

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Фізичних основ електронної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
ОПТОІНФОРМАЦІЙНІ БІОМЕТРИЧНІ СИСТЕМИ
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ФТОІМ-21-1
Бітюков А.Ю.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 152 Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Фотоніка та
оптоінформатика»
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. каф. ФОЕТ Курський Ю.С.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Гнатенко О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)
Кафедра Фізичних основ електронної техніки
(повна назва)
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма « Фотоніка та оптоінформатика »
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Бітюкову Антону Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптоінформаційні біометричні системи

затверджена наказом університету від « 04 » листопада 2022 р. № 1444 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Біометрія; розпізнавання образів; гармонічний сигнал; спотворений сигнал; програмний пакет «Scilab»; перетворення Фур'є

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 1 Дослідження основних завдань біометрії. 2 Дослідження оптичних методів систем розпізнавання людини. 3 Дослідження математичних методів систем. 4 Дослідження труднощів із забезпеченням розпізнавання людини.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій
Демонстраційний матеріал – 15 шт.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел про основні завдання біометрії	01.09.22–29.09.22	Виконано
2	Дослідження математичних методів систем розпізнавання	30.09.22–10.10.22	Виконано
3	Виконання перетворення Фур'є гармонічного та спотвореного сигналу	11.10.22–25.10.22	Виконано
4	Аналіз розрахунків та труднощів із забезпечення розпізнавання образів	26.10.22–07.11.22	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	08.11.22–30.11.22	Виконано
6	Оформлення демонстраційного матеріалу	01.12.22–05.12.22	Виконано
7	Проходження нормоконтролю і отримання рецензії	06.12.22–15.12.22	Виконано
8	Проходження перевірки на плагіат	16.12.22–17.12.22	Виконано
9	Підготовка та захист кваліфікаційної роботи	18.12.22–20.12.22	

Дата видачі завдання 01 вересня 2022 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. каф. ФОЕТ Курський Ю.С.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 46 с., 18 рис.,
1 додаток, 14 джерел.

БИОМЕТРИЯ, КОРЕЛЯТОР, ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ,
РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ, ФІЛЬТРАЦІЯ ВАНДЕРЛЮГТА, ФУР'Є
ПЕРЕТВОРЕННЯ.

Об'єкт дослідження – біометричні системи розпізнавання образів.

Мета роботи – дослідження принципів функціонування та застосування оптоінформаційних біометричних технологій систем ідентифікації образів.

Метод дослідження – аналітичний та чисельний за допомогою програмного пакету Scilab.

У роботі було розглянуто системи розпізнавання образів, їх алгоритм роботи, різні методи розпізнавання образів, загальні труднощі які можуть впливати на розпізнавання системи та проаналізовано реалізацію фур'є аналізу при розпізнаванні образів.

Розрахований та порівняний гармонічний сигнал зі зміною деяких параметрів та величини.

ABSTRACT

Explanatory note of qualification work: 46 pages, 18 drawings, 1 additions, 14 sources.

BIOMETRY, CORRELATOR, LASER SCANNING, PATTERN RECOGNITION, VANDERLUGHT FILTER, FOURIER TRANSFORM.

The object of research is biometric systems of pattern recognition.

The purpose of the work is to study the principles of operation and application of opto-informational biometric technologies of the image identification system.

The research method is analytical and numerical using the Scilab software package.

The paper considered pattern recognition systems, their work algorithm, different methods of pattern recognition, general difficulties that can affect system recognition, and analyzed the implementation of Fourier analysis in pattern recognition.

