

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»
(назва факультету)

Кафедра «Електронні обчислювальні машини»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка та дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям

за освітньою програмою Комп'ютерна інженерія

зі спеціальності: 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: КС2321

_____ / Владислав РУСЕЦЬКИЙ /
(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: _____ / доцент, Денис ОСТАПЕЦЬ /
(підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер: _____ / доцент, Олег ЄГОРОВ /
(підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ / _____ /
(назва розділу) (підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ / _____ /
(назва розділу) (підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ / _____ /
(назва розділу) (підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент _____
(підпис)

Дніпро – 2025 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Computer technologies and systems»

(faculty)

Department «Electronic computers»

(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis
first (master's)
(higher education degree)

on the topic: Development and research of the effectiveness of means of information systems users identification / authentication by face

according to educational curriculum Computer Engineering

in the Speciality: 123 Computer Engineering

(speciality and its code)

Done by the student of the group: KC2321

/ Vladyslav Rusetskyi /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Associate Professor, Denys Ostapets/

(position, name, surname)

Normative controller :

/ Associate Professor, Oleh Yehorov/

(position, name, surname)

Supervisors

(Chapter title heading)

/ _____ /
(position, name, surname)

(Chapter title heading)

/ _____ /
(position, name, surname)

(Chapter title heading)

/ _____ /
(position, name, surname)

(Chapter title heading)

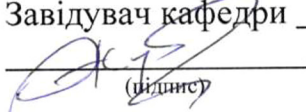
/ _____ /
(position, name, surname)

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерні технології і системи
Кафедра: ЕОМ
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Комп'ютерна інженерія
Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
 _____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
(ступінь вищої освіти)

студенту Русецькому Владиславу Вікторовичу
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розробка та дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям

Керівник роботи: Остапець Денис Олександрович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від " 16 " 09 2024 р. № 1116ст.

2. Строк подання студентом роботи: 20.01.2025_р.

3. Вихідні дані до роботи: Методи та алгоритми біометричної ідентифікації та автентифікації за обличчям

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Огляд і аналіз методів ідентифікації та автентифікації за обличчям;

4.2 Функції, режими роботи та формати даних розроблюваних засобів;

4.3 Розробка програмного забезпечення;

4.4 Дослідження ефективності ідентифікації / автентифікації осіб з використанням розроблених засобів

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

– Порівняльний аналіз методик розпізнавання обличчя та бібліотек комп. зору;

– Етапи розпізнавання обличчя;

– Структура даних, склад та функції комплексу;

– Основні алгоритми програми;

– Результати досліджень.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

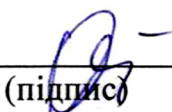
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд і аналіз методів ідентифікації та автентифікації за обличчям	13.11.2024	20%
2	Функції, режими роботи та формати даних розроблених засобів	29.11.2024	20%
3	Розробка програмного забезпечення	25.12.2024	30%
4	Дослідження ефективності ідентифікації / автентифікації осіб з використанням розроблених засобів	14.01.2025	25%
5	Реферат, вступ, висновки	17.01.2025	5%
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.01.2025	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	24.01.2025	

Студент


 (підпис)

Владислав РУСЕЦЬКИЙ
 (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


 (підпис)

Денис ОСТАПЕЦЬ
 (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Відгук керівника
кваліфікаційної роботи магістра

Студент групи КС2321 Русецький Владислав Вікторович
(шифр групи) (Прізвище, Ім'я, По батькові)

Тема випускної роботи: Розробка та дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям

1. Якісні відмінності кваліфікаційної роботи:

В роботі виконано огляд і аналіз відомих методик розпізнавання обличчя та комп'ютерного зору. Розроблено алгоритми та відповідне програмне забезпечення для виявлення обличчя на фото та розпізнавання особи серед її фото та фото інших осіб. Виконане дослідження ефективності ідентифікації / автентифікації осіб з використанням розроблених засобів. Проведено аналіз результатів.

Основні положення та окремі результати роботи опубліковані у 2024 році в статті у збірнику «Системні технології», який є науковим фаховим виданням України категорії «Б». Матеріали роботи доповідалися та були схвалені на XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті», Міжнародній науково-технічній конференції студентів і молодих учених «Молода академія – 24» та Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів і молодих учених «Наука і сталий розвиток транспорту» у 2024 році. Оpubліковані відповідні тези доповідей.

2. Зауваження:

Над своєю роботою автор працював неритмічно; суттєві зауваження по роботі відсутні

3. Висновок щодо дотримання академічної доброчесності
Академічну доброчесність дотримано.

Комплексна оцінка кваліфікаційної роботи:

Дипломна робота заслуговує відмінної оцінки, а її автору може бути надано рекомендацію до вступу в аспірантуру.

Керівник: доцент каф. ЕОМ
Дата: 23.01.2025р.



Денис ОСТАПЕЦЬ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:
(рівень освіти)

81 с., 31 рис., 9 табл., 5 додатків, 28 джерел.

Об'єкт розробки – засоби біометричної ідентифікації та автентифікації за обличчям.

Мета роботи – розробка та дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям.

Методи дослідження – експериментальні дослідження ідентифікації та автентифікації за обличчям з використанням наборів фото осіб.

Проведено огляд і аналіз відомих методих розпізнавання обличчя та комп'ютерного зору. Розроблено алгоритми та програмне забезпечення виявлення обличчя на фото та розпізнавання особи серед її фото та фото інших осіб. Досліджено ефективність ідентифікації / автентифікації осіб з використанням розроблених засобів.

Результати роботи можуть бути використані для підвищення ефективності використання ресурсів обчислювальної системи в алгоритмах виявлення та ідентифікації / автентифікації особи за обличчям, а також у навчальних цілях.

Ключові слова: ІДЕНТИФІКАЦІЯ, АВТЕНТИФІКАЦІЯ, ВИЯВЛЕННЯ ОБЛИЧЧЯ, СПІВВІДНОШЕННЯ, КЛЮЧОВІ ТОЧКИ, ВІДРІЗКИ, C++, OPENCV, DLIB.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АВТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА ОБЛИЧЧЯМ	9
1.1 Загальні відомості	9
1.2 Відомі методики розпізнавання обличчя	10
1.3 Відомі бібліотеки комп'ютерного зору	15
1.4 Висновки за розділом	18
2 ФУНКЦІЇ, РЕЖИМИ РОБОТИ ТА ФОРМАТИ ДАНИХ РОЗРОБЛЮВАНИХ ЗАСОБІВ	19
2.1 Технічне завдання на розробку	19
2.2 Основні етапи порівняння облич	20
2.3 Склад та принцип формування результуючих даних	21
2.4 Висновки за розділом	26
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	27
3.1 Вибір середовища та засобів розробки	27
3.2 Розробка програмного забезпечення порівняння фото особи з фото інших осіб	28
3.3 Розробка програмного забезпечення порівняння фото особи з її іншими фото	30
3.4 Розробка програмного забезпечення виявлення обличчя на фото	32
3.5 Розробка скрипту для формування табличних даних результатів виявлення обличчя на фото	34
3.6 Висновки за розділом	35
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ / АВТЕНТИФІКАЦІЇ ОСІБ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНИХ ЗАСОБІВ	36
4.1 Дослідження ефективності виявлення обличчя на фото	36
4.2 Дослідження ефективності ідентифікації при порівнянні фото особи з фото інших осіб, наявних в базі	45

4.3 Дослідження ефективності ідентифікації при порівнянні фото особи з її іншими фото, наявними в базі	53
4.4 Висновки за розділом	58
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТОК А	63
ДОДАТОК Б	64
ДОДАТОК В	65
ДОДАТОК Г	66
ДОДАТОК Д	67

ВСТУП

На сьогодні автентифікація та ідентифікація за обличчям стрімко розвивається, оскільки існує величезний запит на це. У світі, де активно цифровізуються багато аспектів життя, виникла потреба швидко, якісно і легко захищати особисті дані на своїх пристроях. Переважно це стосується смартфонів. FaceID є невід’ємним функціоналом кожного нового смартфона. Проте, також це може стосуватися і більш важливих та глобальніших даних.

Для забезпечення швидкості, провідні експерти цієї галузі розвивають та оптимізують методи розпізнавань облич. Попри постійне зростання продуктивності систем, питання оптимізації алгоритмів розпізнавання залишається головним для досягнення суттєвого приросту швидкодії. Таким чином, робота є актуальною.

Мета роботи – розробка та дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям.

Основні положення та деякі результати роботи опубліковані в статті у збірнику «Системні технології» [1], який є науковим фаховим виданням України категорії «Б». Матеріали роботи доповідалися та були схвалені на XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» [2], Міжнародній науково-технічній конференції студентів і молодих учених «Молода академія – 24» [3] та Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів і молодих учених «Наука і сталий розвиток транспорту» у 2024 році [4].

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АВТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА ОБЛИЧЧЯМ

1.1 Загальні відомості

Ідентифікація – це процес або певна процедура встановлення особи, об'єкта чи їх групи на основі характеристик. Вона буває трьох типів [5]:

- апаратна або ж майнова;
- парольна;
- біометрична.

В контексті ідентифікації за обличчям використовуються фізичні особливості для уніфікації людини та надання в подальшому привілейованих можливостей. Інакше кажучи, ідентифікація за обличчям стосується біометричного типу. Біометрична ідентифікація може використовувати не тільки особливості структури обличчя, а і інші унікальні для особи фізіологічні властивості. Прикладом можуть слугувати ідентифікація за відбитком пальця, сітківкою ока, роговицею ока. Усі перелічені особливості є суто індивідуальними через, що доступ стороннього об'єкту в ідеалі унеможлиблюється, проте можливі хибні допуски та не допуски через використання апаратного забезпечення, не коректного взяття даних зразку та деяких менш вагомих факторів.

Автентифікація – це процес, який визначає наявність у системі особи та є проміжним етапом між ідентифікацією та авторизацією [6]. Для виконання автентифікації особа, що потенційно може отримати доступ пред'являє власний ідентифікатор, після чого проходить процес пошуку відповідності у системі. Автентифікація буває однофакторною, тобто якщо дослівно то необхідний один фактор, він же ідентифікатор для доступу та багатфакторна, тобто використовується два або більше ідентифікатора. Часто використовується визначення двофакторна автентифікація, але вона є лише окремим випадком багатфакторної. Варто зазначити, що для кращої ефективності системи при використанні багатфакторної автентифікації,

краще використовувати декілька різних ідентифікаторів, наприклад доволі поширене комбінування парольного ідентифікатора та майнового у вигляді ключ-карти, або парольного та ідентифікатора за обличчям. Повна логіка роботи ідентифікації, автентифікації та авторизації представлена на рис. 1.1 [7].

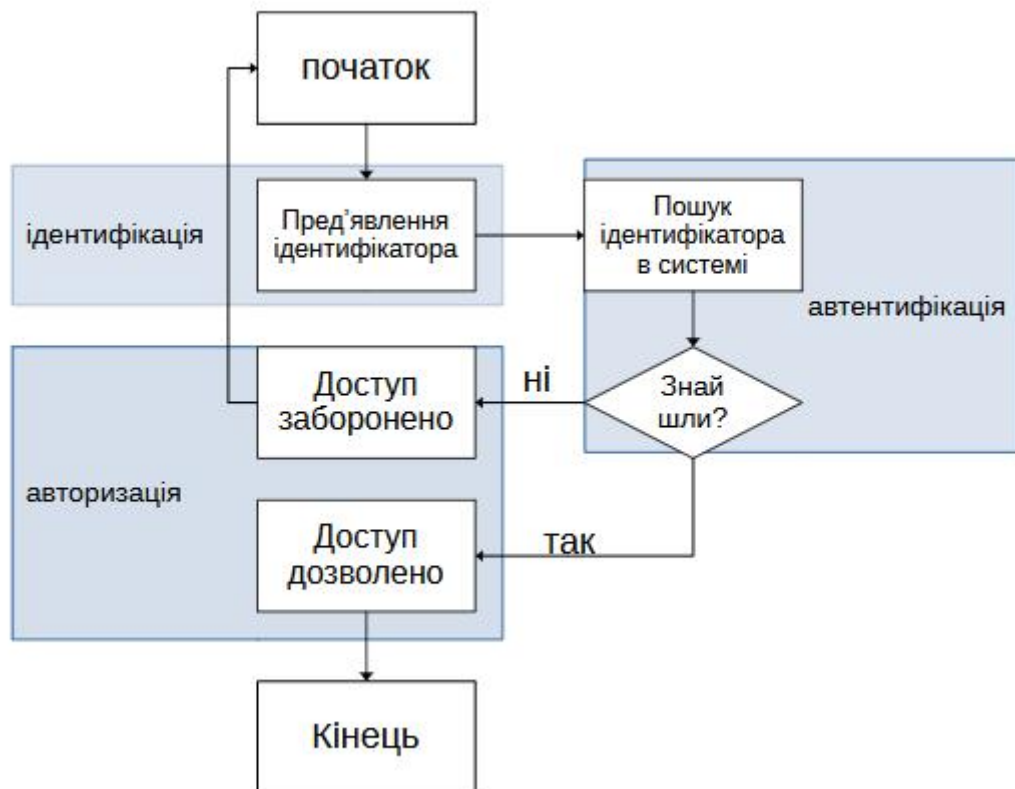


Рисунок 1.1 – Процеси ідентифікації, автентифікації, авторизації

1.2 Відомі методики розпізнавання обличчя

Каскад Хаара (Haar Cascades) – це алгоритм розроблений для розпізнавання облич але в подальшому розвинутий для розпізнавання заданих об'єктів [8]. Він базується на створенні ознак Хаара за якими знаходяться перегини контрастності пікселів що допомагає знаходити певні об'єкти або риси обличчя на фото, приклади ознак Хаара представленні на рис. 1.2.

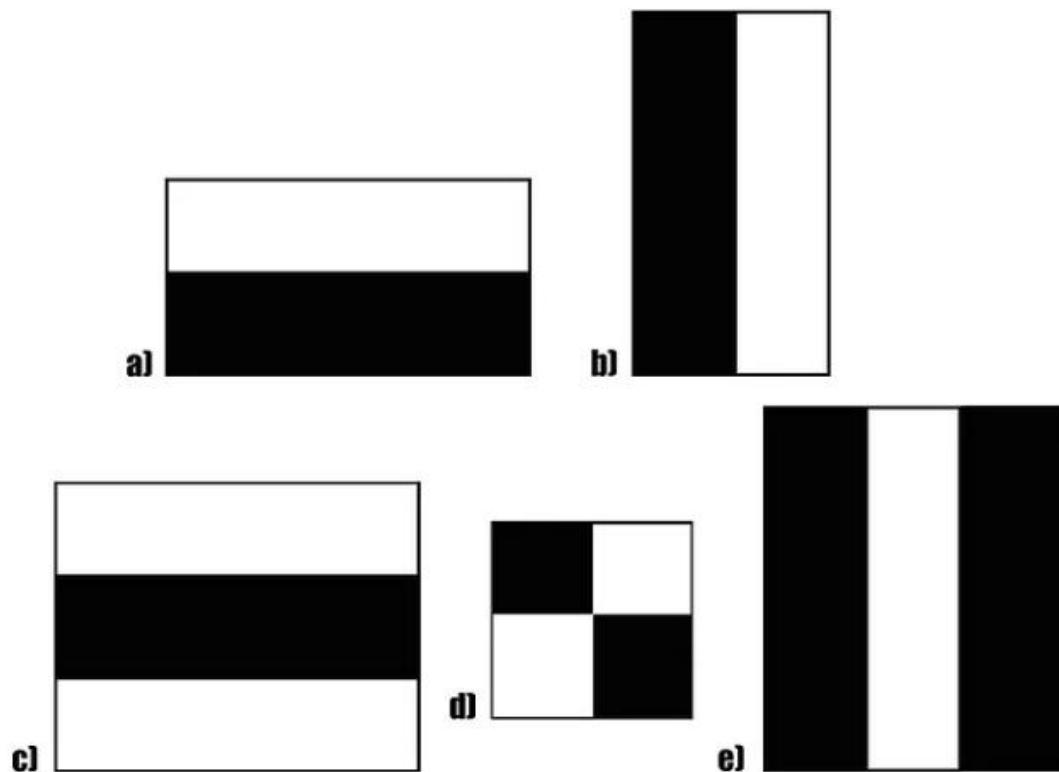


Рисунок 1.2 – Зразок ознак Хаара

На фото кандидаті для знаходження обличчя присвоюється кожному пікселю числовий еквівалент від 0 до 1 в залежності до яскравості (де 0 абсолютно білий піксель, 1 – чорний). Потім фрагментарно накладається ознака(ядро Хаара) після чого сумуються значення пікселів потрапивших у світлу частину ядра та знаходиться різниця від суми пікселів в темній частині. Якщо результат близький до 1 то перегин знайдений. Приклад зображено на рис. 1.3.

