнавання

Метод основних компонентів добре себе зарекомендував у практичному застосуванні. Однак у разі серйозних змін зображення обличчя у світлі або виразів обличчя ефективність цього методу значно зменшиться. Справа в тому, що PCA вибирає підпростір, щоб максимізувати набір вхідних даних замість того, щоб розрізняти категорії обличчя. У роботах [42-47] були запропоновані рішення з використанням лінійного дискримінатора Фішера (у літературі назва - "Eigen-Fisher", "Fisherface", LDA). LDA вибирає лінійний підпростір з максимальним співвідношенням 1.2 та 1.3.

$$\frac{|\Phi^T S_b \Phi|}{|\Phi^T S_w \Phi|}, \text{ де } S_b = \sum_{i=1}^m N_i (\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{x}_i - \bar{x})^T, \quad (1.2)$$

як матриця міжкласового розкиду, та

$$S_w = \sum_{i=1}^m \sum_{x \in X_i} N_i (x - \bar{x}_i)(x - \bar{x}_i)^T. \quad (1.3)$$

Внутрішньокласова матриця розсіювання;  $m$  - кількість класів у базі даних. LDA шукає проєкцію даних, в якій класи розділяються якомога лінійніше (див. Малюнок нижче). Для порівняння, PCA шукає проєкцію даних, щоб максимально розподілити всю базу даних обличчя (за винятком категорій). Згідно з результатами експериментів, проведених за умови, що зображення обличчя має потужний

резервуар для води і нижню тіль, ефективність Fisherface становить 95%, а ефективність власної поверхні 53%.

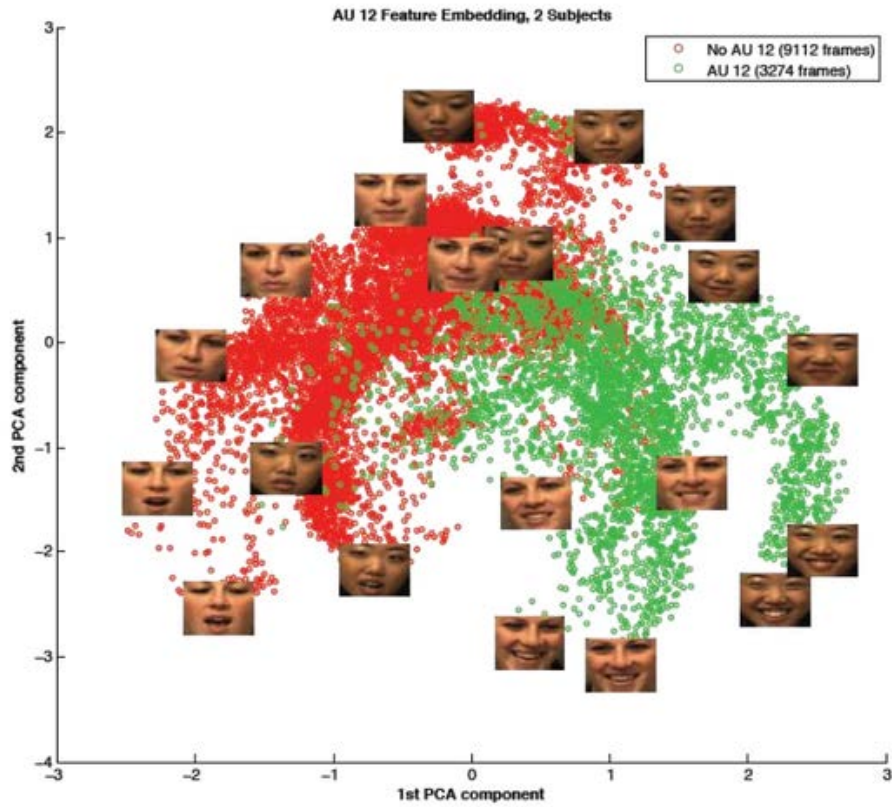


Рисунок 1.11 – Результат розпізнавання

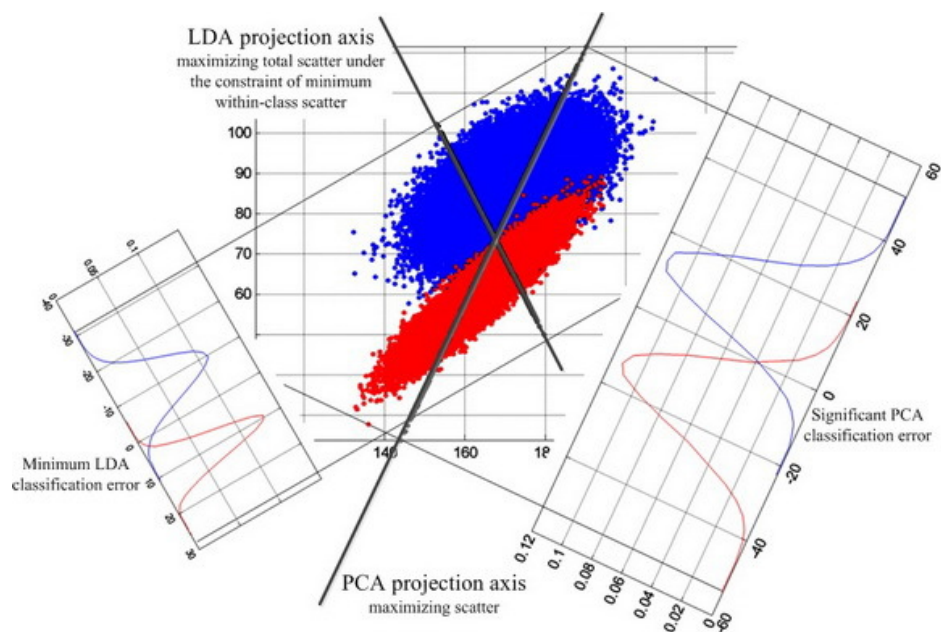


Рисунок 1.12 - Принципова відмінність формування проєкцій PCA і LDA

## 1.5 Active Appearance Models (AAM) і Active Shape Models (ASM)

Модель активного вигляду (Active Appearance Models, AAM) - це статистична модель зображення, яка може бути пристосована до реальних зображень за допомогою різних деформацій. Цей двовимірний варіант моделі був запропонований у [48-55]. Спочатку модель активної зовнішності використовувалася для оцінки параметрів зображень обличчя. Активна модель зовнішнього вигляду містить два типи параметрів: параметри, пов'язані з формою (параметри фігури) та параметри, пов'язані зі статистичними моделями пікселів зображення або текстур (параметри зовнішнього вигляду). Перед використанням модель повинна пройти навчання на різних попередньо маркованих зображеннях. Позначення зображення робиться вручну. Кожна етикетка має свій номер і визначає характерні точки, які модель повинна знайти при адаптації до нового зображення.

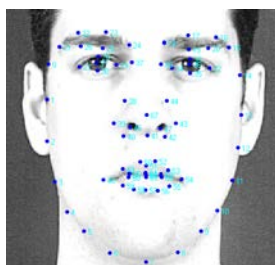


Рисунок 1.13 - Приклад розмітки зображення обличчя з 68 точок, що утворюють форму AAM

Процедура навчання AAM починається зі стандартизації форми на зображенні маркера, щоб компенсувати відмінності в масштабі, нахилі та зміщенні. Для цього використовується так званий узагальнений аналіз прокрутки.

Потім метод PCA використовується для відокремлення основних компонентів від усієї стандартизованої точки.

Далі сформуєте матрицю з пікселів усередині трикутника, утвореного точками вікна, щоб кожен стовпець містив значення пікселів відповідної текстури.

Варто зазначити, що текстура, яка використовується для тренувань, може бути одноканальною (відтінки сірого) або багатоканальною (наприклад, кольоровий простір RGB або інші). У разі багатоканальних текстур піксельні вектори формуються для кожного каналу окремо, а потім виконується їх каскад. Після знаходження основних компонентів текстурної матриці вважається, що модель ААМ пройшла навчання.



Рисунок 1.14 - Координати точок форми обличчя до і після нормалізації

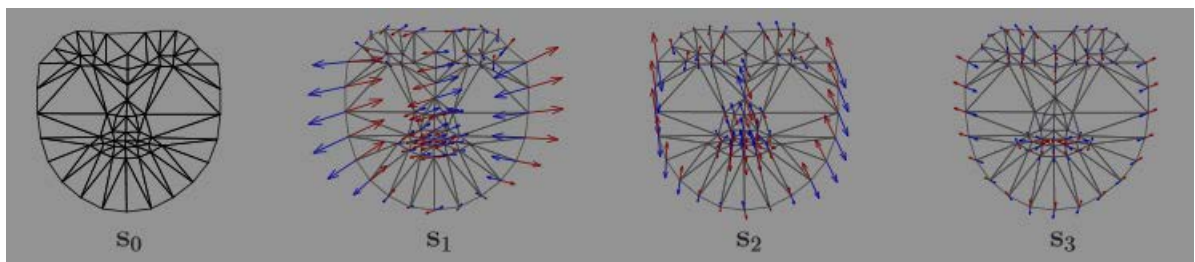


Рисунок 1.15 - Модель форми ААМ складається з триангуляційної решітки  $s_0$  і лінійної комбінації зсувів  $s_i$  щодо  $s_0$

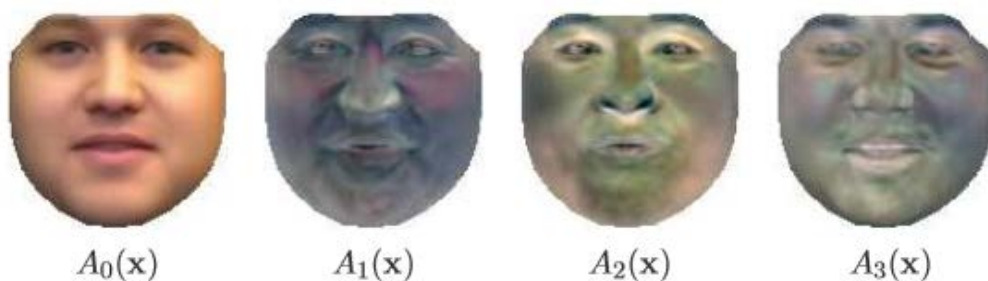


Рисунок 1.15 – Процес навчання

Модель зовнішнього вигляду ААМ включає лінійну комбінацію базового вигляду  $A_0$ , визначеного пікселями всередині основної решітки  $s_0$ , та переміщення  $A_i$  відносно  $A_0$ .

Приклад специфікації ААМ. Вектор формальних параметрів  $p = (p_1, p_2, \dots, p_m)^T = (-54, 10, -9.1, \dots)^T$  використовується для модельного синтезу форми  $s$ , а параметр  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)^T = (3559, 351, -256, \dots)^T$  для синтезу зовнішнього вигляду модель. Кінцева модель обличчя  $M(W(x; p))$  - це поєднання двох моделей форми та зовнішнього вигляду.

У процесі вирішення завдань оптимізації робота моделі під конкретним зображенням обличчя по суті полягає в мінімізації функції

$$p = (p_1, p_2, \dots, p_m)^T = (-54, 10, -9.1, \dots)^T \quad (1.4)$$

методом градієнтного спуску. Параметри моделі, знайдені в цьому випадку, будуть відображати положення моделі на конкретному зображенні.

За допомогою ААМ ви можете імітувати зображення об'єктів, які є одночасно жорсткими та нетвердими деформованими. ААМ складається з набору параметрів, деякі з яких представляють форму обличчя, а інші параметри задають його текстуру. Під деформацією зазвичай розуміють геометричне перетворення у вигляді комбінації перенесення, обертання та масштабування. При вирішенні проблеми позиціонування обличчя на зображенні, пошуку параметрів ААМ (положення, форма, текстура), ці параметри представляють найближче спостережуване складене зображення. На основі близькості відрегульованого зображення ААМ визначається, чи це є обличчя.

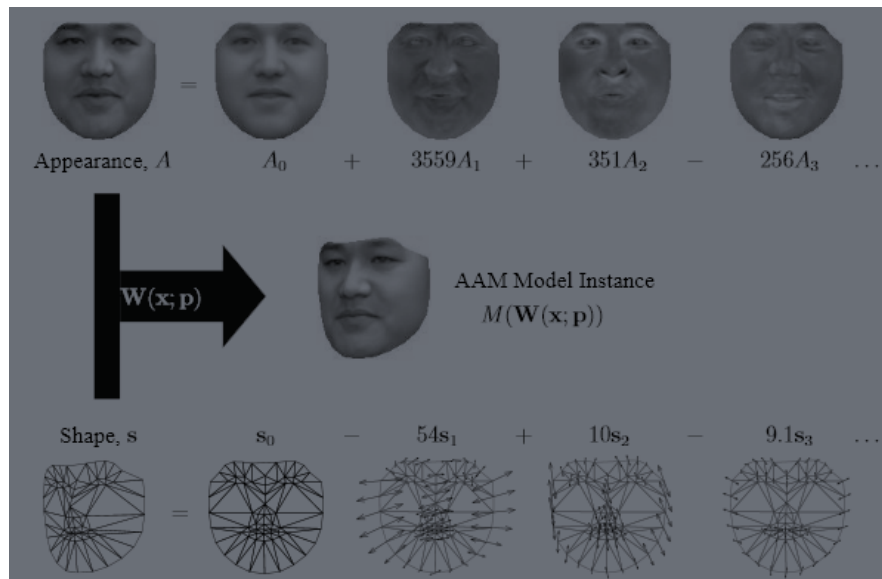


Рисунок 1.16 – Процес навчання

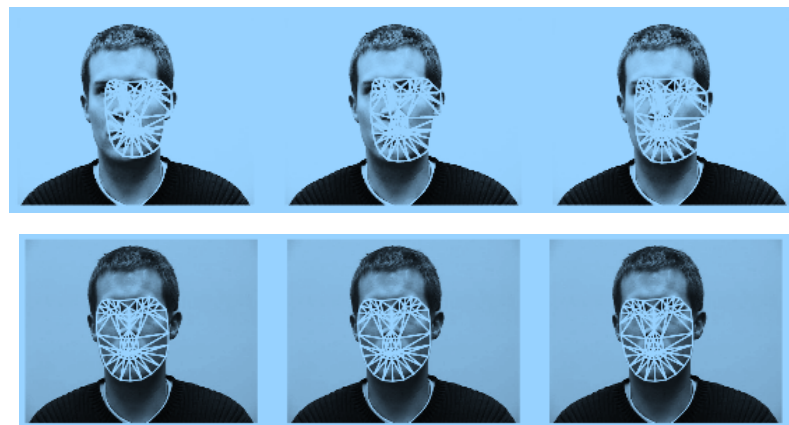


Рисунок 1.17 – Приклад підгонки моделі на конкретне зображення за 20 ітерацій процедури градієнтного спуску

### 1.6 Active Shape Models (ASM)

Суть методу ASM [56-60] полягає в розгляді статистичної залежності між положеннями точок вимірювання тіла. Серед доступних зразків зображення на весь обличчя. На знімку експерт позначив місце розташування точки вимірювання тіла. На зображенні точки нумеруються в однаковому порядку.

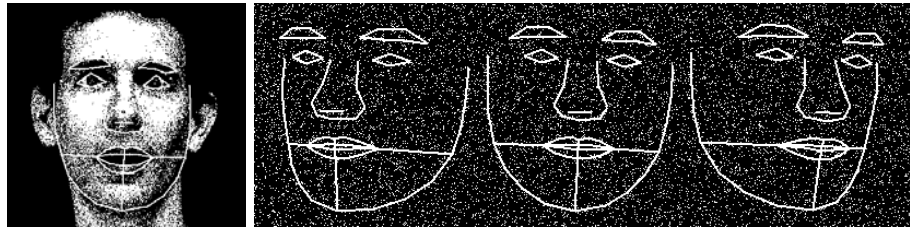


Рисунок 1.18 – Приклад подання форми обличчя з використанням 68 точок

Для того, щоб звести координати всіх зображень в єдину систему, зазвичай виконується те, що називається. Узагальнений прокрустовий аналіз призводить до того, що всі точки зменшуються до масштабу та центруються. Далі для всього набору зображень обчисліть середню форму та матрицю коваріації. На основі матриці коваріації обчисліть власні вектори, а потім відсортуйте їх у порядку зменшення власних значень. Модель ASM визначається матрицею  $\Phi$  та вектором середньої форми  $\bar{s}$ . Тоді будь-яка форма може бути описана за допомогою моделі і параметрів:

$$b_i = \Phi^T \bar{s}_i = \Phi^T (s_i - \bar{s}). \quad (1.6)$$

У процесі вирішення задачі оптимізації модель ASM позиціонується на новому зображенні, яке не включено до навчальної вибірки (рис. 1.19).

Однак основною метою AAM та ASM є не розпізнавання обличчя, а точне розташування граней та точок вимірювання тіла на зображенні для подальшої обробки. Практично у всіх алгоритмах неодмінним етапом перед класифікацією є вирівнювання, що означає вирівнювання зображення обличчя з фронтальним положенням щодо камери або зведення набору граней (наприклад, навчання класифікатора в навчальній вибірці) до однієї єдиної координати система.

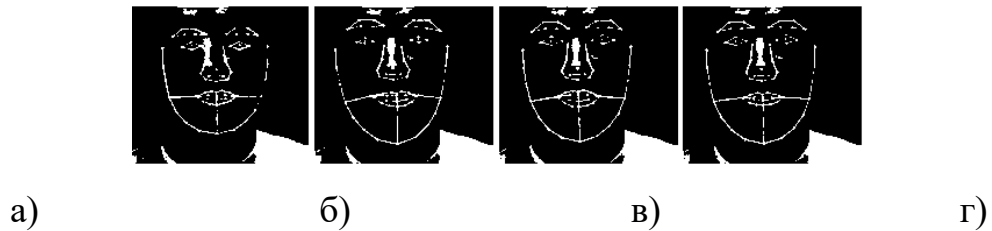


Рисунок 1.19 – Ілюстрація процесу локалізації моделі ASM на конкретному зображенні: а) початкове положення; б) після 5 ітерацій; в) після 10 ітерацій г) модель зійшлася

### 1.6 Основні проблеми, пов'язані з розробкою систем розпізнавання обличчя

Першочерговою проблемою є проблема освітленості (рис 1.20, 1.21). Для фронтальних зображень, зроблених того ж дня, прийнятна точність розпізнавання зазвичай становить 95%. Для зображень, зроблених з різним обладнанням та при різному освітленні, точність зазвичай падає до 80%. Точність розпізнавання для зображень, які мають один рік, становить близько 50%. Навіть точність на 50% перевищує допустиму точність таких систем.



Рисунок 1.20 – Проблема положення голови



Рисунок 1.21 – Проблема положення голови

## 1.7 Висновки та постановка задачі

У розділі досліджено методи розпізнавання обличчя. Результати аналізу продемонстрували, що точність такого розпізнавання є невисокою.

Таким чином, для ефективного та достовірного розпізнавання обличчя необхідним є розроблення нового методу, які бий би був заснований на поєднанні вейвлет-перетворення та методу основних компонентів. Пропонований метод повинен поєднувати кілька методів вейвлет перетворень. Також метод повинен ґрунтуватися на застосуванні методу основних компонентів, а отриманий дескриптор вейвлетів використовувався б для розпізнавання обличчя.

Для вирішення завдання необхідним є

1. Розробити моделювання зображень для розпізнавання обличчя.
2. Розробити модель процесу розпізнавання обличчя.
3. Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення
4. Реалізувати програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет.

## 2 МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ

### 2.1 Архітектурні особливості форматів зображень

Для побудови методу розпізнавання обличчя необхідним є дослідити архітектурні особливості форматів зображень, які будуть оброблятися.

Алгоритм стиснення JPEG найкраще працює на фотографіях та картинах реалістичних сцен з плавними варіаціями тону та кольору [62].

Для використання в Інтернеті, де зменшення обсягу даних, що використовується для зображення, важливо для адаптивної презентації, переваги стиснення JPEG роблять JPEG популярним. JPEG/Exif - також найпоширеніший формат, що зберігається цифровими камерами.

Однак JPEG погано підходить для штрихових малюнків та інших текстових чи знакових графічних зображень, де різкі контрасти між сусідніми пікселями можуть спричинити помітні артефакти.

Такі зображення краще зберігати у графічному форматі без втрат, наприклад TIFF [63], або PNG [64].

Стандарт JPEG включає режим кодування без втрат, але цей режим не підтримується у більшості продуктів.

Оскільки типовим використанням JPEG є метод стиснення з втратами, який зменшує точність зображення, він недоречний для точного відтворення даних візуалізації (таких як деякі наукові та медичні програми візуалізації та певні технічні роботи з обробки зображень ).

PNG підтримує зображення на основі палітри (з палітрами 24-бітових кольорів RGB або 32-бітових RGBA ), зображення у градаціях сірого (із альфа-каналом або без нього для прозорості), а також повнокольорові зображення RGB або RGBA на основі палітри.

Робоча група PNG розробила формат для передачі зображень в Інтернеті, а не для друку професійної графіки; тому кольорові простори, що не мають RGB, такі як CMYK , не підтримуються.

Файл PNG містить одне зображення в розширюваній структурі фрагментів, кодуючи основні пікселі та іншу інформацію, таку як текстові коментарі та перевірка цілісності, задокументовані в RFC 2083.

TIFF - це гнучкий, адаптований формат файлу для обробки зображень та даних у межах одного файлу, включаючи теги заголовка (розмір, визначення, розташування даних зображення, застосоване стиснення зображення), що визначає геометрію зображення. Наприклад, файлом TIFF може бути контейнер, що містить JPEG (з втратами) та PackBits (без втрат) стиснені зображення. Файл TIFF також може містити відсічний контур на основі вектора (контури, обрізки, рамки зображень). Можливість зберігати дані зображень без втратформат робить файл TIFF корисним архівом зображень, оскільки, на відміну від стандартних файлів JPEG, файл TIFF із використанням стиснення без втрат (або жодного) може бути відредагований та повторно збережений без втрати якості зображення. Це не так, коли TIFF використовується як контейнер, що містить стислий JPEG. Інші параметри TIFF - це шари та сторінки.

TIFF пропонує можливість використовувати стиснення LZW, техніку стиснення даних без втрат для зменшення розміру файлу. Використання цього варіанту було обмежене патентами на техніку LZW до закінчення терміну їх дії у 2004 році.

## 2.2 Моделювання зображень для розпізнавання обличчя

З метою організації для розпізнавання обличчя побудуємо модель зображень, які необхідно підготувати як вхідні дані для системи розпізнавання обличчя.

Відповідна модель ґрунтуватиметься на структурних особливостях кожного формату зображення, що опрацьовуватимуться в подальшому.

Представимо типи зображень, що будуть оброблюватися як множину  $F$ ,  $F = \{I_i\}_1^{N_c}$ .

В роботі пропонується взяти за основу такі формати зображень, як PNG, JPG та TIFF.

PNG - це формат файлу растрових зображень, що підтримує стиснення даних без втрат. PNG був розроблений як вдосконалена непатентована альтернатива формату графічного обміну (GIF).

PNG підтримує зображення на основі палітри (із 24-бітовими RGB або 32-бітними RGBA-палітрами, зображення у відтінках сірого (із альфа-каналом або без нього для збільшення прозорості), а також повнокольорові зображення на палітрі на основі RGB або RGBA.

До ключових пікселів та іншого інформація, закодована у формі розширюваної структури сегмента коду, наприклад текстові анотації та перевірка цілісності, записані в RFC 2083.

Представимо модель зображення типу PNG кортежем параметрів:

$$I_{png} = \langle H_{png}, F_{png}, F_{png}^{cr}, P_{png}, F_{interp}^{cr}(I), F_{png}^{add}, T_{png}, L_{png} \rangle \quad (2.1)$$

де  $H_{png}$  – хедер файлу зображення,  $H_{png} = \{h_j\}_1^{N_h}$ ,  $N_h$  – загальна кількість параметрів хедер файлу зображення;

$F_{png}$  – множина фрагментів файлу зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $F_{png} = \{f_j\}_1^{N_f}$ ,  $N_f$  – загальна кількість фрагментів файлу зображення;

$F_{png}^{cr}$  – множина критичних фрагментів файлу зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $F_{png}^{cr} = \{f_m^{cr}\}_1^{N_f}$ ,  $N_f$  – загальна кількість критичних фрагментів файлу зображення;

$F_{png}^{add}$  – множина допоміжних фрагментів файлу зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $F_{png}^{add} = \{f_m^{add}\}_1^{N_f}$ ,  $N_f$  – загальна кількість допоміжних фрагментів файлу зображення;

$P_{png}$  – множина параметрів пікселя зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $P_{png} = \{p_n\}_1^{N_p}$ ,  $N_p$  – загальна кількість параметрів пікселя зображення;

$p_1$  – індекси зразкових даних на палітрі, де палітра - це окрема таблиця, що міститься у фрагменті PLTE;

$p_2$  – глибина кольору, яка використовується для позначення загальної кількості бітів у кожному пікселі, і де дозволені глибини бітів підсумовані в таблиці разом із загальною кількістю бітів, що використовуються для кожного пікселя;

$p_3$  – глибина бітів - дозволені формати, що кодують кожне число як ціле число без підпису, використовуючи фіксовану кількість бітів, яку в специфікації PNG називають;

$p_3 = \{p_g, p_{rgb}, p_{ind}, p_{sc}, p_{alp}\}$ , де:

$p_g$  – відтінки сірого;

$p_{rgb}$  – червоний, зелений та синій: rgb / truecolor;

$p_{ind}$  –: канал, що індексується і містить індекси в палітрі кольорів;

$p_{sc}$  – шкала сірого та альфа: рівень непрозорості для кожного пікселя;

$p_{alp}$  – червоний, зелений, синій та альфа

$h_1$  – параметр, який має встановлений високий біт для виявлення систем передачі, які не підтримують 8-бітові дані, і для зменшення ймовірності помилкового тлумачення текстового файлу як PNG або навпаки;

$h_2$  – ASCII літери PNG, що дозволяє ідентифікувати формат, якщо він переглядається в текстовому редакторі;

$h_3$  – параметр, який CRLF, призначений для виявлення DOS та Unix кінця рядка перетворення даних;

$h_4$  – параметр, який є байтом, що закінчує відображення файлу;

$h_5$  – ознака закінчення рядка в стилі Unix (LF) для виявлення перетворення закінчення рядка Unix;

$f_1$  – довжина (4 байти, big-endian), тип / ім'я фрагменту;

$f_2$  - дані фрагменту (байти довжини);

$f_3$  – CRC файлу;

$f_4$  - тип фрагменту FourCC, які отримують назву файлу в ASCII з урахуванням регістру з чотирьох літер;

$f_5$  - реєстр різних букв в назві (біт 5 числового значення символу) - це бітове поле, яке надає декодеру деяку інформацію про природу фрагментів, які він не розпізнає;

$f_6$  - реєстр першої літери вказує, чи є фрагмент критичним чи ні. Якщо перша буква має велику літеру, Фрагмент є критичним; якщо ні, то Фрагмент є допоміжним. Критичні фрагменти містять інформацію, необхідну для читання файлу. Якщо декодер зустрічає критичний фрагмент, який він не розпізнає, він повинен перервати читання файлу або надати користувачеві відповідне попередження.

$f_7$  - ознака того, що фрагмент "загальнодоступним" (або в специфікації, або в реєстрі спеціальних публічних шматків) або "приватним" (не стандартизований). Великі реєстри є загальнодоступними, а малі - приватними. Це гарантує, що публічні та приватні імена фрагментів ніколи не можуть конфліктувати між собою (хоча два приватних імена фрагментів можуть конфліктувати).

$f_8$  - ознака того, що третя буква повинна бути великою, щоб відповідати специфікації PNG. Він зарезервовані для подальшого розширення. Дешифратори повинні обробляти фрагмент з малої третьої літери так само, як і будь-який інший нерозпізнаний фрагмент.

$f_1^{cr}$  - параметр IHDR, який є бути першим фрагментом,  $f_1^{cr} = \{f_w, f_h, f_c, f_{comp}, f_q, f_{filt}\}$ , де:

$f_w$  - параметр, який містить (у такому порядку) ширину зображення (4 байти);

$f_h$  - параметр, який містить бітову глибину (1 байт, значення 1, 2, 4, 8 або 16);

$f_c$  - параметр, який містить кольоровий тип (1 байт, значення 0, 2, 3, 4 або 6);

$f_{comp}$  - параметр, який містить метод стиснення (1 байт, значення 0);

$f_{filt}$  - параметр, який містить метод фільтрації (1 байт, значення 0);

$f_q$  - параметр, який містить інформацію про метод чергування,  $f_q = \{0,1\}$ ,

де перший байт, значення 0 означає використання методу чергування «без переплетення», а 1 - використання методу чергування «переплетіння», загалом 13 байтів даних).

$f_2^{cr}$  – параметр PLTE містить палітру : список кольорів.

$f_3^{cr}$  – IDAT містить зображення, яке може бути розділене на кілька фрагментів IDAT. Таке розбиття трохи збільшує розмір файлу, але дає можливість генерувати PNG в потоковому режимі. Частина IDAT містить фактичні дані зображення, які є вихідним потоком алгоритму стиснення.

$f_4^{cr}$  – IEND позначає кінець зображення; поле даних послідовності IEND має 0 байт / порожнє.

$f_5^{cr}$  – PLTE Фрагмент має важливе значення для колірною типу 3 (індексовані кольори). Він не є обов'язковим для типів кольорів 2 і 6 (truecolor та truecolor з альфою), і він не повинен відображатися для кольорів 0 і 4 (відтінки сірого та відтінки сірого з альфою).

$F_{interp}^{cr}(I)$  – функція, що здійснює декодування, результатом якого здійснюється інтерпретування критичних фрагментів для читання та подальшого рендерингу файлу PNG;

$f_1^{add}$  – параметр bKGD, який надає колір фону за замовчуванням, який призначений для використання, коли немає кращого вибору, наприклад, в автономних програмах перегляду зображень;

$f_2^{add}$  – параметр sHRM дає координати кольоровості первинних кольорів дисплея та білої точки;

$f_3^{add}$  – параметр dSIG призначений для зберігання цифрових підписів;

$f_4^{add}$  – параметр eXIf зберігає метадані Exif;

$f_5^{add}$  – параметр gAMA визначає гамму, у якому фрагмент gAMA містить лише 4 байти, і його значення представляє значення гами зображення, помножене на 100000;

$f_6^{add}$  – параметр hIST, який може зберігати гістограму або загальну кількість кожного кольору на зображенні;

$f_7^{add}$  – параметр iCCP, який є кольоровим профілем ICC ;

$f_8^{add}$  – параметр iTXt, який містить ключове слово та текст UTF-8, із кодуваннями для можливого стиснення та перекладами, позначеними мовним тегом;

$f_9^{add}$  – параметр pHYs, який зберігає передбачуваний розмір пікселів (або співвідношення сторін пікселів); pHYs містить "Пікселі на одиницю, вісь X" (4 байти), "Пікселі на одиницю, вісь Y" (4 байти) та "Специфікатор одиниці" (1 байт) загалом 9 байт;

$f_{10}^{add}$  – параметр sBIT (значущі біти) вказує точність кольору вихідних даних; цей Фрагмент містить загалом від 1 до 13 байт.