Calculated and compared harmonic signal with changes in some parameters and values.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Основні положення біометрії.....	8
1.1 Стандарти біометрії.....	9
1.2 Оптична реалізація задач біометрії.....	13
1.3 Методи сканування обличчя	14
1.4 Сканування активним методом.....	15
1.5 Сканування пасивним методом.....	17
2 Фізико-математичні основи оптичних методів біометрії.....	21
2.1 Фільтрація Вандерлюгта.....	21
2.2 Реалізація Фур'є аналізу при розпізнаванні образів.....	30
2.3 Просторові гармоніки.....	34
2.4 Приклад Фур'є перетворення в біометрії за допомогою пакету «Scilab».....	37
2.5 Переваги та недоліки сканування облич.....	39
2.6 Проблеми при розпізнаванні образів та розвиток цих систем.....	41
Висновки.....	44
Перелік джерел посилання.....	45
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	47

ВСТУП

У світі широко поширене використання паролів для вирішення різних завдань автоматичного контролю, управління та виміру, але останнім часом паролі відходять на задній план, бо їх можна легко загубити, втратити. Тому в теперішній час розпізнавання обличчя має велику кількість застосувань, включаючи безпеку, перевірку особи, спілкування в інтернеті тощо. Були розроблені цілі системи для виявлення та відстеження обличчя, але надійне розпізнавання все ще створює великий виклик для дослідників комп'ютерного зору та розпізнавання образів. Існує кілька причин нещодавнього підвищеного інтересу до розпізнавання облич, зокрема зростаюча стурбованість громадськості щодо безпеки, потреба в перевірці особи в цифровому світі та потреба в аналізі обличчя та методах моделювання в управлінні мультимедійними даними та комп'ютері розваги.

Розпізнавання обличчя стало напрямком майбутнього розвитку та має багато потенційних перспектив застосування. Системи мають такі переваги, як ненав'язливість, низька вартість обладнання та відсутність вимог щодо згоди користувача під час отримання даних, серед яких найважливіші переваги. Ми пропонуємо перспективний погляд за допомогою Фур'є перетворення для розпізнавання обличчя.

У цій роботі розглядатиметься дослідження:

- основних завдань положень біометрії;
- оптичних методів систем розпізнавання;
- математичних методів систем;
- труднощів із забезпеченням розпізнавання.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ БІОМЕТРІЇ

Потреба в надійних методах автентифікації користувачів збільшилася внаслідок посилення занепокоєння щодо безпеки та швидкого розвитку мереж, комунікації та мобільності. Біометрія, описана як наука про розпізнавання особи за її законний метод визначення особистості особи. Біометрична автентифікація або просто біометрія стосується встановлення особистості на основі фізіологічних і поведінкових характеристик, (також відомі як риси чи ідентифікатори) особи, наприклад обличчя, відбитки пальців, геометрія руки, райдужка, натискання клавіші, підпис, голос тощо (рис. 1.1) [1].

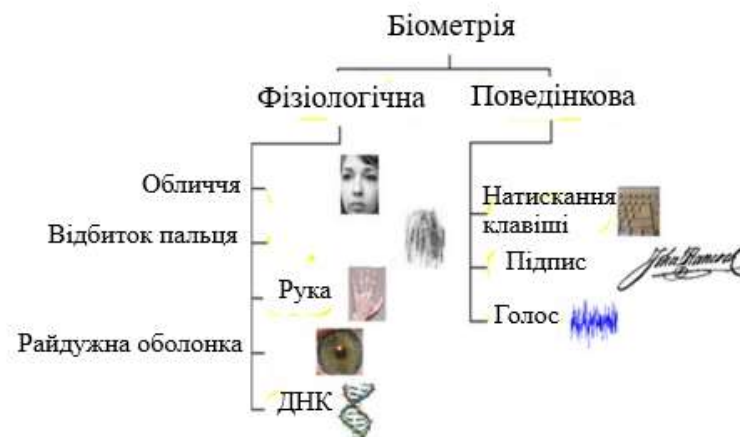


Рисунок 1.1 – Класифікація біометричних ознак

Біометричні системи мають кілька переваг над традиційними схемами автентифікації. Біометрія широко використовується в цілях безпеки, оскільки забезпечує високу точність розпізнавання особи. Вони є за своєю суттю надійнішими, ніж на основі пароля автентифікації, оскільки біометричні ознаки не можуть бути втрачені або забутий; біометричні риси важко скопіювати, поділитися та поширювати; і вони вимагають автентифікації особи бути присутнім під час і в місці автентифікації. Таким чином, схема

автентифікації на основі біометрії є потужною альтернативою традиційним схемам автентифікації.