Ліва сторона:

$$(1+0,5+0,8+0,4+0,1+0,2+0,6+0,8+1+0,9+0,1+0,5+0,1+0,3+0,7+0,4+1+0,2)/18$$

Права сторона:

$$(0,7+0,4+0,1+0,5+0,8+0,2+0,3+0,7+0,5+0,1+0,4+0,8+0,9+0,6+1+0,7+0,3+0,1)/18$$

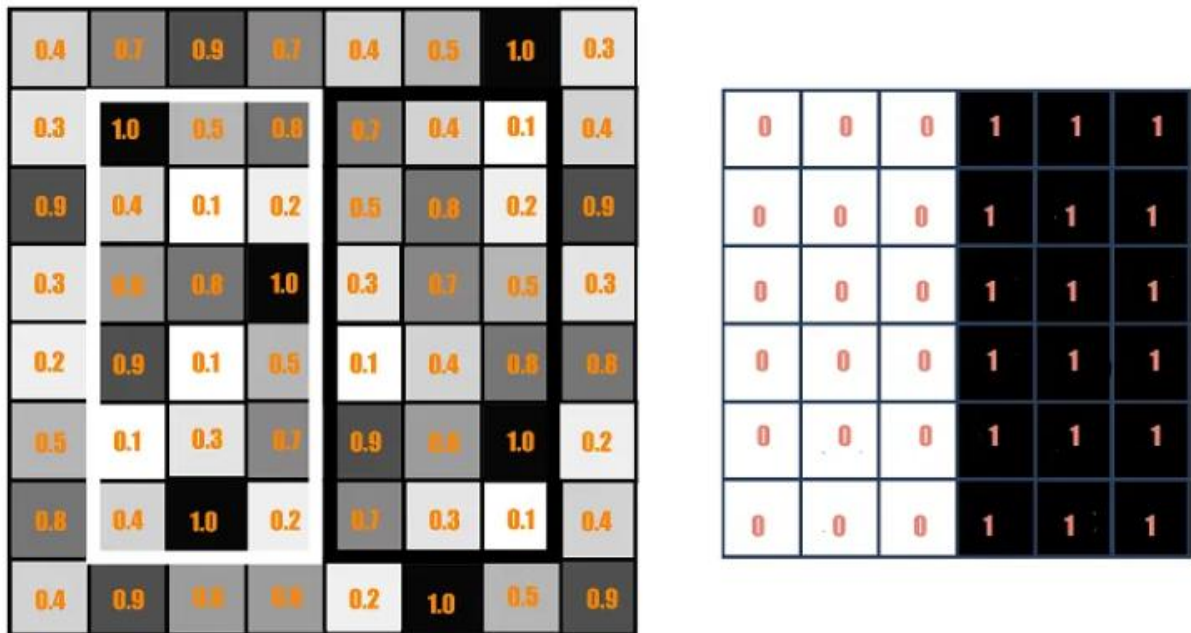


Рисунок 1.3 – Накладання ядра Хаара на фрагмент зображення

Різниця складає -0.02 , що є дуже далеким значенням від 1. Оскільки таку процедуру необхідно виконувати велику кількість разів, подібні розрахунки використовують велику кількість обчислювальних ресурсів. Тому ця концепція була вдосконалена інтегральними зображеннями. Суть в тому що починаючи з верхнього лівого кута значення пікселів дорівнюють сумі пікселів по вертикалі і горизонталі до цього. Приклад наведено на рис. 1.4.

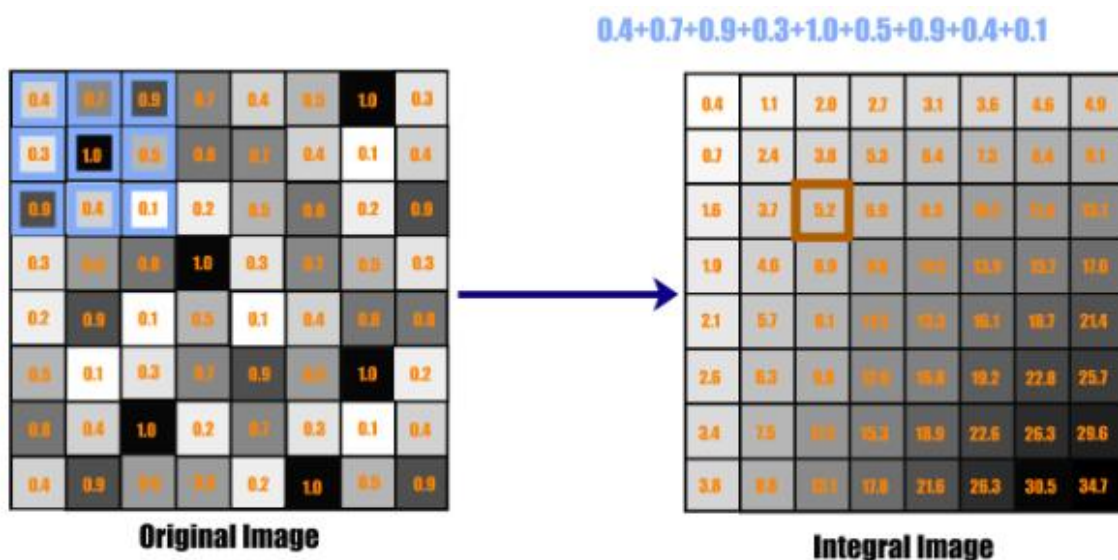


Рисунок 1.4 – Створення інтегрального зображення

В результаті такого перетворення достатньо додавати лише 4 кутові пікселі ядра Хаара, що значно полегшує складність розрахунків [9].

Метод HOG (Histogram of Oriented Gradients) – це метод, який використовує для визначення країв та контурів об'єктів [10]. Він використовує градієнти та їх обробку для знаходження контурів об'єкту. Першим етапом є знаходження градієнту зображення. Для цього зображення ділиться на блоки та знаходяться похідні. Зазвичай блоки розміром 8 на 8 пікселів, але для прикладу роботи методу використаємо блок 3 на 3. Усі значення пікселів варіюються від 0 до 255, це градація сірого кольору де 0 це білий а 255 – чорний. Припустимо що ми маємо такий блок пікселів:

$$M = \begin{bmatrix} 110 & 150 & 130 \\ 180 & 212 & 195 \\ 170 & 200 & 185 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Для знаходження похідних можна використати фільтри Собеля:

$$\text{SobelX} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{SobelY} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Наклавши фільтр на наш блок ми отримаємо $\Delta X=65$ $\Delta Y=215$. Величина градієнта розраховується за допомогою Евклідової норми [11]:

$$\text{Magnitude} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} = \sqrt{(65)^2 + (215)^2} = \sqrt{4225 + 46225} = \sqrt{50450} \approx 224.63 \quad (1.3)$$

Кут знаходиться за допомогою функції арктангенса:

$$\text{Direction} = \theta = \text{atan2}(\Delta Y, \Delta X) = \text{atan2}(215, 65) \quad (1.4)$$

Результат формули 1.4 відповідає значенню 72 градуси. Після розрахунку градієнта для кожного пікселя зображення ділиться на комірки та рахується значення гістограми для кожної комірки. Для цього формуються контейнери в які будуть заноситися значення припадаючі на їх діапазон(наприклад кут 72 градуси попаде в контейнер від 60 до 80 градусів). В результаті формується вектор ознак який являє собою матрицю. В ній знаходяться усі необхідні градієнти та гістограми для подальшого машинного навчання [12].

Метод SVM(Support Vector Machine) – алгоритм котрий доволі тісно використовується з HOG в рамках аналізу і знаходження обличчя. Основною задачею є знаходження гіперплощини або оптимальну лінію розділення площин що по суті різними назвами виконання одного результату. Добре

можна зрозуміти роботу алгоритму якщо використати його на розділення площини між різними типами об'єктів. Алгоритм SVM знайде найоптимальнішу пряму (в стандартному варіанті) лінію розділення їх. Приклад роботи SVM представлено на рисунку 1.5 [13].

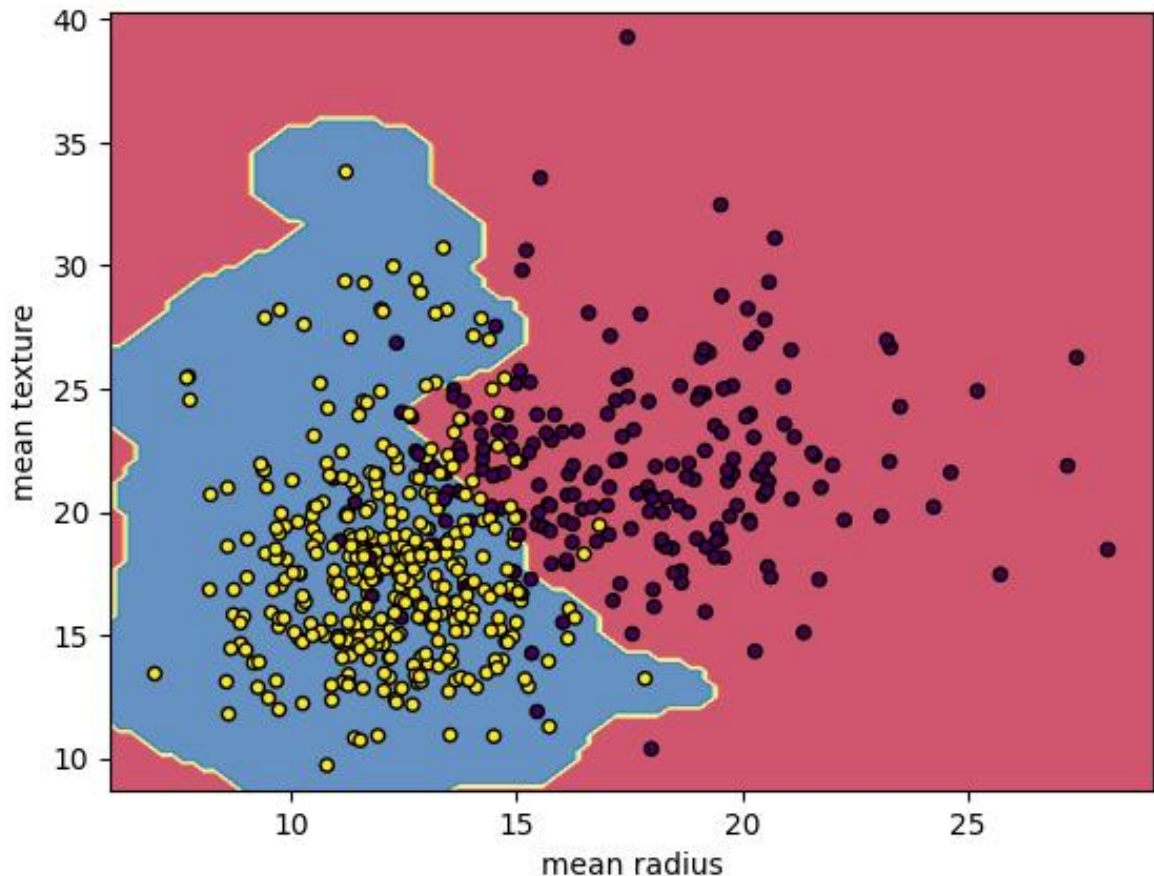


Рисунок 1.5 – Робота методу SVM для 2-х різних площин

Ключовим принципом роботи алгоритму є знаходження такої лінії щоб відстань до найближчих точок різних площин була максимальною. Як видно з прикладу, дані не завжди можуть бути повноцінно розділеними між собою. Для цього робота алгоритму розділяється на дві класифікації:

- Класифікація із жорстким зазором;
- Класифікація із м'яким зазором.

Жорсткий зазор – використовується коли необхідно розділити усі об'єкти без відхилень до відповідних площин. Працює за умови якщо

об'єкти добре розділені. В роботі з аналізом фото він не використовується через складність зображень і не точність граней розділення між об'єктами.

М'який зазор – допускається деяка кількість похибка, що дозволяє не включати окремі об'єкти до розрахунку оптимальної лінії. Товщина і ступінь “розмиття” лінії вирівнюється в залежності від накладеного “штрафу” [13].

1.3 Відомі бібліотеки комп'ютерного зору

OpenCV – одна з найпопулярніших бібліотек машинного зору, має власні інструменти для захоплення облич, наприклад вище описаний метод каскадів Хаара та реалізований метод HOG. Також ця бібліотека підтримує обробку відео у реальному часі. Дана бібліотека розроблена на мові програмування C++, проте вже розроблені також обгортки для інших мов, наприклад таких як Python або Java. Має величезну документацію та відеоматеріалу для поглибленої роботи з інструментами цієї бібліотеки. Якщо узагальнити то це дуже різноманітна і різнонаправлена бібліотека яка має велику сумісність іншими інструментами та має обширну документацію для дуже тонкого налаштування та вирішення найдрібніших проблем. Приклад роботи OpenCV у відеопотоці наведено на рис 1.7 [14]. Фото взято з [15].

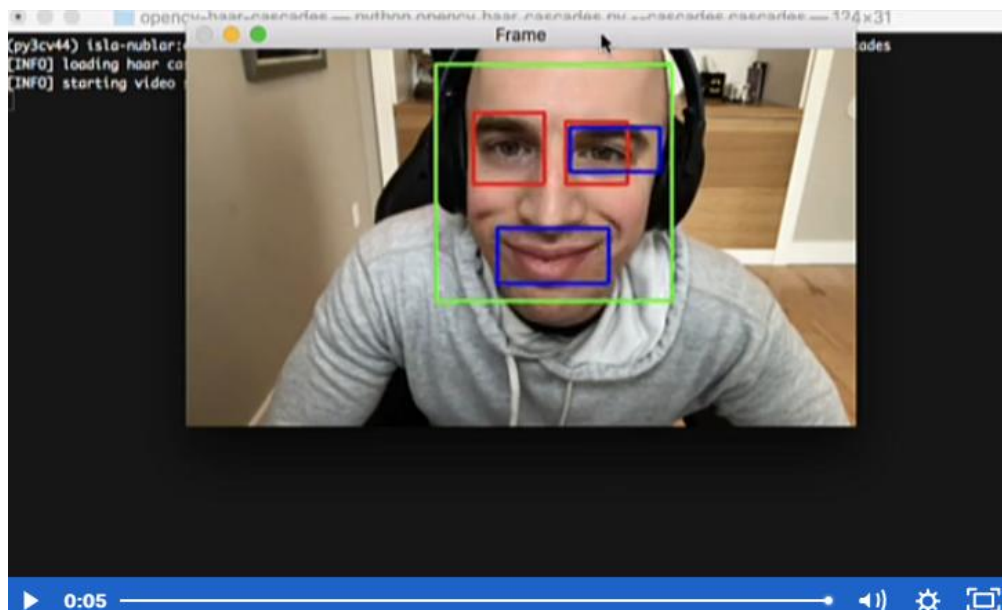


Рисунок 1.7 – Робота OpenCV при розпізнаванні обличчя

Dlib – бібліотека, що відома більше саме точністю серед біометричних алгоритмів, а саме серед методик розпізнавання облич, один з популярних алгоритмів це MTCNN(Multi-task Cascades Convolutional Networks). Цей метод в результаті здатен як виявити обличчя так і знайти ключові точки на ньому. Ця бібліотека має інтуїтивно зрозумілий API(application programming interface), має реалізації на таких мовах програмування як C++ та Python. Узагальнено Dlib вузько направлена і спеціалізована бібліотека для роботи алгоритмами розпізнавання облич. Її зосередженість дозволяє формувати місцями більш якісні результати. Приклад роботи Dlib наведено на рис. 1.8 [16]. Фото взято з [17].