$f_{11}^{add}$  – параметр sPLT, який вказує на палітру для використання, якщо весь спектр кольорів недоступний;

$f_{12}^{add}$  – параметр sRGB вказує на те, що використовується стандартний колірний простір sRGB ;

$f_{12}^{add} = \{0,1,2,3\}$  – аргумент sRGB містить лише 1 байт, який використовується для "наміру рендеринга" (4 значення - 0, 1, 2 і 3 - визначені для наміру рендеринга);

$f_{13}^{add}$  – параметр sTER, який визначає фрагмент індикатора щодо стереозображення та для стереоскопічних зображень;

$f_{14}^{add}$  – параметр tEXt, який може зберігати текст, що представляється у форматі стандарту ISO/IEC 8859-1, з однією парою ключ-значення для кожного фрагмента. "Ключ" повинен містити від 1 до 79 символів. Розділювач - нульовий символ. "Значення" може бути будь-якої довжини, включаючи нуль до максимально допустимого розміру фрагмента мінус довжина ключового слова та роздільника. Ні "ключ", ні "значення" не можуть містити нульовий символ;

$f_{15}^{add}$  – параметр tIME, який зберігає час останньої зміни зображення;

$f_{16}^{add}$  – параметр tRNS, який містить інформацію про прозорість зображення. Для індексованих зображень він зберігає значення альфа-каналу для одного або декількох записів палітри. Для кольорових зображень і зображень у

градаціях сірого він зберігає значення в одному пікселі, яке слід вважати повністю прозорим;

$f_{17}^{add}$  – параметр zTX t, який містить стислий текст (і маркер методу стиснення) з тими ж обмеженнями, що і tEXt;

$f_{18}^{add}$  – ознака малої літера, яка в фрагментах вказує на те, що вони не потрібні для специфікації PNG. Мала літера в останніх шрифтах вказує на те, що їх можна безпечно копіювати, навіть якщо відповідна програма їх не розуміє;

$f_{19}^{add}$  – параметр Extensible Metadata Platform (XMP), який використовує фрагмент з ключовим словом 'XML: com.adobe.xmp';

$h_1$  – тип кольору,  $h_1 = \{h_1^{indexed}, h_2^{grey}, h_3^{alpha}, h_4^{truecolor}, h_5^{truecoloralpha}\}$ ,

де  $h_1^{indexed}$  – ознака індексованості. З індексованими кольоровими зображеннями палітра завжди зберігає трихроматичні кольори на глибині 8 біт на канал (24 біта на запис палітри). Додатково може бути включений необов'язковий список 8-бітових значень альфа для записів палітри; якщо вони не включені або якщо коротші від палітри, інші записи палітри вважаються непрозорими. Палітра не повинна мати більше записів, ніж дозволяє глибина бітового зображення, але вона може мати менше (наприклад, якщо зображення з 8-бітними пікселями використовує лише 90 кольорів, тоді йому не потрібні записи палітри для всіх 256 кольорів). Палітра повинна містити записи для всіх значень пікселів, наявних на зображенні. Стандарт дозволяє індексованому кольоровому PNG мати 1, 2, 4 або 8 біт на піксель; відтінки сірого без альфа-каналу можуть мати 1, 2, 4, 8 або 16 біт на піксель. Все інше використовує бітову глибину на канал 8 або 16. Комбінації, які це дозволяє, наведені в таблиці вище. Стандарт вимагає, щоб декодери могли читати всі підтримувані кольорові формати, але багато редакторів зображень можуть створювати лише невелику їх кількість.

$h_2^{grey}$  – ознака типу кольору в сірих відтінках у якій вказується 8-бітове значення, і використовуються лише молодші 3 біти. Поки тип кольору дійсний, його можна розглядати як бітове поле;

$h_3^{alpha}$  – ознака типу кольору в сірих відтінках з градієнтом;

$h_4^{truecolor}$  – ознака типу кольору в сірих відтінках truecolor;

$h_5^{truecoloralpha}$  – ознака типу кольору в сірих відтінках alpha;

$h_2$  – номер каналу;

$h_3$  – ознака бітності на канал,  $h_3 = \{1,2,4\}$ , де бітове значення 1 означає, що дані зображення зберігають індекси палітри. Це дійсно лише в поєднанні зі значенням біта 2; бітове значення 2 означає, що зразки зображення містять три канали даних, що кодують трихроматичні кольори, інакше зразки зображень містять один канал даних, що кодує відносну яскравість; бітове значення 4 означає, що зразки зображення також містять альфа-канал, виражений як лінійна міра непрозорості пікселя. Це є недійсним в поєднанні зі значенням біта 1.

$T_{png}$  – параметр прозорості зображення,  $T_{png} = \{t_j\}_1^{N_x}$ ,  $N_x$  – загальна кількість значень прозорості зображення;

$L_{png}$  – фільтр зображення,  $L_{png} = \{l_j\}_1^{N_v}$ ,  $N_v$  – номер фільтра зображення. Існує п'ять типів фільтрів для методу фільтрування 0; кожен тип передбачає значення кожного байта (даних зображення перед фільтруванням) на основі відповідного байта пікселя ліворуч ( A ), пікселя зверху ( B ) та пікселя зверху та ліворуч ( C ) або деяка їх комбінація і кодує різницю між передбачуваним значенням і фактичним значенням. Фільтри застосовуються до байтових значень, а не до пікселів; Значення пікселів можуть бути одним або двома байтами, або кількома значеннями на байт, але ніколи не перетинати межі байтів.

$l_1$  – відсутність фільтра;

$l_2$  – байт A (ліворуч);

$l_3$  – байт B (вгорі);

$l_4$  – середнє значення байтів A і B;

$l_5$  – A , B або C , залежно від того, що найближче до  $p = A + B - C$ .

Таблиця 2.1 - Приклад структурного наповнення зображення типу PNG

Підпис PNG	Заголовок зображення	Дані зображення	Кінець зображення
86 51 4A 47 1D 9A 2A 0A	IHDR	IDAT	IEND

Представимо модель зображення типу JPG кортежем параметрів:

$$I_{jpg} = \langle S_{jpg}, M_{jpg}, C(I), A(I), P \rangle, \quad (2.2)$$

де  $H_{jpg}$  – множина сегментів хедер файлу зображення,  $H_{jpg} = \{h_q\}_1^{N_q}$ ,  $N_q$  – загальна кількість сегментів зображення;

$M_{jpg}$  – множина маркерів, кожен з яких починається з байта 0xFF, а потім байт, що вказує, що це за маркер. Деякі маркери складаються саме з цих двох байт; за іншими слідує два байти (високий, аніж низький), що вказує на довжину даних про корисне навантаження, характерних для маркера, що слід. (Довжина включає два байти довжини, але не два байти маркера.) Деякі маркери супроводжуються кодованими ентропією даними,  $M_{jpg} = \{m_r\}_1^{N_r}$ ,  $N_r$  – загальна кількість маркерів зображення;

$m_1$  – маркер типу YESI, значення 0xFF, 0xD8, який вказує на початок оброблюваного зображення;

$m_2$  – маркер типу SOF0, значення 0xFF, 0xC0, який відображає змінний розмір зображення, а саме на початок кадру (базовий DCT), і який вказує, що це базовий JPEG на основі DCT, і вказує ширину, висоту, кількість компонентів та субдискретизацію компонентів (наприклад, 4: 2: 0);

$m_3$  – маркер типу SOF2, значення 0xFF, 0xC2, який відображає змінний розмір, а саме на початок кадру (прогресивний DCT). Вказує, що це прогресивний

JPEG на основі DCT, і вказує ширину, висоту, кількість компонентів та субдискретизацію компонентів (наприклад, 4: 2: 0);

$m_4$  – маркер типу DHT, значення 0xFF, 0xC4  
змінний розмір

Визначає одну або кілька таблиць Хаффмана.

$m_5$  – маркер типу DQT значення 0xFF, 0xDB який відображає змінний розмір зображення і визначає таблиці квантування;

$m_6$  – маркер типу DRI, значення 0xFF, 0xDD, 4 байти, який визначає інтервал перезапуску між маркерами RST n у мінімальних кодованих одиницях (MCU). Цей маркер супроводжується двома байтами, що вказують фіксований розмір, тому його можна обробляти як будь-який інший сегмент змінного розміру;

$m_7$  – маркер типу SOS значення 0xFF, 0xDA, який відображає змінний розмір, а також вказує на початок сканування зображення зверху вниз. У базових зображеннях DCT JPEG, як правило, відбувається одне сканування. Прогресивні зображення DCT JPEG, як правило, містять кілька сканувань. Цей маркер визначає, який фрагмент даних він буде містити, і відразу за ним подаються дані, кодовані ентропією.

$m_8$  – маркер типу RST значення 0xFF, 0xD n ( $n = 0..7$ ), який встановлює кожен макроблок r, де r - інтервал перезапуску, встановлений маркером DRI. Не використовується, якщо не було маркера DRI. Нижні три біти циклу коду маркера у значенні від 0 до 7;

$m_9$  – маркер типу APP n значення 0xFF, 0xE n змінний розмір, а також вказує на спеціально розроблені програми. Наприклад, файл Exif JPEG використовує маркер APP1 для зберігання метаданих, викладених у структурі, що базується на TIFF.

$m_{10}$  – маркер типу COM значення 0xFF, 0xFE змінний розмір Містить текстовий коментар.

$m_{11}$  – маркер типу EOI, значення 0xFF, 0xD9, який вказує на кінець зображення;

$m_{12}$  – маркер типу Start Of Frame, які представляють інші види кодування JPEG.

Оскільки деякі виробники можуть використовувати один і той же APP п типу маркерів, маркери конкретного додатка часто починаються зі стандартним або постачальником ім'ям (наприклад, «Exif» або «Adobe») або який - або іншої ідентифікуючої рядком.

При маркері перезапуску змінні предиктора від блоку до блоку скидаються, а бітовий потік синхронізується з межею байтів.

Маркери перезапуску забезпечують засоби для відновлення після помилки потоку бітів, наприклад, передачі через ненадійну мережу або пошкодження файлів. Оскільки прогони макроблоків між маркерами перезапуску можуть бути незалежно декодовані, ці прогони можуть декодуватися паралельно.

$l_m$  - довжина маркера, яка не включає дані, кодовані ентропією, при чому послідовні байти 0xFF використовуються як байти заповнення для заповнення ці заповнення байтів має виконуватися лише для маркерів, що безпосередньо слідує за даними сканування, кодованими ентропією;

Хоча файл JPEG можна кодувати різними способами, найчастіше це робиться за допомогою кодування JFIF. Процес кодування складається з декількох етапів:

1. Подання кольорів на зображенні перетворюється на Y' C B C R , що складається з одного світлового компонента (Y '), що представляє яскравість, і двокольорових компонентів (C B і C R), що представляють колір. Цей крок іноді пропускається.

2. Роздільна здатність даних кольоровості зменшується, як правило, в 2 чи 3 рази. Це відображає той факт, що око менш чутливе до тонких кольорових деталей, ніж до тонких деталей яскравості.

3. Зображення розбито на блоки розміром  $8 \times 8$  пікселів, і для кожного блоку кожен із даних Y, C<sub>B</sub> і C<sub>R</sub> зазнає дискретного косинусного перетворення (DCT). DCT схожий на перетворення Фур'є в тому сенсі, що він створює своєрідний просторовий спектр частот.

4. Амплітуди частотних складових квантуються. Людський зір набагато чутливіший до невеликих коливань кольору або яскравості на великих площах, ніж до сили високочастотних коливань яскравості. Отже, величини високочастотних компонентів зберігаються з меншою точністю, ніж низькочастотні компоненти. Налаштування якості кодера (наприклад, 50 або 95 за шкалою 0–100 у бібліотеці незалежної групи JPEG) впливає на те, наскільки зменшується роздільна здатність кожного частотного компонента. Якщо використовується надто низька якість, високочастотні компоненти взагалі відкидаються.

5. Отримані дані для всіх блоків  $8 \times 8$  додатково стискаються за допомогою алгоритму без втрат, варіанту кодування Хаффмана .

Процес декодування змінює ці етапи, крім квантування, оскільки він незворотний.

$P$  - колірний профіль зображення. Багато файлів JPEG вбудовують кольоровий профіль ICC ( колірний простір ).

До часто використовуваних кольорових профілів належать sRGB та Adobe RGB.

Оскільки ці кольорові простори використовують нелінійне перетворення, динамічний діапазон 8-бітового файлу JPEG становить близько 11 фокусних відстаней .

$C(I)$  – функція кодування зображення типу JPG,  $C(I) \rightarrow I_p$ :

$$I \xrightarrow{C(I)} I_p, \quad (2.3)$$

де суть кодування полягає в залученні опцій стандарту JPEG. Ось короткий опис одного з найпоширеніших методів кодування при застосуванні до входу, що має 24 біти на піксель:

1. вісім червоного;
2. вісім зеленого;
3. вісім синього).

Цей конкретний варіант - метод стиснення даних із втратами.

$A(I)$  – функція перетворення колірного простору зображення типу JPG,  
 $A(I) \rightarrow I_q$ :

$$I \xrightarrow{A(I)} I_q, \quad (2.4)$$

де зображення слід перетворити з RGB в інший кольоровий простір, який називається Y' C B C R (або, неформально, YCbCr). Він має три компоненти:

1. Y',
2. C B
3. C R,

де компонент Y' відображає яскравість пікселя;

компоненти C B і C R представляють кольоровість (розділену на синій і червоний компоненти).

Це в основному той самий кольоровий простір, що використовується цифровим кольоровим телебаченням, а також цифровим відео, включаючи відео DVD, і схоже на спосіб представлення кольору в аналоговому відео PAL та MAC (але не аналоговим NTSC, який використовує кольоровий простір YIQ).

Перетворення кольорового простору Y' C B C R забезпечує більшу компресію без суттєвого впливу на якість перцептивного зображення (або більшу якість перцептивного зображення для тієї ж компресії).

Стиснення є більш ефективним, оскільки інформація про яскравість, що є більш важливим для кінцевої якості сприйняття зображення, обмежується одним каналом. Це більш відповідає сприйняттю кольору в зоровій системі людини.

Колірна трансформація також покращує стиснення за допомогою статистичної декореляції.

Конкретне перетворення на Y' C B C R визначено стандартом JFIF, і його слід виконувати, щоб отриманий файл JPEG мав максимальну сумісність.

Однак деякі реалізації JPEG у режимі "найвищої якості" не застосовують цей крок, а натомість зберігають інформацію про колір у кольоровій моделі RGB, де зображення зберігається в окремих каналах для компонентів яскравості червоного, зеленого та синього кольорів.

Це призводить до менш ефективного стиснення і, ймовірно, не буде використано, коли розмір файлу особливо важливий.

Представимо модель зображення типу TIFF кортежем параметрів:

$$I_{tiff} = \langle N_{tiff}, S_{tiff}, C_{tiff}(I), T, I_{tiff}, F \rangle, \quad (2.5)$$

де  $N_{tiff}$  – кількість підфайлів. Зчитувачі TIFF повинні бути готові до кількох / багатосторінкових зображень (підфайлів) для кожного файлу TIFF, хоча вони не зобов'язані робити що-небудь із зображеннями після першого. У файлі TIFF може бути більше одного каталогу файлів зображень (IFD). Кожен IFD визначає підфайл. Одним із підфайлів є опис пов'язаних зображень, таких як сторінки факсимільного документа. Базовий зчитувач TIFF не вимагає зчитування будь-якого IFD після першого,  $N_{tiff} = \{n_j\}_1^{N_h}$ ,  $N_{tiff}$  – загальна кількість підфайлів у файлі зображення;

$S_{tiff}$  – кількість смужок в структурі зображення. Базове зображення TIFF складається з однієї або декількох смужок. Смужка (або смуга) - це підрозділ зображення, що складається з одного або декількох рядків. Кожна смужка може стискатися незалежно від цілого зображення, і кожна починається з межі байтів. Якщо висота зображення не рівномірно ділиться на кількість рядків у смугі, остання смуга може містити менше рядків. Якщо теги визначення смуги опущено, передбачається, що зображення містить одну смужку,  $S_{tiff} = \{s_j\}_1^{N_s}$ ,  $N_s$  – загальна кількість смужок;

$C_{tiff}(I)$  – функція стиснення зображення. Базові зчитувачі TIFF повинні обробляти такі три схеми стиснення: відсутність стиснення; МККТТ група 3 1-мірна Модифікована Хаффмана УПІ; стиснення PackBits ;

$T$  – тип зображень,  $T = \{t_1^{tiff}, h_2^{tiff}, h_3^{tiff}, h_4^{tiff}\}$ , де

- t1 - дворівневі,
- t2- відтінки сірого,
- t3 - кольорові палітри,
- t4 - повнокольорові зображення RGB;

$I_{tiff}$  - прядок байтів зображення. Кожен файл TIFF починається з двобайтового індикатора порядку байтів: "II" для little-endian, "MM" для big-endian впорядкування байтів. Наступне двобайтове слово містить номер версії формату, який завжди був 42 для кожної версії TIFF (наприклад, TIFF v5.0 і TIFF v6.0). Усі двобайтові слова, подвійні слова тощо у файлі TIFF передбачаються у вказаному порядку байтів. Специфікація TIFF 6.0 говорить, що сумісні зчитувачі TIFF повинні підтримувати обидва байтові замовлення (II і MM);

F – інші поля. Зчитувачі TIFF повинні бути готовими до зустрічі та ігнорування приватних полів, не описаних у специфікації TIFF. Зчитувачі TIFF не повинні відмовлятися читати файл TIFF, якщо необов'язкові поля не існують.

### 2.3 Модель процесу розпізнавання обличчя

З метою організації для розпізнавання обличчя побудуємо модель обробки зображень.

Відповідна модель ґрунтуватиметься на особливостях різних форматів зображень, які будуть оброблятися для розпізнавання.

В життєвому циклі процесу розпізнавання обличчя можна розділити такі фази:

- 1) отримання зображення;
- 2) збереження зображення певного формату;
- 3) обрізка зображення з фреймом обличчя;
- 4) приведення фрейму до формату розпізнавання;
- 5) вилучення ознак зображення для розпізнавання;
- 6) нормалізація та приведення даних до необхідного формату;
- 7) здійснення вейвлет перетворення

8) процес розпізнавання.

Схема процесу розпізнавання обличчя подано на рисунку 2.1.

Розглянемо модель процесу розпізнавання обличчя як послідовність операцій.

Представимо модель процесу розпізнавання обличчя за допомогою кортежу:

$$M_{fr} = \langle F, I, f_{obt}(I), f_{sav}(I_a), f_{cut}(I_b), f_{form}(I_c), f_{feat}(I_d), f_{norm}(I_e), f_v(I_f), f_r(I_g), f_{comp}(I_e) \rangle, \quad (2.6)$$

де  $F = \{I_i\}_1^{N_c}$  – множина, що містить усі зібрані для обробки зображення, де  $N_c$  – це загальна кількість зображень;

$f_{obt}(I)$  – функція одержання фрейму, який буде оброблятися для розпізнавання,  $f_{obt}(I) \rightarrow I_a$ :

$$I \xrightarrow{f_{obt}(I)} I_a; \quad (2.7)$$

$f_{sav}(I_a)$  – функція конвертації (збереження) фрейму в зображення певного типу,  $f_{sav}(I_a) \rightarrow I_b$ ;

$$I_a \xrightarrow{f_{sav}(I_a)} I_b; \quad (2.8)$$

$f_{cut}(I_b)$  – функція виконання обрізання вхідного зображення до фрейму, на якому присутнє лише обличчя  $f_{cut}(I_b) \rightarrow I_c$ ;

$$I_b \xrightarrow{f_{cut}(I_b)} I_c; \quad (2.9)$$

$f_{form}(I_c)$  – функція виконання приведення одержаного фрейму до формату зображення, яке має бути готовим до безпосередньої процедури розпізнавання обличчя,  $f_{form}(I_c) \rightarrow I_d$ ;

$$I_c \xrightarrow{f_{form}(I_c)} I_d; \quad (2.10)$$

$f_{feat}(I_d)$  – функція виконання вилучення множини ознак, властивих зображенню певного типу,  $f_{feat}(I_d) \rightarrow I_e$ ;

$$I_d \xrightarrow{f_{feat}(I_d)} I_e; \quad (2.11)$$

$f_{norm}(I_e)$  – функція виконання процедури нормалізації вхідних даних обробки та приведення їх до певного формату,  $f_{norm}(I_e) \rightarrow I_f$ ;

$$I_e \xrightarrow{f_{norm}(I_e)} I_f; \quad (2.12)$$

$f_v(I_f)$  – функція виконання процедури здійснення вейвлет перетворення із залученням певного типу,  $f_v(I_f) \rightarrow I_g$ ;

$$I_f \xrightarrow{f_v(I_f)} I_g; \quad (2.13)$$

$f_r(I_g)$  – функція виконання процесу розпізнавання обличчя,  $f_r(I_g) \rightarrow R_{res}$ , де  $R_{res}$  – результат розпізнавання.

$$I_g \xrightarrow{f_r(I_g)} R_{res}; \quad (2.14)$$

Отже, була побудована модель процесу розпізнавання обличчя. Застосування розробленої моделі ляже в основу методу процесу розпізнавання обличчя.

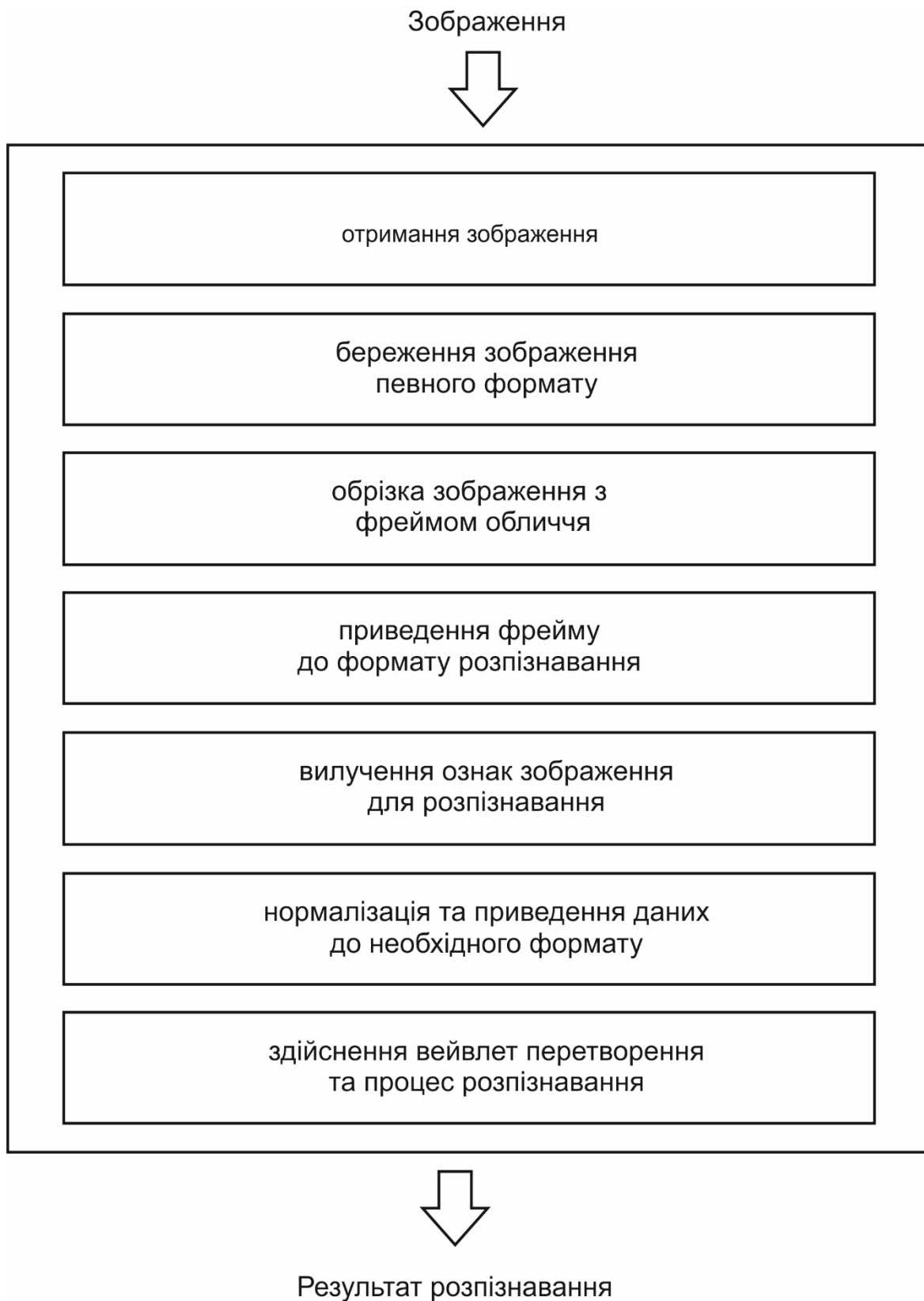


Рисунок 2.2 – Схема процесу розпізнавання обличчя

## 2.4 Висновки

В розділі представлено запропоновані моделі зображень різних форматів зображення, що беруть участь в розпізнаванні обличчя.

Розроблено модель процесу розпізнавання обличчя.

Модель враховує усі особливості побудови та обробки зображення для подальшого розпізнавання обличчя, і може стати основою для розроблення методу розпізнавання обличчя.

### **3 МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ**

#### **3.1 Основи методу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення**

Для підвищення точності та ефективності розпізнавання обличчя було запропоновано метод, який ґрунтується на застосуванні вейвлет перетворенні. З цією метою було залучено комбінаційне поєднання відомих методів вейвлет-перетворення [65, 66,67,68].

На першому етапі риси обличчя виділяються із зображення на основі поєднання вейвлет-перетворення.

Згодом, на основі застосування методу основних компонентів, отриманий дескриптор вейвлетів використовується для розпізнавання обличчя.

Чисельні експериментальні результати показують, що коли здійснюється комбіноване використання вейвлет перетворення точність розпізнавання обличчя є найвищою.

Запропонований удосконалений метод дозволяє ефективно розпізнавати обличчя на зображеннях за наявності імпульсних шумів і порівнянний з відомими аналогами з точки зору точності розпізнавання.

Для вирішення проблеми розпізнавання обличчя у відео було розроблено алгоритм, заснований на згаданому вище алгоритмі розпізнавання обличчя на зображенні та методі Віоли-Джонса.

Виявлення об'єктів, якими в дослідженні виступають обличчя, у відеопотоці базується на використанні методу Віоли-Джонса, який має високу швидкість і прийнятну точність.

### 3.2 Виділення ознак розпізнавання

У цьому дослідженні пропонується метод розрізнення об'єктних особливостей на зображеннях, заснований на перетворенні вейвлетів Ксі Жіхуа (Xie Zhihua et.), Хаара та Добеші.

Вейвлет-перетворення має характеристики серії смугових фільтрів, які виявляють частоту транспозиції та кінцеву тривалість для перехідного аналізу через адекватні шкали коефіцієнтів розкладання вейвлетів. Поняття вейвлет-перетворення було запропоновано Морлетом і Гроссманом [66.]

$$\omega_{\alpha,\beta}(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \omega\left(\frac{\lambda-\beta}{\alpha}\right), \quad \alpha > 0, \beta \in R, \quad (3.1)$$

де  $\omega_{\alpha,\beta}(\lambda)$  - зміщена та розширена форма вейвлет-функції, а  $\alpha$  і  $\beta$  позначають коефіцієнт масштабування та коефіцієнт зсуву відповідно.

Для того, щоб визначити дискретне вейвлет-перетворення, дискретизація  $\alpha$  та  $\beta$  представлена:

$$\alpha = \alpha_0^m, \quad (3.2)$$

$$\beta = n\beta_0\alpha_0^m. \quad (3.3)$$

Для зображень обличчя двовимірну роздільну функцію вейвлета можна отримати з функції масштабування  $\varphi(x)$  та функції вейвлета  $\omega(x)$ :

$$\varphi(x, y) = \varphi(x)\varphi(y), \quad (3.4)$$

$$\omega^V(x, y) = \varphi(x)\omega(y), \quad (3.5)$$

$$\omega^H(x, y) = \omega(x)\varphi(y), \quad (3.6)$$

$$\omega^D(x, y) = \omega(x)\omega(y), \quad (3.7)$$

де  $\varphi(x, y)$  відповідна функція масштабування, і  $\omega^i(x, y)\{i = H, V, D\}$  означає незалежні та просторово орієнтовані частотні детальні ознаки у трьох напрямках: вертикально, горизонтально та діагонально.

Таким чином метод передбачає поділ зображення на чотири піддіапазони і критично субдискретизується за допомогою застосування одного рівня 2-D дискретності вейвлет-перетворення.

Враховуючи зображення  $U$ , спочатку необхідним є його перетворення в двовимірне вейвлет-розкладання  $r$ -рівня. Тоді  $U$  можна представити наступним чином:

$$U(x, y) = K_0 \cdot \varphi(x, y) + \sum_{j=1}^r \sum_{\beta=H,V,D} K_j^\beta \cdot \omega_j^\beta(x, y), \quad (3.8)$$

$$K_0 \cdot \varphi(x, y) = U_0(x, y), \quad (3.9)$$

$$K_j^\beta \cdot \omega_j^\beta(x, y) = U_j^\beta(x, y), \quad (3.10)$$

де  $K_0, K_j^\beta$  - відповідні коефіцієнти вейвлет-перетворення,  $U_0, U_j^\beta$  - відповідні піддіапазони, що зазнали перетворення.

Таким чином, є можливим здійснення представлення зображення обличчя шляхом комбінації усіх піддіапазонів одного рівня. Основною проблемою реконструкції зважених піддіапазонів є призначення оптимальної ваги  $\alpha_j$  кожному піддіапазону:

$$U' = \alpha_0 U_0 = \sum_{j=1}^r \alpha_j U_j. \quad (3.11)$$

Якщо припустити, що у всіх зразках є класи “К” та навчальні зразки “Z” для кожної людини, зверніть увагу, що одним із Z-зразків є навчальний еталонний

образ обличчя. У методі першим навчальним зразком кожної людини є еталонний об'єкт, решта навчальних зразків  $Z-1$  мають змінні значення.

Прийmemo  $U_j^{s,l}$  як  $j$ -ий піддіапазон  $l$ -ї грані  $s$ -ї особи. Тоді позначимо  $M_j^{s,k,l}, R_j^{s,k,l}, K_j^{s,k,l}$  – відмінність між еталонним зображенням в наближених або детальних піддіапазонах:

$$M_j^{s,k,l} = U_0^{k,1} - U_0^{s,l}. \quad (3.12)$$

$$R_j^{s,k,l} = U_j^{k,1} - U_j^{s,l}. \quad (3.13)$$

$$K_j^{s,k,l} = M_j^{s,k,l} - R_j^{s,k,l}. \quad (3.14)$$

Розглянемо функцію зваженого критерію  $ZR$  для розпізнавання обличчя, яка [68], яка складається з диверсності зображення щодо одного обличчя ( $Rw$ ) та диверсності зображення щодо різних обличчя ( $Rb$ ):

$$ZR(\{q\}) = Rw(\{q\}) - \mu Rb(\{q\}), \quad (3.15)$$

$$Rw(\{q\}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^Z \left\| q_0 M^{k,k,l} + \sum_{j=1}^r q_j M_j^{k,k,l} \right\|^2, \quad (3.16)$$

$$Rb(\{q\}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^Z \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq k}}^K \left\| q_0 M^{s,k,l} + \sum_{j=1}^r q_j R_j^{s,k,l} \right\|^2. \quad (3.17)$$

З (3.15)-(3.17) отримуємо:

$$\begin{aligned} ZR(\{q_j\}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^Z \left[ \left\| (r+1)q_0 M^{k,k,l} - \sum_{j=1}^r w_j K_j^{k,k,l} \right\|^2 - \mu \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq k}}^K \left\| (r+1)q_0 M^{s,k,l} - \sum_{j=1}^r q_j K_j^{s,k,l} \right\|^2 \right]. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Мінімізувавши функції ZR отримуємо оптимізацію ваг  $q_j$ :

$$\sum_{j=0}^r q_j = r + 1, \quad q_j \geq 0 \quad (3.19)$$

Метод вибору ознак включає такі етапи: перетворення зображення та коригування розміру, одержання коефіцієнта вейвлету та розрахунок середнього коефіцієнта вейвлета.