Число біометричних характеристик використовуються для різних додатків [2].

1.1 Стандарти біометрії

Засоби біометричної автентифікації можуть бути віднесені тільки до високонадійних, якщо в їх склад введені криптографічні механізми автентифікації, які працюють разом з біометричними механізмами автентифікації через перетворення нечітких біометричних образів в однозначний криптографічний ключ або довгий пароль (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Приклад біометричної автентифікації

Користувач подібних систем випущений від необхідності зберігати належним чином ключ або запам'ятати довжину випадкового паролю. Він через присущу йому біометрію сам є ключем (паролем) доступу (автентифікації) [3]. Для засобів високонадійної біометрично-криптографічної автентифікації складність підбору біометрії анонімного користувача або складність підбору таємного біометричного образу відомого користувача повинен складатися зі складністю підбору використовуваного в

засобі криптографічного ключа аутентифікації (довгого пароля). Також засіб біометричної аутентифікації може бути віднесено до високонадійного тільки після його навчання на біометричному образі «Свій» достатньо високої інформативності [4].

Засоби високонадійної біометричної автентифікації класифікують за допомогою біометричних механізмів або їх комбінаціям. Наразі вони мають перспективи широкого практичного використання наступних біометричних механізмів:

- аналіз кров'яних судин очного дна,
- аналіз радужної оболонки ока;
- двомірний і трьохмірний аналіз геометричних особливостей обличчя у видимому та інфрачервоному спектрах світла;
- аналіз особливостей геометрії ушних раковин;
- аналіз особливостей голосу;
- аналіз особливостей папілярних малюнків пальців;
- аналіз геометричної форми ладоні, включаючи малюнки складок шкіри та папілярні малюнки різних фрагментів шкіри.
- аналіз рисунка кров'яних судин, складок шкіри тильної сторони долоні;
- аналіз рукописного почерка;
- аналіз клавіатурного почерка;
- аналіз геометричних співвідношень частей тіла;
- аналіз особливостей походки [5].

Кожен із перерахованих вище механізмів здатний дати свій унікальний біометричний образ людини. Всі біометричні образи людини діляться на статичні біометричні образи з обмеженою інформативністю та динамічні біометричні образи з необмеженою інформативністю.

Статичні біометричні образи дані людині від народження, мають обмежену інформативність і не можуть бути зміненими. Збереження в тайні

статичної біометрії образу людини може бути забезпечено тільки через забезпечення анонімності користувача.

Динамічні біометричні образи людини мають необмежену інформативність і можуть бути легко змінені. Динамічні біометричні образи можуть бути отримані механізмами аналізу особливостей голосу, рукописного почерку, клавіатурного почерку. Необмежена інформативність динамічних біометричних образів обумовлена можливістю необмеженого збільшення їх розмірів. Зберігання в тайні динамічних біометричних образів забезпечується тим, що їх власник зберігає в тайні свої голосові паролні фрази, рукописні паролні слова (фрази), клавіатурні паролні тексти [6].

Засоби високонадійної біометрико-криптографічної аутентифікації мають типову структуру перетворень (рис. 1.3).

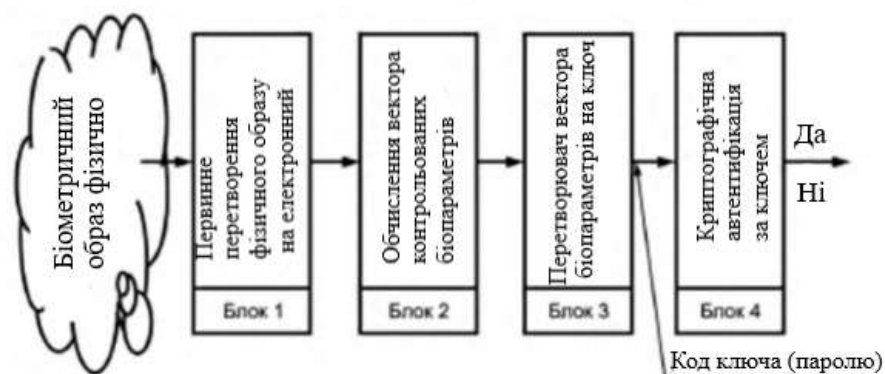


Рисунок 1.3 – Структурна схема обробки інформації в засобах високонадійної біометричної аутентифікації