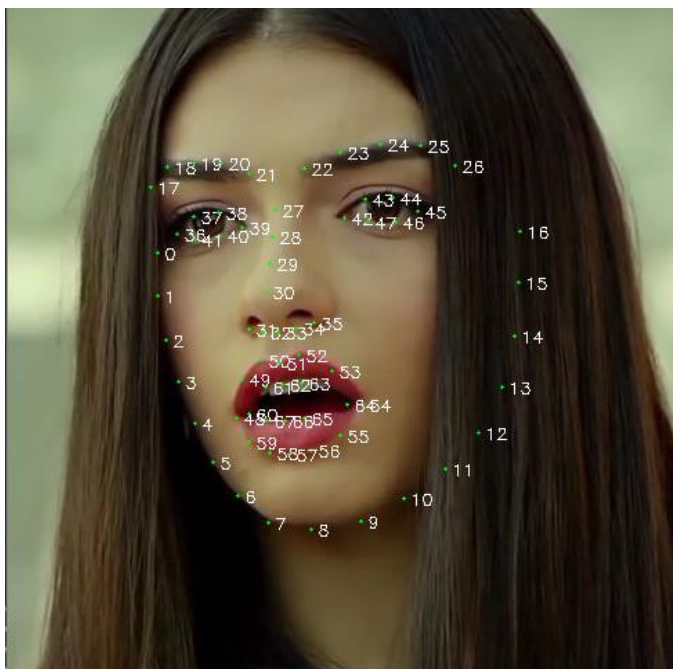


Рисунок 1.8 – Приклад роботи Dlib

За результатами аналізу методик, алгоритмів та бібліотек можна сформувати порівняльні характеристики. Серед критеріїв будуть зручність у використанні інструментів, глибина налаштування, кількість відкритої документації, платформозалежність, а також критерії що відносять до методів захоплення, а саме початкові дані такі як якість фото, поворот обличчя, вплив освітлення, швидкість опрацювання. Результати представлені у таблиці 1.1 та таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика бібліотек комп'ютерного зору

Назва бібліотеки \ Характерист.	Зручність API	Глибина налаштування початкових даних	Об'єм відкритої документації	Платформозалежність
OpenCV	Дуже зручно	Глибока	Великий	Підтримка Windows, Linux, macOS, Android, IOS
Dlib	Зручно	Дуже глибока	Достатній	Підтримка Windows, Linux, macOS

Таблиця 1.2 – Вплив шумів на можливість розпізнавань облич у відомих методиках

Назва методики \ Види шумів	Погана якість фото	Поворот	Освітлення	Швидкість опрацювання
Cascade Haar	Не сильно впливає	Сильно впливає	Сильно залежить від освітлення	Доволі швидкий при задіяних рекомендаціях щодо оптимізації
HOG	Впливає	Впливає	Бажано хороше освітлення	Швидкий
SVM	Впливає	Не впливає	Впливає	Швидкий

Виходячи з наведених характеристик у таблицях 1.1 та 1.2 бібліотека dlib виглядає більш вдалою для аналізу і редагування початкових даних, на противагуopencv має муттєву кількість інструментів для роботи із зображеннями, аналіз методик показав, що на обидві сильно впливають якість початкових даних, тому серед них не можна виділити кращу. Прийнято рішення використовувати обидві бібліотеки для вирішення найбільш підходящих задач для кожної. З огляду впливу шумів на методи розпізнавання можна сказати, що у всіх із зміною чистоти вхідних даних суттєво змінюється точність результату. В роботі прийнято рішення використовувати комбінацію методів HOG та SVM через простішу реалізацію та кращу швидкодію.

1.4 Висновки за розділом

Наведено основні відомості у сфері ідентифікації та автентифікації. Виконано огляд та аналіз відомих методик розпізнавання обличчя Cascade Haar, HOG та SVM. За результатами проведеного аналізу обрано методики HOG та SVM. Розглянуто популярні бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV та Dlib, зроблено їх порівняльну характеристику. Показано, що обидві бібліотеки можуть бути застосовані для вирішення поставлених задач.

2 ФУНКЦІЇ, РЕЖИМИ РОБОТИ ТА ФОРМАТИ ДАНИХ РОЗРОБЛЮВАНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Технічне завдання на розробку

Для можливості проведення експериментальних досліджень автором було прийняте рішення доопрацювати та вдосконалити програмні засоби ідентифікації та автентифікації за обличчям, розроблені раніше в [17].

Режими роботи:

- Порівняння фото особи з фото інших осіб, наявних в базі;
- Порівняння фото особи з її іншими фото;
- Виявлення обличчя на фото.

Вимоги до програмних засобів та їх можливості:

- Робота з папками файлового провідника;
- Завантаження зображень;
- Масштабування зображень;
- Зміна колірної моделі з RGB на GRAYSCALE;
- Нормалізація зображень;
- Знаходження ключових точок;
- Формування відрізків на базі ключових точок;
- Формування співвідношень відрізків;
- Знаходження HOG ознак;
- Тренування моделі виявлення обличчя;
- Використання натренованої моделі для виявлення обличчя;
- Збереження структурованих результуючих даних у форматі txt;
- Порівняння облич;
- Порівняння співвідношень відрізків.

Вимоги до результуючих даних:

- Данні кожного режиму роботи мають бути занесені у файл з розширенням «txt»;

- Кожне значення має бути відділене комою, кожен новий об'єкт має починатися з нового рядку;
- Результати представлені у числовому еквіваленті обраному для конкретного режису роботи.

2.2 Основні етапи порівняння облич

Основні етапи порівняння обличчя це:

- а) Виявлення положення обличчя на фото;
- б) Формування ознак;
- в) Порівняння ознак.

Виявлення обличчя на фото – етап, в якому за допомогою неймережі формується прямокутна область, яка відмежовує обличчя від решти фото. Візуалізація до цього етапу представлена на рис. 2.1.

Формування ознак: ознаки, за якими будуть проводитися порівняння є інтерпретацією особливостей геометрії обличчя та складаються із співвідношень двох відрізків. Самі ж відрізки, обрані довільно, кожний з відрізків складається із двох з шістдесяти восьми ключових точок. Ключові точки та відповідні номери представлені на рис. 2.2.

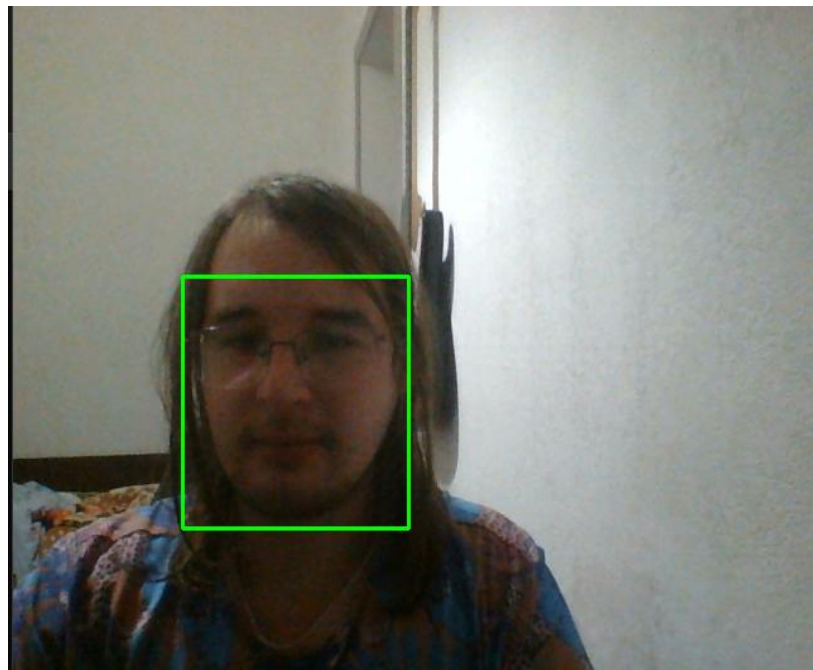


Рисунок 2.1 – Положення обличчя на фото

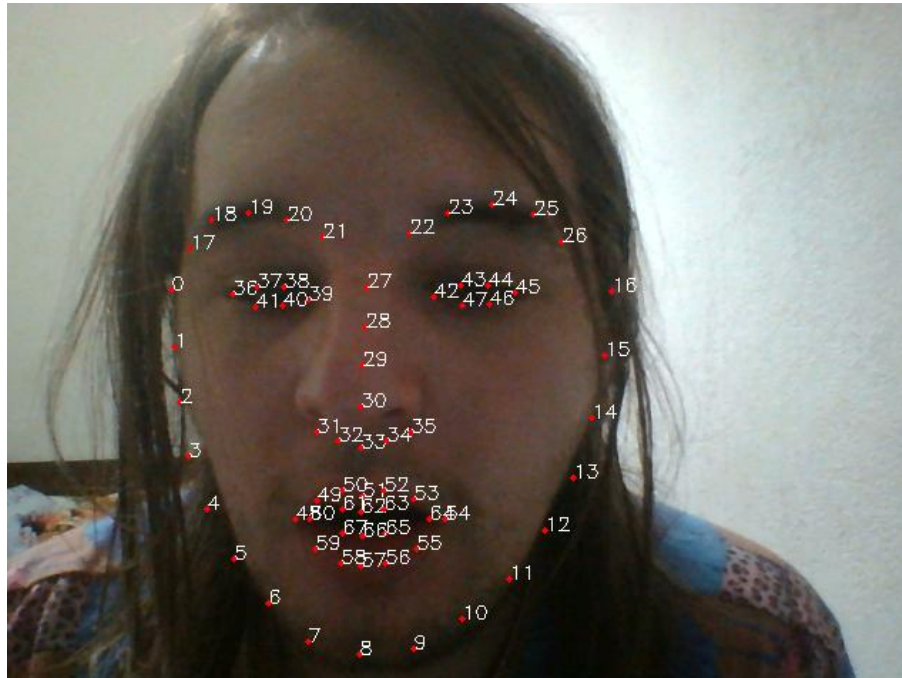


Рисунок 2.2 – Візуалізація ключових точок на фото

Співвідношення сформовані за принципом “усі з усіма” для формування та виокремлення в подальшому сильних та слабких співвідношень. Кількість співвідношень розрахована за формулою:

Усі обрані відрізки наведено у таблиці 2.1.

2.3 Склад та принцип формування результуючих даних

$$C(n, k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \Rightarrow C(30, 2) = \frac{30!}{2!(30-2)!} = 435, \quad (2.1)$$

Прийнято рішення занести результати порівняння облич до текстових файлів.

Для порівняння фото особи з фото інших осіб записано, в один рядок, 435 співвідношень, між фото еталоном та фото кандидатом. Значення виміряно у вигляді відсоткової різниці. Кількість рядків у фалі еквівалентно кількості фото кандидатів які будуть використані для порівняння фото особи. Структура наведена на рис 2.3. Приблизний вигляд файлу наведено в рис. 2.4.

Таблиця 2.1 – Перелік сформованих відрізків

Назва відрізків	Номери точок, що формують відрізок
L1	39, 42
L2	27, 8
L3	36, 45
L4	27, 29
L5	36, 39
L6	37, 41
L7	42, 45
L8	43, 47
L9	48, 54
L10	27, 30
L11	30, 33
L12	30, 31
L13	30, 35
L14	8, 21
L15	8, 22
L16	0, 16
L17	17, 26
L18	37, 40
L19	38, 41
L20	19, 41
L21	46, 10
L22	42, 54
L23	39, 45
L24	3, 14
L25	17, 36
L27	21, 27

Закінчення таблиці 2.1

Назва відрізків	Номери точок, що формують відрізок
L28	22, 27
L29	8, 16
L30	8, 0

Рядок 1	Різниця співвідношення1 еталона до співвідношення1 кандидата1	кома	Різниця співвідношення2 еталона до співвідношення2 кандидата1	кома	...	Різниця співвідношення435 еталона до співвідношення435 кандидата1
Рядок 2	Різниця співвідношення1 еталона до співвідношення1 кандидата2	кома	Різниця співвідношення2 еталона до співвідношення2 кандидата2	кома	...	Різниця співвідношення435 еталона до співвідношення435 кандидата2

Рисунок 2.3 – Структура файлу значень різниці співвідношень у відсотках

```
103.409,98.4153,86.4832,105.319,117.67,89.4427,100,105.44,87.931,113.192,99.6344,95.7876,103.834,104.19,102.073,96.4087,108.64,101.848,113.791,86.4944,96.7037,101.964,85.0326,109.461,96.3501,92.6301,100.411,100.756,98.7087,93.2307,105.062,86.979,141.833,101.61,107.138,89.3469,115.015,101.239,97.33,105.506,105.868,103.717,97.9611,110.392,91.3921,149.028,101.691,95.6009,97.13845.207,110.759,120.063,120.474,118.027,111.477,125.623,104.002,169.59,115.722,108.791,110.541,117.7,113.384,104.856,121.548,122394,103.156,85.4011,139.259,95.0253,89.334,90.7707,96.65,93.1055,86.1027,99.8098,100.209,93.3017,90.6097,76.0117,84.9837,89.6036,86.5058,83.3333,77.0655,89.334,89.6914,83.509,81.0995,111.803,117.886,98.3099,126.553,111.395,107.094,116.09,116.488,114.1293,105.44,87.931,113.192,99.6344,95.7876,103.834,104.19,102.073,96.4087,108.643,89.9438,146.667,100.08,94.0859,95.599,101.791,103.038,85.3033,139.1,94.9165,89.2317,90.6667,96.5393,92.9989,86.004,99.6955,100.094,93.1949,90.5059,128.729,113.31,108.935,1125,111.752,108.528,88.0222,84.6237,91.7323,92.0469,90.1769,85.1724,95.9808,79.4611,129.573,88.4159,83.1204,84.4572,89.9276,86.00.447,94.4312,95.9499,102.165,98.4179,91.0155,105.505,105.927,98.6253,95.7797,108.4,108.772,106.562,100.648,113.421,93.8992,1104.631,86.6227,141.251,96.3846,90.6119,92.0691,98.0326,94.4374,87.3343,101.238,101.643,94.6364,91.9059,97.9684,92.5316,104.2736,88.1169,143.688,98.0472,92.1749,93.6572,99.7236,96.0663,88.8408,102.984,103.396,96.2688,93.4911,112.69,93.2943,152.13,103.89938,93.6933,90.2572,83.4686,96.7564,97.1436,90.4474,87.8378,163.065,111.269,104.605,106.288,113.172,109.021,100.821,116.872,1.5226,101.71,97.9797,90.6102,105.035,105.455,98.1862,95.3532,101.608,108.19,104.222,96.3828,111.727,112.174,104.441,101.428,107.201,107.63,100.211,97.3194,115.92,116.383,108.361,105.235,100.4,93.4795,90.7824,93.1069,90.4205,97.1147
```

Рисунок 2.4 – Приклад вмісту файлу значень різниці співвідношень у відсотках

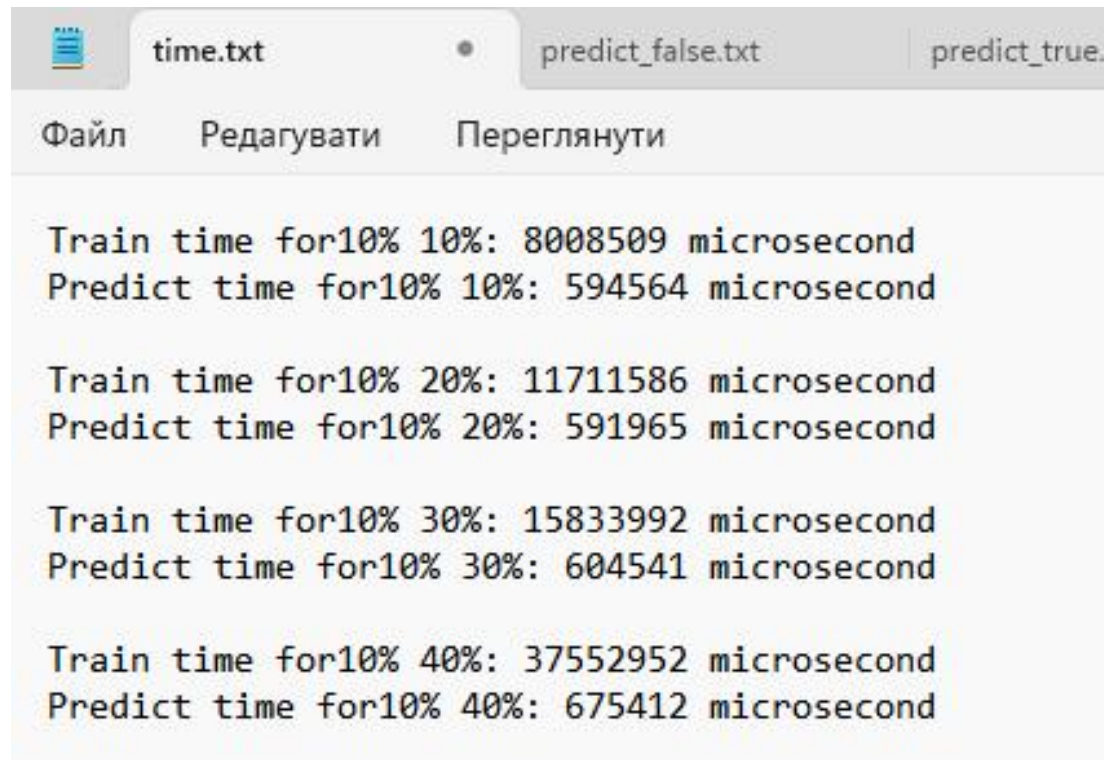
Також, в окремий файл, виведено результати порівняння, де значення «1» буде відповідати за співпадіння та «0» за не співпадіння. Структура наведена на рис 2.5. Приклад файлу наведено на рис. 2.6.