Спочатку вхідне зображення перетворюється з RGB в кольоровий простір YUV.

Потім напівтонове зображення зменшується до  $64 \times 64$  пікселів.

Після цього до чорно-білих зображень застосовується першорівневе вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші, і одночасно отримуються коефіцієнти низької частоти:

$$R_{MM}(x, y), A_{MM}(x, y), B_{MM}(x, y) \quad A_{MM}(x, y) \text{ і } B_{MM}(x, y), \quad (3.20)$$

де  $x = 1, \dots, 32$ ;  $y = 1, \dots, 32$ .

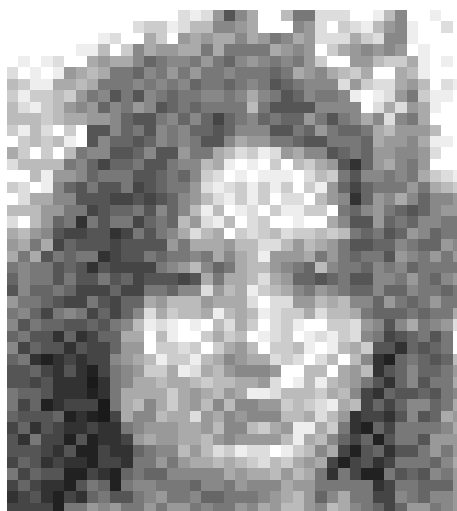
На рисунку 3.1 наведені зображення низькочастотних вейвлет-коефіцієнтів, які необхідно представляти для шляхом застосування вейвлетів Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші до півтонового зображення.



a)



б)



в)

Рисунок 3.1 – Представлення досліджуваного зображення обличчя засобами низькочастотні компоненти після застосування апарату вейвлет-перетворення:

а) вейвлет Ксі Жіхуа;

б) вейвлет Хаара;

в) вейвлет Добеші

З рисунку 3.1 видно, що середній рівень яскравості при застосуванні вейвлет-перетворення Хаара нижчий, ніж при застосуванні перетворення Добеші, але вищий, ніж вейвлет Ксі Жіхуа.

Порівняно з відповідним значенням коефіцієнта вейвлету Добеші, значення коефіцієнта вейвлета Хаара має менший розкид по амплітуді, і більший для вейвлет Ксі Жіхуа.

Для того, щоб реалізувати складне вейвлет-перетворення, рекомендується розрахувати середні арифметичні коефіцієнти вейвлетів Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші за такою формулою:

$$C_{fig}(x, y) = \frac{R_{MM}(x, y) + A_{MM}(x, y) + B_{MM}(x, y)}{3}$$

де  $x=1, \dots, 32; y=1, \dots, 32.$  (3.21)

Характеристика перетворення Хаара полягає в тому, що воно є незалежним і легким для обчислення.

У процесі виконання переходів між ітераціями відбувається перекриття.

Можна припустити, що через накладене використання вейвлетів Ксі Жіхуа та Добеші можна взяти до уваги деталі досліджуваного зображення обличчя, які пропускають вейвлети Хаара.

На рисунку 3.2 показана загальна схема алгоритму, що використовується для вибору ознак.

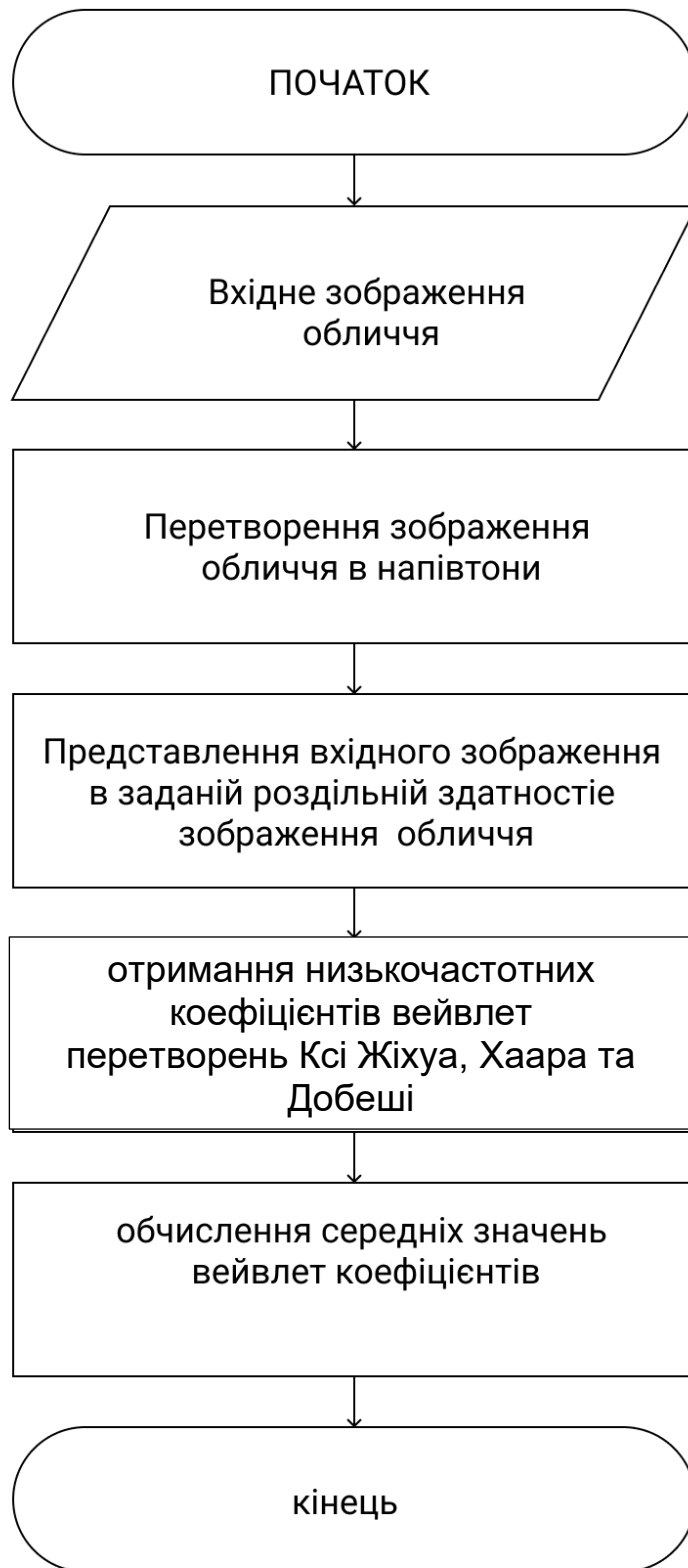


Рисунок 3.2. Блок-схема алгоритму виділення ознак зображення для подальшого розпізнавання

### 3.3 Алгоритм розпізнавання обличчя на зображеннях

Для вирішення проблеми розпізнавання обличчя на статичних зображеннях пропонується спільний алгоритм застосування, заснований на методі вибору об'єктних ознак та методу головних компонент.

По-перше, поєднуючи вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші, запропонований алгоритм використовується для вилучення людських рис обличчя.

Потім застосовується метод основного компонента для вибору «головного знака» людини та формування на основі цього «особи» (характерного обличчя людини).

Алгоритми, що використовуються для розпізнавання обличчя на зображеннях та відео, включають створення бази даних рис обличчя множини людей.

### 3.4 Процес створення бази ознак об'єктів

На основі спільного застосування вейвлет-перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші, процес створення бази даних функцій із  $V$  зображень навчальних зразків включає такі етапи:

1) на основі комбінованого застосування вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші здійснюється вибір характеристики кожного зображення навчального об'єкта вибірки;

2) здійснюється представлення отриманих вейвлет-коефіцієнтів у вигляді сформованого вектора  $\vec{\omega}_i$ , де  $i=1, \dots, V$ ;

3) здійснюється обчислення середнього зображення за формулою:

$$\vec{\omega}_{cp} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^V \vec{\omega}_i \quad (3.22)$$

4) здійснюється обчислення різниці середнього зображення з кожного зображення:

$$\vec{\Psi}_i = \vec{\omega}_i - \vec{\omega}_{cp} \quad (3.23)$$

5) здійснюється обчислення власних об'єктів для:

$$\vec{\sigma}_i = \sum_{k=1}^V l_{ik} \Psi_k, i = 1, \dots, V, \quad (3.24)$$

де  $\vec{l}_i$  - власні вектори матриці  $W^T W$ ,  $W = \{\vec{\Psi}_1, \dots, \vec{\Psi}_V\}$ ;

6. здійснюється обчислення для кожного об'єкта відповідного йому вектора  $\vec{Y}_k^T = \{v_1, \dots, v_V\}$  в просторі власних об'єктів, де  $v_i = \vec{\sigma}_i^T (\vec{\omega}_i - \vec{\omega}_{cp})$ ,  $i = 1, \dots, V$ ;

7) здійснюється збереження отриманого вектора в базі, для подальшого використання.

### 3.5 Процес розпізнавання обличчя

Після створення бази даних функцій процес ідентифікації нових об'єктів введення здійснюється наступним чином:

1. На основі комбінованого застосування вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші здійснюється процедура вибору характеристики вхідного об'єкта зображення;

2. здійснюється представлення отриманих вейвлет-коефіцієнтів у вигляді вектора  $\vec{l}_{вх}$

3. здійснюється обчислення для вхідного об'єкта розпізнавання (обличчя) відповідного йому вектора  $\vec{Y}^T = \{v_1, \dots, v_V\}$  в просторі власних об'єктів, де  $v_i = \vec{\sigma}_i^T (\vec{\omega}_{вх} - \vec{\omega}_{cp})$ ,  $i = 1, \dots, V$ ;

4. здійснюється зіставлення вхідного об'єкта розпізнавання з кожним відомим об'єктом (обличчя) з бази ознак на основі обчислення відстані Евкліда:

$$D_k^2 = \|\vec{Y} - \vec{Y}_k\|^2 \quad (3.25)$$

5. Порівнюючи значення  $D_k$  з порогом  $\delta$ , визначається відношення належності між вхідним об'єктом та відомим об'єктом. Якщо для деякого  $k$  значення евклідової відстані  $D_k$  менше порога  $\delta$ , то зображення об'єкта належить до  $k$ -ї категорії. Інакше це буде визнано невпізнаним.

3.6 Експериментальні дослідження ефективності роботи методу при вирішенні задачі розпізнавання обличчя на зображеннях

З метою здійснення оцінки ефективності та точності запропонованого методу було проведено експериментальні дослідження при вирішенні задачі розпізнавання обличчя на зображеннях.

Розглянемо результати здійснених експериментів зі 560 зображеннями 56 осіб (по 10 зображень кожної особи).

Для проведення експериментальних досліджень було залучено базу FACE-REC [72].

У першому експерименті вивчався вплив значення порога розпізнавання  $\delta$  на точність розпізнавання.

В наступному експерименті було проведено дослідження для вивчення ефективності комбінації наступних вейвлет-перетворень:

1. Хаара;
2. Добеші;
3. Ксі Жіхуа;

при вирішенні задачі розпізнавання обличчя, зображення яких мали додаткових шум.

Ймовірність помилки першого роду (False Acceptance Rate, FAR) та ймовірність другого роду (False Reject Rate, FRR) використовується для оцінки ефективності процесу розпізнавання.

Ймовірність помилкового прийняття (FAR) - це показник ймовірності того, що система розпізнавання обличчя неправильно прийме спробу доступу неавторизованого користувача. Зазвичай FAR системи визначається як відношення кількості помилкових рішень, поділене на кількість спроб ідентифікації.

Ймовірність помилкового розпізнавання (FRR) - це показник ймовірності того, що система розпізнавання обличчя неправильно відхилить спробу доступу уповноваженого користувача. FRR, як правило, обчислюється як відношення кількості помилкових розпізнавань, поділене на кількість спроб ідентифікації.

Рівним рівнем помилок є момент часу, коли перша помилка дорівнює другій помилці.

### 3.6.1. Дослідження впливу значення порога $\delta$ на точність розпізнавання

З метою оцінки ефективності та точності цього методу проводяться експериментальні дослідження для вирішення проблеми розпізнавання обличчя на зображеннях з наступними комбінаціями здійснення перетворень, що дозволить виявити найбільш ефективне поєднання методів розпізнавання обличчя:

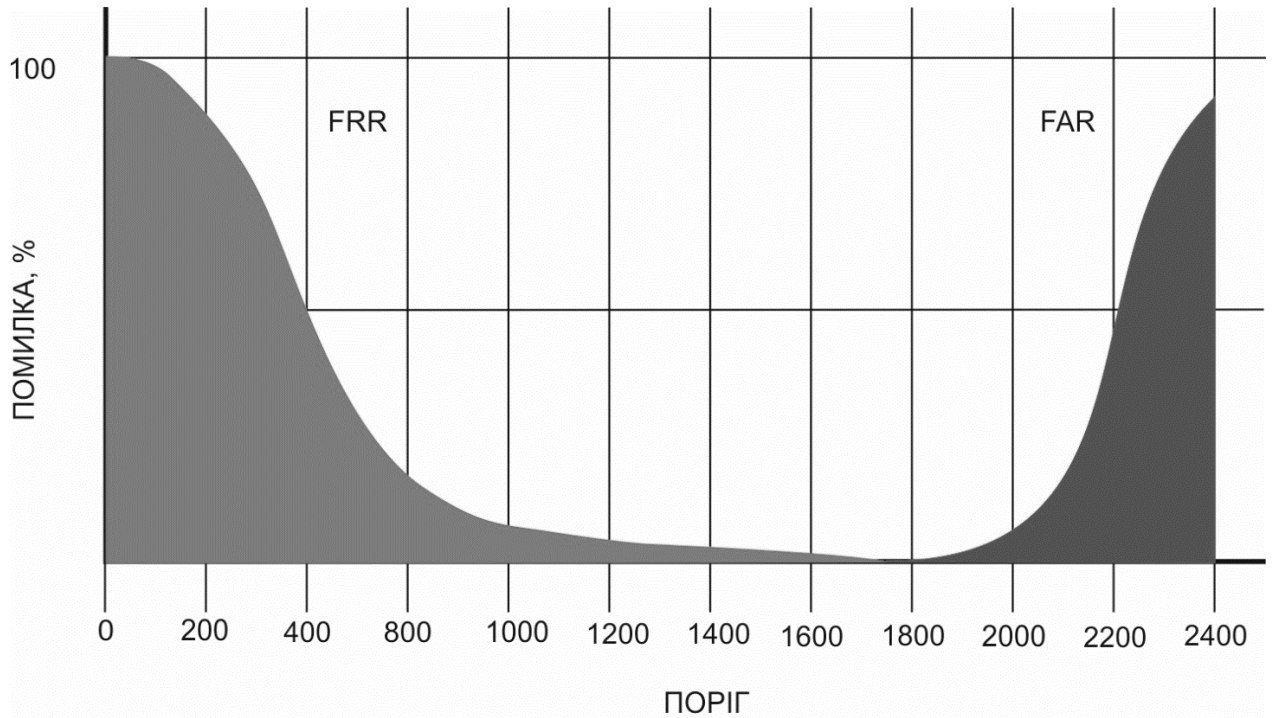
1. застосування комбінації методів вейвлет-перетворень Хаара і методу головних компонентів;
2. застосування комбінації методів вейвлет-перетворень Добеші і методу головних компонентів ;
3. застосування комбінації методів вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа методу головних компонентів.

Для навчання використовується 100 навчальних зразків, що містять 50 випадкових зображень людей (загалом 100).

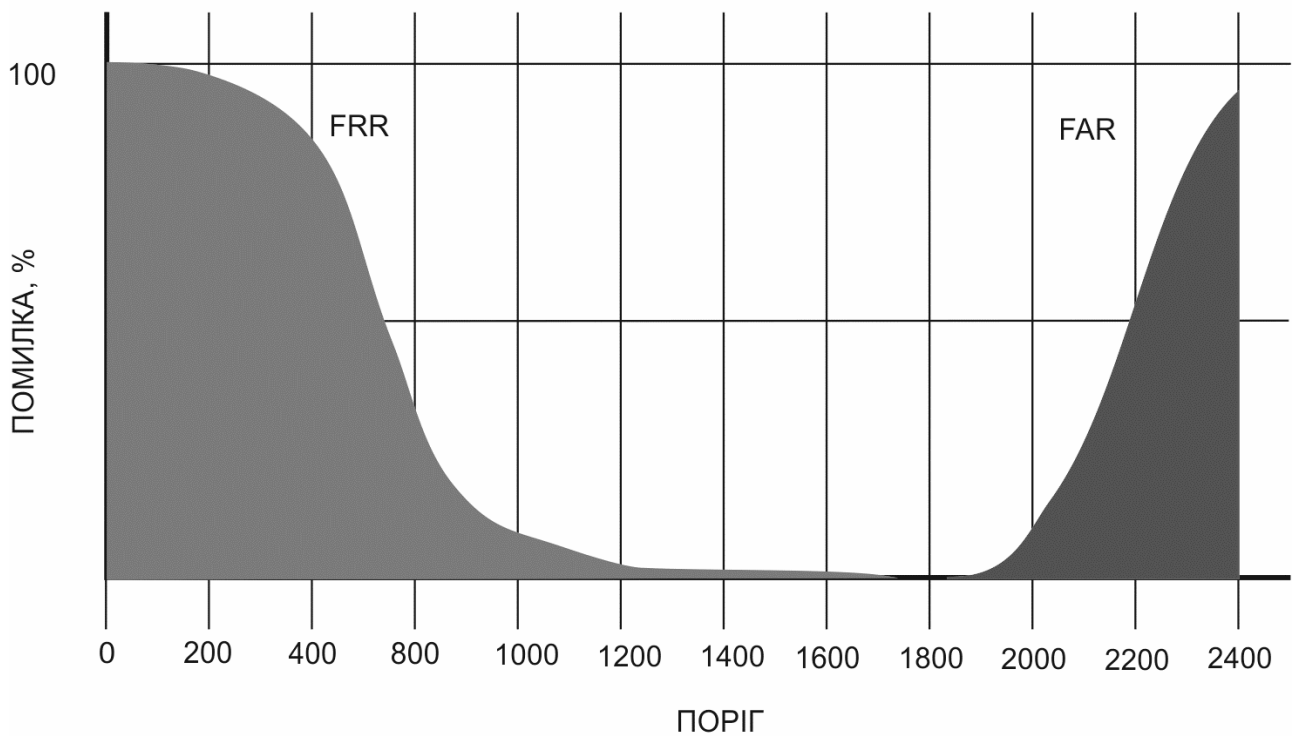
Для тестування було використано 100 тестових зразків, що містять 50 зображень решти 100 зображень з бази даних FACE-REC.

Потім до зображень тестових зразків, підготовлених з бази даних FACE-REC, для обчислення помилки першого роду було додано 560 зображень бази даних [17].

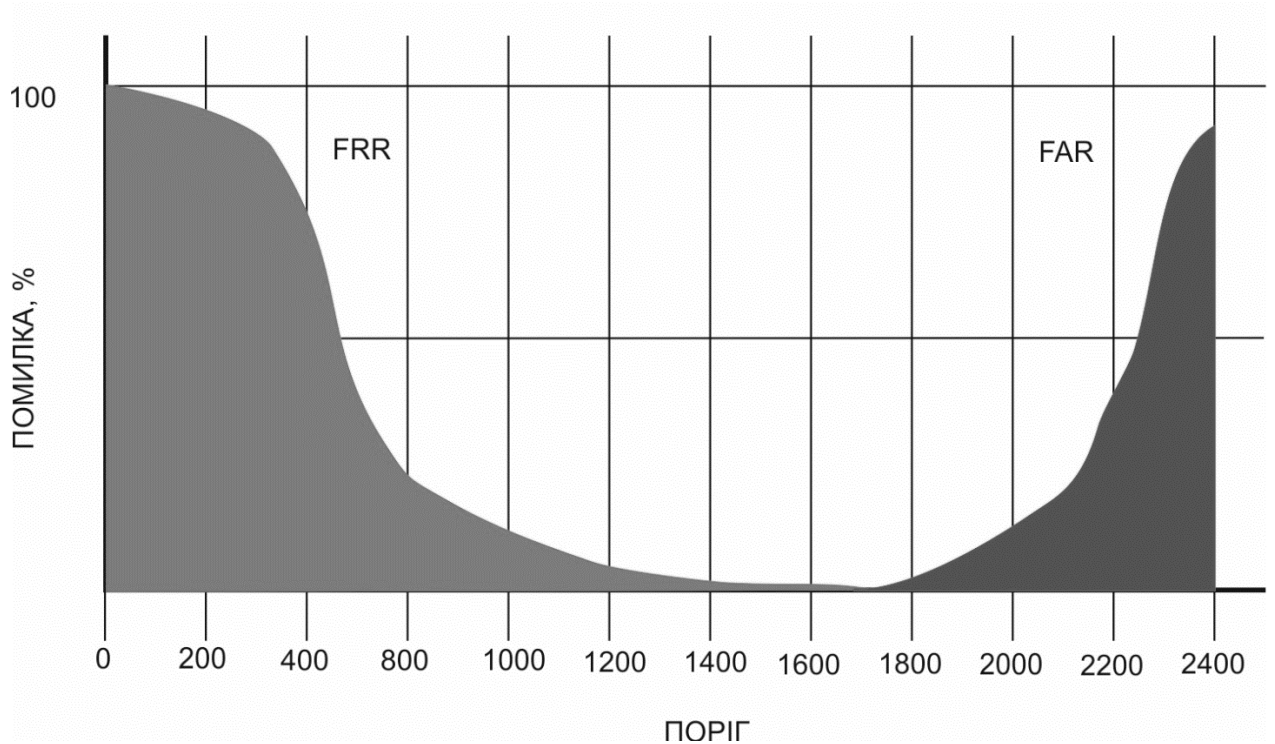
При розпізнаванні людиною залежність помилок першого та другого роду від порога  $\delta$  показана на рисунку 3.3.



a)



б)



в)

Рисунок 3.3 - Помилки першого і другого роду при різних значеннях порога розпізнавання  $\delta$

З рисунка 3.3 видно, що рівний рівень похибки кожної комбінації дослідження різних.

Поріг  $\delta$  кожної комбінації знаходиться в наступному наборі:

1. комбінація методів Хаара та методу головних компонентів становить 1400-1700;
2. комбінація методів Хаара, Ксі Жіхуа та методу головних компонентів становить 1400-1800.

Для порівняння результатів розпізнавання обличчя всіх комбінацій загальне вибране значення  $\delta$  дорівнює 1400.

На рисунку 3.4 показані результати розпізнавання обличчя за допомогою різних комбінацій вейвлет перетворень із використанням загального порогу ( $\delta = 1400$ ).

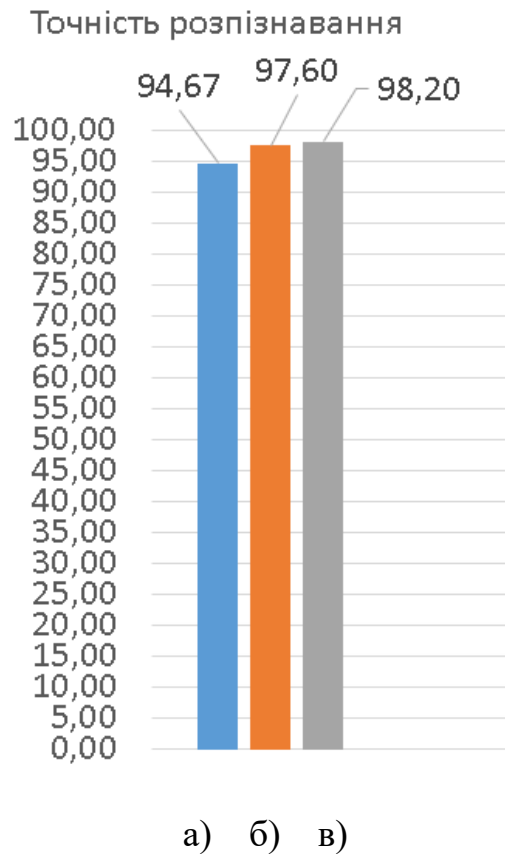


Рисунок 3.4 - Результати розпізнавання обличчя різними комбінаціями вейвлет перетворень при використанні загального значення порога розпізнавання обличчя:

- а) застосування методу Хаара;
- б) застосування методу Добеші;
- в) застосування запропонованого методу

Результати показують, що комбінуючи вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші, можна отримати найкращу точність розпізнавання обличчя, яка становить 98,2% на тестовому зображенні.

Тому в майбутньому в багатьох експериментах для комбінації вейвлет-перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші вирішено взяти поріг  $\delta$ , що дорівнює 1400.

3.6.2. Дослідження ефективності роботи комбінації вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші при розпізнаванні обличчя в присутності шуму на зображеннях

У цьому експерименті, додавши 5% та 10% шуму до початкового тестового зображення обличчя, інші тестові зразки були створені на основі бази даних обличчя FACE-REC.

Велика кількість експериментальних результатів розпізнавання обличчя за допомогою різних комбінацій наведена на рисунку 3.5.

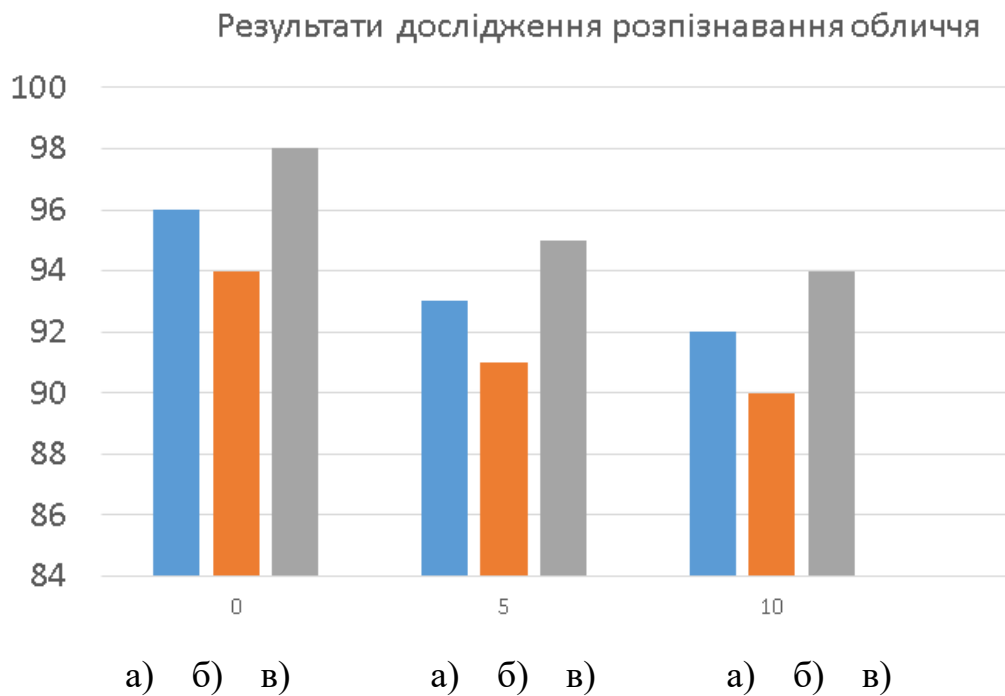


Рисунок 3.5 - Результати дослідження розпізнавання обличчя на основі застосування різних комбінацій вейвлет-перетворення в присутності шуму на зображеннях:

- а) застосування методу Хаара;
- б) застосування методу Добеші;
- в) застосування запропонованого методу

Результати показують, що, незалежно від наявності шуму на зображенні, комбінація вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші може забезпечити найкращу точність розпізнавання обличчя.

На рисунку 3.6 показано порівняння результатів тестування зображень алгоритму розпізнавання обличчя за допомогою методу на основі залучення бази даних FACE-REC.

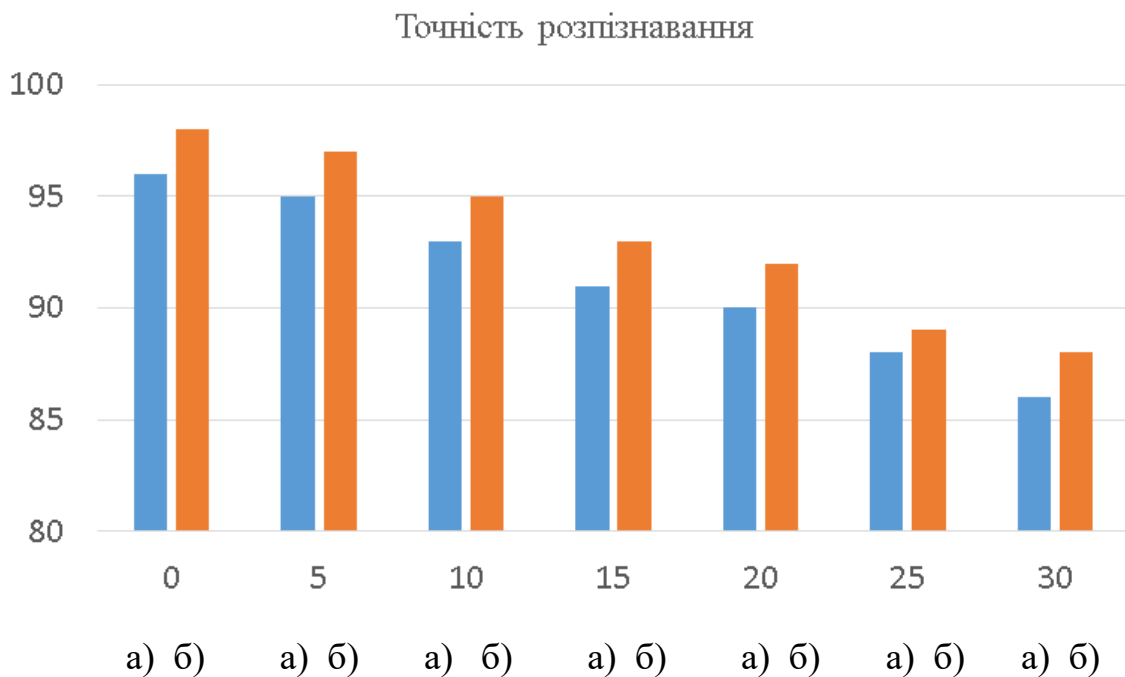


Рисунок 3.6 - Результати розпізнавання обличчя з бази із заданим рівнем шуму, доданого в зображення з обличчям:

- а) застосування методу головних компонентів
- б) застосування запропонованого методу

Результати показують, що комбінація вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші є більш ефективною, ніж метод головних компонентів, для розпізнавання граней, і різниця між ними стає більш очевидною на зображенні шуму.