У структурній схемі блок 1 здійснює перетворення фізичного нечіткого біометричного образу людини в електронний біометричний нечіткий образ через первинні перетворювачі фізичних величин в електронні цифрові дані. Блок 2 здійснює нормування електронних образів та обчислення вектора біометричних параметрів, наприклад у вигляді коефіцієнтів Фур'є в засобах аутентифікації по динаміці відтворення рукописного пароля. Блок 3 здійснює

перетворення вектора біометричних параметрів в код ключа (пароля) для наступної криптографічної аутентифікації. Блок 4 здійснює криптографічну аутентифікацію людини за його ключем або паролем, видаючи на вихід рішення «Так» або «Ні» [7].

Для посилення стійкості біометричного захисту до атак вивчення та модифікації програмного забезпечення високонадійні варіанти її технічної реалізації не повинні містити прикладів біометричних образів користувача, біометричного еталона образів користувача та коду ключа (паролу) користувача. Ця інформація є конфіденційною і має бути захищена під час зберігання. Крім того, сліди цієї конфіденційної інформації повинні бути гарантовано знищені після виконання кожної конкретної процедури аутентифікації. Для засобів високонадійної біометричної аутентифікації допустимо приховування конфіденційної інформації про код ключа (паролу) користувача та його біометричні образи в таблицях параметрів та зв'язків нейромережевого перетворювача біометричних параметрів у ключ (пароль) [8].

Крім того, допустимо застосування інших способів приховування цієї інформації, наприклад у формі таблиць перетворювача вектора біометричних параметрів в ключ (пароль), що використовує нечітку математичну обробку біометричних даних.

Засіб високонадійної біометричної аутентифікації при кожній спробі аутентифікації повинен видавати результат біометричної аутентифікації «Так» або «Ні», а також число нестабільних біт коду ключа (кількість спроб підбору та результат підбору, якщо підбір дозволений по діючій політиці інформаційної безпеки). Прилад високонадійної біометричної аутентифікації повинен давати користувачеві можливість бачити (знати) свій ключ (пароль) та можливість його зберігати (наприклад, на аварійному паперовому носії, що знаходиться в опечатаному конверті). Якщо така можливість суперечить прийнятій безпеці, то вона повинна бути відключена адміністратором безпеки. Засіб високонадійної біометричної аутентифікації повинен мати безпечний аварійний вхід у вигляді можливості ручного набору коду ключа

(пароллю) на випадок, якщо користувач повністю втратив свої можливості відтворення свого біометричного образу [9].

1.2 Оптична реалізація задач біометрії

Розпізнавання обличчя не лише відіграє важливу роль у тому, але також має вирішальне значення для перевірки безпеки та інтерфейсу людини та машини. У порівнянні з даними відбитків пальців або райдужної оболонки ока, які потребують складних пристроїв, зображення обличчя можна легко та інтерактивно зібрати простою камерою. Тому розпізнавання обличчя має переваги перед іншими біометричними даними. Це була складна тема вже понад 50 років, і все ж багато дослідників досліджують методи вирішення її складних проблем [10].

Фільтрація зображень для цілей обробки зображень із розпізнаванням обличчя досліджувалась у двох основних напрямках. Один полягає у використанні оптичних кореляторів, у яких зображення обличчя розглядаються як єдине ціле, а інший полягає в тому, щоб використовувати цифрові методи, в яких піксельні обчислення в рамках концепції цифрової обробки зображень стурбовані. Використання оптичних фільтрів для вимірювання подібності між зображеннями розглядається протягом десятиліть. Оскільки оптична фільтрація в основному покладається на використання просторового перетворення Фур'є зображень у частотній області, практично її можна досягти за допомогою простих оптичних елементів, таких як збиральні лінзи. Крім того, щодо паралельної природи оптичної обробки; оскільки світлові хвилі поширюються паралельно, всю інформацію зображення можна шукати зі швидкістю світла, і це можна вважати обробкою в реальному часі [11].