Рядок 1	Логічне значення між співвідношенням1 еталона та співвідношенням1 кандидата1	кома	Логічне значення між співвідношенням1 еталона та співвідношенням2 кандидата1	кома	...	Логічне значення між співвідношенням1 еталона та співвідношенням435 кандидата1
Рядок 2	Логічне значення між співвідношенням1 еталона та співвідношенням1 кандидата2	кома	Логічне значення між співвідношенням1 еталона та співвідношенням2 кандидата2	кома	...	Логічне значення між співвідношенням1 еталона та співвідношенням435 кандидата2

Рисунок 2.5 – Структура файлу логічних значень співвідношень

Рядок 1	Train time for	пробіл	Об'єм використаної бази позитивних фото у відсотках	пробіл	Об'єм використаної бази негативних фото у відсотках	двокрапка	Час виконання	microsecond
---------	----------------	--------	---	--------	---	-----------	---------------	-------------

Рисунок 2.8 – Структура файлу журналу часу виконання



```

time.txt
predict_false.txt
predict_true.

Файл  Редагувати  Переглянути

Train time for10% 10%: 8008509 microsecond
Predict time for10% 10%: 594564 microsecond

Train time for10% 20%: 11711586 microsecond
Predict time for10% 20%: 591965 microsecond

Train time for10% 30%: 15833992 microsecond
Predict time for10% 30%: 604541 microsecond

Train time for10% 40%: 37552952 microsecond
Predict time for10% 40%: 675412 microsecond

```

Рисунок 2.9 – Приклад вмісту файлу журналу часу виконання

2.4 Висновки за розділом

Сформовано технічне завдання та вимоги до розроблюваного комплексу засобів. Описано основні етапи порівняння облич та представлено перелік відрізків між ключовими точками. Розроблено структури результуючих даних для всіх режимів роботи. Також наведено приклади вмісту файлів з результатами.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Вибір середовища та засобів розробки

Для написання основного об'єму програмного забезпечення автором прийнято рішення використовувати мову програмування C++ [18]. Для роботи мінімальною версією C++ є стандарт 17 оскільки в проекті використовуються компоненти, які були додані до стандартної бібліотеки тільки у 17 стандарті. Це бібліотека `filesystem` [19]. Основний функціонал з цієї бібліотеки був використаний для роботи з провідником Windows для отримання шляхів до зображень і подальшого їх використання для завантаження зображень. Для роботи із складним і об'ємним кодом було прийнято рішення використати як середовище для розробки програмний засіб від компанії Microsoft Visual Studio 2022 [20]. Дане середовище має вбудовані інструменти так як `break point`, динамічне відслідковування значень змінних під час виконання програми, відображення використовуваної оперативної пам'яті, що робить це середовище дуже підходящим під цю задачу. Також окремо був написаний скрипт для зв'язування результатів програми і перенесення їх в зручний для сприйняття формат у Google Sheet. Мова програмування скрипта JavaScript [21].

Також прийняте рішення використати такі сторонні компоненти:

– Бібліотеки:

1) OpenCV [14];

2) Dlib [16];

3) wxWidget [22];

– Менеджер пакетів VCPKG [23];

– Система контролю версій Git [24];

– Веб хостинг GitHub [25];

wxWidget – бібліотека, що має велику кількість функцій для формування графічного інтерфейсу під власні потреби [22]. Особливо зручна для візуалізації табличних даних.

VSPKG – надзвичайно зручний менеджер пакетів, що полегшує налаштування проекту за допомогою інтеграції у середовище Visual Studio [23]. Для встановлення необхідної бібліотеки, достатньо її знайти за допомогою команди в командній строці «.\vcpkg search назва_бібліотеки», подивитися підходящий пакет серед представлених і ввести команду «.\vcpkg install назва_пакету». Функціонал схожий за принципом до популярного в мові програмування Python [26] методу встановлення пакетів «pip install назва_бібліотеки».

Git – система контролю версій яка впливаючи із назви дозволяє розділяти програму на версії [24]. Це дозволяє легко повернутися до попередньої версії якщо раптом щось пішло не так. Також Git працює разом із GitHub і за допомогою команд можна легко тримати весь проект у хмарі, що уникає проблеми пов’язані із раптовою поломкою апаратури та дозволяє легко маніпулювати файлами проекту.

3.2 Розробка програмного забезпечення порівняння фото особи з фото інших осіб

Блок-схема узагальненого алгоритму роботи підпрограми порівняння фото особи з фото інших осіб наведено на рис. 3.1. Вихідний код підпрограми представлено у додатку А.

Блок 1 – початок роботи підпрограми.

Блок 2 – вихідними даними для роботи є відносний шлях до локального положення папки із фото еталона та фото кандидатів.

Блок 3 – формування відрізків, сформовані відрізки наведено в таблиці 2.1.

Блок 4 – цикл по кількості фото еталонів у папці.

Блок 5 – створення масиву із співвідношеннями.

Блок 6 – розрахунок відсоткової різниці співвідношень еталону та кандидата.

Блок 7 – занесення результатів порівняння до відповідних файлів.

Блок 8 – кінець цього режиму та перехід в режим очікування нового режиму.

Автором прийнято рішення, для подальшого обчислення співвідношень, представити відрізки у вигляді значень відстані між точками, з яких сформовано поточний відрізок. Відстань між точками розраховується за формулою:

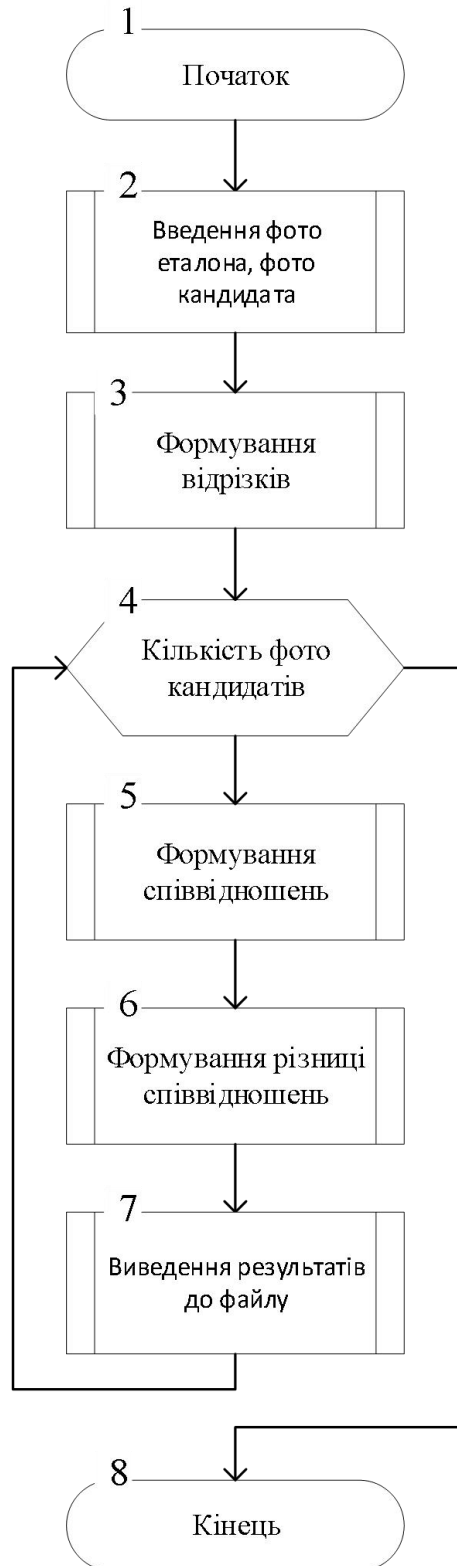


Рисунок 3.1 – Узагальнений алгоритм порівняння фото особи з фото інших осіб

$$|X| = \sqrt{\sum_{i=1}^n |X_i|^2}, \quad (3.1)$$

де n – кількість проекцій вектора на осі координат;

$|X_i|$ – довжина проекції вектора.

Співвідношення розраховуються за формулою:

$$R = \frac{|X_i|}{|X_k|}, \quad (3.2)$$

де $|X_i|$ та $|X_k|$ – довжини відрізків

Прийнято рішення використати співвідношення у розрахунку відсоткової різниці, для подальшого занесення до файлу з результуючими значеннями.

Формула для відсоткової різниці:

$$P_i = \frac{R_{ie}}{R_{ik}} \times 100, i = 1, 2, 3, \dots, 435, \quad (3.3)$$

де R_{ie} – співвідношення еталона;

R_{ik} – співвідношення кандидата.

3.3 Розробка програмного забезпечення порівняння фото особи з її іншими фото

Алгоритм роботи в режимі порівняння фото особи з її іншими фото подібний до алгоритму, представлено на рис 3.1. Відмінності полягають у зміні значень, які виводяться у результаті та у принципі обрання початкових даних для фото кандидата та фото еталону.

Блок-схема узагальненого алгоритму роботи підпрограми порівняння фото особи з її іншими фото наведено на рис. 3.2. Вихідний код підпрограми представлено у додатку А.

Блок 1 – початок роботи підпрограми.

Блок 2 – вихідними даними для роботи є відносний шлях до локального положення папки із фото еталона та фото кандидатів.

Блок 3 – формування відрізків, сформовані відрізки наведено в таблиці 2.1.

Блок 4 – цикл по кількості фото еталонів у папці.

Блок 5 – створення масиву із співвідношеннями.

Блок 6 – порівняння співвідношень еталону та кандидата.

Блок 7 – занесення результатів порівняння до відповідних файлів.

Блок 8 – кінець цього режиму та перехід в режим очікування нового режиму.

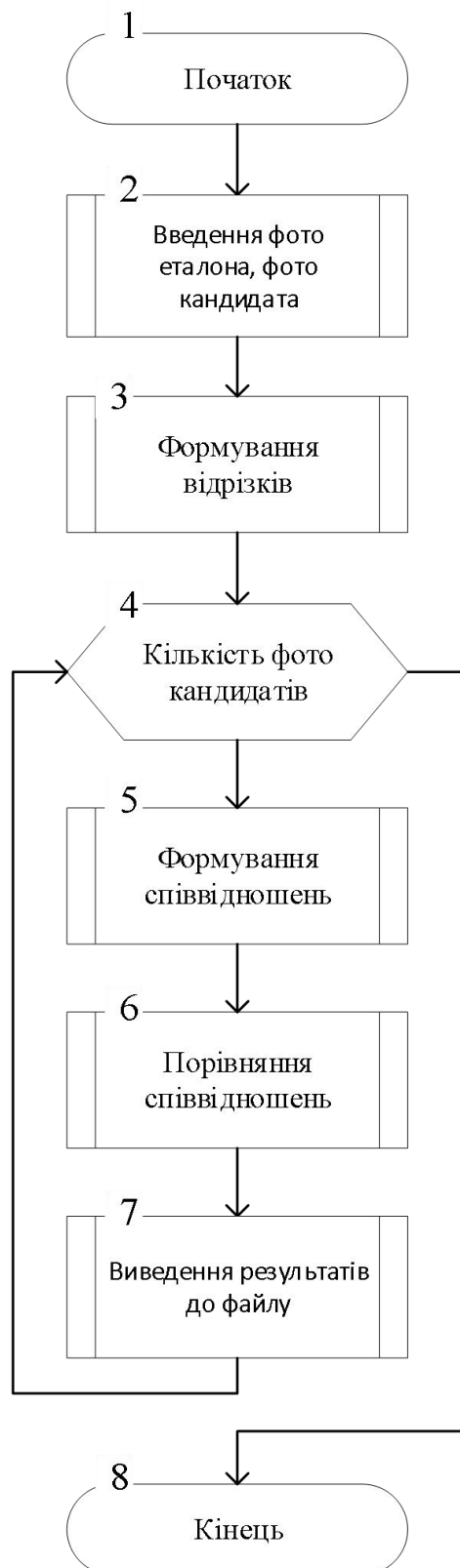


Рисунок 3.2 – Узагальнений алгоритм порівняння фото особи з її інших фото

Прийнято рішення, також використати значення відстаней відрізків, які розраховується за формулою (3.1). Формування співвідношень лишається незмінним і розраховується за формулою (3.2). До файлу із результуючими значеннями вирішено занести відсоток схожості співвідношень, які розраховуються за формулою:

$$P_i = \left(1 - \frac{|X_{ik} - X_{ie}|}{X_{ie}}\right) \times 100, i = 1, 2, 3, \dots, 435, \quad (3.4)$$

3.4 Розробка програмного забезпечення виявлення обличчя на фото

Робота програми в режимі виявлення обличчя на фото суттєво відрізняється від роботи у перших двох режимах. Блок-схема узагальненого алгоритму роботи підпрограми в режимі виявлення обличчя на фото наведено на рис. 3.3. Вихідний код підпрограми представлено у додатку А.

Блок 1 – початок роботи підпрограми.

Блок 2 – умова вибору, якщо є натренована модель то використовується вона. Якщо нема натренованої моделі відбувається її тренування.

Блок 3 – завантаження файлу моделі. Модель має розширення xml.

Блок 4 – завантаження повної бази облич та бази пейзажів (зображень без облич).

Блок 5 – цикл який перебирає комбінації об'єму початкових даних. Об'єм варіюється від 10 до 100 відсотків загального об'єму і для фото облич, і для фото пейзажів.

Блок 6 – тренування моделі за об'ємом даних на цій ітерації.

Блок 7 – завантаження фото для перевірки працездатності.

Блок 8 – тестування моделі за завантаженими фото.

Блок 9 – занесення результатів порівняння до відповідних файлів.

Блок 10 – кінець цього режиму та перехід в режим очікування нового режиму.