Результати, отримані за алгоритмом розпізнавання обличчя на пропонованому зображенні, порівнюються з даними, отриманими за різними алгоритмами, такими як:

1. Метод головних компонентів.
2. Нейронна мережа радіальних базисних функцій.
3. Active Appearance Models .
4. Active Shape Models.
5. Метод гнучкого порівняння на графах.
6. Приховані Марківські моделі.
7. Запропонований метод (рисунок 3.7).

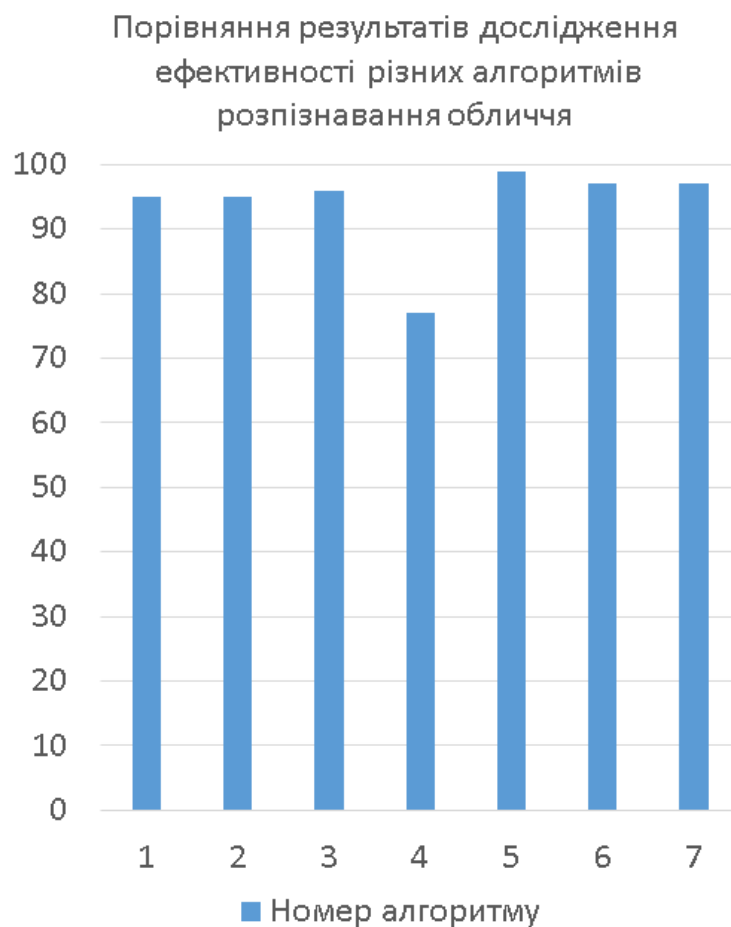


Рисунок 3.7 - Порівняння результатів дослідження ефективності різних алгоритмів розпізнавання обличчя

### 3.6.3 Застосування методу для розпізнавання обличчя на відеозаписах

Запропонований метод у п.п.3.1 може бути застосовним і для вирішення проблеми розпізнавання обличчя у відео. З цією метою метод ґрунтується на застосуванні методу Віоли-Джонса, який використовується для виявлення об'єктів у відеопотоці [69], є найбільш застосовуваним для виявлення обличчя на зображеннях, оскільки характеризується високою швидкістю та прийнятною точністю, а також може працювати в режимі реального часу.

З цією метою є можливим залучення навчальної вибірки, що містить  $N$  кадрів, і кожен кадр має обличчя.

Процес створення бази даних об'єктних об'єктів полягає в наступному:

1. Представити кожен з  $N$  кадрів навчального набору у вигляді напівтонового зображення.
2. Застосувати до кожного напівтонового зображення методу Віоли-Джонса, щоб визначити область обличчя на зображенні;
3. Створити датасет фізичних ознак для  $N$  обличчя із вказаними фреймами виявлення.

### 3.7 Процес розпізнавання обличчя на послідовностях відеоряду.

Виходячи з запропонованої концепції процес розпізнавання обличчя на відео наступне включає кроки:

1. Представити кожен наступний кадр у вигляді напівтонового зображення з обличчям.
2. Застосувати отримане напівтонове зображення методом Віоли-Джонса, щоб знайти  $N$  областей, що містять обличчя.
3. Завершіть процес ідентифікації  $k$ -ї з  $N$  ідентифікованих осіб.

В експерименті з розпізнаванням відео використовується запропонований комбінований алгоритм, заснований на перетворенні вейвлетів Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші, а також на методі Віоли-Джонса.

Швидкість запропонованого алгоритму дозволяє розпізнавати обличчя в режимі реального часу.

### 3.8 Висновок

У розділі представлено метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

Метод включає можливість опрацювання ознаки обличчя на основі застосування комбінації вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші.

Наступним кроком є опрацювання отриманих ознак, які подаються на вхід алгоритму, заснованого на методі головних компонент.

Для визначення класу відповідного в базі даних поданої на вхід зображенню застосовується метрика Евкліда.

Результати тестування показують, що запропонований алгоритм має високу швидкість і ефективно здійснює розпізнавання обличчя.

В результаті експериментальних дослідження запропонованого методу, було з'ясовано, що він підвищує точності та ефективності розпізнавання обличчя і може бути основою для побудови системи розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

## 4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ ДЕСКРИПТОРІВ

4.1 Схема функціонування програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

З метою реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення першочергово було спроектовано схему його функціонування, яка подана на рисунку 4.1.

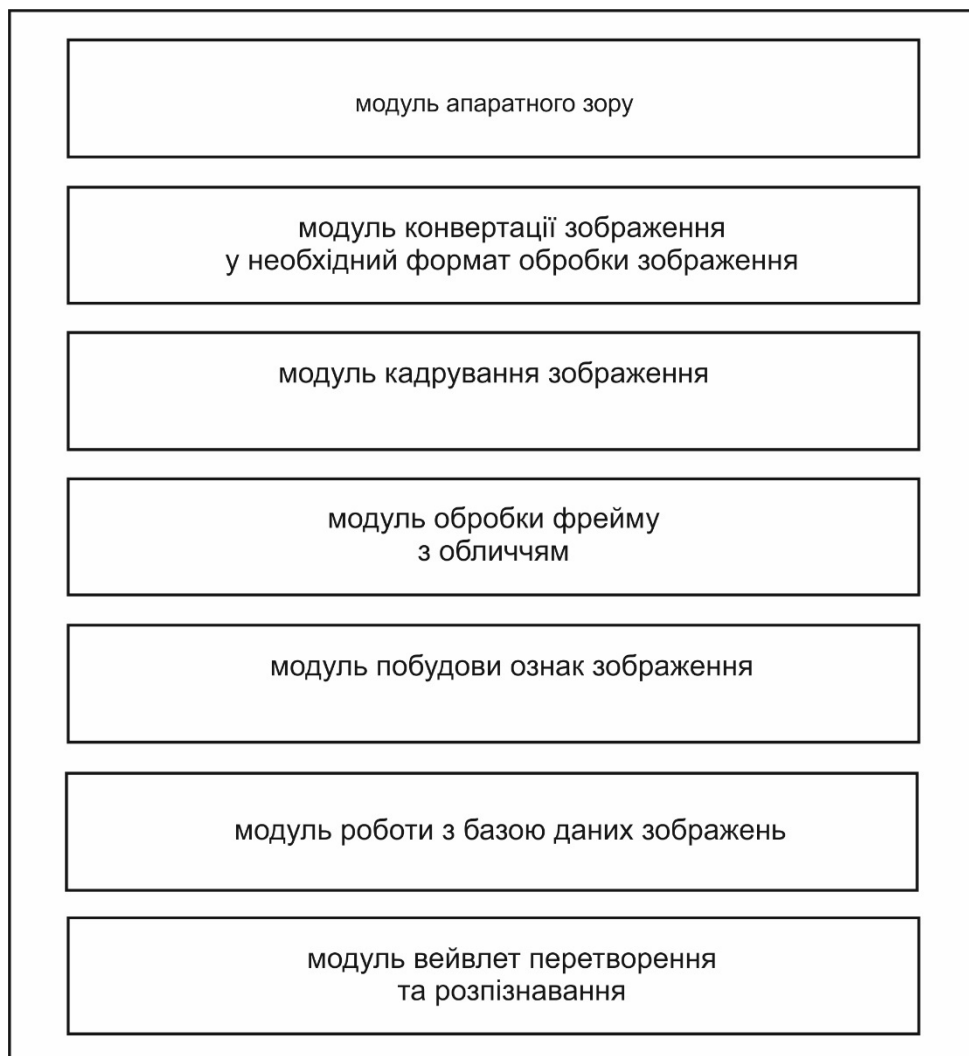


Рисунок 4.1 – Схема функціонування програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення в загальному є частковим випадком реалізації концепції комп'ютерного зору.

Таким чином, однією важливою проблемою, яку необхідно вирішити при реалізації такого програмно-технічного засобу є необхідність з'ясування забезпечення автоматичного виявлення об'єктів на зображенні без зовнішнього втручання людини.

Детекція обличчя в роботі розглядається як задача виявлення обличчя людей на зображенні.

Очевидним є той факт, на обличчях людей можуть бути незначні відмінності, але загалом можна впевнено сказати, що існують певні риси, пов'язані з усіма людськими обличчями.

В розділі 3 запропоновано удосконалений метод комбінованого застосування вейвлет-перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші.

В такому поєднанні методів точність розпізнавання обличчя є найвищою.

#### 4.2 Апаратні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

Для апаратної реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів необхідними є наступні апаратні компоненти, наявні в матеріально-технічній базі кафедр комп'ютерної інженерії та системного програмування:

1. Raspberry pi 4 model b, 4Гб (рисунок 4.3);
2. модуль камери Raspberry Pi (рисунок 4.4).
3. платформа AlphaBot2 (рисунок 4.5).

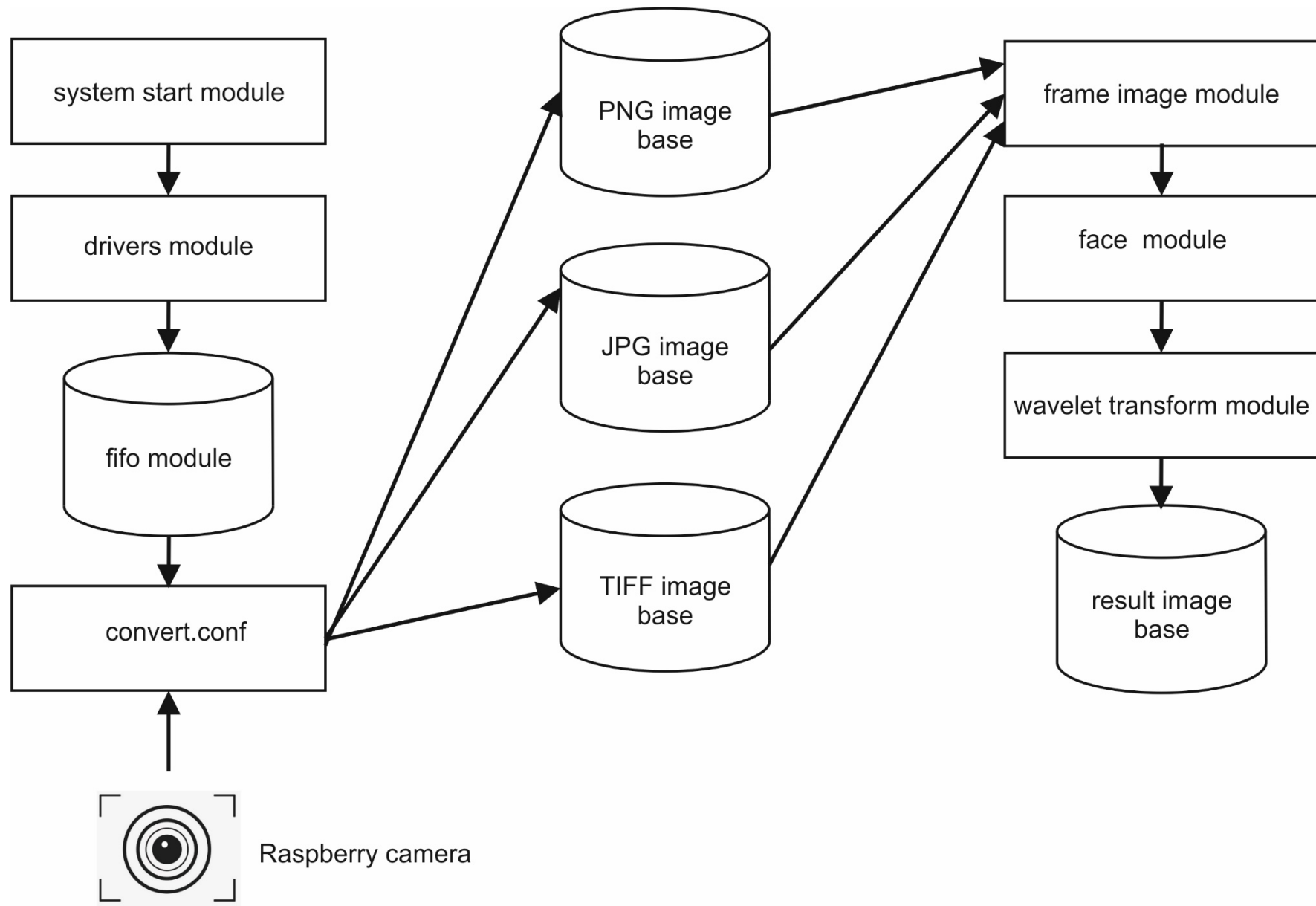


Рисунок 4.2 – Схема програмно-апаратної реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя



Рисунок 4.3 - Raspberry pi 4 model b, версія 4 Гб

Raspberry Pi 4 Model B – представник класу сучасних мінікомп'ютерних систем, представлених компанією Raspberry Pi Foundation. Екземпляр, що використовувався для досліджень має обсяг оперативної пам'яті 4G LPDDR4-3200 SDRAM.

Використана система ґрунтується на чотирьох-ядерному 64-розрядному процесорі типу Cortex-A72 з архітектурою ARM восьмого покоління. Частота процесора становить 1,5ГГц. Плата містить два USB 2.0 і два USB 3.0.

Також система оснащена можливістю підключення зовнішніх моніторів засобами мікро-HDMI; модулем зв'язку Wi-Fi (у двох діапазонах); та модулем Bluetooth п'ятої версії.

Комплект платформи AlphaBot2 призначений для використання з мінікомп'ютером Raspberry Pi 4 Model B. Платформа AlphaBot2 виконана у вигляді високоінтегрованої модульної конструкції.

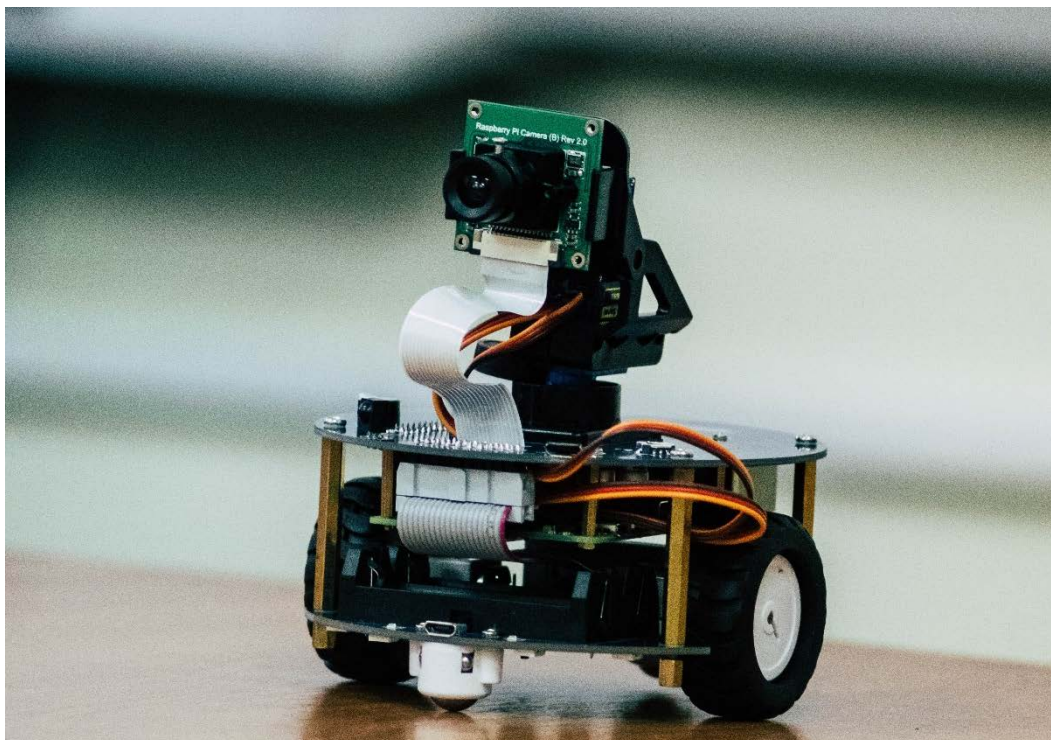


Рисунок 4.5 - Платформа AlphaBot2 з міні-комп'ютером Raspberry Pi 4 Model 4Гб

Платформа AlphaBot2 конструктивно складається з двох частин, що забезпечує конструкційну цілісність.

Одна частина платформи включає в себе:

1. 5-канальний інфрачервоний аналоговий датчик відстеження платформною лінії.
2. Бортові модулі, такі як відстеження лінії, виявлення перешкод платформною.
3. Подвійний драйвер двигуна TB6612FNG H.
4. Міні-вдигун N20, що має алюмінієвий склад і забезпечує низький рівень шуму.
5. Вбудовані світлодіоди RGB, які забезпечуть відтворення запрограмованих світлових ефектів.

Верхня плата адаптера контролера AlphaBot2-Pi включає наступні компоненти:

1. Регулятор напруги LM2596, який забезпечує Raspberry Pi 4 стабільною напругою живлення 5 В.
2. Мікросхема АЦП TLC1543, яка забезпечує підключення до Raspberry Pi 4 множини аналогових датчиків.
3. Сервоконтролер PCA9685, який функційно дозволяє здійснювати обертання поворотної башти з камерою RPi.
4. Перетворювач CP2102 USB-UART, який забезпечує керування Raspberry Pi 4 через UART.

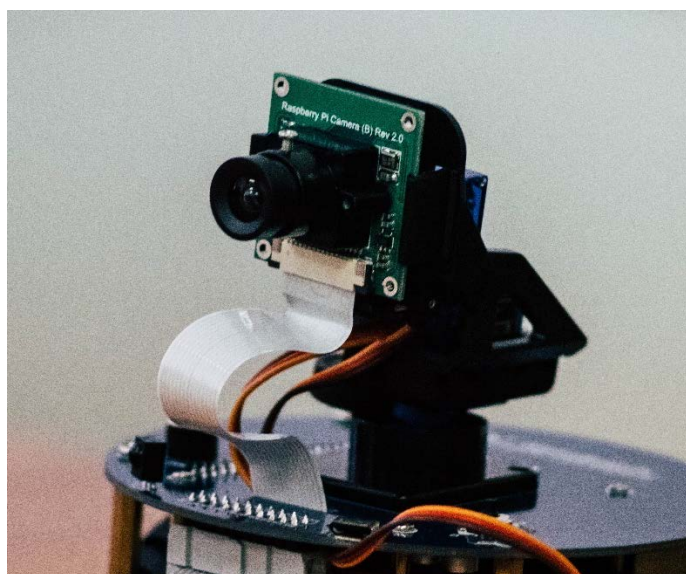


Рисунок 4.4 - Модуль камери Raspberry Pi

#### 4.3 Програмні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

Для програмної реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення необхідними є наступні програмні засоби:

1. OpenCV [46, 70].
2. Python 3 [71].

Апаратно-програмна реалізація включає наступні етапи:

1. Виявлення обличчя та збір даних

2. Навчання системи для розпізнання.
3. Безпосередній процес розпізнавання обличчя.

4.3.1 Налаштування OpenCV 3 для реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

Першим кроком реалізації програмно-технічного засобу було налаштування віртуального середовища OpenCV 3.

Для цього було виконано команди:

```
source ~/.profile
```

Далі необхідно увійти до віртуального середовища:

```
workon cv
```

Як результат успішного входу отримано запит:

```
(cv) pi@raspberrypi:~$
```

Після введення в інтерпретаторі Python:

```
python
```

отримуємо підтверження про наявність версія 3.5.

Усередині інтерпретатора здійснюється імпорт бібліотеки OpenCV:

```
import cv2
```

і також здійснюється перевірка встановленої версії OpenCV:

```
cv2.__version__
```

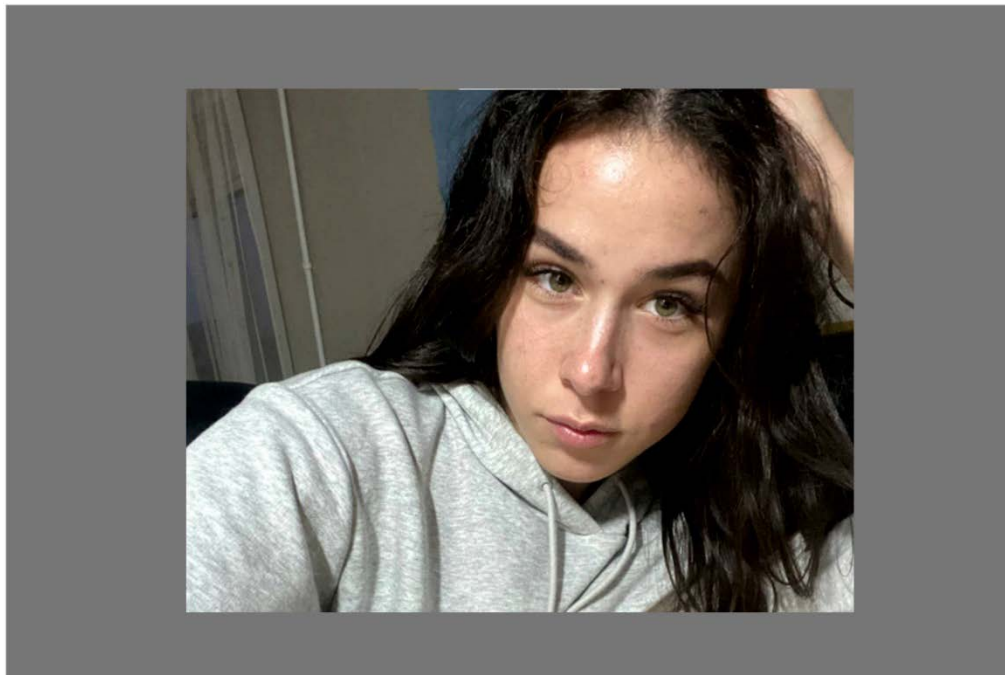
#### 4.3.2 Тестування камери

Після того, як було встановлено OpenCV є можливим здійснення системного програмування камери RPi.

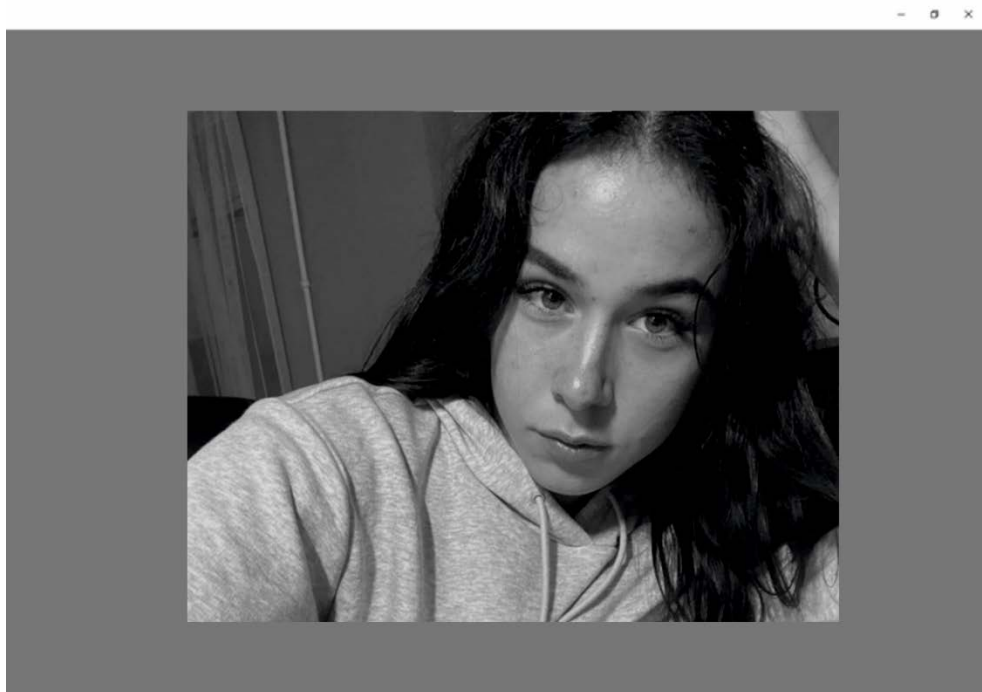
Після коректного встановлення усіх необхідних драйвери можна здійснити запуск камери шляхом виконання коду.

Код дозволяє здійснювати захоплення відео-поток, який буде сформовано камерою і відобразити два кольори в кольорі BGR та режимі сірого (код подано в додатку А).

Тестування роботи камери доступне засобами запуску команди (рисунок 4.5):  
`python simpleCamTest.py`



а)



б)

Рисунок 4.5 – Результат тестування камери Raspberry Pi:

а) кольоровий режим; б) чорно-білий режим

### 4.3.3 Розпізнавання обличчя засобами спроектованого програмно-технічного засобу

Основним завданням спроектованого програмно-технічного засобу є розпізнавання обличчя.

В роботі функційно було реалізовано метод комбінованого використання вейвлет перетворення, описаного в розділі 3.

Для ефективного виявлення попередньо є необхідним залучення множини зображень з обличчями та зображень без обличчя.

Програмний код розпізнавання обличчя подано в додатку Б.

Кодом:

```
faceCascade = cv2.CascadeClassifier('Cascades/cascade_frontalface_default.xml')
```

призначений для завантаження класифікатора.

Наступною командою є залучення камери, і всередині циклу завантаження вхідного потоку відео в режимі сірого.

Наступним кроком реалізації програмно-технічного засобу є розпізнавання обличчя є виклик функцію класифікатора обличчя з передачею наступних параметрів: в

1. Коефіцієнт масштабування.  $k$
2. Кількість сусідніх об'єктів (якщо такі присутні на досліджуваному зображенні).
3. Мінімальний розмір виявленого обличчя.

Параметри кодуються як подано внаступний чином:

```
faces = faceCfscade.detetctMultiScale(
    grayID,
    scaleFactorID=1.0,
    minNeighborsID=4,
    minSize=(32, 32)
)
```

де,

$grayID$  - це вхідне зображення у градаціях сірого.

`ScaleFactorID` – значення, яке вказує, коефіцієнт зменшення розміру досліджуваного зображення для задання нового масштабу. Він залучається для побудови зміни розміру.

`minNeighborsID` - значення, яке демонструє кількість сусідніх об'єктів може бути для кожного прямокутника для подальшого збереження зображення. Чим більший показник, тим спостерігається вищий рівень хибних спрацювань виявлення.

`minSizeID` - значення мінімального розміру області, яку можна вважати як обличчям на досліджуваному зображенні.

Функція розпізнає обличчя на зображенні. Далі необхідно позначити обличчя на зображенні, використовуючи, наприклад, синій прямокутник.

Якщо обличчя знайдено, то функція повертає позиції виявлених обличчя у вигляді прямокутника (рисунок 4.6) з лівим кутом вгору (x, y) і має "w" як ширину і "h" як висоту ==> (x, y, w, h).

Запуск проекту здійснюється в середовищі python шляхом виконання термінал Ррі (див. рис .4.6):

```
python faceDetection.py
```

#### 4.3.4 Збір даних

Для ефективного розпізнавання необхідним є збір даних, на яких буде виконуватися навчання та розпізнавання.

З цією метою потрібно створити каталог:

```
mkdir FacialRecognitionProject
```

Далі було створено підкаталог для збереження множини зразків обличчя, який формує датасет:

```
mkdir dataset
```

Процедура завантаження датасету зображень представлена кодом в додатку В.

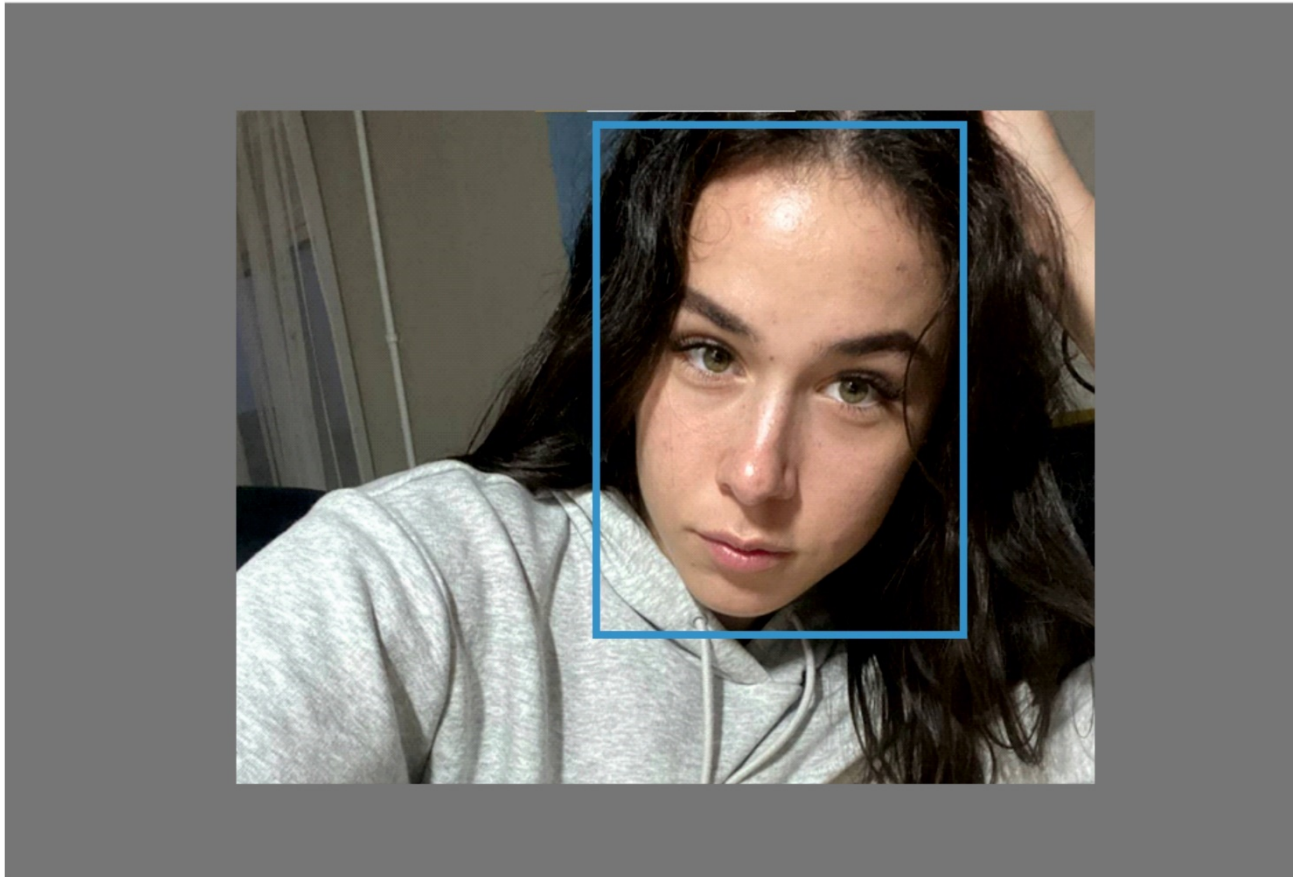


Рисунок 4.6 – Процес виявлення фрейму з обличчям

Для визначення ідентифікатора користувача необхідно виконати команду в консолі:

```
face_id = input("\n enter user id end press ==> '')
```

Кожен захоплений кадр зберігається як файл у каталозі датасету зображень (див. рис. 4.6):

```
cv2.imwrite("mydataset/Users."+str(faceID)+'.'+str(countID)+".tiff",_gray[y:y+h,x:x+w])
```

#### 4.3.5 Навчання системи розпізнавання обличчя

Важливим етапом системи розпізнавання обличчя є процедура навчання (див. рис. 4.7).

OpenCV дозволяє виконати її за допомогою вбудованих команд.

Таким чином, було створено підкаталог для зберігання навчених даних:

```
mkdir trainer
```

Наступним кроком є встановлення бібліотеки PIL:

```
pip install pillow
```

в роботі було використано бібліотеку LBPH (LOCAL BINARY PATTERNS HISTOGRAMS), що входить до комплекту OpenCV:

```
recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
```

Функція "getImagesAndLabels (шлях)" робить усі фотографії в каталозі: "набір даних /", повертаючи 2 масиви:

1. Ідентифікатори.
2. Обличчя.

Використовуючи ці масиви як вхідні дані, можна виконати навчання системи:

```
recognizer.train(faces, ids)
```

Як результат, файл із назвою "trainer.yml" було збережений в директорії тренера, яка була раніше створена (див. рис .4.8).

Програмний код навчання системи розпізнавання обличчя представлено в додатку Г.

#### 4.3.6 Процес розпізнавання

Процес розпізнавання полягає в фіксуванні нового обличчя засобами камер.

Якщо це обличчя раніше було захоплене і навчене, то система розпізнавання може зробити припущення і записати його ідентифікатор та індекс, продемонструвавши, наскільки вона впевнений в результаті збігу.

Далі необхідно включити новий масив, тому можливим є відображення та запис імен об'єктів, що розпізналися системою, замість нумерованих ідентифікаторів:

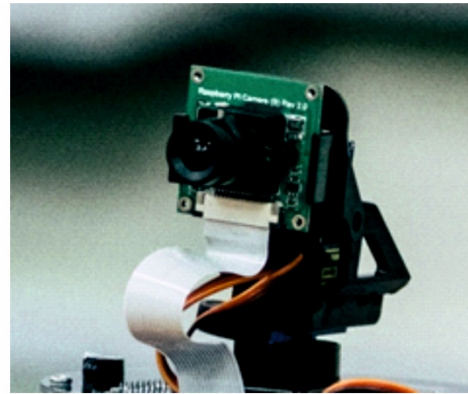
```
names = ['None', 'Наталія', 'Олег', 'Петро', 'Валерія', 'Марія']
```

Так, наприклад: 'Наталія' буде користувачеві з id = 1; 'Петро': id = 2 тощо.

Наступним кроком є виявимо обличчя за допомогою класифікатора.

Отримавши нове обличчя, система може викликати функцію:

```
ID, conf = rec.pred(gray_portion_of_the_face)
```



id=1

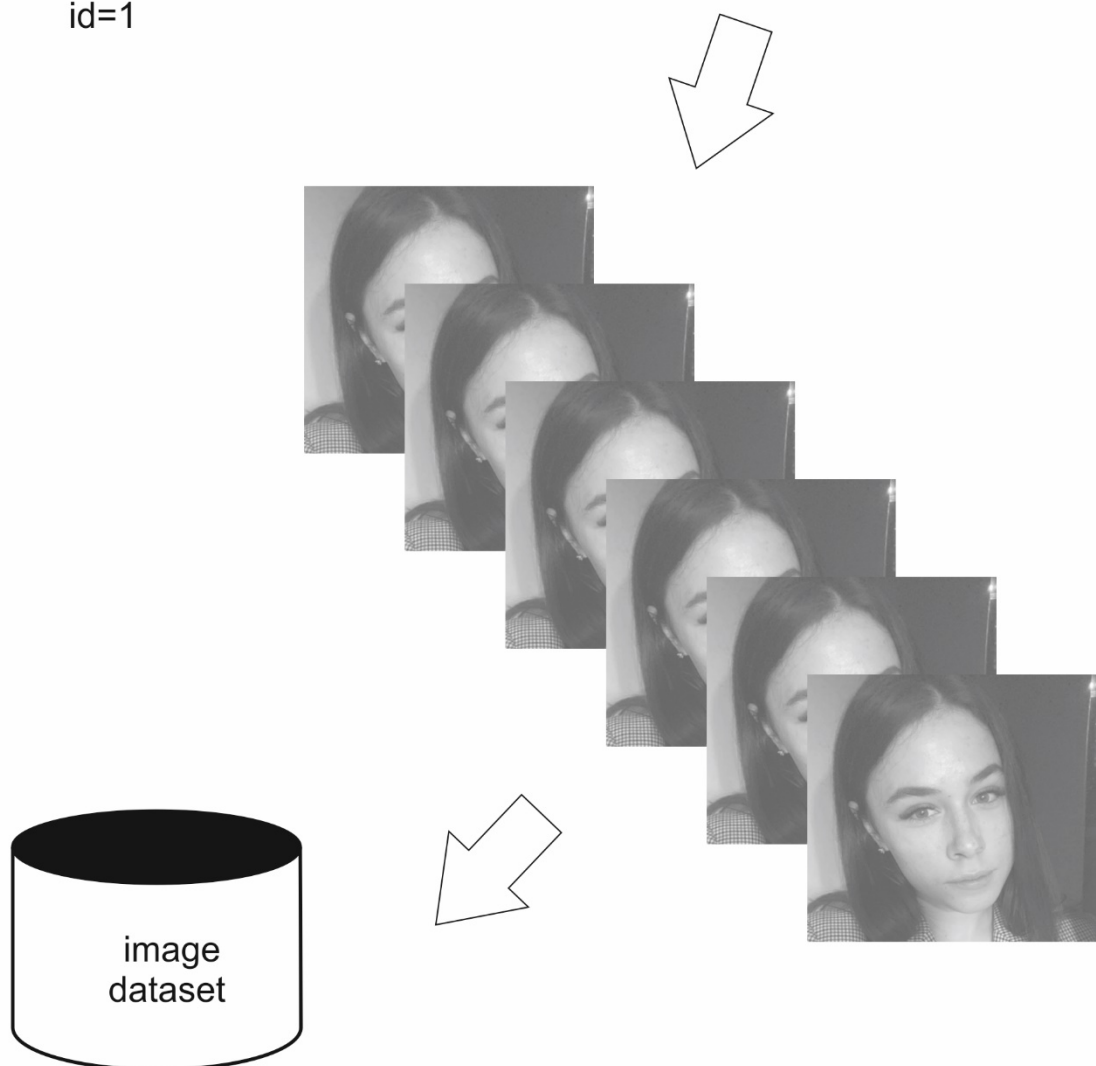


Рисунок 4.7 – Процес наповнення датасету для виявлення обличчя

Для збереження файлу необхідно виконати імпорт бібліотеки "os". Ім'я кожного файлу буде відповідати структурі:

User.face\_id.count.jpg

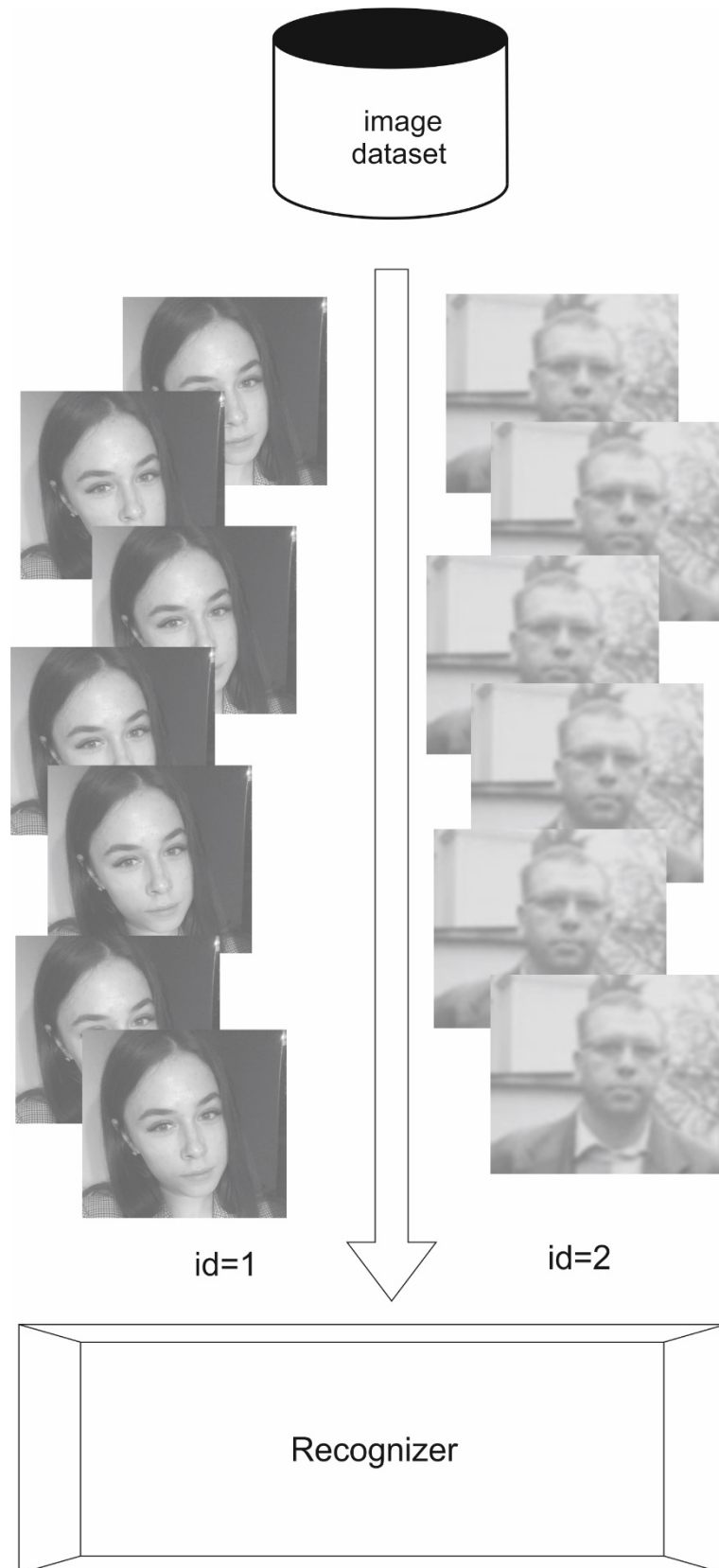


Рисунок 4.8 – Процес навчання системи розпізнавання обличчя

Функція `rec.pred()` приймає за параметр захоплену частину обличчя, що підлягає аналізу, і повертає ймовірного власника із зазначенням його ідентифікатора та наскільки вона впевнений стосовно цього збігу.

Якщо параметр поверне "нуль", то вважається, що виявлення абсолютно точне (див .рис .4.9).



Рисунок 4.9 – Процес розпізнавання обличчя

#### 4.4 Висновок

У розділі представлено реалізацію програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

Реалізація ґрунтується на використанні запропонованого методу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, описаного в розділі 3.

Також в розділі подано схему функціонування програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, представлено апаратні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, в основі яких запропоновано застосування Raspberry pi4.

В розділі представлено програмні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення на основі застосування бібліотеки OpenCV.

В роботі подано основні налаштування OpenCV для реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення з відповідним тестуванням камери та безпосереднім розпізнаванням обличчя засобами спроектованого програмно-технічного засобу.

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

У першому розділі досліджено методи розпізнавання обличчя. Результати аналізу продемонстрували, що точність такого розпізнавання є невисокою. Також було виявлено, що для ефективного та достовірного розпізнавання обличчя необхідним є розроблення нового методу, які бий би був заснований на поєднанні вейвлет-перетворення та методу основних компонентів. Пропонований метод повинен поєднувати кілька методів вейвлет перетворень. Також було зроблено висновок, що метод повинен ґрунтуватися на застосуванні методу основних компонентів, а отриманий дескриптор вейвлетів використовувався б для розпізнавання обличчя. В розділі представлено постановку задачі.

У другому розділі представлено моделі зображень різних форматів зображення, що беруть участь в розпізнаванні обличчя. Також розроблено модель процесу розпізнавання обличчя. Модель враховує усі особливості побудови та обробки зображення для подальшого розпізнавання обличчя, і може стати основою для розроблення методу розпізнавання обличчя.

У третьому розділі представлено метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, який включає можливість опрацювання ознаки обличчя на основі застосування комбінації вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші. Метод включає опрацювання отриманих ознак, які подаються на вхід алгоритму, заснованого на методі головних компонент. Для визначення класу відповідного в базі даних поданої на вхід зображенню застосовується метрика Евкліда. Результати тестування показують, що запропонований алгоритм має високу швидкість і ефективно здійснює розпізнавання обличчя. В результаті експериментальних дослідження запропонованого методу, було з'ясовано, що він підвищує точності та ефективності розпізнавання обличчя і може бути основою для побудови системи розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

У четвертому розділі представлено реалізацію програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

Реалізація ґрунтується на використанні запропонованого методу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, описаного в розділі 3. Також в розділі подано схему функціонування програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, представлено апаратні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, в основі яких запропоновано застосування Raspberry pi4. В розділі представлено програмні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення на основі застосування бібліотеки OpenCV. В роботі подано основні налаштування OpenCV для реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення з відповідним тестуванням камери та безпосереднім розпізнаванням обличчя засобами спроектованого програмно-технічного засобу.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. удосконалено метод розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів, який на відміну від відомих застосовує комбінаційне поєднання відомих методів вейвлет-перетворення і забезпечує підвищення точності розпізнавання обличчя за наявності імпульсних шумів.
2. набула подальшого розвитку система розпізнавання обличчя, яка забезпечує розпізнавання обличчя з високою точністю.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів, який базується на застосуванні одноплатної комп'ютерної системи Raspberry PI 4.

Під час виконання досліджень було опубліковано статтю на тему «Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у пунктах пропуску» в журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» № 1 за 2020 рік.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Zhu H., Cui C., Deng L., Cheung R. C. C., Yan H., Elastic Net Constraint-Based Tensor Model for High-Order Graph Matching. *IEEE Transactions on Cybernetics*. doi: 10.1109/TCYB.2019.2936176.
2. Zhang Borui, Guangyuan Liu, Guoqiang Xie, Facial expression recognition using LBP and LPQ based on Gabor wavelet transform. *2016 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)*. Chengdu, 2016, pp. 365-369, doi: 10.1109/Co Yan mpComm.2016.7924724.
3. Kayalvizhi E., Sasirekha N., A modified low power architecture for Gabor filter. *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. Melmaruvathur, 2016, pp. 0597-0600, doi: 10.1109/ICCSP.2016.7754209.
4. Nazarkevych M., Oliarnyk R., Dmytruk S., An images filtration using the Ateb-Gabor method. *2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, 2017, pp. 208-211, doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098770.
5. Verma K., Khunteta A., Facial expression recognition using Gabor filter and multi-layer artificial neural network. *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)*. Indore, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICOMICON.2017.8279123.
6. Xu X., Ruan Z., Yan L. g, Facial Expression Recognition Based on Graph Neural Network. *2020 IEEE 5th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*. Beijing, China, 2020, pp. 211-214, doi: 10.1109/ICIVC50857.2020.9177430.
7. Verma A., Singh P., Alex J. S. R., Modified Convolutional Neural Network Architecture Analysis for Facial Emotion Recognition. *2019 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*. Osijek, Croatia, 2019, pp. 169-173, doi: 10.1109/IWSSIP.2019.8787215.

8. Toliupa S., Tereikovskiy I., Dychka I., Tereikovska L., Trush A., The Method of Using Production Rules in Neural Network Recognition of Emotions by Facial Geometry. *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*. Lviv, Ukraine, 2019, pp. 323-327, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847847.
9. Verma K., Khunteta A., Facial expression recognition using Gabor filter and multi-layer artificial neural network. *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)*. Indore, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICOMICON.2017.8279123.
10. Tümen V., Söylemez Ö. F., Ergen B., Facial emotion recognition on a dataset using convolutional neural network. *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. Malatya, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/IDAP.2017.8090281.
11. Yang B., Cao J., Ni R., Zhang Y., Facial Expression Recognition Using Weighted Mixture Deep Neural Network Based on Double-Channel Facial Images. *IEEE Access*. vol. 6, pp. 4630-4640, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2784096.
12. Zou J., Cao X., Zhang S., Ge B., A Facial Expression Recognition Based on Improved Convolutional Neural Network. *2019 IEEE International Conference of Intelligent Applied Systems on Engineering (ICIASE)*. Fuzhou, China, 2019, pp. 301-304, doi: 10.1109/ICIASE45644.2019.9074074.
13. Liu K., Hsu C., Wang W., Chiang H., Facial Expression Recognition Using Merged Convolution Neural Network. *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*. Osaka, Japan, 2019, pp. 296-298, doi: 10.1109/GCCE46687.2019.9015479.
14. Xin R., Zhang J., Shao Y., Complex network classification with convolutional neural network. *Tsinghua Science and Technology*. vol. 25, no. 4, pp. 447-457, Aug. 2020, doi: 10.26599/TST.2019.9010055.
15. Moore B. J., Berger T., Song D., Validation of a Convolutional Neural Network Model for Spike Transformation Using a Generalized Linear Model. *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology*

- Society (EMBC)*. Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 3236-3239, doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9176458.
16. Samudre P., Shende P., Jaiswa V. I., Optimizing Performance of Convolutional Neural Network Using Computing Technique. *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*. Bombay, India, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/I2CT45611.2019.9033876.
  17. Utama I. B. K. Y., Faqih A., Kusumoputro B., Three Mixture of Odor Classification using Convolutional Neural Network. *2019 16th International Conference on Quality in Research (QIR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering*. Padang, Indonesia, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/QIR.2019.8898255.
  18. Lou G., Shi H., Face image recognition based on convolutional neural network. *China Communications*. vol. 17, no. 2, pp. 117-124, Feb. 2020, doi: 10.23919/JCC.2020.02.010.
  19. Abdul Qayyum A. B., Arefeen A., Shahnaz C., Convolutional Neural Network (CNN) Based Speech-Emotion Recognition. *2019 IEEE International Conference on Signal Processing, Information, Communication & Systems (SPICSCON)*. Dhaka, Bangladesh, 2019, pp. 122-125, doi: 10.1109/SPICSCON48833.2019.9065172.
  20. Xiao Y., Keung J., Improving Bug Localization with Character-Level Convolutional Neural Network and Recurrent Neural Network. *2018 25th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*. Nara, Japan, 2018, pp. 703-704, doi: 10.1109/APSEC.2018.00097.
  21. Guo L., Li M., Xu S., Yang F., Study on a Recurrent Convolutional Neural Network Based FDTD Method. *2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium - China (ACES)*. Nanjing, China, 2019, pp. 1-2, doi: 10.23919/ACES48530.2019.9060707.
  22. Peng L., Xin Z., Ping G., Design and Implementation of Remote DeepFace Model Face Recognition System Based on sbRIO FPGA Platform and NB-IOT Module.

- 2019 2nd International Conference on Safety Produce Informatization (IICSPI). Chongqing, China, 2019, pp. 505-509, doi: 10.1109/IICSPI48186.2019.9095951.
23. Srisuk S., Ongkittikul S., Robust face recognition based on weighted DeepFace. *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*. Pattaya, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEECON.2017.8075885.
24. Mokalla S. R., Bourlai T., On Designing MWIR and Visible Band based DeepFace Detection Models. *2019 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*. Vancouver, BC, Canada, 2019, pp. 1140-1147, doi: 10.1145/3341161.3343528.
25. Taigman Y., Yang M., Ranzato M., Wolf L., DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification. *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Columbus, OH, 2014, pp. 1701-1708, doi: 10.1109/CVPR.2014.220.
26. Inthiam J., Hayashi E., Jitviriyaya W., Mowshowitz A., Mood estimation for human-robot interaction based on facial and bodily expression using a Hidden Markov Model. *2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*. Paris, France, 2019, pp. 352-356, doi: 10.1109/SII.2019.8700422.
27. Ramkumar G., Logashanmugam E., An effectual facial expression recognition using HMM. *2016 International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*. Ramanathapuram, 2016, pp. 12-15, doi: 10.1109/ICACCCT.2016.7831590.
28. Wang G., Facial Expression Recognition Method Based on Zernike Moments and MCE Based HMM. *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*. Hangzhou, 2016, pp. 408-411, doi: 10.1109/ISCID.2016.2102.
29. Kim S., Kim H., Deep Explanation Model for Facial Expression Recognition Through Facial Action Coding Unit. *2019 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*. Kyoto, Japan, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/BIGCOMP.2019.8679370.

30. Abo absa A. H., Deriche M., A Two-Stage Hierarchical Multilingual Emotion Recognition System Using Hidden Markov Models and Neural Networks. *2017 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition (GCCCE)*. Manama, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/IEEEGCC.2017.8448155.
31. Filntisis P. P., Katsamanis A., Maragos P., Photorealistic adaptation and interpolation of facial expressions using HMMS and AAMS for audio-visual speech synthesis. *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. Beijing, 2017, pp. 2941-2945, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296821.
32. Uiboupin T., Rasti P., Anbarjafari G., Demirel H., Facial image super resolution using sparse representation for improving face recognition in surveillance monitoring. *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*. Zonguldak, 2016, pp. 437-440, doi: 10.1109/SIU.2016.7495771.
33. Razin Y. S., Pluckter K., Ueda J., Feigh K., Predicting Task Intent From Surface Electromyography Using Layered Hidden Markov Models. *IEEE Robotics and Automation Letters*. vol. 2, no. 2, pp. 1180-1185, April 2017, doi: 10.1109/LRA.2017.2662741.
34. Vu L. G., Alsadoon A., Prasad P. W. C., Monem A., Elchouemi A., Face recognition template in photo indexing: A proposal of hybrid Principal Component Analysis and triangular approach (PCAaTA). *2016 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (SSIAI)*. Santa Fe, NM, 2016, pp. 177-180, doi: 10.1109/SSIAI.2016.7459204.
35. Min W. Y., Romanova E., Lisovec Y., San A. M., Application of Statistical Data Processing for Solving the Problem of Face Recognition by Using Principal Components Analysis Method. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*. Saint Petersburg and Moscow, Russia, 2019, pp. 2208-2212, doi: 10.1109/EIconRus.2019.8657240.
36. Mohammadi M. R., Fatemizadeh E., Mahoor M. H., Intensity Estimation of Spontaneous Facial Action Units Based on Their Sparsity Properties. *IEEE*

- Transactions on Cybernetics*. vol. 46, no. 3, pp. 817-826, March 2016, doi: 10.1109/TCYB.2015.2416317.
37. Balbin J. R., Valiente L. D., Lapore K. K. T., Nunieza J. I., Sale M. I., Sanchez C. R., Determination and Analysis of Cyanamide Residue *Lettuce Using Electronic Tongue and Principal Component Analysis*. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*. Laoag, Philippines, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/HNICEM48295.2019.9072890.
38. George G., Boben R., Radhakrishnan B., Suresh L. P., Face recognition on surgically altered faces using principal component analysis. *2017 International Conference on Circuit ,Power and Computing Technologies (ICCPCT)*. Kollam, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074324.
39. Kirana M. C., Putra Y. R., Sari F. W., Comparison of Facial Feature Extraction on Stress and Normal Using Principal Component Analysis(PCA) Method. *2017 5th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*. Bandung, 2017, pp. 100-105, doi: 10.1109/ICICI-BME.2017.8537776.
40. Yang J., Liu J., Wu J., Facial Image Privacy Protection Based on Principal Components of Adversarial Segmented Image Blocks. *IEEE Access*. vol. 8, pp. 103385-103394, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2999449.
41. Mehta N., Jadhav S., Facial Emotion recognition using Log Gabor filter and PCA. *2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA)*. Pune, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCUBEA.2016.7860054.
42. Wahyuningsih D., Kirana C., Sulaiman R., Hamidah , Triwanto, Comparison Of The Performance Of Eigenface And Fisherface Algorithm In The Face Recognition Process. *2019 7th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*. Jakarta, Indonesia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CITSM47753.2019.8965345.

43. Jin S., Lin Y., Wang H., Automatic Modulation Recognition of Digital Signals Based on Fisherface. *2017 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)*. Prague, 2017, pp. 216-220, doi: 10.1109/QRS-C.2017.42.
44. Shyam R., Singh Y. N., Evaluation of Eigenfaces and Fisherfaces using Bray Curtis dissimilarity metric. *2014 9th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*. Gwalior, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIINFS.2014.7036600.
45. Xu X., Li S., Liu L., Face recognition based on multi-level histogram sequence center-symmetric local binary pattern and fisherface. *2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. Chongqing, 2017, pp. 448-451, doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054054.
46. Jagtap A. M., Kangale V., Unune K., Gosavi P., A Study of LBPH, Eigenface, Fisherface and Haar-like features for Face recognition using OpenCV. *2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*. Palladam, Tamilnadu, India, 2019, pp. 219-224, doi: 10.1109/ISS1.2019.8907965.
47. Muntasa A., Siradjuddin I. A., Wahyuningrum R. T., Three-directional of the ID-diagonal fisherface modeling based feature extraction. *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*. Lombok, 2016, pp. 135-138, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828647.
48. Li T., Zhou J., Tuya N., Du C., Chen Z., Liu S., Recognize Facial Expression Using Active Appearance Model and Neural Network, *2017 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)*. Nanjing, 2017, pp. 182-185, doi: 10.1109/CyberC.2017.32.
49. Komalasari D., Widyanto M. R., Basaruddin T., Liliana D. Y., Shape analysis using generalized procrustes analysis on Active Appearance Model for facial expression recognition. *2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*. Palembang, 2017, pp. 154-159, doi: 10.1109/ICECOS.2017.8167123.

50. Rui Z., Huai-yu W., Ruo-hong W., Facial feature point tracking algorithm based on eyes tracking and active appearance model step fitting. *2015 34th Chinese Control Conference (CCC)*. Hangzhou, 2015, pp. 3695-3701, doi: 10.1109/ChiCC.2015.7260211.
51. Vater S., Ivancevic R., León F. P., Integration of precise iris localization into active appearance models for automatic initialization and robust deformable face tracking. *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. Beijing, 2017, pp. 2617-2621, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296756.
52. Antonakos E., Alabort-i-Medina J., Tzimiropoulos G., Zafeiriou S. P., Feature-Based Lucas–Kanade and Active Appearance Models. *IEEE Transactions on Image Processing*. vol. 24, no. 9, pp. 2617-2632, Sept. 2015, doi: 10.1109/TIP.2015.2431445.
53. Prinosil J., Kriz P., Riha K., Dutta M. K., Issac A., Facial image de-identification using active appearance model. *2017 International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT)*. Dehradun, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICETCCT.2017.8280304.
54. Liliana D. Y., Widyanto M. R., Basaruddin T., Human emotion recognition based on active appearance model and semi-supervised fuzzy C-means. *2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACISIS)*. Malang, 2016, pp. 439-445, doi: 10.1109/ICACISIS.2016.7872744.
55. Kopaczka M., Hensel C., Merhof D., An automated method for realistic face simulation and facial landmark annotation and its application to active appearance models. *2016 Sixth International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA)*. Oulu, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/IPTA.2016.7820979.
56. Qian-Qian L., Shoudong H., Yang C., Landmark Fitting for Sequential Faces Based on Active Shape Model and Tracking Correction. *2018 4th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC)*. Wuhan, China, 2018, pp. 133-139, doi: 10.1109/ICNISC.2018.00034.
57. Santiago C., Nascimento J. C., Marques J. S., Combining an Active Shape and Motion Models for Object Segmentation in Image Sequences. *2018 25th IEEE*

- International Conference on Image Processing (ICIP)*. Athens, 2018, pp. 3703-3707, doi: 10.1109/ICIP.2018.8451571.
58. Lee Y., Kim Y., Kim H., Shin I., Ahn H., Lee Y., Modified Active Shape Model for Realtime Facial Feature Tracking on iPhone. *2016 10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)*. Fukuoka, 2016, pp. 419-421, doi: 10.1109/IMIS.2016.149.
59. Zhun Chen, Wenbo Zhao, Ming Li, Yuanwei Jin, Zhu Jimmy, A fast tracking algorithm for estimating ultrasonic signal time of flight in drilled shafts using Active Shape Models. *2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*. Tours, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/ULTSYM.2016.7728654.
60. Sigit R., Setiawardhana, Saleh S. N., Improved segmentation of cardiac image using active shape model. *2017 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*. Semarang, 2017, pp. 209-214, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2017.8251871.
61. Боровик О. В., Боровик Л. В., Суржавська Н. С. Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у пунктах пропуску. *Комп'ютерні системи та інформаційні технології*. 2020. № 1. С. 27-40.
62. <https://jpeg.org/>
63. <https://www.adobe.com/>
64. <https://www.w3.org/TR/PNG/>
65. Daubechies I. *Ten Lectures on Wavelets*. SIAM, 1992, p. 194.
66. Grossmann A., Kronland-Martinet R., Morlet J. *Reading and Understanding Continuous Wavelet Transforms*. Wavelets. 1989". p2-20
67. Haar Alfréd, Zur Theorie der orthogonalen Funktionensysteme. *Mathematische Annalen*. 1910. Vol. 69 (3). P. 331–371, doi:10.1007/BF01456326.
68. Zhihua X., Peng J., X. Ying, Ke L., Ambient Temperature Invariant Infrared Face Recognition Based on Discrete Wavelet Transform. *2016 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*. 2016, pp. 448-451, doi: 10.1109/IHMSC.2016.139.