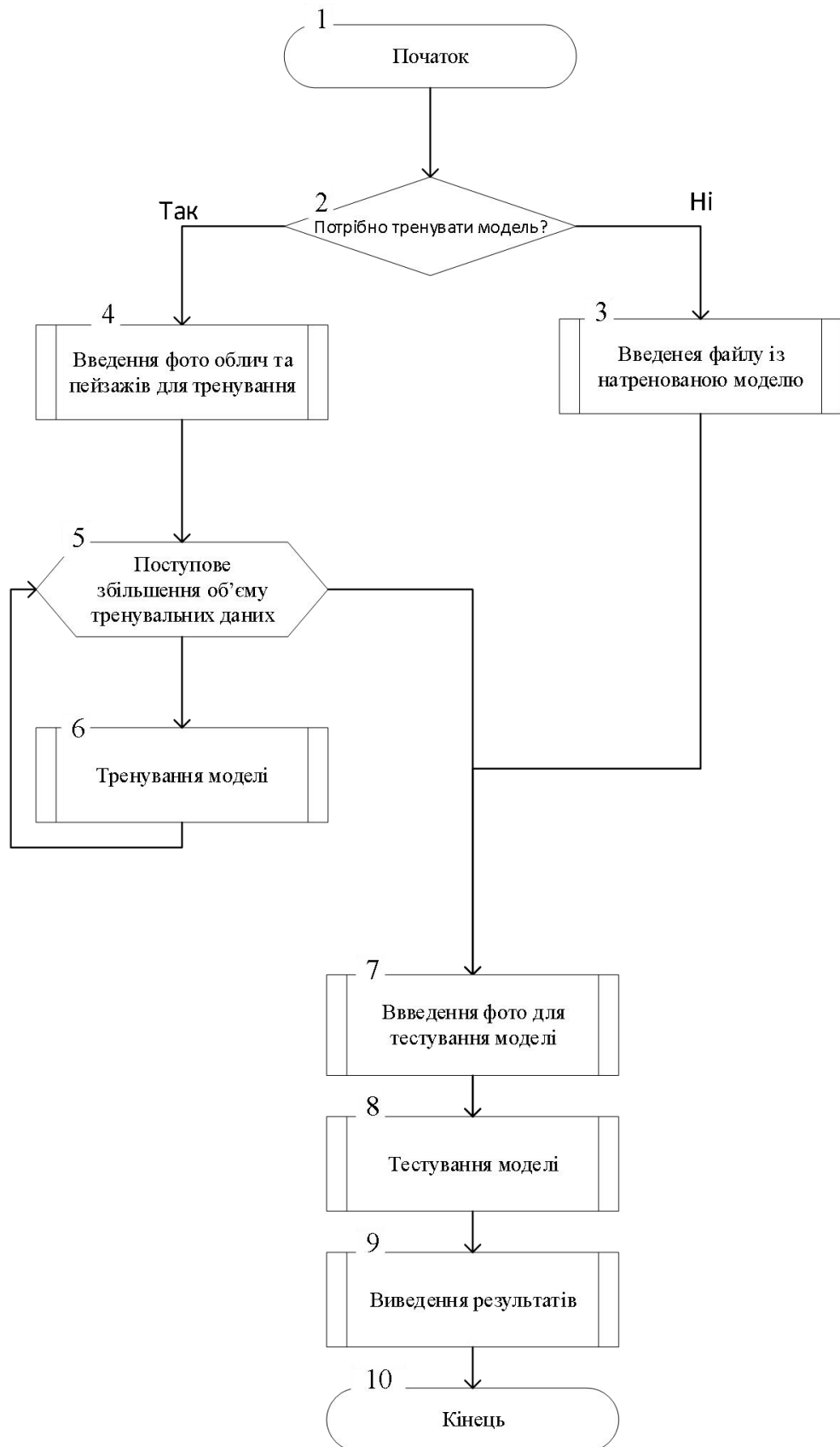


Рисунок 3.3 – Узагальнений алгоритм виявлення обличчя на фото

3.5 Розробка скрипту для формування табличних даних результатів виявлення обличчя на фото

Блок-схема узагальненого алгоритму роботи скрипту формування табличних даних за результатами виявлення обличчя на фото, наведено на рис. 3.4. Вихідний код скрипту представлено у додатку Б.

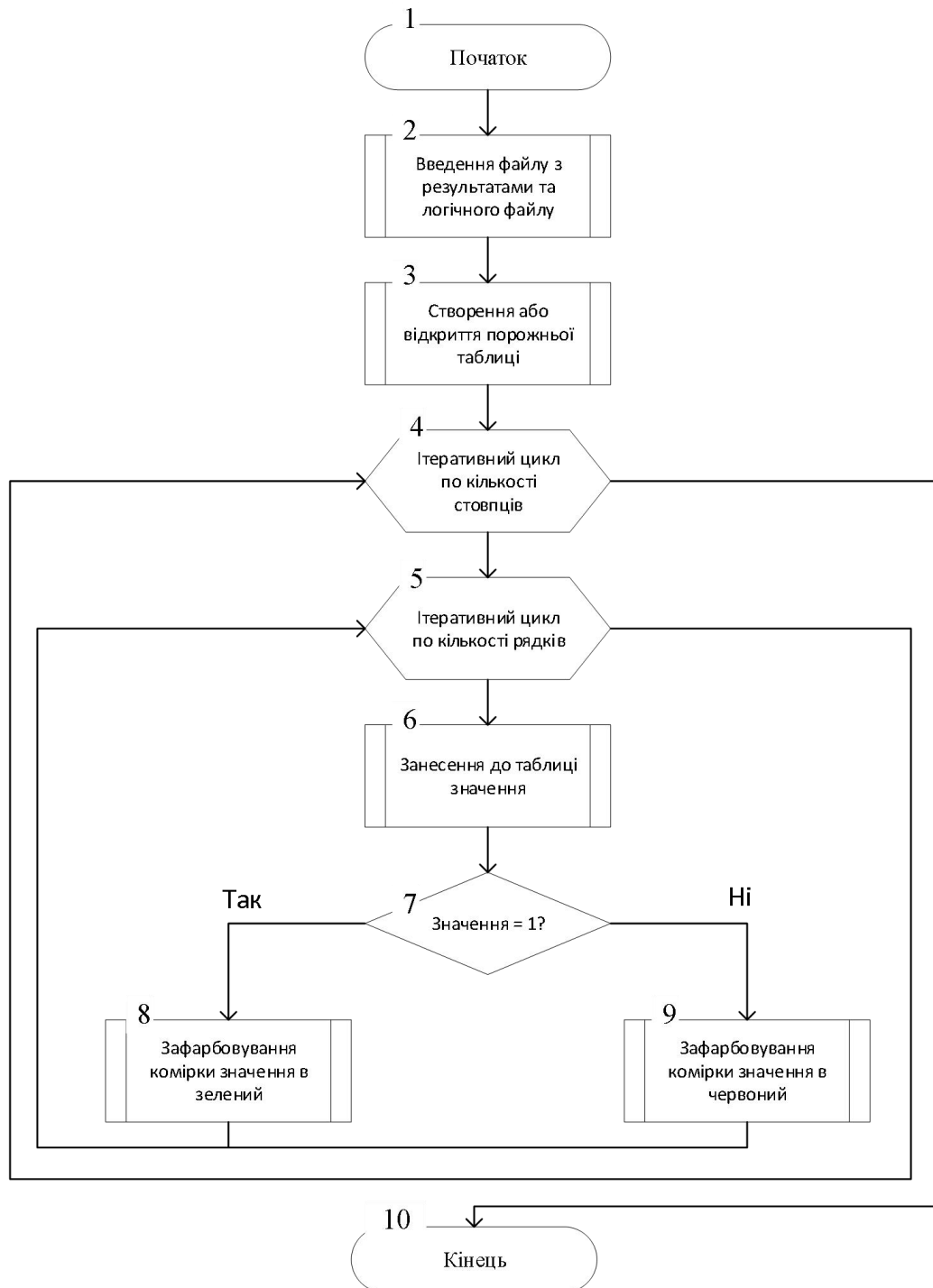


Рисунок 3.4 – Узагальнений алгоритм роботи скрипту для формування таблиці результатів виявлення обличчя на фото

Блок 1 – початок робити скрипту.

Блок 2 – завантаження до програми файлу із результуючими даними підпрограми виявлення облич на фото.

Блок 3 – створення таблиці у Google Sheets.

Блок 4 – цикл по кількості рядків у файлі результуючих даних.

Блок 5 – цикл по кількості значень в рядку результуючого файлу.

Блок 6 – занесення отриманого значення до відповідної комірки у таблиці.

Блок 7 – перевірка отриманого значення.

Блок 8 – зафарбовування поточної комірки зеленим.

Блок 9 – зафарбовування поточної комірки червоним.

Блок 10 – кінець роботи скрипту.

3.6 Висновки за розділом

Зроблено вибір середовища, засобів та компонентів для розробки. Для реалізації основної програми обрано мову програмування C++, а для реалізації скрипту – JavaScript. Розроблено узагальнені алгоритми для кожного режиму роботи програми та відповідне програмне забезпечення.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ / АВТЕНТИФІКАЦІЇ ОСІБ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНИХ ЗАСОБІВ

4.1 Дослідження ефективності виявлення обличчя на фото

Пропонується експериментально з'ясувати, як впливає на результат предікту (від англ. predict – прогнозувати) алгоритму об'єм бази, що подається для його тренування. Прийнято рішення, що алгоритм може, в результаті, видавати два варіанти:

- Обличчя знайдено, у файл логічних значень (рис. 2.6) записується «1»;
- Обличчя не знайдено, у файл логічних значень записується «0».

Тренування алгоритму здійснюється на основі сформованих НОГ ознак та розділених правильних і не правильних тестових зображеннях. Прийнято рішення використати інкрементний каскад із двох значень починаючи із 10 відсотків від загального об'єму для фото з обличчями та такої ж кількості для фото без облич. Потім, поступово збільшувати значення фото без облич до 100 відсотків, після чого збільшується кількість фото з обличчями.

Вимогами до початкових даних є:

- Набір фото із облич об'ємом більше 10000 фото;
- Набір фото без облич, об'ємом більше 10000 фото.

Після тренування алгоритму буде проведено предікт на тестових значеннях. Результати предікту зберігаються у текстовий файл.

Для створення бази для тренування алгоритму використано 12000 фото із зображенням облич [27]. Приклад бази наведено на рис. 4.6.

В базі облич допускаються фото однієї і тієї самої людини, проте, в середньому, кількість таких випадків не велика і статистично не перевищує 5 фото на особу. На відміну від інших експериментів, тут досліджується саме наявність обличчя. Тому різноманітність людей не обов'язкова.

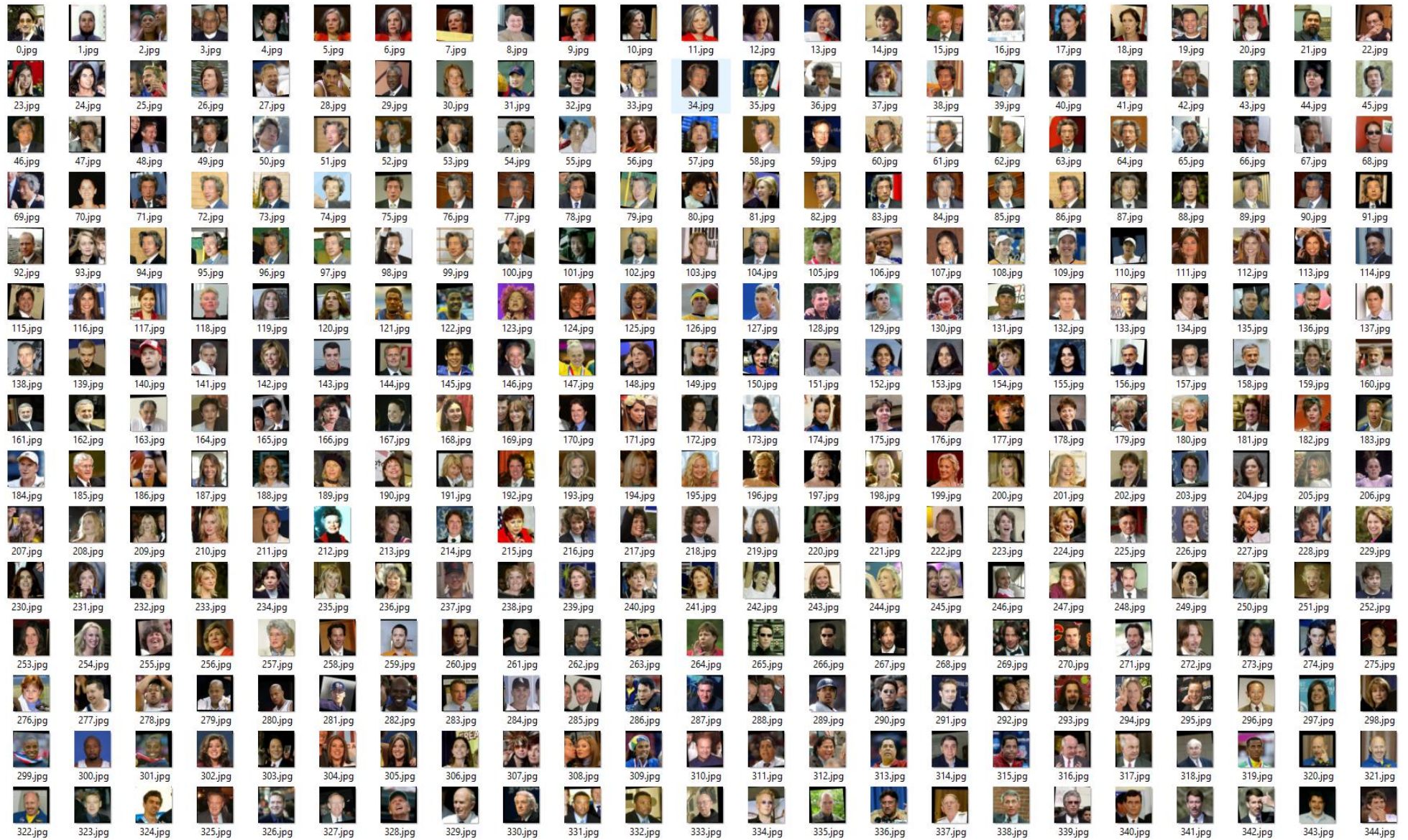


Рисунок 4.1 – Приклад частини тренувальної бази з наявними обличчями

Також створено іншу базу даних із 12000 фото різних пейзажів [28]. Приклад наведено на рис. 4.7.

Ця база створена на основі пейзажів гір, річок, озер і т.д. При формуванні цієї бази допускалися силуети людей повернені спиною до камери і не займаючи основний простір зображення.

Для тренування моделі необхідно витягнути ознаки для кожного зображення і відмити це позитивний зразок (значення «1») чи негативний (значення «0»).

Для витягування ознак використовується метод HOG ознак. Для кожного фото були обрані такі початкові налаштування для формування ознак:

- Розмір фото 250 на 250 пікселів;
- Розмір блоку 50 на 50 пікселів;
- Крок блоку 25 на 25 пікселів;
- Розмір комірки 25 на 25 пікселів.

Розрахунок кількості HOG ознак відбувається за наступними формулами. Кількість комірок у блоці обчислюється за формулою:

$$N_c = \frac{B_w}{C_w} \times \frac{B_h}{C_h}, \quad (4.1)$$

де B_w – ширина блоку в пікселях ;

B_h – висота блоку;

C_w – ширина комірки;

C_h – висота комірки.

Кількість блоків по ширині обчислюється за формулою:

$$N_{bw} = \left[\frac{W - B_w}{S} \right] + 1, \quad (4.2)$$

де – N_{bw} ;

W – ширина зображення;

S – Крок блоку.