69. Viola P., Jones M.J. Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*. 2004. V. 57. No. 2. P. 137–154.

70.<https://opencv.org/>

71.<https://www.python.org>

72.<https://www.face-rec.org/databases/>

Додаток А  
(обов'язковий)

Програмна реалізація захоплення відео-потoku, який буде сформовано камерою  
RPi і відображення двох кольорів в BGR та режимі сірого

```
import numpy as np
import cv2
cap = cv2.VideoCapture(0)
cap.set(3,640) # set Width
cap.set(4,480) # set Height
while(True):
    ret, frame = cap.read()
    frame = cv2.flip(frame, -1) # Flip camera vertically
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    cv2.imshow('frame', frame)
    cv2.imshow('gray', gray)

    k = cv2.waitKey(30) & 0xff
    if k == 27: # press 'ESC' to quit
        break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Додаток Б  
(обов'язковий)

Програмний код розпізнавання обличчя

```

import numpy as np
import cv2
faceCascade
cv2.CascadeClassifier('Cascades/haarcascade_frontalface_default.xml')
cap = cv2.VideoCapture(0)
cap.set(3,640) # set Width
cap.set(4,480) # set Height
while True:
    ret, img = cap.read()
    img = cv2.flip(img, -1)
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    faces = faceCascade.detectMultiScale(
        gray,
        scaleFactor=1.2,
        minNeighbors=5,
        minSize=(20, 20)
    )
    for (x,y,w,h) in faces:
        cv2.rectangle(img,(x,y),(x+w,y+h),(255,0,0),2)
        roi_gray = gray[y:y+h, x:x+w]
        roi_color = img[y:y+h, x:x+w]
    cv2.imshow('video',img)
    k = cv2.waitKey(30) & 0xff
    if k == 27: # press 'ESC' to quit
        break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Додаток В  
(обов'язковий)

Програмний код завантаження датасету зображень

```

import cv2
import os
cam = cv2.VideoCapture(0)
cam.set(3, 640) # set video width
cam.set(4, 480) # set video height
face_detector = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')
# For each person, enter one numeric face id
face_id = input("\n enter user id end press <return> ==> ")
print("\n [INFO] Initializing face capture. Look the camera and wait ...")
# Initialize individual sampling face count
count = 0
while(True):
    ret, img = cam.read()
    img = cv2.flip(img, -1) # flip video image vertically
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    faces = face_detector.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
    for (x,y,w,h) in faces:
        cv2.rectangle(img, (x,y), (x+w,y+h), (255,0,0), 2)
        count += 1
        # Save the captured image into the datasets folder
        cv2.imwrite("dataset/User." + str(face_id) + '.' + str(count) + ".jpg",
gray[y:y+h,x:x+w])
        cv2.imshow('image', img)
    k = cv2.waitKey(100) & 0xff # Press 'ESC' for exiting video
    if k == 27:
        break
    elif count >= 30: # Take 30 face sample and stop video
        break

```

```
# Do a bit of cleanup
print("\n [INFO] Exiting Program and cleanup stuff")
cam.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Додаток Г  
(обов'язковий)

Програмний код навчання системи розпізнавання обличчя

```

import cv2
import numpy as np
from PIL import Image
import os
# Path for face image database
path = 'dataset'
recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
detector = cv2.CascadeClassifier("haarcascade_frontalface_default.xml");
# function to get the images and label data
def getImagesAndLabels(path):
    imagePath = [os.path.join(path,f) for f in os.listdir(path)]
    faceSamples=[]
    ids = []
    for imagePath in imagePath:
        PIL_img = Image.open(imagePath).convert('L') # convert it to grayscale
        img_numpy = np.array(PIL_img,'uint8')
        id = int(os.path.splitext(imagePath)[-1].split(".")[1])
        faces = detector.detectMultiScale(img_numpy)
        for (x,y,w,h) in faces:
            faceSamples.append(img_numpy[y:y+h,x:x+w])
            ids.append(id)
    return faceSamples,ids
print ("\n [INFO] Training faces. It will take a few seconds. Wait ...")
faces,ids = getImagesAndLabels(path)
recognizer.train(faces, np.array(ids))
# Save the model into trainer/trainer.yml
#recognizer.write('trainer/trainer.yml')
# recognizer.save()
#worked on Mac, but not on Pi

```

```
# Print the number of faces trained and end program
print("\n [INFO] {0} faces trained.
Exiting Program".format(len(np.unique(ids))))
```

Додаток Д  
(обов'язковий)

Програмна реалізація розпізнавання обличчя

```
import cv2
import numpy as np
import os
recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
recognizer.read('trainer/trainer.yml')
cascadePath = "haarcascade_frontalface_default.xml"
faceCascade = cv2.CascadeClassifier(cascadePath);
font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
#iniciate id counter
id = 0
# names related to ids: example ==> Marcelo: id=1, etc
names = ['None', 'Marcelo', 'Paula', 'Ilza', 'Z', 'W']
# Initialize and start realtime video capture
cam = cv2.VideoCapture(0)
cam.set(3, 640) # set video width
cam.set(4, 480) # set video height
# Define min window size to be recognized as a face
minW = 0.1*cam.get(3)
minH = 0.1*cam.get(4)
while True:
    ret, img =cam.read()
    img = cv2.flip(img, -1) # Flip vertically
    gray = cv2.cvtColor(img,cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    faces = faceCascade.detectMultiScale(
        gray,
        scaleFactor = 1.2,
        minNeighbors = 5,
```

```

    minSize = (int(minW), int(minH)),
)
for(x,y,w,h) in faces:
    cv2.rectangle(img, (x,y), (x+w,y+h), (0,255,0), 2)
    id, confidence = recognizer.predict(gray[y:y+h,x:x+w])
    # Check if confidence is less them 100 ==> "0" is perfect match
    if (confidence < 100):
        id = names[id]
        confidence = " {0}%".format(round(100 - confidence))
    else:
        id = "unknown"
        confidence = " {0}%".format(round(100 - confidence))

    cv2.putText(img, str(id), (x+5,y-5), font, 1, (255,255,255), 2)
    cv2.putText(img, str(confidence), (x+5,y+h-5), font, 1, (255,255,0), 1)

cv2.imshow('camera',img)
k = cv2.waitKey(10) & 0xff # Press 'ESC' for exiting video
if k == 27:
    break
# Do a bit of cleanup
print("\n [INFO] Exiting Program and cleanup stuff")
cam.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Додаток Е  
(обов'язковий)