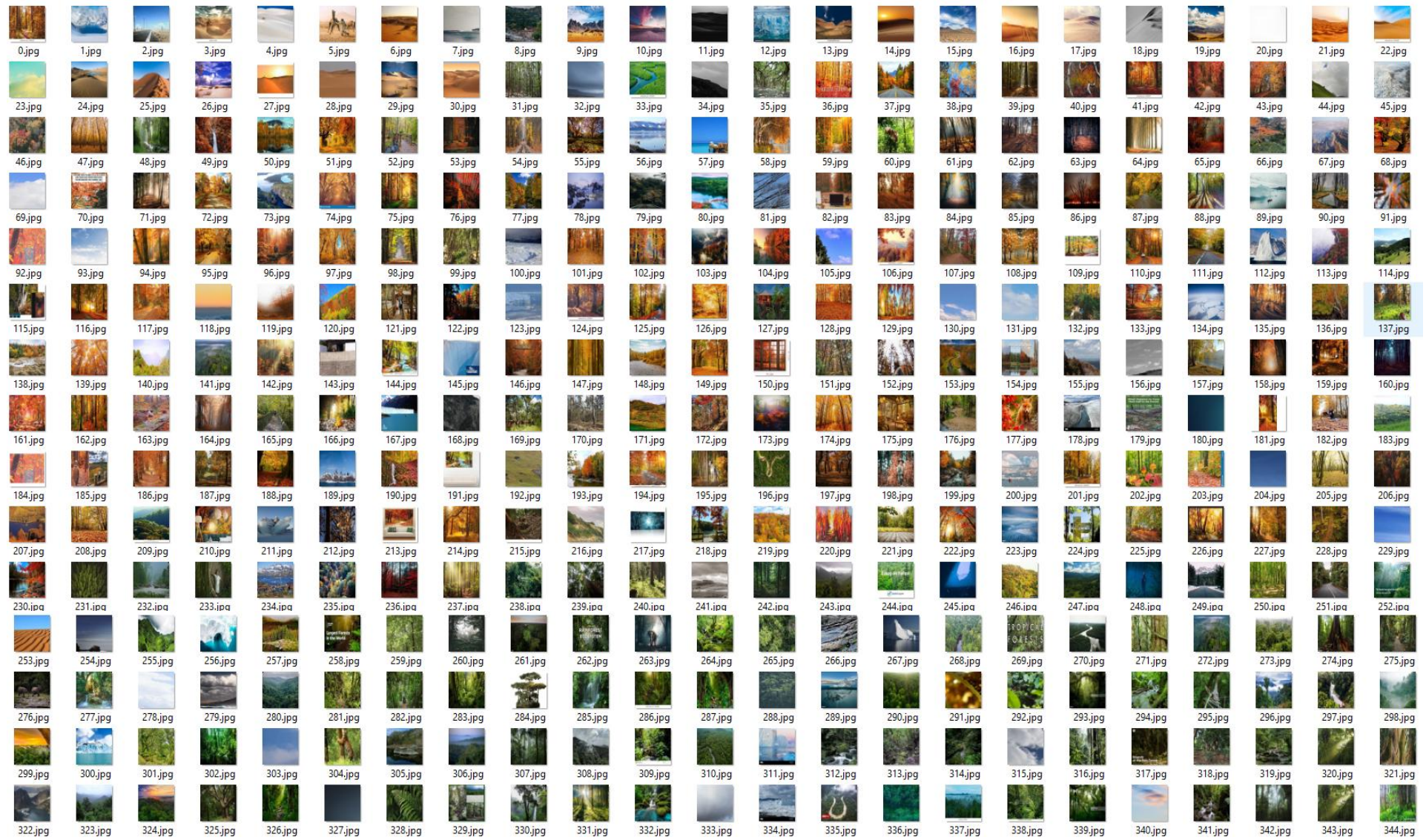


Рисунок 4.2 – Приклад частини тренувальної бази без облич

Кількість блоків по висоті обчислюється за формулою:

$$N_{bh} = \left\lfloor \frac{H-B_h}{S} \right\rfloor + 1, \quad (4.3)$$

де H – висота зображення.

Для розрахунку кількості HOG ознак треба об'єднати формули (4.1), (4.2) та (4.3):

$$N_{hog} = \left(\left\lfloor \frac{H-B_h}{S} \right\rfloor + 1 \right) \times \left(\left\lfloor \frac{W-B_w}{S} \right\rfloor + 1 \right) \times \left(\frac{B_w}{C_w} \times \frac{B_h}{C_h} \times N_{gradient} \right), \quad (4.4)$$

де $N_{gradient}$ – кількість градієнтів, що за замовчуванням дорівнює 9.

Таким чином, підставивши значення до формули (4.4), отримаємо:

$$N_{hog} = ([8] + 1) \times ([8] + 1) \times (2 \times 2 \times 9) = 2916$$

Отже, кількість ознак HOG для кожного зображення дорівнює 2916.

Результати тестування алгоритму виявлення обличчя подано у додатку В. В цьому масиві даних кожен стовпець відповідає одному тестовому фото а кожен рядок об'єму даних для тренування.

При аналізі результатів виявлено, що при мінімальному обраному об'ємі бази, алгоритм видає правильний предікт на всіх тестових фото. Взагалі, на всіх комбінаціях об'ємів тренувальних даних отримано хороші результати з максимальною похибкою в одне тестове значення. Прийнято рішення проаналізувати отримані помилкові предікти моделі. Виявлено закономірність, що усі помилки предікту були на одному тестовому фото. Зображення, при якому виникали помилки наведено на рис. 4.3

Проаналізувавши зображення, можна сказати що воно сильно повернене, через що потребувало серйозної нормалізації. На додачу, людина на фото трохи відвернута від камери. Імовірно, це вплинуло на якість розпізнавання. Прийнято рішення проаналізувати при яких саме об'ємах тренувальних даних виникали похибки. Результати представлено в таблиці 4.1.

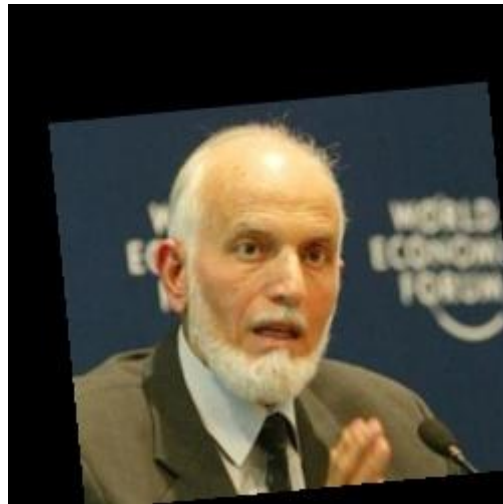


Рисунок 4.3 – Зображення, при якому виникали помилкові предікти

Таблиця 4.1 – Об’єми тренувальних даних, при яких виникає помилка

Кількість фото з обличчями (y % від 12000)	Кількість фото без облич (y % від 12000)
10	80
10	90
10	100
20	80
20	90
20	100
30	80
30	90
30	100
40	100
50	100
60	100
60	100
70	100
90	100
100	100

Проаналізовано таблицю і виявлено, що точність починає падати при великій кількості тренувальних фото без облич. Причому, при малому обсягу фото із обличчями, точність падає швидше. Для запобігання помилок рекомендовано використовувати об'єм тренувальних даних, більше від 30 відсотків запропонованих, тобто більше 4-х тисяч фото. Також рекомендовано використовувати кількість фото без облич не більше 10-и тисяч. Окремо варто звертати увагу на якість початкових даних.

Час тренування та тестування занесено до журнального файлу. Прийнято рішення проаналізувати залежність часу виконання тренування та тестування від об'єму початкових даних. На основі журнального файлу сформовано таблицю 4.2. Для зняття показників обрано обчислювальну машину з такими системними характеристиками:

- Операційна система Windows 11 Pro;
- Процесор Intel(R) Core(TM) i7-4710MQ CPU @ 2.50GHz 2.50 GHz;
- ОЗП 8ГБ.
- розрядність система x64.

Результати аналізу показують, що час тренування геометрично збільшується від об'єму початкових даних, проте час тестування залишається постійним (в межах відхилень, спричинених сторонніми процесами).

Таблиця 4.2 – Час виконання тренування та тестування

Об'єм фото облич / фото без облич	Час тренуван ня (μ s)	Час тестуванн я (μ s)
10% 10%	8008509	594564
20% 10%	11711586	591965
30% 10%	15833992	604541
40% 10%	37552952	675412
50% 10%	39066124	604702
60% 10%	40186489	544266
70% 10%	45816377	592683
80% 10%	55402539	723047

Продовження таблиці 4.2

Об'єм фото облич / фото без облич	Час тренуван ня (μ s)	Час тестуванн я (μ s)
90% 10%	68010854	691609
100% 10%	70079461	647366
10% 20%	23516621	746655
20% 20%	16654859	795334
30% 20%	20525347	597561
40% 20%	24126011	609993
50% 20%	28039178	583526
60% 20%	32246690	573031
70% 20%	37269854	579102
80% 20%	40039538	608030
90% 20%	43674530	577943
100% 20%	50231734	611955
10% 30%	24875223	591876
20% 30%	19405965	603598
30% 30%	23811131	678002
40% 30%	28508672	572436
50% 30%	33768091	572622
60% 30%	38936629	628820
70% 30%	43220584	639505
80% 30%	51092572	706533
90% 30%	51740752	674363
100% 30%	57252533	633796
10% 40%	38610693	643607
20% 40%	24465961	583983
30% 40%	29035627	602206
40% 40%	34712245	636388
50% 40%	37838561	612082
60% 40%	42621368	599391
70% 40%	47906681	619355
80% 40%	50269214	583295
90% 40%	55366220	630919
100% 40%	60149086	805121
10% 50%	42154674	611624
20% 50%	25391089	534159
30% 50%	29955244	575351
40% 50%	33761488	548535
50% 50%	37895643	589480
60% 50%	41922896	539330
70% 50%	45938638	556872

Продовження таблиці 4.2

Об'єм фото облич / фото без облич	Час тренуван ня (μ s)	Час тестуванн я (μ s)
80% 50%	55349876	840716
90% 50%	66674646	635683
100% 50%	63720624	538573
10% 60%	41109460	541181
20% 60%	34535732	551986
30% 60%	34109338	543957
40% 60%	37099493	553076
50% 60%	40763501	540828
60% 60%	45009780	601947
70% 60%	48033297	594292
80% 60%	52335176	571558
90% 60%	56399793	563486
100% 60%	59169196	548107
10% 70%	44592242	529328
20% 70%	32455965	520962
30% 70%	37908487	548635
40% 70%	40685474	563709
50% 70%	44880266	532055
60% 70%	48190714	553106
70% 70%	52005627	549270
80% 70%	57015723	553865
90% 70%	60528550	528141
100% 70%	63157528	826805
10% 80%	48163681	817168
20% 80%	36503307	561414
30% 80%	40291619	521138
40% 80%	45025274	533139
50% 80%	48747936	543150
60% 80%	55540673	706813
70% 80%	56557574	559912
80% 80%	59790020	547807
90% 80%	64096155	540408
100% 80%	67824894	563613
10% 90%	50279927	546204
20% 90%	39954003	529461
30% 90%	43588515	549426
40% 90%	50826538	767382
50% 90%	53582085	539913
60% 90%	55874709	535822

Закінчення таблиці 4.2

Об'єм фото облич / фото без облич	Час тренуван ня (μ s)	Час тестуванн я (μ s)
70% 90%	59817300	559286
80% 90%	64096108	561872
90% 90%	68854762	584907
100% 90%	73657886	538861
10% 100%	56780121	541116
20% 100%	43439922	537763
30% 100%	49182162	563208
40% 100%	52839394	564625
50% 100%	56786745	551942
60% 100%	61055686	564196
70% 100%	66960340	546479
80% 100%	68709779	541424
90% 100%	71974576	536136
100% 100%	78140971	572933

Результати дослідження показали, що час виявлення обличчя практично не залежить від об'єму тренувального набору, проте від нього залежить час тренування та якість виявлення.

4.2 Дослідження ефективності ідентифікації при порівнянні фото особи з фото інших осіб, наявних в базі

Пропонується експериментально з'ясувати, як впливають сформовані відрізки та співвідношення на роботу алгоритму порівняння фото особи з фото інших осіб. Для порівняння обрано фото еталону та фото кандидатів. Сформовано співвідношення за цими фото. Значення співвідношень фото еталона порівнюються із відповідними для кандидата. Таким чином отримано 435 різниць співвідношень на одного кандидата.

Вимогами до початкових даних є:

- Фото еталона має містити у собі обличчя людини;
- Фото кандидатів мають містити обличчя людини, відмінної від еталонного;
- Всі фото мають розмір 250 на 250 пікселів;
- Всі фото мають формат jpg.

Значення різниць співвідношень занесено до файлу. До окремого файлу занесено логічні значення,

де «1» – значення відрізняється в межах 10 відсотків;

«0» – значення за межами, або дорівнює різниці у 10 відсотків.

Використано, як початкові дані, фото еталона зображене на рис 4.4 та 100 фото кандидатів. Базу даних фото кандидатів узято з [27] та наведено на рис 4.5. Людини, яку обрано еталоном, не співпадає з людьми, що обрані кандидатами.

Передбачається, що результат порівняння співвідношень матиме логічне значення «0» серед багатьох кандидатів, або іншими словами, значення співвідношень відрізнятимуться більше ніж на 10 відсотків. В іншому випадку, співвідношення має слабкий ефект на загальний рівень якості ідентифікації.



Рисунок 4.4 – Фото еталону

Результати експерименту занесено до файлу який наведено у додатку Г. Фрагмент даних з файлу використано для створення таблиці 4.3. В таблиці представлено значення 35 співвідношень для 56 кандидатів.

Сформований файл має 100 наборів по 435 значень. Прийнято рішення позначити у таблиці 4.2 зеленим ті значення, що мають логічний еквівалент «1» та «0» – червоним.

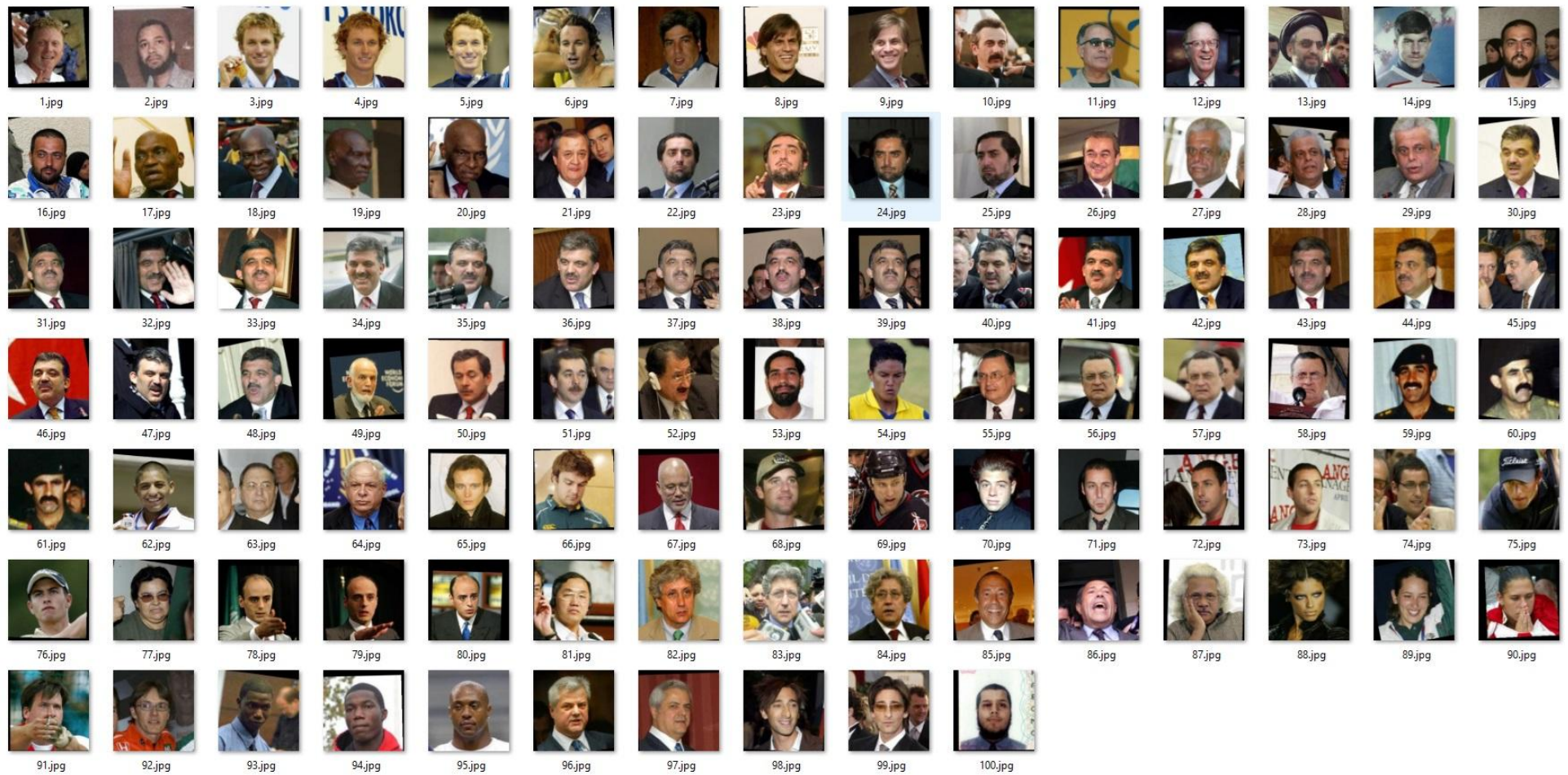


Рисунок 4.5 – Набір фото інших осіб - кандидатів для ідентифікації особи

Таблиця 4.3 – Відсоткове відхилення співвідношень відрізків між фото еталону та фото кандидатів