Програмна реалізація захоплення відео-потoku

```
import numpy as np
import cv2

cap = cv2.VideoCapture(0)
cap.set(3,640) # set Width
cap.set(4,480) # set Height

while(True):
    ret, frame = cap.read()
    frame = cv2.flip(frame, -1) # Flip camera vertically
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    cv2.imshow('frame', frame)
    cv2.imshow('gray', gray)

    k = cv2.waitKey(30) & 0xff
    if k == 27: # press 'ESC' to quit
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Додаток Ж  
(обов'язковий)

Презентація виступу

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютерної інженерії та системного програмування

Суржавська Наталя Сергіївна

## Метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів

Науковий керівник – д.т.н. доц. Лисенко С.М.

Хмельницький - 2021

1

### **Мета і задачі дослідження**

**Метою роботи** є підвищення точності розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів.

**Об'єкт дослідження** – процес розпізнавання обличчя із застосування вейвлет перетворень.

**Предмет дослідження** – модель, метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів.

2

## Мета і задачі дослідження

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

1. Дослідити методи розпізнавання обличчя.
2. Розробити моделювання зображень для розпізнавання обличчя.
3. Розробити модель процесу розпізнавання обличчя.
4. Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення
5. Реалізувати програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів.

3

## Наукова новизна отриманих результатів

1. Удосконалено метод розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів, який на відміну від відомих застосовує комбінаційне поєднання відомих методів вейвлет-перетворення і забезпечує підвищення точності розпізнавання обличчя за наявності імпульсних шумів.

2. Набула подальшого розвитку система розпізнавання обличчя, яка забезпечує розпізнавання обличчя з високою точністю.

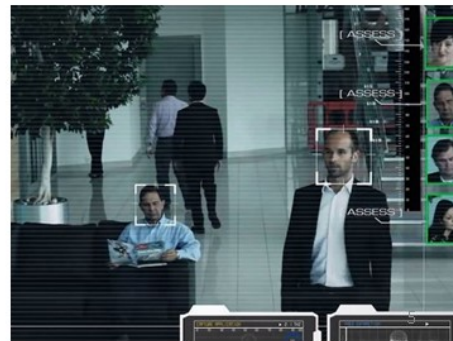
## Практичне значення отриманих результатів

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів, який базується на застосуванні одноплатної комп'ютерної системи Raspberry PI 4.

4

## Актуальність дослідження

- Технології розпізнавання осіб застосовуються в найрізноманітніших сферах:
  - забезпечення безпеки в місцях великого скупчення людей;
  - системи охорони, уникнення незаконного проникнення на територію об'єкта, пошук зловмисників;
  - фейс-контроль в сегменті громадського харчування та розваг, пошук підозрілих і потенційно небезпечних відвідувачів;
  - верифікація банківських карт;
  - онлайн-платежі;



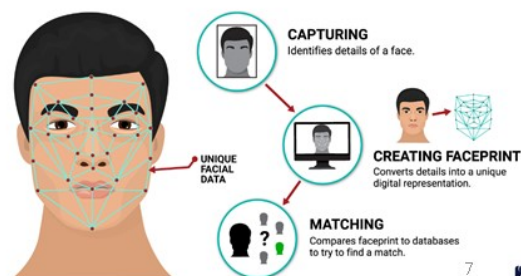
## Актуальність дослідження

- Технології розпізнавання осіб застосовуються в найрізноманітніших сферах:
  - онлайн-платежі;
  - контекстна реклама, цифровий маркетинг;
  - пошук фото у великих базах фотознімків;
  - відмітка людей на фото в соціальних мережах;
  - криміналістика;
  - телеконференції;
  - мобільні додатки.



## Відомі методи, на яких ґрунтуються системи розпізнавання обличчя

1. Метод гнучкого порівняння на графах (Elastic graph matching)
2. Розпізнавання обличчя із застосуванням нейронних мереж
3. Приховані Марківські моделі
4. Метод головних компонент або principal component analysis (PCA)
5. Active Appearance Models (AAM) і Active Shape Models (ASM)
6. Active Shape Models (ASM)



## Модель зображення типу PNG

Представимо модель зображення типу PNG кортежем параметрів:

$$I_{png} = \langle H_{png}, F_{png}, F_{png}^{cr}, P_{png}, F_{interp}^{cr}(I), F_{png}^{add}, T_{png}, L_{png} \rangle \quad (2.1)$$

де  $H_{png}$  – хедер файлу зображення,  $H_{png} = \{h_j\}_1^{N_h}$ ,  $N_h$  – загальна кількість параметрів хедер файлу зображення;  $F_{png}$  – множина фрагментів файлу зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $F_{png} = \{f_j\}_1^{N_f}$ ,  $N_f$  – загальна кількість фрагментів файлу зображення;  $F_{png}^{cr}$  – множина критичних фрагментів файлу зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $F_{png}^{cr} = \{f_m^{cr}\}_1^{N_f}$ ,  $N_f$  – загальна кількість критичних фрагментів файлу зображення;  $F_{png}^{add}$  – множина допоміжних фрагментів файлу зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $F_{png}^{add} = \{f_m^{add}\}_1^{N_f}$ ,  $N_f$  – загальна кількість допоміжних фрагментів файлу зображення;  $P_{png}$  – множина параметрів пікселя зображення, яке буде оброблене для розпізнавання,  $P_{png} = \{p_n\}_1^{N_p}$ ,  $N_p$  – загальна кількість параметрів пікселя зображення;

$F_{interp}^{cr}(I)$  – функція, що здійснює декодування, результатом якого здійснюється інтерпретування критичних фрагментів для читання та подальшого рендерингу файлу PNG;

$h_1$  – тип кольору,  $h_1 = \{h_1^{indexed}, h_2^{grey}, h_3^{alpha}, h_4^{truecolor}, h_5^{truecoloralpha}\}$ , де  $h_1^{indexed}$  – ознака індексованості;  $T_{png}$  – параметр прозорості зображення,  $T_{png} = \{t_j\}_1^{N_x}$ ,  $N_x$  – загальна кількість значень прозорості зображення;  $L_{png}$  – фільтр зображення,  $L_{png} = \{l_j\}_1^{N_v}$ ,  $N_v$  – номер фільтра зображення.

## Модель зображення типу JPG

Представимо модель зображення типу JPG кортежем параметрів:

$$I_{jpg} = \langle S_{jpg}, M_{jpg}, C(I), A(I), P \rangle, \quad (2.2)$$

де  $H_{jpg}$  – множина сегментів хедер файлу зображення,  $H_{jpg} = \{h_q\}_1^{N_q}$ ,  $N_q$  – загальна кількість сегментів зображення,  $M_{jpg}$  – множина маркерів, кожен з яких починається з байта 0xFF, а потім байт, що вказує, що це за маркер (деякі маркери складаються саме з цих двох байт; за іншими слідують два байти (високий, аніж низький), що вказує на довжину даних про корисне навантаження, характерних для маркера, що слід. (Довжина включає два байти довжини, але не два байти маркера.) Деякі маркери супроводжуються кодованими ентропією даними,  $M_{jpg} = \{m_r\}_1^{N_r}$ ,  $N_r$  – загальна кількість маркерів зображення,  $l_m$  – довжина маркера, яка не включає дані, кодовані ентропією, при чому послідовні байти 0xFF використовуються як байти заповнення для заповнення ці заповнення байтів має виконуватися лише для маркерів, що безпосередньо слідують за даними сканування, кодованими ентропією;  $C(I)$  – функція кодування зображення типу JPG,  $C(I) \rightarrow I_p: I \xrightarrow{C(I)} I_p$ , де суть кодування полягає в залученні опцій стандарту JPEG. Ось короткий опис одного з найпоширеніших методів кодування при застосуванні до входу, що має 24 біти на піксель;  $A(I)$  – функція перетворення кольорового простору зображення типу JPG,  $A(I) \rightarrow I_q: I \xrightarrow{A(I)} I_q$ , де зображення слід перетворити з RGB в інший кольоровий простір, який називається Y'CbCr (або, неформально, YCbCr).

## Модель зображення типу TIFF

Представимо модель зображення типу TIFF кортежем параметрів:

$$I_{tiff} = \langle N_{tiff}, S_{tiff}, C_{tiff}(I), T, I_{tiff}, F \rangle \quad (2.5)$$

де  $N_{tiff}$  – кількість підфайлів. Зчитувачі TIFF повинні бути готові до кількох / багатосторінкових зображень (підфайлів) для кожного файлу TIFF, хоча вони не зобов'язані робити що-небудь із зображеннями після першого,  $N_{tiff} = \{n_j\}_1^{N_h}$ ,  $N_{tiff}$  – загальна кількість підфайлів у файлі зображення;

$S_{tiff}$  – кількість смужок в структурі зображення (базове зображення TIFF складається з однієї або декількох смужок,  $S_{tiff} = \{s_j\}_1^{N_s}$ ,  $N_s$  – загальна кількість смужок,  $C_{tiff}(I)$  – функція стиснення зображення. Базові зчитувачі TIFF повинні обробляти такі три схеми стиснення: відсутність стиснення; МККТТ група 3 1-мірна Модифікована Хаффмана УПП; стиснення PackBits;

$T$  – тип зображень,  $T = \{t_1^{tiff}, t_2^{tiff}, t_3^{tiff}, t_4^{tiff}\}$ , де  $t_1$  – дворівневі,  $t_2$  – відтінки сірого,  $t_3$  – кольорові палітри,  $t_4$  – повнокольорові зображення RGB;  $I_{tiff}$  – прядок байтів зображення;

$F$  – інші поля файлу зображення, де зчитувачі TIFF повинні бути готовими до обробляти чи ігнорувати приватні поля, не описаних у специфікації TIFF.

## Модель процесу розпізнавання обличчя за допомогою кортежу

Представимо модель процесу розпізнавання обличчя за допомогою кортежу:

$$M_{fr} = \langle F, I, f_{obt}(I), f_{sav}(I_a), f_{cut}(I_b), f_{form}(I_c), f_{feat}(I_d), f_{norm}(I_e), f_v(I_f), f_r(I_g), f_{comp}(I_e) \rangle \quad (2.3)$$

де  $F = \{I_i\}_1^{N_c}$  – множина, що містить усі зібрані для обробки зображення, де  $N_c$  – це загальна кількість зображень;  $f_{obt}(I)$  – функція одержання фрейму, який буде оброблятися для розпізнавання,  $f_{obt}(I) \rightarrow I_a$ ;  $I_a \xrightarrow{f_{obt}(I)} I_a$ ;  $f_{sav}(I_a)$  – функція конвертації (збереження) фрейму в зображення певного типу,  $f_{sav}(I_a) \rightarrow I_b$ ;  $I_a \xrightarrow{f_{sav}(I_a)} I_b$ ;  $f_{cut}(I_b)$  – функція виконання обрізання вхідного зображення до фрейму, на якому присутнє лише обличчя  $f_{cut}(I_b) \rightarrow I_c$ ;  $I_b \xrightarrow{f_{cut}(I_b)} I_c$ ;  $f_{form}(I_c)$  – функція виконання приведення одержаного фрейму до формату зображення, яке має бути готовим до безпосередньої процедури розпізнавання обличчя,  $f_{form}(I_c) \rightarrow I_d$ ;  $I_c \xrightarrow{f_{form}(I_c)} I_d$ ;  $f_{feat}(I_d)$  – функція виконання вилучення множини ознак, властивих зображенню певного типу,  $f_{feat}(I_d) \rightarrow I_e$ ;  $I_d \xrightarrow{f_{feat}(I_d)} I_e$ ;  $f_{norm}(I_e)$  – функція виконання процедури нормалізації вхідних даних обробки та приведення їх до певного формату,  $f_{norm}(I_e) \rightarrow I_f$ ;  $I_e \xrightarrow{f_{norm}(I_e)} I_f$ ;  $f_v(I_f)$  – функція виконання процедури здійснення вейвлет перетворення із залученням певного типу,  $f_v(I_f) \rightarrow I_g$ ;  $I_f \xrightarrow{f_v(I_f)} I_g$ ;  $f_r(I_g)$  – функція виконання процесу розпізнавання обличчя,  $f_r(I_g) \rightarrow R_{res}$ , де  $R_{res}$  – результат розпізнавання;  $I_g \xrightarrow{f_r(I_g)} R_{res}$ .

## Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

### Етапи методу

1. Виділення ознак розпізнавання
2. Процес створення бази ознак об'єктів
3. Процес розпізнавання обличчя

## Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

### Кроки етапу виділення ознак розпізнавання

1. Спочатку вхідне зображення перетворюється з RGB в кольоровий простір YUV.
2. Потім напівтонове зображення зменшується до  $64 \times 64$  пікселів.
3. Після цього до чорно-білих зображень застосовується першорівневе вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші, і одночасно отримуються коефіцієнти низької частоти:

$$R_{MM}(x,y), A_{MM}(x,y), B_{MM}(x,y) \quad A_{MM}(x,y) \text{ і } B_{MM}(x,y),$$

де  $x = 1, \dots, 32; y = 1, \dots, 32$ .

13

## Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

### Кроки етапу виділення ознак розпізнавання

Для того, щоб реалізувати складне вейвлет-перетворення, рекомендується розрахувати середні арифметичні коефіцієнти вейвлета вейвлет Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші за такою формулою:

$$C_{fig}(x,y) = \frac{R_{MM}(x,y) + A_{MM}(x,y) + B_{MM}(x,y)}{3},$$

де  $x=1, \dots, 32; y=1, \dots, 32$ .

14

# Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

## Кроки етапу створення бази ознак об'єктів

1. На основі комбінованого застосування вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші здійснюється вибір характеристики кожного зображення навчального об'єкта вибірки;
2. здійснюється представлення отриманих вейвлет-коефіцієнтів у вигляді сформованого вектора  $\vec{\omega}_i$ , де  $i=1, \dots, V$ ;
3. здійснюється обчислення середнього зображення за формулою:  $\vec{\omega}_{cp} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^V \vec{\omega}_i$
4. здійснюється обчислення різниці середнього зображення з кожного зображення:  $\vec{\Psi}_i = \vec{\omega}_i - \vec{\omega}_{cp}$
5. здійснюється обчислення власних об'єктів для:  $\vec{\sigma}_i = \sum_{k=1}^V i_{ik} \Psi_k$ ,  $i = 1, \dots, V$ , де  $\vec{i}_i$  - власні вектори матриці  $W^T W$ ,  $W = \{\vec{\Psi}_1, \dots, \vec{\Psi}_V\}$ ;
6. здійснюється обчислення для кожного об'єкта відповідного йому вектора  $\vec{Y}_k^T = \{v_1, \dots, v_V\}$  в просторі власних об'єктів, де  $v_i = \vec{\sigma}_i^T (\vec{\omega}_i - \vec{\omega}_{cp})$ ,  $i = 1, \dots, V$ ;
7. здійснюється збереження отриманого вектора в базі, для подальшого використання.

15

# Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

## Кроки етапу розпізнавання обличчя

1. На основі комбінованого застосування вейвлет перетворення Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші здійснюють процедуру вибору характеристики вхідного об'єкта зображення;
2. здійснюється представлення отриманих вейвлет-коефіцієнтів у вигляді вектора  $\vec{I}_{вх}$
3. здійснюється обчислення для вхідного об'єкта розпізнавання (обличчя) відповідного йому вектора  $\vec{Y}^T = \{v_1, \dots, v_V\}$  в просторі власних об'єктів, де  $v_i = \vec{\sigma}_i^T (\vec{\omega}_{вх} - \vec{\omega}_{cp})$ ,  $i = 1, \dots, V$ ;
4. здійснюється зіставлення вхідного об'єкта розпізнавання з кожним відомим об'єктом (обличчя) з бази ознак на основі обчислення відстані Евкліда:

$$D_k^2 = \|\vec{Y} - \vec{Y}_k\|^2$$

5. Порівнюючи значення  $D_k$  з порогом  $\delta$ , визначається відношення належності між вхідним об'єктом та відомим об'єктом. Якщо для деякого  $k$  значення евклідової відстані  $D_k$  менше порога  $\delta$ , то зображення об'єкта належить до  $k$ -ї категорії. Інакше це буде визнано невпізнаним.

16

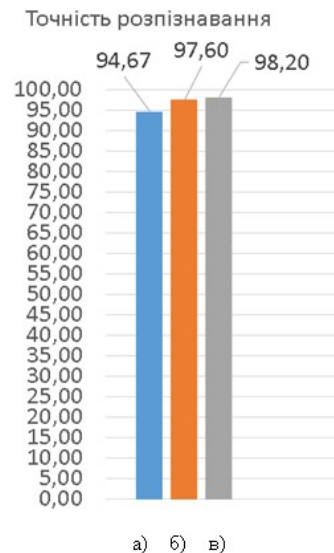
## Блок-схема алгоритму виділення ознак зображення для подальшого розпізнавання



17

## Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

**Експериментальні дослідження ефективності роботи методу**



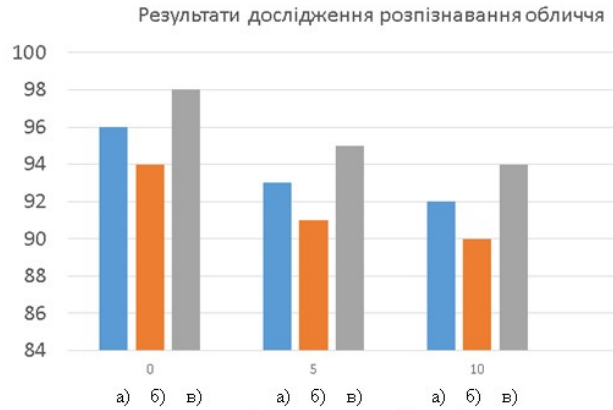
Результати розпізнавання обличчя різними комбінаціями вейвлет перетворень при використанні загального значення порога розпізнавання обличчя:

- а) застосування методу Хаара;
- б) застосування методу Добеші;
- в) застосування запропонованого методу

18

# Метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення

## Експериментальні дослідження ефективності роботи методу в присутності шуму на зображеннях



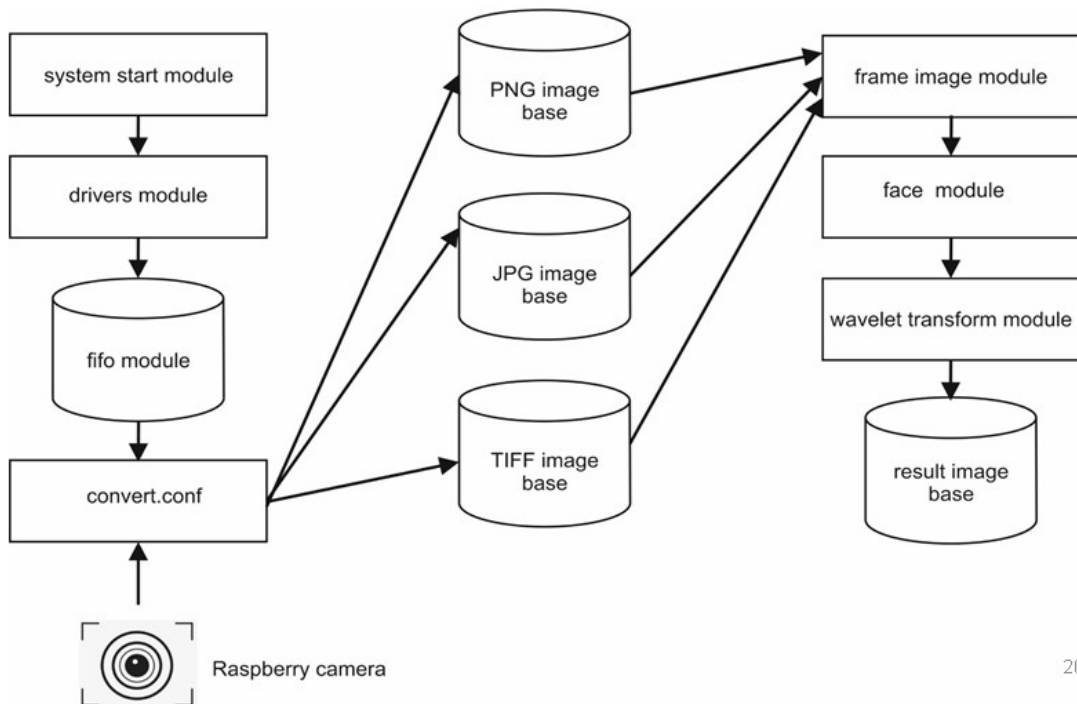
Результати розпізнавання обличчя різними комбінаціями вейвлет перетворень при використанні загального значення порога розпізнавання обличчя:

- а) застосування методу Хаара;
- б) застосування методу Добеші;
- в) застосування запропонованого методу

19

# Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів

## Схема програмно-апаратної реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя



20

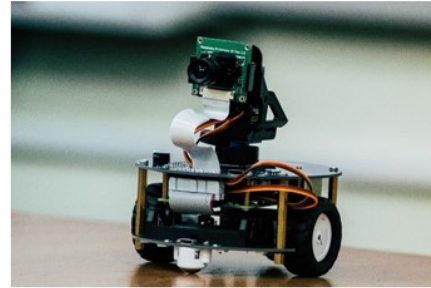
# Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів

## Апаратні компоненти програмно-апаратної реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя

1. Raspberry pi 4 model b, 4Гб



3. платформа AlphaBot2



2. модуль камери Raspberry Pi



21

# Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів

## Програмні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя

Для програмної реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення необхідними є наступні програмні засоби:

1. OpenCV.
2. Python 3.

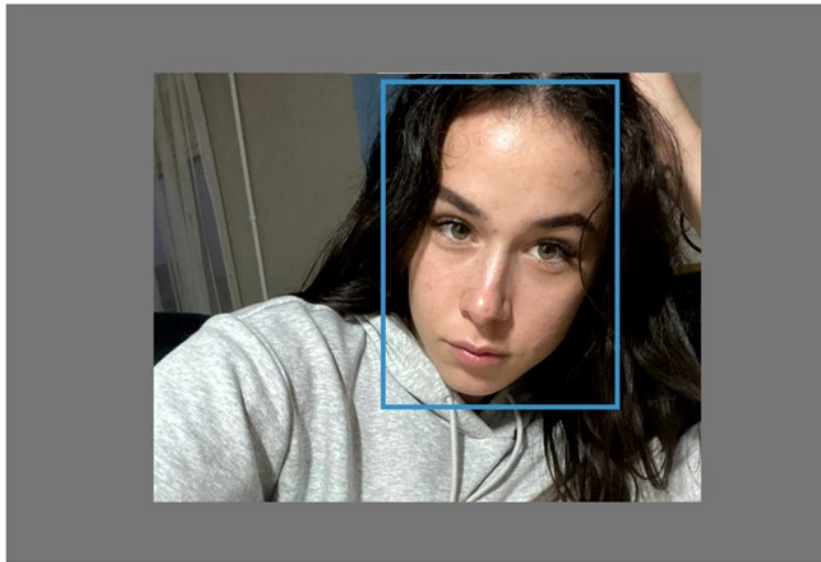
Апаратно-програмна реалізація включає наступні етапи:

1. Виявлення обличчя та збір даних
2. Навчання системи для розпізнання.
3. Безпосередній процес розпізнавання обличчя.

22

# Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів

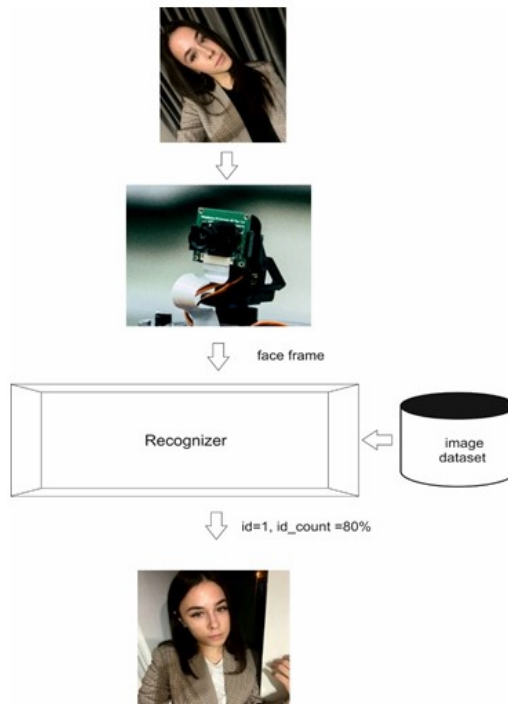
## Процес виявлення фрейму з обличчям



23

# Програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів

## Процес розпізнавання обличчя



24

## **Публікації за матеріалами дипломної роботи**

За темою дипломної роботи опубліковано статтю на тему «Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у пунктах пропуску» в журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» № 1 за 2020 рік.

25

## **Висновки**

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

У першому розділі досліджено методи розпізнавання обличчя. Результати аналізу продемонстрували, що точність такого розпізнавання є невисокою. Також було виявлено, що для ефективного та достовірного розпізнавання обличчя необхідним є розроблення нового методу, які бий би був заснований на поєднанні вейвлет-перетворення та методу основних компонентів. Пропонований метод повинен поєднувати кілька методів вейвлет перетворень. Також було зроблено висновок, що метод повинен ґрунтуватися на застосуванні методу основних компонентів, а отриманий дескриптор вейвлетів використовувався б для розпізнавання обличчя. В розділі представлено постановку задачі.

26

## Висновки

У другому розділі представлено моделі зображень різних форматів зображення, що беруть участь в розпізнаванні обличчя. Також розроблено модель процесу розпізнавання обличчя. Модель враховує усі особливості побудови та обробки зображення для подальшого розпізнавання обличчя, і може стати основою для розроблення методу розпізнавання обличчя.

У третьому розділі представлено метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, який включає можливість опрацювання ознаки обличчя на основі застосування комбінації вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші. Метод включає опрацювання отриманих ознак, які подаються на вхід алгоритму, заснованого на методі головних компонент. Для визначення класу відповідного в базі даних поданої на вхід зображенню застосовується метрика Евкліда. Результати тестування показують, що запропонований алгоритм має високу швидкість і ефективно здійснює розпізнавання обличчя. В результаті експериментальних дослідження запропонованого методу, було з'ясовано, що він підвищує точності та ефективності розпізнавання обличчя і може бути основою для побудови системи розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

27

## Висновки

У четвертому розділі представлено реалізацію програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.

Реалізація ґрунтується на використанні запропонованого методу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, описаного в розділі 3. Також в розділі подано схему функціонування програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, представлено апаратні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, в основі яких запропоновано застосування Raspberry pi4. В розділі представлено програмні компоненти реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення на основі застосування бібліотеки OpenCV. В роботі подано основні налаштування OpenCV для реалізації програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення з відповідним тестуванням камери та безпосереднім розпізнаванням обличчя засобами спроектованого програмно-технічного засобу.<sup>28</sup>

## **Висновки**

Наукова новизна отриманих результатів:

1. удосконалено метод розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів, який на відміну від відомих застосовує комбінаційне поєднання відомих методів вейвлет-перетворення і забезпечує підвищення точності розпізнавання обличчя за наявності імпульсних шумів.

2. набула подальшого розвитку система розпізнавання обличчя, яка забезпечує розпізнавання обличчя з високою точністю.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленні програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів, який базується на застосуванні одноплатної комп'ютерної системи Raspberry PI 4.

Додаток З  
(обов'язковий)

Публікація

УДК 004.94  
 DOI: 10.31891/CSIT-2020-1-4

БОРОВИК О. В., БОРОВИК Л. В.  
 Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького  
 СУРЖАВСЬКА Н. С.  
 Хмельницький національний університет

## ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА СПРОЩЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ ПРОЦЕДУР У ПУНКТАХ ПРОПУСКУ

*Стаття присвячена обґрунтуванню структури системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур в автомобільних пунктах пропуску через державний кордон.*

*У результаті проведеного дослідження запропоновано структуру системи підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у пунктах пропуску автомобільного сполучення. Структура сформована на основі аналізу процесу прикордонного контролю в автомобільних пунктах пропуску та технологічних особливостей запровадження його спрощення, аналізу моделей підтримки прийняття рішень щодо організації та технології застосування спрощення прикордонного контролю, а також аналізу проблемних аспектів їх реалізації і виявлення можливих шляхів їх усунення. У статті обґрунтовано, що основу системи керування базами моделей досліджуваної системи підтримки прийняття рішень мають складати модель визначення необхідності застосування спрощення прикордонного контролю в автомобільних пунктах пропуску, модель визначення тривалості застосування спрощення прикордонного контролю та модель вибору доцільної сукупності контрольних дій до окремих осіб і транспортних засобів з черги. Основу системи керування базами даних досліджуваної системи підтримки прийняття рішень мають складати бази даних, що стосуються обставинки в автомобільному пункті пропуску, яка динамічно змінюється з плином часу, характеристик черги транспортних засобів, тактико-технічних характеристик тих транспортних засобів, з числа яких може формуватися черга в автомобільному пункті пропуску, відомча база даних «Гарт – 1 П», база даних, що стосується правил перетину державного кордону, база даних інформаційних ознак правопорушень на державному кордоні і профілів ризику.*

*Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, ефективність, прикордонний контроль, спрощення контрольних процедур, програмно-алгоритмічне забезпечення, система управління базами моделей, система управління базами даних, користувацький інтерфейс.*

BOROVYK O., BOROVYK L.  
 The National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytskyi  
 SURZHAVSKA N.  
 Khmelnytsky National University

## JUSTIFICATION OF THE STRUCTURE OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SIMPLIFYING CONTROL PROCEDURES AT CROSSING POINTS

*The article is devoted to the substantiation of the structure of the decision support system for the simplification of control procedures at road checkpoints across the state border.*

*As a result of the research, the structure of the decision support system for simplification of control procedures at road checkpoints is proposed. The structure is based on the analysis of the border control process at road checkpoints and technological features of its simplification, analysis of decision support models for the organization and technology of border control simplification, as well as analysis of problematic aspects of their implementation and identification of possible solutions. The article substantiates that the basis of the database management system models of the studied decision support system should be a model for determining the need for simplification of border control at road checkpoints, a model for determining the duration of simplification of border control and a model for selecting appropriate control actions for individuals and vehicles. queues. The basis of the database management system of the studied decision support system should be databases relating to the situation at the checkpoint, which changes dynamically over time, the characteristics of the queue of vehicles, tactical and technical characteristics of those vehicles from which the queue may be formed, car checkpoint, departmental database "Gart - 1 P", a database concerning the rules of crossing the state border, a database of information signs of offenses at the state border and risk profiles.*

*Keywords: decision support system, efficiency, border control, simplification of control procedures, software and algorithmic software, model database management system, database management system, user interface.*

**Постановка проблеми.** Існування черг автотранспорту в пунктах пропуску для автомобільного сполучення (ППр) є значною проблемою. Адже наявність таких черг призводить до напруженості обстановки навколо ППр та порушення режиму їх функціонування. Це негативно впливає на загальну ситуацію в ППр не тільки України, а й суміжної держави, безпеку дорожнього руху, спричиняє виникнення конфліктних і нестандартних ситуацій. Такий стан справ у певні періоди набуває особливого загострення. Причини виникнення черг транспортних засобів (ТЗ) у ППр діляться на дві групи. Перша пов'язана з зовнішніми впливами, що не залежать від реалізації контрольних функцій у ППр. Друга - з умовами реалізації контрольних функцій у ППр уповноваженими структурами.

Положеннями Закону [1] зафіксовано, що під час перетинання державного кордону особи, ТЗ та вантажі підлягають контролю зі сторони відповідних органів виконавчої влади, при цьому ПК, який здійснюється Державною прикордонною службою України (ДПСУ), визначено як один з основних видів контролю. Досвід діяльності ДПСУ вказує на те, що основними шляхами підвищення пропускну здатності ППр є: спільний контроль; завчасна перевірка; пріоритетність пропуску визначених категорій

громадян; делегування окремих перевірочних функцій; уніфікація процедур ПК; автоматизація перевірки паспортних документів; технізація ПК; зміни у технологічний процес пропуску через державний кордон України (ДК) осіб, ТЗ та вантажів. Вони забезпечують спрощення прикордонних формальностей. Разом з тим, такі заходи потребують значних фінансових і часових витрат: застосування договірних та погоджувального процесу як на міжнародному, так і на міжвідомчому рівні, закупівлі відповідного обладнання та навчання персоналу роботи на ньому, проведенню удосконалених технологічних дій тощо.

Досвід оперативно-службової діяльності ДПСУ свідчить про необхідність у ряді випадків прийняття рішення щодо організації пропуску великої кількості осіб і ТЗ у короткий період часу. Правовою основою прийняття такого рішення є положення ст. 11 Закону [1], у відповідності до яких внаслідок непередбачуваного посилення інтенсивності руху, коли час очікування в ППР стає надмірним, а всі кадрові, матеріально-технічні та організаційні можливості до його скорочення вичерпані, начальником підрозділу охорони державного кордону може запроваджуватись спрощення ПК. Спрощення ПК повинно мати тимчасовий характер, запроваджуватись своєчасно і поступово, тобто передбачається обмеженість часових параметрів та певна варіативність цього процесу. Разом з тим, ні зазначена вище законодавча норма, ні інші нормативно-правові акти не дають чіткої деталізації і конкретизації причин та умов застосування спрощення ПК.

Таким чином, правові можливості спрощення ПК наявні. Однак, на сьогоднішній день потребує удосконалення інструментарій практичного застосування спрощення ПК. При прийнятті рішення на організацію ПК в таких умовах необхідно одночасно враховувати велику кількість факторів обстановки, параметрів потоків осіб, ТЗ і вантажів та характеристик сил і засобів ПК. Тому виникає потреба у застосуванні науково-методичного апарату підтримки прийняття рішень такого характеру.

Забезпечення необхідного рівня безпеки, протидії злочинності з одночасним забезпеченням умов для швидкого і комфортного перетинання кордону учасниками міжнародного руху на сьогодні є основним протиріччям практики охорони державного кордону в пунктах пропуску. Механізми забезпечення раціонального вирішення цього протиріччя повинні бути знайдені через спрощення прикордонних формальностей і самих процедур ПК. При цьому, технічним інструментарієм реалізації вказаних механізмів може бути відповідна система підтримки прийняття рішень (СППР).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробленню методологічних засад системи охорони державного кордону, розвитку її стратегії, аналізу загроз і побудови системи прикордонної безпеки, інтегрованого управління кордонами присвятили свої наукові праці вчені М. М. Литвин, Б. М. Олексієнко, В. М. Серватюк, П. А. Шишолін та інші. Проблематику правового забезпечення процедур контролю зовнішніх кордонів та службового досвіду прикордонних відомств ЄС [2] досліджували зарубіжні науковці О. Маренін, Р. Козловські, К. Шелтер та інші.

Значний внесок у розв'язок теоретичних і практичних проблем оцінки ефективності та удосконалення системи охорони державного кордону, у тому числі прикордонного контролю, внесли вчені О. А. Більковський, О. М. Дмитренко, С. О. Дмитров, І. С. Катеринчук, Е. В. Матусяк, В. О. Назаренко, Б. Ф. Єрошин та інші.

Загальним проблемам організаційно-правових засад, проблемам прийняття управлінських рішень присвячені роботи В. І. Денисова, В. А. Кириленка, А. Б. Мисика та інших.

Зокрема, у роботі [3] Литвиним М. М. досліджено систему ПК у ППР та фактори, що впливають на її ефективність. На основі аналізу ефекту впливу параметрів системи ПК на його якість було розроблено функції корисності та методику вибору оптимальних параметрів системи ПК. Розроблена методика дає змогу обрати оптимальні параметри системи (кількість технологічних ліній та тривалість контролю) за такими критеріями: ймовірність обслуговування заявок (осіб, транспорту тощо); час контролю; коефіцієнт насиченості системи. Застосування методики дає змогу визначити такі параметри, при яких система буде справлятися з вхідними потоками осіб і транспорту і не буде простоювати. Автором досліджені організаційні, кадрові та матеріально-технічні аспекти організації оперативно-службових дій, у тому числі прикордонного контролю. В межах своєї роботи автор не розглядає процедури прикордонного контролю та оцінку їх ефективності.

Цим питанням присвячена монографія [4] вчених Назаренка В. О., Серватюка В. М., Ставицького О. М., у якій проаналізовано сучасний стан прикордонного контролю, умови та чинники, які впливають на його ефективність, розроблено вимоги, структура та моделі прикордонного контролю у різних типах пунктів пропуску через державний кордон, представлені моделі, методики та алгоритми, що являють собою удосконалену методику комплексної оцінки ефективності системи прикордонного контролю, розкрито рекомендації та напрями подальшого реформування системи ПК на шляхах міжнародного сполучення України у відповідності до вимог державної прикордонної політики щодо забезпечення національної безпеки України, висвітлено зміст та шляхи реалізації стратегії сталого розвитку системи ПК.

Аналогічні питання досліджувалися у роботах Єрошина Б. Ф. Зокрема, ним було опрацьовано методичний апарат розрахунку ефективності ПК, визначення сил і засобів, оцінки стану облаштування ППР. Розроблені на основі методик рекомендації передбачають варіанти способів виконання завдань, у тому числі деякі аспекти спрощення обов'язкових контрольних процедур, але не дають детального інструментарію застосування таких спрощень.

Продовженням вказаних досліджень у контексті формалізації досліджуваних процесів є праця Катеринчука І. С. [5], у якій представлено комплексну методику раціональних параметрів системи ПК за множиною показників, систематизовано розроблені моделі, методи та алгоритми опису технологій і механізмів контролю, визначення основних чинників, що характеризують ефективність контролю, забезпеченість ППР технічними засобами, рівень автоматизації процесів контролю, складності обстановки в ППР. Застосування методики надає можливості визначення управлінських параметрів, вибору технологій контролю і заходів забезпечення, реалізація яких забезпечить ефективність функціонування системи ПК на заданому рівні. Разом з тим, предметом дослідження виступали стандартні процедури ПК. У роботі оцінка складу процедур та змісту контрольних дій, зв'язок дій з інформаційними ознаками дотримання правил перетинання кордону не розглядалися. Завдання обґрунтування спрощення не ставилось.

Окремі технічні аспекти вказаних питань наведені у дослідженнях Матусяка Е. В. Зокрема, розроблений ним комплекс задач, методик і математичні моделі охоплюють питання автоматизації ПК у ППР для залізничного сполучення та в інших подібних умовах і забезпечують підвищення ефективності ПК за рахунок: скорочення часу на перевірку особи, яка перетинає ДК, збільшення кількості осіб, результати перевірки яких оперативно перевіряються за базами даних.

Узагальненню наведеного і оцінці питань удосконалення ПК в контексті інформаційно-аналітичного забезпечення процесів охорони ДК присвячено роботу Кириленка В. А., в якій наведено математичні й алгоритмічні засоби оцінки ефективності, формування та моніторингу системи інформаційно-аналітичного забезпечення процесів охорони ДК як одного з функціональних елементів забезпечення національної безпеки України в прикордонній сфері. Отримані показники, моделі та методики надають можливість інформаційно-аналітичним підрозділам ДПСУ на всіх рівнях управління своєчасно виявляти, ідентифікувати загрози національній безпеці, прогнозувати їх розвиток і забезпечувати органи управління прикордонного відомства необхідною інформацією для прийняття своєчасних та адекватних рішень щодо нейтралізації загроз і ризиків в прикордонній сфері національної безпеки України. Застосовані підходи щодо врахування інформаційної складової при вирішенні задач оперативно-службової діяльності потребують деталізації для рівня начальника відділу прикордонної служби.

Роботи [6-9] стали продовженням досліджень згаданих вище авторів і на сьогодні їх основні положення використовуються при формуванні раціональних рішень щодо сукупності контрольних дій у ППР для автомобільного сполучення в умовах запровадження спрощення. У цих роботах наведено модель підтримки прийняття рішення щодо організації спрощення ПК і модель підтримки прийняття рішення щодо технології застосування спрощення ПК.

Однак, незважаючи на те, що вказані моделі дозволяють формувати рекомендації щодо організації спрощення ПК, їх застосування обмежене в силу складності обробки значної кількості різномірної інформації, аналіз якої впливає на прийняття управлінських рішень. Тобто, існуючий науково-методичний апарат потребує подальшого розвитку в напрямку створення наукових основ для розробки системи підтримки прийняття рішень на організацію ПК в умовах обмеженості ресурсів.

Зважаючи на це, актуальним завданням є обґрунтування структури СППР на спрощення контрольних процедур у ППР, її розробка та подальше застосування в ППР.

У рамках даної роботи планується дослідження лише першої складової з числа визначених завдань.

**Метою статті** є обґрунтування структури СППР на спрощення контрольних процедур у ППР.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Система підтримки прийняття рішень є інтерактивною системою, яка забезпечує користувачеві легкий доступ до моделей і даних для того, щоб підтримати процес прийняття рішень стосовно слабоструктурованих і неструктурованих завдань.

Типова СППР складається з трьох основних компонентів (підсистем): підсистеми інтерфейсу користувача; підсистеми керування базою даних (СКБД) і підсистеми керування базою моделей (СКБМ) (рис. 1). Ці три підсистеми утворюють основу класичної структури СППР, завдяки якій останні відрізняються від інших типів інформаційних систем [10-12]. Останнім часом з розвитком глобальної мережі Інтернет, корпоративних (Інтранет) та міжорганізаційних (Ентернет) мереж до СППР додають нову підсистему - систему керування повідомленнями (комунікаціями або зв'язком) — СКП (рис. 2). Окремі компоненти цих підсистем зображені на рис. 3.

З урахуванням цього, для досягнення мети дослідження вбачається за доцільне: дослідити процес прикордонного контролю та технологічні особливості його спрощення; здійснити аналіз моделей підтримки прийняття рішення щодо організації спрощення та технології застосування спрощення ПК; виявити проблемні аспекти їх реалізації і оцінити можливі шляхи їх усунення; безпосередньо описати структуру СППР на спрощення контрольних процедур у ППР.

**Опис процесу прикордонного контролю та технологічні особливості його спрощення.** Прикордонний контроль – це державний контроль, що здійснюється ДПСУ, який включає комплекс дій і систему заходів, спрямованих на встановлення законних підстав перетинання ДК особами, ТЗ і переміщення через нього вантажів [1]. Інструментарій ПК стосується виявлення інформаційних ознак правопорушень і виявлення порушень Правил перетинання кордону. При наявності відхилень здійснюється ідентифікація правопорушення за одною чи сукупністю ознак та їх класифікація. Перелік інформаційних ознак

дотримання Правил перетинання кордону наведено у роботі [9]. Виходячи з цього, кожна контрольна дія повинна проводитись цілеспрямовано на перевірку дотримання елементів Правил.

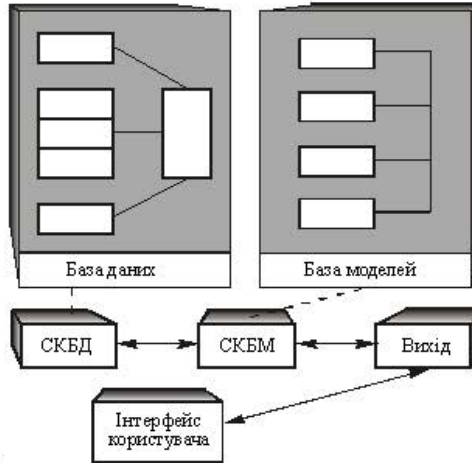


Рис. 1. Класична структура СППР

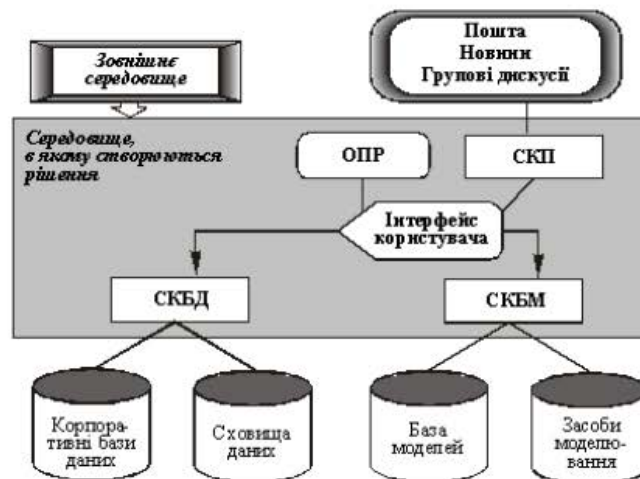


Рис. 2. Сучасна структура системи підтримки прийняття рішень

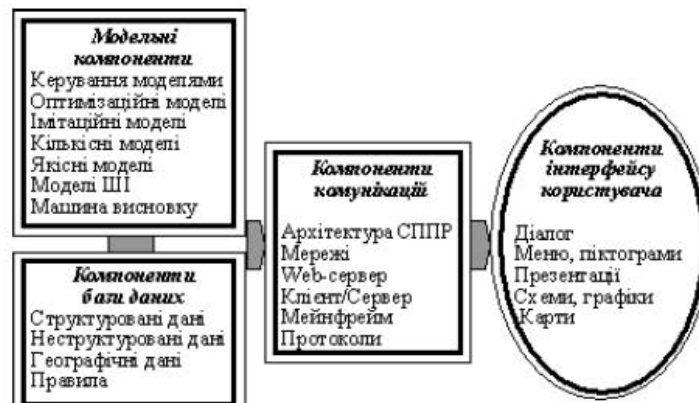


Рис. 3. Компоненти підсистем СППР

Для реалізації спрощення інформаційні ознаки можуть бути прорахунковані. Крім того, в процесі контролю повинна враховуватись реальна обстановка на ділянці кордону та в ШІР. Її джерелами є результати аналізу ризиків та інша поточна інформація. Для забезпечення цілеспрямованості ПК у ДПСУ проводиться діяльність з аналізу та оцінки ризиків, яка передбачає профілювання ризиків. Відправним етапом профілювання ризиків є встановлення профілю ризику, тобто визначення сукупності інформації про загрозу у сфері безпеки ДК та ознак (індикаторів ризику) можливого правопорушення на ДК, за якими це правопорушення може бути виявлене [9]. Тобто, профіль ризику є описом характеристик певного виду правопорушення. Результатом аналізу є формування профілю ризиків. За своєю суттю показник індикатора ризику визначає, на якій категорії осіб, ТЗ та вантажів, чи на якій ознаці необхідно зосередити увагу в ході контролю.

Формування профілів ризиків не дозволяє безпосередньо встановлювати зв'язок між змістом контрольних дій та профілями ризиків. Важливість інформаційних ознак дотримання Правил переміщення через кордон визначається з урахуванням профілювання ризиків. Для цього формується матриця взаємозв'язків, рядками якої є інформаційні ознаки дотримання (або порушення) Правил зі своїми ваговими коефіцієнтами, а стовпцями – показники індикаторів ризиків [13]. Одержана важливість ознак дотримання Правил перетинання кордону є вихідною інформацією для визначення важливості контрольних дій.

Ступінь важливості інформаційних ознак дотримання Правил корегується залежно від показників індикаторів ризиків. Перелік показників існуючих профілів ризиків може бути доповнений інформацією бази даних «Ризик», оперативною інформацією, досвіду служби тощо. Тобто в ході ПК основні зусилля прикордонних нарядів повинні бути спрямовані на контроль дотримання Правил, на які вказують результати аналізу ризиків.

Перелік основних заходів ПК сформовано в Законі [1]. Аналіз керівних документів з питань організації ПК, існуючих технологічних схем, опитування експертів та аналіз змісту інформаційних ознак дозволили сформувати загальний базовий склад контрольних дій [8]. Експертами попередньо оцінено песимістичну та оптимістичну тривалість виконання кожної дії і проведена оцінка її тривалості. Експериментальним шляхом перевірено тривалість виконання кожної дії. Ці дії стосуються як осіб, так і ТЗ. Окремі результати оцінки приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фрагмент базового переліку контрольних дій

№ з/п	Зміст дії	Тривалість виконання, с
1.	Отримати паспортний документ у пред'явника.	1
2.	Оглянути паспортний документ, що пред'являється, визначити його вид і відповідність установленому зразку.	2
3.	Зверити фотокартку в паспортному документі з особою пред'явника.	8
4.	Перевірити візуально, а за потреби з використанням технічних засобів, чи немає у паспортному документі підробок або їх ознак.	28
5.	Перевірити правильність заповнення паспортного документа.	12

Слід зазначити, що огляд ТЗ являє собою процедуру здійснення дій за різними наборами із повного переліку контрольних дій. Ці набори можуть залежати від конструкції ТЗ за видами і типами, наявності та порядку використання персоналу, технічних засобів, службових собак, наявності оперативної інформації, результатів аналізу та оцінки ризиків тощо.

Аналіз переліку інформаційних ознак дотримання Правил і переліку контрольних дій дозволяє визначити обумовленість дій необхідністю виявлення тих чи інших ознак. Фрагмент результатів аналізу приведений в табл. 2. Тобто, важливість контрольної дії буде визначатись важливістю інформаційних ознак про дотримання (або невиконання) Правил з урахуванням показників індикаторів ризиків, на виявлення яких спрямована дія. Це дає можливість оцінити важливість дій з урахуванням взаємозв'язку між інформаційними ознаками та контрольними діями.

Особливістю процесу ПК є те, що час на проведення кожної окремої контрольної дії скоротити неможливо, або це скорочення буде несуттєвим. Тому скорочення загального часу контролю може відбутися тільки в результаті невиконання цієї дії. Разом з тим, спрощення ПК не може бути запроваджене шляхом відмови від проведення будь-якого заходу у повному обсязі. Але, задля пришвидшення процесу ПК, окремим діям, які зазвичай проводяться в рамках зазначених заходів, доцільно надати ознаки вибіркової. Для цього потрібно зробити детальний аналіз кожної складової частини ПК для встановлення технологічних можливостей спрощення.

Слід зауважити, що нормативно визначено перелік дій, які не можуть бути спрощені. А отже, спрощення може поширюватися лише на дії, віднесені до вибіркової. Однак, вибірккові дії не можуть бути застосовані в повній та однаковій мірі щодо всіх підконтрольних об'єктів, адже ці об'єкти відрізняються між собою.

Враховуючи викладене, для коректного вибору варіанту спрощення ПК особи і ТЗ підлягають чіткій типізації. У табл. 3-4 приведено варіант такої типізації із зазначенням вибіркової дій.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL  
**«COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES»**

Таблиця 2

**Матриця зв'язків контрольних дій із інформаційними ознаками дотримання  
Правил перетинання кордону**

Інформаційні ознаки дотримання правил перетинання державного кордону особами, транспортними засобами, переміщення вантажів	Контрольні дії				
	Оглянути паспортний документ, визначити його вид і відповідність установленому зразку	Звернути фотокартку в паспортному документі з особою пред'явника	Перевірити, чи немає у паспортному документі підробок або їх ознак	Здійснити пошук необхідної інформації у відповідних базах даних ДІСУ	Перевірити, чи відповідають відомості, зазначені у візі України, даному
Наявність паспортного документа	3	0	0	0	0
Належність паспортного документа пред'явнику	1	3	2	0	1
Наявність візи	2	0	0	0	3
Відсутність підробок у паспортному документі	1	0	3	0	2
Правильність оформлення паспортного документа	2	0	3	0	1
Наявність доручення правоохоронного органу щодо особи	0	0	0	3	0

Таблиця 3

**Визначення складу вибірових дій відносно певних категорій осіб**

№ з/п	Категорії осіб	Вибіркові дії
1.	Громадяни України - жителі прикордоння та транскордонні працівники на візді.	4, 5, 21, 23
2.	Громадяни України - жителі прикордоння та транскордонні працівники на в'їзді.	4, 5, 21, 23
3.	Громадяни України - жителі тилкових регіонів на візді.	4, 5, 21, 23
4.	Громадяни України - жителі тилкових регіонів на в'їзді.	4, 5, 21, 23
5.	Іноземці - жителі прикордоння суміжних держав та транскордонні працівники на в'їзді.	4, 5, 21, 23, 29, 30, 35
6.	Іноземці - жителі прикордоння суміжних держав та транскордонні працівники на візді.	4, 5, 21, 23
7.	Іноземці з візовим порядком в'їзду на в'їзді.	4, 5, 21, 23, 29, 30, 35
8.	Іноземці з візовим порядком в'їзду на візді.	4, 5, 21, 23
9.	Іноземці з безвізовим порядком в'їзду на в'їзді.	4, 5, 21, 23, 29, 30, 35
10.	Іноземці з безвізовим порядком в'їзду на візді.	4, 5, 21, 23

Таблиця 4

**Визначення складу вибірових дій відносно типів автомобільних транспортних засобів**

Види АТЗ	Типи АТЗ	Вибіркові дії
Пасажи́рські	1. Легкові (5-8 місць).	13-19, 42, 3а, 4а
	2. Мотоцикли (1-3 місць).	
	3. Автобуси (18-50 місць).	
	4. Мікроавтобуси (9-17 місць).	
Вантажно-пасажи́рські	5. Легкові порожні (2-5 місць).	13-19, 42, 3а, 4а
	6. Легкові із вантажем (2-5 місць).	
	7. Мікроавтобуси-фургони або з тентовим кузовом із вантажем (3-6 місць).	
Вантажні	8. Мікроавтобуси з відкритим бортовим кузовом чи платформою із вантажем (3-6 місць).	13-19, 42, 1а-3а, 5а-7а
	9. Мікроавтобуси-фургони або з тентовим кузовом, або з відкритим бортовим кузовом чи платформою порожні (3-6 місць).	
	10. Вантажні до 7 тон в/п з відкритим бортовим кузовом, з платформою порожні (до 3 місць).	13-19, 42, 14а, 16а
	11. Вантажні до 7 тон в/п з тентовим кузовом або рефрижератором порожні (до 3 місць).	
	12. Вантажні до 7 тон в/п з відкритим бортовим кузовом або платформою із вантажем (до 3 місць).	13-19, 42, 13а-15а
	13. Вантажні до 7 тон в/п з тентовим кузовом або рефрижератором із вантажем (до 3 місць).	
	14. Вантажні від 7 тон в/п із неопломбованим вантажем (до 3 місць).	13-19, 42, 14а, 16а
15. Вантажні від 7 тон в/п порожні (до 3 місць).		
16. вантажні від 7 тон в/п із опломбованим вантажем (до 3 місць)		

Поєднання матеріалів табл. 1-4 дозволяє встановити технологічні засади запровадження спрощення ПК, які визначають набори обов'язкових і вибірових дій окремих заходів ПК. При цьому обов'язкові дії повинні реалізовуватись у повній мірі, а вибірові – за окремими умовами.

Таким чином, основу контрольних заходів складає контрольна дія (їх набір), спрямована на одержання інформації про певну ознаку (ознаки) дотримання Правил і виявлення відхилення від норми. В подальшому на підставі оцінки відхилень формується висновок про ознаку чи наявність правопорушення.

Аналіз моделей підтримки прийняття рішення щодо організації спрощення та технології застосування спрощення ПК.

В основу розробки СППР на спрощення контрольних процедур у ППР слід покласти завдання, яке вирішується організатором пропуску у ППР. Це завдання може бути сформульоване так: при необхідності забезпечення скорочення черги в ППР через надмірність перебування в ній певних типів ТЗ необхідно, враховуючи дані обстановки та характеристики черги, сформувати такий набір контрольних дій, який забезпечив би скорочення часу перебування ТЗ у черзі і забезпечив ефективність досягнення мети контролю на рівні, не нижче заданого.

Вирішення цього завдання вимагає інтеграції в досліджувану СППР відповідної моделі підтримки прийняття рішення, що дозволить сформувати і оцінити контрольні дії та здійснити обґрунтований їх вибір в залежності від характеристик черги, потоку ТЗ та можливостей сил і засобів щодо проведення контролю в умовах обмеженості ресурсів, зокрема часових. Виходячи з сутності процесу управління спрощенням ПК, його можна умовно розділити на підпроцеси організації спрощення ПК та технології його реалізації. А отже, СППР має містити моделі обох підпроцесів.

Окремі дослідження вказаних питань наведені у працях [6-9].

Із вказаних робіт випливає, що організація спрощення ПК складається з двох підмоделей: підмоделі визначення необхідності застосування спрощення ПК; підмоделі визначення важливості інформаційних ознак дотримання Правил перетинання державного кордону.

Алгоритм підмоделі визначення необхідності застосування спрощення ПК приведений на рис. 4.

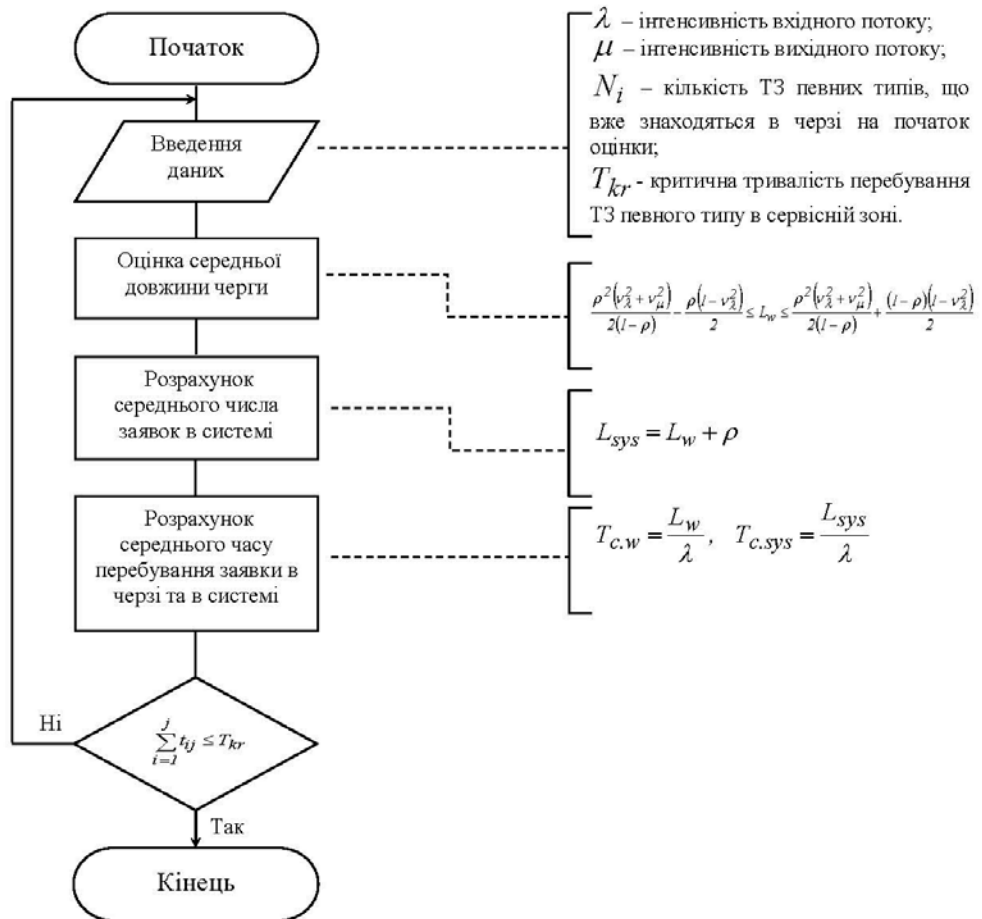


Рис. 4. Алгоритм підмоделі визначення необхідності застосування спрощення прикордонного контролю

Ця підмодель дозволяє спрогнозувати зростання та убування черги, обґрунтувати необхідність застосування спрощення ПК, надає організатору ПК можливість прийняття своєчасного рішення щодо запровадження спрощення ПК та його коригування, визначення часу початку та закінчення спрощення.

У підмоделі визначення важливості інформаційних ознак дотримання Правил перетинання державного кордону реалізуються наступні процедури.

Виходячи зі ступеню небезпеки, яка пов'язана з тією чи іншою ознакою, експертним методом визначаються вагові коефіцієнти їх важливості. Задача визначення важливості інформаційних ознак дотримання Правил підпадає під задачу таксономії. Для її розв'язання можна застосувати підхід, що наведений у роботі [13].

В основу профілювання ризиків покладено корегування важливості інформаційних ознак дотримання Правил в залежності від показників індикаторів ризиків.

Таким чином, модель дозволяє отримати вагові коефіцієнти інформаційних ознак дотримання Правил з урахуванням профілювання ризиків та поточної інформації про обстановку на ДК. Завданням системи збору, обробки та аналізу даних обстановки є постійне коригування значень вагових коефіцієнтів, що забезпечить реальне врахування її параметрів на результати ПК.

Одержана важливість ознак дотримання Правил є вихідною інформацією для визначення важливості контрольних дій.

У роботі [8] описано модель технології застосування спрощення ПК, як сукупність двох підмоделей: підмоделі визначення важливості контрольних дій в залежності від ваги інформаційних ознак дотримання Правил; підмоделі вибору сукупності контрольних дій в умовах необхідності застосування спрощення ПК.

Підмодель розрахунку ступеня важливості контрольних дій дозволяє проводити аналіз організації контролю у ППР за показником сукупності проконтрольованих інформаційних ознак дотримання Правил переміщення через кордон. Це дозволяє здійснювати формування ієрархії важливості контрольних дій, визначати їх обов'язковий чи вибірковий характер, обирати комплекс контрольних дій з числа вибіркових для забезпечення спрощення ПК.

Друга підмодель моделі технології застосування спрощення ПК дозволяє здійснювати вибірку дій, які забезпечують ефективність контролю на рівні не нижче заданого (або максимальному) при витратах часу, що призведуть до скорочення черги. Ця задача вирішується комбінаторним методом.

В основі підмоделі знаходиться наступна задача. Нехай задана смуга руху ТЗ з чергою довжиною  $l$  (геометрична протяжність черги). При цьому  $l \geq l_{kr}$ , де  $l_{kr}$  – критична довжина черги, яка передбачає можливість запровадження спрощення ПК. У черзі ТЗ присутні  $m$  видів ТЗ. Задано час  $T$ , протягом якого доцільно здійснювати спрощення ПК (величина  $T$  визначається особою, яка приймає рішення), або  $l_{gr}$  – гранична (мінімальна) довжина черги, до досягнення якої доцільно здійснювати спрощення ПК (величина  $l_{gr}$  визначається ОПР).

$A_i \left( i = \overline{1, m} \right)$  –  $i$ -й вид АТЗ. Кожен вид ТЗ містить певну кількість типів ТЗ.  $k_{Ai}$  – кількість типів ТЗ виду  $A_i \left( i = \overline{1, m} \right)$ ,  $A_{ij} \left( i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k_{Ai}} \right)$  –  $j$ -й тип ТЗ виду  $A_i \left( i = \overline{1, m} \right)$ . Для кожного виду ТЗ величини  $k_{Ai}$  в загальному випадку різні.

Кожен тип ТЗ містить певну кількість зразків ТЗ.  $k_{Aij}$  – кількість зразків ТЗ  $j$ -го типу виду  $A_i$ ,  $A_{ijk} \left( i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k_{Ai}}, k = \overline{1, k_{Aij}} \right)$  –  $k$ -й зразок  $j$ -го типу ТЗ виду  $A_i \left( i = \overline{1, m} \right)$ . У загальному випадку величини  $k_{Aij}$  різні.

Співвідношення між видами, типами і зразками ТЗ наведені в табл. 5.

Якщо  $n$  загальна кількість ТЗ у черзі, то  $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_{Ai}} \sum_{k=1}^{k_{Aij}} Aijk = n$ .

Величина

$$Aijk = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k_{Ai}}, k = \overline{1, k_{Aij}}, \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

$k_{Dg}$  – кількість дій заходу  $Dg \left( g = \overline{1, r} \right)$ . Для кожного заходу ПК величини  $k_{Dg}$  в загальному випадку різні.

Таблиця 5

Співвідношення між видами, типами і зразками ТЗ

Види АТЗ	Типи АТЗ	Зразки АТЗ	
<i>A1</i>	<i>A11</i>	<i>A111</i>	
		<i>A112</i>	
		...	
		<i>A11k<sub>A11</sub></i>	
	<i>A12</i>	<i>A121</i>	
		<i>A122</i>	
		...	
		<i>A12k<sub>A12</sub></i>	
	...	<i>Alk<sub>A1</sub></i>	<i>Alk<sub>A1</sub>1</i>
			<i>Alk<sub>A1</sub>2</i>
			...
			<i>Alk<sub>A1</sub>k<sub>A1</sub>Alk<sub>A1</sub></i>
<i>A2</i>	<i>A21</i>	<i>A211</i>	
		<i>A212</i>	
		...	
		<i>A21k<sub>A21</sub></i>	
	<i>A22</i>	<i>A221</i>	
		<i>A222</i>	
		...	
		<i>A22k<sub>A22</sub></i>	
	...	<i>A2k<sub>A2</sub></i>	<i>A2k<sub>A2</sub>1</i>
			<i>A2k<sub>A2</sub>2</i>
			...
			<i>A2k<sub>A2</sub>k<sub>A2</sub>A2k<sub>A2</sub></i>
...	...	...	
<i>Am</i>	<i>Am1</i>	<i>Am11</i>	
		<i>Am12</i>	
		...	
		<i>Am1k<sub>Am1</sub></i>	
	<i>Am2</i>	<i>Am21</i>	
		<i>Am22</i>	
		...	
		<i>Am2k<sub>Am2</sub></i>	
	...	<i>Amk<sub>Am</sub></i>	<i>Amk<sub>Am</sub>1</i>
			<i>Amk<sub>Am</sub>2</i>
			...
			<i>Amk<sub>Am</sub>k<sub>Am</sub>Amk<sub>Am</sub></i>

Співвідношення між діями та заходами ПК наведено в табл. 6.

Кожній дії  $Dgs$  ставиться у відповідність деяка величина  $tg_s \left( g = \overline{1, r}, s = \overline{1, k_{Dg}} \right)$ , яка

характеризує час, що затрачається на реалізацію дії  $Dgs$ , і яка також може бути оцінена з табл. 6.

Множина  $D$  являє собою сукупність дій  $Dgs$  і може бути розбита на дві підмножини:  $Dob$ ,  $Dvib$ , які являють собою сукупність обов'язкових і вибіркових дій, що повинні застосовуватись до окремих типів ТЗ.

$Dob_{ij} \left( i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k_{Ai}} \right)$  – сукупність обов’язкових дій, які повинні бути реалізовані під час ПК  $j$ -го типу ТЗ виду  $A_i \left( i = \overline{1, m} \right)$ .  $Dvib_{ij} \left( i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k_{Ai}} \right)$  – сукупність вибірових дій, які можуть бути реалізовані під час ПК  $j$ -го типу ТЗ виду  $A_i \left( i = \overline{1, m} \right)$ . Множини  $Dob_{ij}$  і  $Dvib_{ij}$  для конкретних значень  $i, j$  являють собою розбиття множини  $D$  і для різних значень  $i, j$  ці розбиття можуть бути різні. Крім цього, елементи множин  $Dob_{ij}$  і  $Dvib_{ij}$  для конкретних значень  $i, j$ , тобто для конкретних типів ТЗ  $A_{ij} \left( i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k_{Ai}} \right)$ , визначаються на основі проведених досліджень.

Таблиця 6

Співвідношення між діями та заходами ПК		
Заходи ПК	Дії ПК	Час на реалізацію дій ПК
$D1$	$D11$	$t11$
	$D12$	$t12$
	...	...
	$D1k_{D1}$	$t1k_{D1}$
$D2$	$D21$	$t21$
	$D22$	$t22$
	...	...
	$D2k_{D2}$	$t2k_{D2}$
...	...	...
$Dr$	$Dr1$	$tr1$
	$Dr2$	$tr2$
	...	...
	$Drk_{Dr}$	$trk_{Dr}$

З урахуванням протяжності черги  $l$ , мінімальної довжини черги  $l_{gr}$ , кількості  $m$  видів АТЗ, кількості  $k_{Ai}$  типів ТЗ виду  $A_i$ , кількості  $k_{Aij}$  зразків ТЗ  $j$ -го типу виду  $A_i$ , часу  $T$ , протягом якого доцільно застосувати спрощення ПК, визначити оптимальну сукупність вибірових дій ПК  $D^* vib_{ijk}$ , які доцільно застосовувати до ТЗ  $A_{ijk}$ .

Під оптимальною сукупністю вибірових дій ПК розуміються їх такі набори до всіх ТЗ  $A_{ijk}$ , які забезпечують  $\max E$ , де  $E = \sum_i \sum_j \sum_k Eob_{ijk} + \sum_i \sum_j \sum_k e^* ob_{ijk}$ . В останньому виразі  $e^* ob_{ijk}$  – елементи множини  $\bar{E} vib_{ij}$ .

Сукупність вибірових дій ПК, яку доцільно застосовувати до конкретного зразка ТЗ, реалізується в межах проміжку такого часу, що відповідає вимозі

$$T \leq T_{gr} \quad (1)$$

при обмеженні

$$E \geq E_{norm} \quad (2)$$

де  $T_{gr}$  – це час, перевищення якого призведе до появи періоду надмірного часу очікування на перетинання ДК;

$E_{norm}$  – це нормативно визначений рівень ефективності ПК конкретного типу ТЗ.

Алгоритм вказаної моделі приведено на рис. 5.

Таким чином, раціональна організація спрощення ПК передбачає досягнення обраного критерію ефективності процесу ПК за рахунок доцільного вибору контрольних дій.

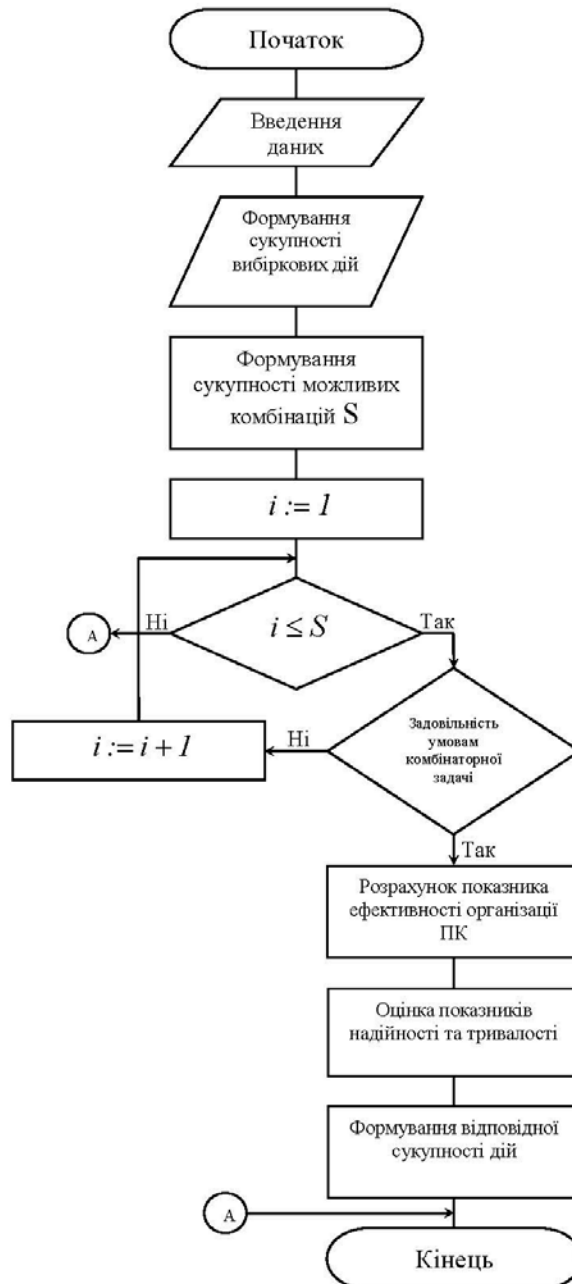


Рис. 5. Алгоритм функціонування моделі вибору комбінацій контрольних дій

В умовах необхідності скорочення сумарної тривалості контрольних дій та заходів математична постановка задачі забезпечення виконання контрольних дій та заходів сформульована наступним чином.

Задана множина контрольних дій, спрямованих на виявлення інформаційних ознак дотримання правил перетинання ДК особами, ТЗ та переміщення вантажів, що складають завдання ПК ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Визначена важливість кожної інформаційної ознаки ( $k = 0 \div 1$ ) з урахуванням ступеню її місця в забезпеченні прикордонної безпеки держави та наявних показників індикаторів ризиків. Визначена значимість контрольних дій ( $\rho = 0 \div 1$ ) з урахуванням їх можливостей до виявлення ознак виконання Правил та способів виявлення. Визначена очікувана розрахункова тривалість виконання контрольних дій

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL  
**«COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES»**

інспекторами середньої кваліфікації з необхідним рівнем якості  $t_i$ . Задана директивна (критична) тривалість проведення контрольних дій та заходів в залежності від типів об'єктів контролю.

Визначити такий набір контрольних дій за кожним типом об'єктів контролю, який би забезпечив скорочення їх загальної тривалості до  $T_{zag} \leq T_{kr}$ . При цьому надійність контролю повинна бути не нижче заданого або максимальною.

Вихідні дані для наведеної комбінаторної оптимізаційної задачі мають бути отримані послідовно з моделі визначення значимості контрольних дій в залежності від важливості інформаційних ознак дотримання Правил з урахуванням профілювання ризиків, моделі оцінки необхідності запровадження спрощення.

Проблемні аспекти реалізації моделей підтримки прийняття рішення щодо організації спрощення та технології застосування спрощення ПК і можливі шляхи їх усунення.

Аналіз моделей підтримки прийняття рішення щодо організації спрощення та технології застосування спрощення ПК, що наведений вище, а також описаний у згаданих вище наукових працях, дозволяє констатувати наступні проблемні аспекти реалізації моделей.

Щодо підмоделі визначення необхідності застосування спрощення ПК:

1. Потребує уточнення припущення про одноканальність ШПр, як системи масового обслуговування.

2. Потребує уточнення можливість застосування математичного апарату визначення директивного часу обслуговування однієї заявки певного типу в залежності від структури черги.

3. Підмодель потребує удосконалення в частині визначення періоду часу реалізації спрощення контрольних дій.

Щодо підмоделі визначення важливості інформаційних ознак дотримання Правил перетинання державного кордону:

1. Потребує уточнення механізм встановлення та врахування взаємозв'язку окремих інформаційних ознак дотримання Правил і сукупності різних індикаторів ризику.

Щодо підмоделі визначення важливості контрольних дій в залежності від ваги інформаційних ознак дотримання Правил:

1. Потребує уточнення механізм встановлення та врахування взаємозв'язку окремих контрольних дій і сукупності різних інформаційних ознак дотримання Правил.

2. Потребує дослідження питання можливості безпосереднього визначення важливості контрольних дій в залежності від індикаторів ризику.

Щодо підмоделі вибору сукупності контрольних дій в умовах необхідності застосування спрощення ПК:

1. Потребує детальнішого обґрунтування питання вибору сукупності контрольних дій у залежності від їх ваги та необхідності реалізації нетиповості вибору для однотипних ТЗ.

Таким чином, існує ряд проблемних моментів, які потребують окремого дослідження та врахування у СШПр на спрощення контрольних процедур у ШПр.

На даний час вбачається за доцільне їх дослідження із застосуванням методів теорії ймовірностей, математичної статистики, комбінаторики, теорії оптимізації, теорії алгоритмів, теорії масового обслуговування та класичних методів вищої математики.

Структура СШПр на спрощення контрольних процедур у ШПр.

Проведений аналіз процесу ПК та технологічних особливостей його спрощення, моделей підтримки прийняття рішення щодо організації спрощення та технології застосування спрощення ПК, а також можливих шляхів усунення проблемних аспектів їх реалізації, дозволяє запропонувати наступну структуру СШПр на спрощення контрольних процедур у ШПр, яка може бути оцінена з табл. 7.

Таблиця 7

**Структура СШПр на спрощення контрольних процедур у ШПр**

<b>Компоненти СКБМ</b>
Модель визначення необхідності застосування спрощення прикордонного контролю
Модель визначення тривалості застосування спрощення прикордонного контролю
Модель вибору сукупності контрольних дій до окремих осіб і ТЗ з черги
<b>Компоненти СКБД</b>
База даних, що стосується обстановки у ШПр
База даних, що стосується характеристик черги ТЗ
База даних, що стосується характеристик ТЗ, з числа яких може формуватися черга
База даних «Гарт-ІП»
База даних, що стосується правил перетину ДКУ
База даних інформаційних ознак правопорушень
База даних профілів ризику
<b>Компоненти інтерфейсу</b>
Діалогові компоненти щодо вхідних параметрів моделей СКБМ і баз даних СКБД
Схеми ділянки відповідальності
Схеми, графіки, презентації, що визначають процедури, алгоритми та аналітичні дані спрощення ПК
Меню, піктограми

Така система підтримки прийняття рішень на спрощення контрольних процедур у ШПР повинна забезпечити створення інформаційного фонду підтримки рішення та автоматизацію технологій вирішення функціональних завдань, застосування інструментальних програмних засобів.

**Висновки.** За результатами проведеного дослідження технологія ПК представляється як сукупність типових контрольних дій, важливість яких визначається законодавчою базою ПК та важливістю інформаційних ознак дотримання Правил переміщення через державний кордон. Ефективність ПК визначена як здатність до виявлення сукупності виявлення інформаційних ознак дотримання правил з урахуванням її важливості. Такий підхід є базою для формалізації процесу ПК, розробки моделей підтримки рішень на його організацію та удосконалення методики організації ПК на основі застосування відповідної СППР.

Напрямами подальших досліджень вбачається удосконалення існуючих моделей підтримки прийняття рішень щодо організації спрощення та технології застосування спрощення ПК в частині усунення проблемних аспектів, що проаналізовані в роботі, а також деталізація структури СППР на спрощення контрольних процедур у ШПР і її програмно-алгоритмічна реалізація.

#### Література

1. Про прикордонний контроль : Закон України від 05.11.2009 № 1710-VI : за станом на 19.11.2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua>.
2. Borders and security governance / edited by Marina Caparini and Otwin Marenin; LIT Verlag GmbH and Co. – Zurich; Switzerland, 2006. – 311 p.
3. Литвин, М. М. Методологічні основи реформування системи охорони державного кордону України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра наук з держ. управління : спец. 21.07.05 «Службово-бойова діяльність сил охорони правопорядку» / М. М. Литвин. – К. : Вид-во ВІ КНУ, 2010. – 36 с.
4. Назаренко, В. О. Теорія і практика організації та здійснення прикордонного контролю в контексті забезпечення національної безпеки України в прикордонній сфері : монографія / Назаренко В. О., Серватюк В. М., Ставицький О. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2013. – 353 с.
5. Катеринчук, І. С. Комплексна оцінка ефективності функціонування системи прикордонного контролю за множиною показників / І. С. Катеринчук, С. П. Гетманюк // Збірник наукових праць № 52. Серія : Військові та технічні науки / голов. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2010. – С. 13–17.
6. Боровик, О. В. Правові і технічні можливості спрощення прикордонного контролю у пунктах пропуску через державний кордон для автомобільного сполучення / О. В. Боровик, О. М. Дмитренко // Збірник наукових праць № 57. Серія : Військові та технічні науки / голов. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2012. – С. 8–17.
7. Боровик О. В., Дмитренко О. М. Математична постановка задачі технологічного спрощення прикордонного контролю в автомобільних пунктах пропуску через державний кордон на основі реалізації вибіркового заходів прикордонного контролю // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». № 732. – 2012. – С. 316-320.
8. Боровик О. В., Дмитренко О. М., Трасковецька Л. М. Математична модель підтримки прийняття рішення на спрощення прикордонного контролю // Збірник наукових праць № 58. Серія : Військові та технічні науки. – Хмельницький : Вид. НАДПСУ, 2012. – С. 8-11.
9. Мисик, А. Б. Модель формування та оцінки заходів забезпечення прикордонної безпеки / А. Б. Мисик, О. М. Дмитренко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К. : Вид-во НУОУ, 2013. – № 1 (16). – С. 44–47.
10. Першина Е.Л., Попова О.А., Чуканов С.Н. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: комплексные программы, модели, методы, приложения. Монография. - Омск: СибАДИ, 2010. - 204 с.
11. Геловани В.А. и др. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях. - М.: Эдиториап УРСС, 2001. - 304 с.
12. Титоренко Г.А. Информационные технологии управления. Учеб. пособие для вузов /Под ред. проф. Г. А. Титоренко. - 2-е изд., доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 439 с.
13. Городнов, В. П. Спосіб розрахунку ступеня важливості основних ознак протиправної діяльності в пунктах пропуску через державний кордон / В. П. Городнов, О. А. Бінковський, В. А. Кириленко // Честь і закон. – 2008. – № 2. – С. 35–39.

#### References

1. On border control: Law of Ukraine of 05.11.2009 № 1710-VI: as of 19.11.2012 [Electronic resource]. - Access mode: <http://zakon4.rada.gov.ua>.
2. Borders and security governance / edited by Marina Caparini and Otwin Marenin; LIT Verlag GmbH and Co. - Zurich; Switzerland, 2006. - 311 p.
3. Lytvyn, M.M. Methodological bases of reforming the system of protection of the state border of Ukraine: author's ref. dis. for science. degree of doctor of sciences from the state. management: special. 21.07.05 "Service and combat activity of law enforcement forces" / M.M. Lytvyn. - K.: VIKNU, 2010. - 36 p.
4. Nazarenko, V.O. Theory and practice of organization and implementation of border control in the context of ensuring the national security of Ukraine in the border area: a monograph / Nazarenko V.O., Servatyuk V.M., Stavitsky O.M. - Khmelnytsky: Ed. in NADPSU, 2013. - 353 p.
5. Katerynychuk, I.S. Complex assessment of the effectiveness of the border control system for a set of indicators / I.S. Katerynychuk, S.P. Getmanyuk // Collection of scientific works № 52. Series: Military and technical sciences / chapter. ed. Oleksienko B.M. - Khmelnytsky: NADPSU Publishing House, 2010. - P. 13–17.
6. Borovyk, O.V. Legal and technical possibilities of simplification of border control at checkpoints across the state border for road transport / O.V. Borovyk, O.M. Dmitrenko // Collection of scientific works № 57. Series: Military and technical sciences / head. ed. Oleksienko B.M. - Khmelnytsky: NADPSU Publishing House, 2012. - P. 8–17.
7. Borovyk O.V., Dmitrenko O.M. Mathematical formulation of the problem of technological simplification of border control at automobile checkpoints across the state border on the basis of implementation of selective measures of border control // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" Computer Science and Information technologies". № 732. - 2012. - P. 316-320.
8. Borovyk O.V., Dmitrenko O.M., Traskovetskaya L.M. Mathematical model of decision support for simplification of border control // Collection of scientific works № 58. Series: Military and technical sciences. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2012. - P. 8-11.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL  
«COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES»

---

9. Mysyk, A.B. Model of formation and evaluation of measures to ensure border security / A.B. Mysyk, O.M. Dmitrenko // *Modern information technologies in the field of security and defense*. - K.: NUOU, 2013. - № 1 (16). - P. 44–47.
10. Pershina E.L., Popova O.A., Chukanov S.N. *Intelligent decision support systems: software packages, models, methods, applications*. Monograph. - Omsk: SibADI, 2010. - 204 p.
11. Gelovani V.A. etc. *Intelligent decision support systems in abnormal situations*. - M.: Editorial URSS, 2001. - 304 p.
12. Titorenko G.A. *Management information technologies*. Textbook. manual for universities / Ed. prof. G.A. Titorenko. - 2nd ed., Ext. - M.: UNITY-DANA, 2003. - 439 p.
13. Gorodnov, V.P. Method of calculating the degree of importance of the main features of illegal activity at checkpoints across the state border / V.P. Gorodnov, O.A. Binkovsky, V.A. Kirilenko // *Honor and law*. - 2008. - № 2. - P. 35–39.

Надійшла / Paper received: 27.07.2020  
Надрукована / Paper Printed : 02.09.2020

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
01.05.2021 19:26:22 EEST

Дата звіту:  
01.05.2021 19:27:14 EEST

ID перевірки:  
1007647474

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Метод та засоби системи розпізнавання обличчя з використанням вейвлет-дескрипторів

Кількість сторінок: 83 Кількість слів: 11670 Кількість символів: 85585 Розмір файлу: 10.61 MB ID файлу: 1007757976

## 1.87% Схожість

Найбільша схожість: 0.89% з Інтернет-джерелом ([https://cad.kpi.ua/attachments/093\\_2017d\\_Savchuk.pdf](https://cad.kpi.ua/attachments/093_2017d_Savchuk.pdf))

1.48% Джерела з Інтернету

11

Сторінка 85

0.57% Джерела з Бібліотеки

9

Сторінка 85

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

78

# Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальное совпадение с одним документом 1.0%**

**Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 10%**

ID: 89699 Название: Метод та засоби системи розпізнавання обличчя з використанням вейвлет-дескрипторів Добавлено в БД: 2021-05-01 Авторы: Суржавська Н.С. Руководители: Лисенко С.М. Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	76249	635	922 (1%)	12 (2%)

## Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

## РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Дипломник студент групи КІ2м-19-1 Суржавська Н.С.

Тема Метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

### Обсяг дипломного проекту:

кількість листів креслень 0; кількість сторінок записки 82

1. Короткий зміст ДП та прийнятих рішень Представлена робота присвячена розробленню методу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення
2. Висновок про відповідність ДП дипломному завданню Кваліфікаційна робота у повній мірі відповідає поставленому завданню із дотриманням усіх вимог
3. Характеристика виконання кожного розділу проекту, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі досліджено методи розпізнавання обличчя. Результати аналізу продемонстрували, що точність такого розпізнавання є невисокою. В розділі представлено постановку задачі. У другому розділі представлено моделі зображень різних форматів зображення, що беруть участь в розпізнаванні обличчя. Також розроблено модель процесу розпізнавання обличчя. Модель враховує усі особливості побудови та обробки зображення для подальшого розпізнавання обличчя, і може стати основою для розроблення методу розпізнавання обличчя. У третьому розділі представлено метод розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення, який включає можливість опрацювання ознаки обличчя на основі застосування комбінації вейвлет-перетворень Ксі Жіхуа, Хаара та Добеші. Метод включає опрацювання отриманих ознак, які подаються на вхід алгоритму, заснованого на методі головних компонент. Для визначення класу відповідного в базі даних поданої на вхід зображенню застосовується метрика Евкліда. Результати тестування показують, що запропонований алгоритм має високу швидкість і ефективно здійснює розпізнавання обличчя. В результаті експериментальних дослідження запропонованого методу, було з'ясовано, що він підвищує точності та ефективності розпізнавання обличчя і може бути основою для побудови системи розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення. У четвертому розділі представлено реалізацію програмно-технічного засобу розпізнавання обличчя з використанням вейвлет перетворення.
4. Позитивні сторони роботи В результаті виконаного наукового дослідження було у розроблено програмно-технічний засіб розпізнавання обличчя з використанням вейвлет дескрипторів, який базується на застосуванні одноплатної комп'ютерної системи Raspberry PI 4..

5. Негативні сторони проекту Не в повній мірі здійснено аналіз методів розпізнавання обличчя і з залученням ШНМ

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки проекту Матеріали кваліфікаційної роботи є структурованими у чіткій та логічній формі та відображають послідовність виконання поставлених задач

---

---

---

---

7. Відгук про проект в цілому Зміст представленої роботи в повній мірі розкриває обрану тему. Дослідження, проведені є аргументованими в повній мірі.

---

---

---

---

8. Інші зауваження \_\_\_\_\_

---

---

---

---

9. Оцінка дипломного проекту Робота заслуговує оцінки «добре», а її автор присвоєння кваліфікації «магістр з комп'ютерної інженерії»

РЕЦЕНЗЕНТ (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Джулій В.М. , к.т.н.,

доцент, кафедри кафедри кібербезпеки та комп'ютерних систем і мереж

Хмельницького національного університету

---

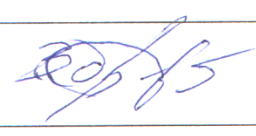
---

---

---

---

« 28 » квітня 2021 р.



(підпис)

Завідувачу кафедри КІСП  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Суржавської Н.С.

---

ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи КІ2м-19-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

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

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

5.05.2021

дата



підпис

# РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ

## КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

### ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Метод та засоби системи розпізнавання обличчя на основі використанням вейвлет дескрипторів

Автор: Суржавська Наталія Сергіївна

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія та програмування

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Лисенко С.М., д.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщене в розділі ВСТУП є назва журналу, де опублікована робота студента;
- 2) запозичення в першому розділі є назви загально відомих методів розпізнавання обличчя та їх коротких фрагмент опис;
- 3) окремі виявлені збіги є загальновживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 9 джерелами з бібліотек та 11 джерелами з мережі Інтернет;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності слів, що описують структуру зображень, що є загальновідомою інформацією;
- 5) чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 6) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 1.87% і адресується до 20 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

С.М. Лисенко

Гарант ОП \_\_\_\_\_

О. С. Савенко

Завідувач кафедри КІСП \_\_\_\_\_

Т. О. Говорущенко