98	86	105	118	89	100	105	88	113	100	96	104	104	102	96	109	90	147	100	94	96	102	98	91	105	106	98	95	95	84	102	114
101	75	108	133	96	131	104	76	146	104	166	111	106	97	102	130	102	173	98	101	98	100	113	101	147	118	91	92	98	72	104	128
101	95	103	122	99	104	116	98	105	99	77	100	99	103	100	113	101	132	97	87	100	104	102	101	109	109	97	92	103	97	105	125
100	96	100	139	101	139	106	94	115	107	86	105	104	102	100	118	106	147	100	96	100	102	108	95	125	120	94	94	98	94	97	136
98	101	102	134	91	115	112	100	109	99	79	101	102	100	97	114	102	148	98	88	96	99	99	93	120	129	92	91	99	103	103	136
102	102	105	132	101	91	100	102	146	90	143	120	121	107	103	112	101	166	117	110	100	107	105	115	119	136	113	100	86	86	89	111
94	68	92	91	88	73	88	70	107	73	127	93	93	99	93	93	85	93	98	89	95	101	84	99	70	79	92	86	98	70	96	95
102	78	105	78	100	78	130	80	103	141	105	98	97	108	102	92	76	94	101	88	100	113	115	89	86	65	96	101	101	78	104	78
107	89	115	106	109	108	150	92	109	117	147	108	108	106	107	118	83	117	108	90	103	111	91	107	92	83	106	100	96	80	103	96
108	93	114	127	114	127	99	95	134	115	122	107	109	121	112	118	113	137	108	109	106	123	107	106	93	109	115	106	101	86	106	118
103	78	106	138	105	157	100	79	164	127	136	107	106	108	105	118	112	160	100	104	102	105	99	92	107	95	90	90	99	74	101	133
90	67	86	70	77	68	115	69	100	129	95	85	86	93	88	89	59	87	86	75	91	99	94	74	61	52	82	88	101	76	97	79
102	95	104	124	104	148	99	98	118	99	114	101	100	108	104	113	110	119	103	106	102	111	107	104	94	88	106	99	101	93	102	122
95	68	93	86	88	86	99	68	134	86	139	101	96	96	95	88	76	142	94	94	95	98	97	95	101	67	82	88	96	69	94	88
98	87	96	114	95	131	89	90	95	77	105	96	94	96	98	113	95	140	94	97	98	99	94	95	92	75	93	91	102	91	101	119
97	77	99	116	90	118	93	78	138	108	137	104	107	89	92	109	104	158	102	99	96	98	97	96	109	124	96	88	95	75	97	114
100	105	100	98	101	100	124	106	101	103	132	100	100	99	94	100	91	134	97	94	100	105	99	107	101	98	112	104	101	106	101	99
98	96	102	115	92	96	81	99	65	115	79	81	82	90	93	105	88	124	79	86	96	88	99	96	93	96	83	87	124	122	129	146
98	73	103	58	92	76	79	74	117	109	95	88	91	97	95	84	85	127	91	84	97	97	72	93	71	100	83	70	111	82	116	66
96	96	95	133	91	115	94	96	97	71	102	99	97	101	97	104	101	128	96	92	96	107	91	104	77	72	102	94	96	96	95	132
95	58	90	57	91	57	102	59	137	85	144	84	82	94	91	72	60	90	86	73	96	99	63	108	53	57	88	75	109	66	104	65
96	83	99	54	87	36	115	86	80	94	106	93	91	96	97	84	59	134	88	79	95	96	108	88	115	93	84	89	107	93	110	60
110	59	121	149	114	149	117	63	190	145	159	115	115	106	105	128	122	167	116	109	106	110	91	100	109	102	93	89	96	52	105	130
108	62	116	144	110	144	115	63	171	109	159	102	102	120	109	132	117	125	105	99	104	123	92	117	68	78	116	96	102	58	110	137
101	64	105	97	96	80	97	65	83	94	121	77	73	94	97	94	80	114	74	70	98	91	102	97	74	66	78	82	129	81	135	124
99	46	105	106	92	93	102	50	111	113	100	84	86	98	95	101	88	125	86	63	97	103	80	91	99	109	79	75	119	55	126	127
98	105	96	76	96	76	97	105	85	107	100	106	105	100	102	99	82	129	104	100	98	101	106	98	106	96	109	106	92	99	91	71
93	55	93	73	83	91	123	57	140	126	120	112	111	101	96	80	77	113	117	83	93	112	92	83	79	79	93	95	80	47	80	63
103	105	111	118	100	78	114	106	88	106	122	112	109	104	104	118	83	161	105	90	100	101	112	99	100	86	108	110	93	94	100	105
103	74	107	77	102	112	94	78	96	95	95	86	86	104	105	104	86	117	84	79	101	102	98	102	77	86	88	87	118	85	123	89
102	118	105	137	100	98	81	118	88	69	122	110	108	103	104	127	98	161	105	105	100	98	113	108	96	100	115	107	92	107	96	124
97	41	105	90	85	70	99	41	157	141	139	97	96	100	95	93	81	132	92	77	94	110	90	80	113	107	78	82	102	43	111	94
103	85	113	131	97	107	89	90	124	106	127	116	116	105	107	125	116	173	115	103	98	111	91	102	101	107	102	90	89	73	98	113
102	61	104	59	101	77	104	64	108	93	140	89	84	96	98	87	74	103	86	77	100	97	94	100	77	57	81	86	113	68	116	66
98	68	104	102	87	98	85	67	75	78	90	77	74	92	98	105	85	121	71	64	95	88	97	91	92	85	75	79	130	90	139	135
107	77	114	123	110	105	82	78	144	107	140	100	97	97	103	128	101	201	92	93	104	92	119	105	112	93	81	85	110	79	118	127
100	77	105	62	94	81	92	79	115	119	94	99	99	105	100	86	86	107	101	98	98	107	102	88	77	65	97	105	97	75	102	60
92	81	84	107	90	105	75	81	96	49	124	95	93	92	94	106	74	152	90	82	96	89	92	110	122	122	91	76	104	91	94	120
98	56	101	85	91	103	111	59	127	139	83	85	85	100	92	96	87	82	87	88	96	102	82	73	88	60	80	89	111	64	115	97
98	88	99	100	95	98	97	90	126	116	102	112	111	100	99	100	98	170	104	104	98	103	106	88	128	127	97	95	91	82	92	93
96	77	101	105	84	85	107	77	121	117	121	95	92	94	98	105	90	148	86	85	93	94	108	84	124	101	77	89	106	85	113	117
104	95	111	78	101	98	70	97	87	95	100	90	92	104	104	97	91	127	90	103	100	99	127	105	90	99	103	99	114	105	122	86
98	78	100	118	93	114	88	80	84	60	128	77	76	101	98	106	98	117	74	79	97	102	102	103	83	83	88	79	128	102	131	155
94	82	100	107	80	88	80	84	101	100	98	86	85	96	92	97	90	145	84	89	92	93	112	87	85	79	79	82	111	96	118	126
98	88	96	94	96	94	99	88	123	89	149	96	96	110	96	96	87	116	104	104	98	112	86	108	68	73	101	85	99	89	97	96
102	80	109	109	98	91	108	79	130	97	148	93	92	107	98	110	91	99	99	100	99	109	79	103	70	62	90	88	107	85	114	115
104	99	110	123	103	123	108	97	104	100	107	105	103	93	100	121	103	185	94	91	101	93	123	96	130	113	86	90	104	99	110	123

Для сортування отриманих результатів вирішено усі співвідношення розділити на категорії. Категорії розділені за кількістю співпадінь:

- З високою точністю (менше, або 10 співпадінь);
- З середньою точністю (більше 10, не більше 20 співпадінь);
- З малою точністю (більше 20, менше 435 співпадінь);
- З мінімальною точністю (435 співпадінь);

З високою точністю – співвідношення, що помилилися 10 або менше разів. Ці відрізки, мають низькі значення помилок, а отже є ефективними для ідентифікації і їх не рекомендовано вилучати. До цієї групи попали такі відрізки:

- а) L4/L20 (6 співпадінь);
- б) L10/L20 (6 співпадінь);
- в) L19/L20 (10 співпадінь);
- г) L20/L27 (7 співпадінь);
- д) L20/L28 (4 співпадіння);

Візуалізація відрізків наведена на рис 2.4



Рисунок 4.6 – Співвідношення відрізків з високою точністю на фото

З середньою точністю – співвідношення, які помилилися не більше 20 разів. Менш важливі співвідношення, проте все ще ефективні та рекомендовані до використання. Перелік співвідношень занесений до таблиці 4.3.

Таблиця 4.4 – Співвідношення в діапазоні 10-20 отриманих помилок

Назва співвідношення	Кількість помилок	Назва співвідношення	Кількість помилок
L2/L6	18	L6/L7	18
L3/L20	19	L6/L10	11
L4/L6	11	L6/L15	18
L6/L14	17	L6/28	17
L6/L20	20	L6/L28	19
L6/L21	17	L6/29	17
L6/L22	19	L7/L20	16
L6/L23	20	L8/L20	19
L8/L13	16	L8/L28	17
L12/L20	15	L13/L27	20
L14/L20	20	L15/L20	19
L17/L20	18	L18/L20	20
L20/L22	18	L20/L23	19
L20/L29	16	L20/L30	13

З малою точністю – співвідношення, що мають кількість помилок більше ніж 20, але не 435. Не рекомендовані для використання з метою ідентифікації та автентифікації. Таких співвідношень більшість і складає 394 значення.

З мінімальною точністю – також цікавими є випадки які попали в цю категорію, це випадки які показали максимальний результат у 435 помилки. А саме це відрізки:

- а) L2/L14;
- б) L2/L15;
- в) L2/L21;
- г) L3/L23;

- д) L4/L10;
- е) L14/L15;
- є) L15/L21;
- ж) L16/L24;

Візуалізація відрізків наведена на рис. 4.7.



Рисунок 4.7 – Співвідношення відрізків з мінімальною точністю на фото

При аналізі отриманих результатів, до категорії з високою точністю підпадає 6 співвідношень, до категорії з середньою точністю – 28, до категорії з малою точністю – 394 та 8 до категорії з мінімальною точністю. Вирішено проаналізувати відрізки, з яких складаються співвідношення у кожній з категорій. Виявлено закономірність серед значень з високою точністю, а саме присутність у всіх співвідношеннях відрізка L20, що може свідчити про сильний позитивний вплив на точність співвідношення. Розглянуто та виокремлено до таблиці 4.5 значення відрізків, що містять L20. Прослідковується висока концентрація не співпадінь, що також свідчить про позитивний вплив цього відрізка. Рекомендовано не вилучати співвідношення з процесу ідентифікації, що мають відрізок L20.

Таблиця 4.5 – Відсоткове відхилення співвідношень відрізків між фото еталону та фото кандидатів, що включають відрізок L20

L20/L21	L20/L22	L20/L23	L20/L24	L20/L25	L20/L26	L20/L27	L20/L28	L20/L29	L20/30
57	58	57	58	65	58	84	68	52	53
73	66	75	79	77	76	83	82	74	69
68	66	68	69	73	65	85	82	64	64
66	59	65	67	67	63	81	87	62	61
70	66	61	65	63	70	72	82	68	60
105	95	102	108	90	107	75	85	99	92
108	94	107	120	123	95	92	69	103	108
93	77	89	95	78	92	79	71	91	86
79	80	77	90	78	78	68	80	84	77
62	65	64	66	62	58	67	60	56	56
99	87	104	114	109	85	70	60	95	101
86	89	86	93	90	88	79	74	90	84
66	66	67	69	68	67	71	47	57	62
67	69	70	71	67	68	66	54	66	65
64	63	61	62	62	61	69	79	60	56
73	70	75	78	74	80	75	73	84	78
64	70	78	71	80	78	75	78	67	70
72	66	76	77	57	74	56	79	66	55
75	72	75	84	71	81	60	56	80	73
96	81	107	110	70	120	59	64	98	83
65	59	70	72	80	65	86	69	63	66
69	66	63	66	54	60	65	61	56	54
84	79	83	98	74	94	54	62	93	77
65	61	86	80	90	85	65	58	68	72
69	51	77	82	64	73	79	87	63	60
81	77	76	78	82	76	82	75	85	82

Аналіз відрізків з мінімальною точністю показав, що не варто використовувати співвідношення де відрізки мають однаковий або схожий вектор спрямування. На відміну від співвідношень з високою точністю, не можна сказати про відрізки, що негативно впливають на якість ідентифікації. Рекомендовано вилучати співвідношення з мінімальною точністю з ідентифікації задля економії виробничих потужностей обчислювальної машини.

4.3 Дослідження ефективності ідентифікації при порівнянні фото особи з її іншими фото, наявними в базі

Пропонується експериментально з'ясувати, як впливають сформовані відрізки та співвідношення на роботу алгоритму порівняння фото особи з її іншими фото. Для порівняння обрано фото еталону та фото кандидатів. Сформовано співвідношення за цими фото. Значення співвідношень фото еталону порівнюються із відповідними для кандидата. Таким чином отримано 435 різниць співвідношень на одного кандидата.

Вимогами до початкових даних є:

- Фото еталона має містити у собі обличчя людини;
- Фото кандидатів мають містити обличчя людини, тієї самої, що і на фото еталоні;
- Всі фото мають розмір 250 на 250 пікселів;
- Всі фото мають формат jpg.

Значення різниць співвідношень занесено до файлу. До окремого файлу занесено логічні значення,

де «1» – значення відрізняється в межах 10 відсотків;

«0» – значення за межами, або дорівнює різниці у 10 відсотків.

Використано, як початкові дані, фото еталона зображене на рис 4.8 та 100 фото кандидатів. Базу даних фото кандидатів узято з [27] та наведено на рис 4.10.



Рисунок 4.8 – Фото еталону

Обрано фото людини, в якості еталона, та її інші фото, в якості кандидатів. Передбачається, що результат порівняння співвідношень матиме логічне значення «1» серед багатьох кандидатів, або іншими словами, значення співвідношень відрізнятимуться менше ніж на 10 відсотків. В іншому випадку, співвідношення має слабкий ефект на загальний рівень якості ідентифікації.

Результати експерименту занесено до файлу який наведено у додатку Д. Фрагмент даних з файлу використано для створення таблиці 4.6. В таблиці представлено значення 35 співвідношень для 55 кандидатів та перевірочний набір співвідношень еталона з самим собою.

Сформований файл має 100 наборів по 435 значень. Прийнято рішення позначити у таблиці 4.2 зеленим ті значення, що мають логічний еквівалент «1» та «0» – червоним.

Результати порівняння представлені у вигляді таблиці де кожен рядок окрім першого це фото кандидата, а кожен стовпець це результат порівняння поточного співвідношення із співвідношенням еталона. Перший рядок є порівнянням фото еталона самим з собою.

Сортування вирішено проводити за такими ж категоріями, як і попереднє дослідження, див. підрозділ 4.2. Єдина відмінність полягає в тому, що помилками є значення, котрі мають логічне значення «0».

До співвідношень з високою точністю попали такі пари відрізків:

- а) L1/L3 (2 помилки);
- б) L1/L23 (3 помилки);
- в) L2/L14 (1 помилка);
- г) L2/L15 (1 помилка);
- д) L2/L21 (1 помилка);
- е) L3/L5 (4 помилки);
- є) L3/L17 (2 помилки);

- ж) L3/L23 (1 помилка);
- з) L4/L10 (1 помилка);
- к) L14/L15 (1 помилка);
- л) L14/L21 (7 помилки);
- м) L15/L21 (1 помилка);
- н) L16/L17 (7 помилки);
- о) L16/L23 (8 помилок);
- п) L16/L24 (1 помилка);
- р) L17/L23 (1 помилка).

При аналізі співвідношень виявлено 15, котрі попали під категорію з високою точністю. До категорії із середньою точністю занесено 10 співвідношень. До категорії з малою точністю – 410. З мінімальною точністю співвідношень немає.

Оскільки відношень з мінімальною точністю не виявлено, прийнято рішення розглянути відрізки близькі, чия помилка не менше 95 значень. До цього проміжку відноситься пара відрізків L20 та L28 і їх співвідношення видає помилку у 96 випадках. Рекомендовано вилучати це співвідношення з ідентифікації задля економії ресурсів обчислювальної машини.

Візуалізація відрізків наведена на рис 4.9.

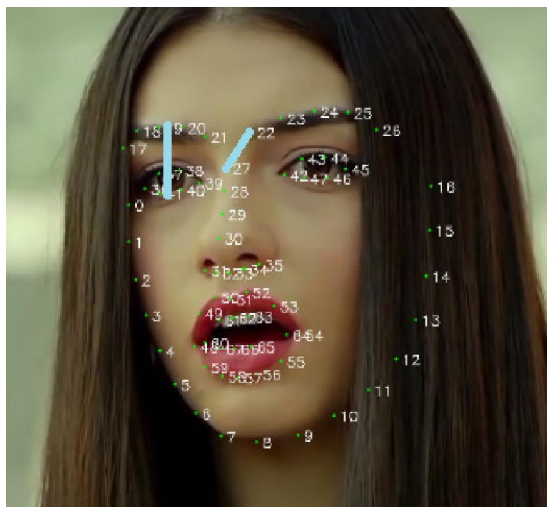


Рисунок 4.9 – Зображення відрізків L20 та L28 на фото



Рисунок 4.10 – Набір фото особи для її ідентифікації

Таблиця 4.6 – Порівняння співвідношень фото еталону з фото кандидатами

11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17	11/18	11/19	11/110	11/111	11/112	11/113	11/114	11/115	11/116	11/117	11/118	11/119	11/120	11/121	11/122	11/123	11/124	11/125	11/126	11/127	11/128	11/129	11/130	12/13	12/14	12/15	12/16	12/17	11/12	11/13	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
93	95	97	88	77	94	74	83	95	85	83	98	92	91	98	99	95	82	78	91	89	98	98	98	99	88	89	100	96	97	88	95	83	98	80	74	
96	98	62	87	82	95	78	88	55	79	65	88	100	99	100	96	90	85	87	90	96	98	96	93	67	80	94	81	96	94	66	84	79	99	75	91	
76	84	66	81	56	68	56	100	66	68	69	60	75	78	85	89	66	80	64	77	71	85	83	61	70	72	97	71	74	90	86	94	74	89	73	70	
73	98	70	95	76	86	73	87	71	80	66	46	73	74	100	100	94	87	69	79	73	95	99	84	61	71	82	81	70	61	96	70	97	45	100	46	
90	99	81	94	70	98	73	90	82	58	99	64	91	91	99	95	78	91	94	96	96	99	99	91	96	90	90	86	82	90	89	96	56	87	60	100	
100	98	84	100	81	93	100	97	85	90	98	99	98	100	97	99	100	95	82	94	96	97	94	99	99	92	100	99	97	98	84	100	81	93	100	97	
92	91	81	84	91	85	91	94	81	98	87	93	92	92	96	93	97	84	75	96	93	94	96	98	98	100	93	90	91	99	88	92	99	92	99	97	
99	96	94	92	70	93	74	100	96	88	96	97	100	98	99	98	87	94	92	100	100	97	99	95	94	79	62	96	96	97	95	93	68	94	72	99	
98	100	100	100	16	99	74	90	99	89	70	99	98	100	93	96	57	76	94	99	93	100	91	86	100	100	95	96	96	99	99	99	99	14	100	72	88
96	98	96	96	9	98	69	81	96	83	91	87	94	93	94	98	67	71	79	90	92	99	90	96	96	61	68	100	99	98	100	100	16	98	74	85	
100	96	91	88	79	96	75	87	92	82	81	55	98	97	97	97	87	89	89	94	98	98	99	90	85	72	78	93	88	95	91	88	79	95	75	88	
96	96	99	92	100	93	100	90	94	91	74	59	99	100	98	99	87	93	87	90	91	97	98	89	89	80	81	99	92	92	97	89	96	89	96	94	
91	99	90	98	80	99	84	95	91	75	72	70	93	93	89	98	99	69	98	91	87	100	85	94	87	76	80	81	87	89	99	88	68	89	72	85	
88	99	94	98	71	94	99	76	96	74	98	72	92	93	95	98	73	86	99	85	99	98	90	99	94	79	93	96	99	91	84	88	84	95	89	89	
97	97	97	95	68	94	96	86	97	82	89	73	100	99	98	99	77	90	96	98	95	98	93	91	97	79	91	100	95	94	94	92	72	91	93	89	
70	87	65	86	73	71	57	94	63	75	14	62	65	67	81	89	71	95	52	72	71	86	80	55	69	48	55	61	67	75	93	76	95	99	82	65	
92	95	96	94	95	89	95	93	96	93	91	96	90	92	98	98	95	95	88	97	93	95	93	90	94	72	86	85	81	96	95	97	96	97	96	99	
93	96	86	89	77	96	93	88	89	96	71	73	93	95	98	96	87	89	90	98	94	98	100	85	85	99	85	98	86	97	93	95	83	97	100	80	
100	98	30	91	58	86	94	83	33	75	95	78	98	95	96	97	76	91	91	99	93	95	99	95	88	68	61	94	84	98	31	91	58	86	95	83	
99	96	95	93	69	93	73	98	97	87	100	98	97	94	92	95	71	75	59	98	97	97	94	90	99	49	22	93	87	97	96	93	68	94	72	98	
96	94	91	88	96	89	96	82	93	96	79	73	97	97	96	97	96	96	99	97	91	96	99	97	98	84	85	89	85	98	95	92	100	93	100	77	
86	97	73	92	40	98	83	76	71	83	98	75	86	86	95	96	72	66	83	85	86	99	93	97	91	89	90	92	93	90	88	95	59	90	98	91	
88	94	79	95	98	82	75	91	84	71	71	81	87	88	92	97	95	90	84	88	86	92	94	97	95	96	96	98	98	93	62	91	88	94	85	76	
86	95	84	92	94	90	89	86	88	68	63	92	85	86	97	100	96	96	80	88	82	96	98	99	94	85	100	95	95	89	65	93	90	95	97	67	
93	95	90	88	95	95	76	76	92	59	97	82	94	95	98	96	92	89	89	88	99	98	97	90	98	95	94	96	95	89	85	82	89	89	71	84	
98	96	99	92	63	93	80	79	100	100	95	88	97	98	96	98	87	85	92	96	98	97	95	99	93	92	94	99	100	94	98	90	61	91	81	76	
98	91	81	84	81	85	91	87	81	84	85	87	98	98	93	92	97	95	94	99	91	94	97	86	93	96	98	88	86	93	83	86	79	87	93	85	
92	96	93	86	99	99	68	69	95	74	70	96	93	92	97	99	99	92	87	84	91	100	91	89	95	96	99	97	100	89	87	80	92	91	77	79	
97	98	98	99	70	93	67	96	94	88	99	100	98	97	99	97	72	75	92	92	88	97	98	100	96	95	100	95	93	95	99	96	73	91	70	93	
93	100	93	92	97	93	100	75	95	76	25	97	92	90	97	97	87	95	83	92	100	97	98	99	87	83	80	91	100	93	86	99	96	87	93	83	
99	96	99	92	100	93	100	91	96	73	92	87	98	97	99	98	100	93	84	96	98	97	99	91	98	66	51	93	89	96	99	92	100	93	100	90	
99	97	94	92	64	99	68	90	93	99	98	87	98	97	96	98	91	86	84	99	99	100	97	96	99	75	51	95	97	98	93	93	63	99	67	89	
96	96	99	96	93	89	96	90	99	72	81	43	99	98	97	95	96	97	97	92	98	96	95	92	75	83	93	95	92	100	96	100	97	93	100	94	
91	91	78	78	74	91	73	84	76	59	78	70	98	96	95	98	75	76	70	86	98	97	96	71	90	69	87	100	87	84	71	72	68	84	67	93	
90	95	93	91	74	91	91	99	93	79	66	82	91	92	94	97	91	95	98	91	88	96	97	84	77	89	74	99	86	94	96	98	60	99	98	90	
96	96	97	95	96	89	96	72	92	78	94	83	97	96	96	97	96	96	98	94	88	96	99	90	95	84	93	91	87	100	99	99	100	93	100	66	
97	95	85	88	98	95	95	91	85	59	80	64	97	98	99	97	95	95	95	98	91	98	98	90	93	90	99	91	86	98	88	90	99	98	98	93	

4.4 Висновки за розділом

Сформовано набори фото осіб для проведення досліджень. Проведено тренування та тестування алгоритму для виявлення обличчя на фото. Обрано ключові точки на обличчі, відрізки між ними та їх співвідношення. Досліджено ефективність виявлення обличчя на фото. Також проведено дослідження ефективності при порівнянні фото особи з фото інших осіб, а також з її іншими фото.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі проведено дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям.

Розглянуто відомі методи розпізнавання обличчя та бібліотеки комп'ютерного зору, а також основні етапи порівняння облич.

Обрано середовище, мова програмування та додаткові інструменти для розробки програм. Розроблено алгоритми та відповідне програмне забезпечення виявлення обличчя на фото та розпізнавання особи серед її фото та фото інших осіб .

Проведено експериментальні дослідження ефективності виявлення обличчя на фото в залежності від об'єму тренувальних даних, ефективності ідентифікації при порівнянні фото особи з фото інших осіб та ефективності автентифікації при порівнянні фото особи з її іншими фото.

Результати дослідження показали, що є співвідношення між відрізками, сформованими на основі ключових точок на обличчі, які не впливають на якість порівняння. Такі співвідношення рекомендовано вилучити з розгляду для економії ресурсів системи.

Результати роботи можуть бути використані для підвищення ефективності використання ресурсів обчислювальної системи в алгоритмах виявлення та ідентифікації / автентифікації особи за обличчям, а також у навчальних цілях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Д.О. Остапець, В.В. Дзюба, В.В. Русецький Засоби для вивчення ідентифікації та автентифікації за обличчям. *Системні технології*. 2024. Т. 4, № 153. С. 157-165. URL: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-153-2024-15> (дата звернення 12.10.2024)
2. Русецький В.В., Остапець Д.О. Розробка та дослідження ефективності засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям. *Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XVIII Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Дніпро, 12-13 грудня 2024 р. Дніпро: УДУНТ, 2024. С. 188.
3. Русецький В.В., кер. Остапецю Д.О. Дослідження ефективності засобів ідентифікації та автентифікації за обличчям. *Молода академія - 24*. Т.ІІ: зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 23-24 травня. 2024 р. Дніпро: УДУНТ, 2024, С. 16-17.
4. Русецький В . Розробка та дослідження засобів ідентифікації / автентифікації користувачів інформаційних систем за обличчям. *Наука і сталий розвиток транспорту 2024*: зб. тез доп. Всеукр. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 27 листоп. 2024р. Дніпро: УДУНТ, 2024.- С. 19.
5. Stalings W., Brown L. Computer Security Principles and Practice. Security functional requirments : second edition / ed. director Marcia Horton. New Jersey, 2012. С. 23-26.
6. Sandhu R., Hadley J., Lovas S., Takacs N. Computer security handbook. Identification and authentication: 6nd edition / ed. Bosworth S., Kabay M.E., Whyne E. United States of America, 2014. С. 843-892.
7. Bishop M. Computer Security: Art and Science : монографія. Addison-Wesley Professional, 02017, 1383 с..

8. Bhavana R. Maale, Dr. Suvarna N. Face Detection Using Haar Cascade Classifiers. *International journal of science and research*. 2019. С. 1179-1181
9. Face Detection with Haar Cascade. *Toward Data Science*. веб-сайт. URL: <https://towardsdatascience.com/face-detection-with-haar-cascade-727f68dafd08> (дата звернення 07.09.2024).
10. Histogram of Oriented Gradients for Human Detection. // Science ouverte HAL. Web Archive. 2010. 8 pages.
11. Strang G. *Linear algebra and its applications* : 3rd edition. 1988. 380 с.
12. Tyagi, M. Histogram of Oriented Gradients: An Overview. *Builtin*. URL: <https://builtin.com/articles/histogram-of-oriented-gradients> (дата звернення 07.09.2024).
13. Support Vector Machine (SVM) Algorithm. *Geeksforgeeks*. веб-сайт: URL: <https://www.geeksforgeeks.org/support-vector-machine-algorithm/> (дата звернення: 08.10.2024).
14. Офіційний сайт OpenCV. *OpenCV*. URL: <https://opencv.org/> (дата звернення 07.09.2024).
15. Rosebrock A. OpenCV Haar Cascades. *Pyimagesearch*. веб-сайт. URL: <https://pyimagesearch.com/2021/04/12/opencv-haar-cascades/> (дата звернення 07.09.2024).
16. Офіційний сайт Dlib. *Dlib*. веб-сайт: URL: <http://dlib.net/> (дата звернення 07.09.2024).
17. Русецький В. В. Комплекс біометричної ідентифікації та автентифікації за обличчям : квал. роб. бакалавра: Дніпро, 2023. 50 с.
18. Anthony Williams. *C++ Concurrency in Action Practical Multithreading*. : 1st edition. Manning Publications, 2012 528 с.

19. Filesystem Library. *Cppreference*. URL: <https://en.cppreference.com/w/cpp/filesystem> (дата звернення: 10.09.2024).
20. Офіційний сайт Visual Studio 2022. *Visual Studio*. URL: <https://visualstudio.microsoft.com/> (дата звернення: 10.09.2024).
21. JavaScript Tutorial. *W3School*. URL: <https://www.w3schools.com/js/DEFAULT.asp> (дата звернення: 10.09.2024).
22. Офіційний сайт wxWidgets. *wxWidgets*. URL: <https://wxwidgets.org/> (дата звернення: 10.09.2024).
23. VCPKG overview. *GitHub*. URL: <https://github.com/microsoft/vcpkg> (дата звернення: 10.09.2024).
24. Офіційний сайт Git. *Git*. URL: <https://git-scm.com/> (дата звернення: 15.09.2024).
25. Офіційний сайт GitHub. *GitHub*. URL: <https://github.com/> (дата звернення: 15.09.2024).
26. Офіційний сайт Python. *Python*. URL: <https://www.python.org/> (дата звернення: 15.09.2024).
27. LFW Face Database. *Vision Lab*. URL: <https://vis-www.cs.umass.edu/> (дата звернення: 15.09.2024).
28. Landscape Recognition | Image Dataset | 12k Images. *Kaggle*. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/utkarshsaxenadn/landscape-recognition-image-dataset-12k-images> (дата звернення: 15.09.2024).

ДОДАТОК А
Код програми

ДОДАТОК Б

Код скрипту

ДОДАТОК В
Результати виявлення облич на фото

ДОДАТОК Г

Результати порівняння фото особи з фото інших осіб

ДОДАТОК Д

Результати порівняння фото особи з її іншими фото