1.3 Методи сканування обличчя

Виявлення живості – це програмне забезпечення, яке відрізняє живу людину від атак спуфінгу, таких як фотографії, маски, аватари чи відео. Науково це називається виявлення атак на презентації (PAD). Цей термін стосується запобігання шахрайству для біометрії загалом, тоді як визначення живості зазвичай використовується для розпізнавання обличчя. Виявлення живості не потребує спеціального апаратного забезпечення, наприклад 3D або інфрачервоної камери. Натомість одне або два селфі, зроблені будь-якою стандартною камерою, аналізуються, щоб визначити «жвавість» людини, яка намагається ідентифікуватись [12].

Без виявлення живості шахрай може використовувати фото, відео або (силіконову) маску людини, щоб підробити систему з метою отримати несанкціонований доступ до їхніх облікових записів або даних. Таким чином, виявлення живості є важливим елементом безпечної програми.

Найпоширенішими методами боротьби з різноманітними атаками на презентації є аналіз руху та текстур, а також штучний інтелект (AI). Технічно кажучи, існує два різні методи виявлення живості для автентифікації, активне та пасивне виявлення живості.

Активне виявлення живості вимагає від користувача навмисного підтвердження своєї присутності шляхом взаємодії із системою як частину процесу (щодо «Я не робот»). Зокрема, для активного виявлення живості потрібні лише два зображення для аналізу. Перше зображення зазвичай фіксується негайно, тоді як захоплення другого зображення автоматично запускається природнім рухом голови. Природний рух голови – це інтуїтивно зрозуміла взаємодія користувача, як «кивок, якщо згоден» тощо [13].

Використання захоплення зображення, що запускається рухом, забороняє зловмиснику демонструвати або міняти місцями різні фотографії, що призведе до неплавного (тобто «неприродного») рух голови. Технологія активного виявлення живості, який базується на потоці руху та штучному

інтелекті, тепер аналізує рух між двома захопленими зображеннями, оскільки 3D-обличчя рухається інакше, ніж 2D-фото, навіть якщо воно зігнуте. Потім він вирішує, чи є користувач, який намагається автентифікуватися, «живим» чи «фальшивим».

Інші методи вимагають від користувача моргання, усмішки або відстеження очима крапок на екрані. Ці методи можуть бути вразливими до простих атак або незручними для користувача.

Пасивне виявлення живучості – це метод виявлення шахрайства, який не вимагає від користувача жодних особливих дій. Зазвичай робиться лише один знімок, який аналізується за допомогою штучного інтелекту. Найпоширенішими підходами є зйомка повного відео сеансу або проблискування людини для аналізу [14].

Простота процесу та зручність для користувача іноді можуть погіршити взаємодію з користувачем, тому користувач може не знати про захоплення зображення. Процес пасивного виявлення живості може виконуватися у фоновому режимі без індикації того, що виконується визначення живості.

1.4 Сканування активним методом

Тривимірний сканер на основі лазерного променя проектує лазерний промінь на об'єкт сканування, тобто обличчя людини. Промінь поступово сканує весь об'єкт так само, як 2D-сканування. Камера пристрою із зарядовим зв'язком використовується для отримання відбитого світла від об'єкта разом із двовимірним зображенням інтенсивності. Тривимірні дані генеруються за допомогою процесу тріангуляції, який дає інформацію про глибину. Сканери на основі лазерного променя пропонують найвищий діапазон захоплення (приблизно 8 футів) порівняно з іншими методами збору даних (приблизно від 1,6 футів до 5 футів). На рис. 1.4 представлено основний принцип системи сканування лазерним променем обличчя [8].

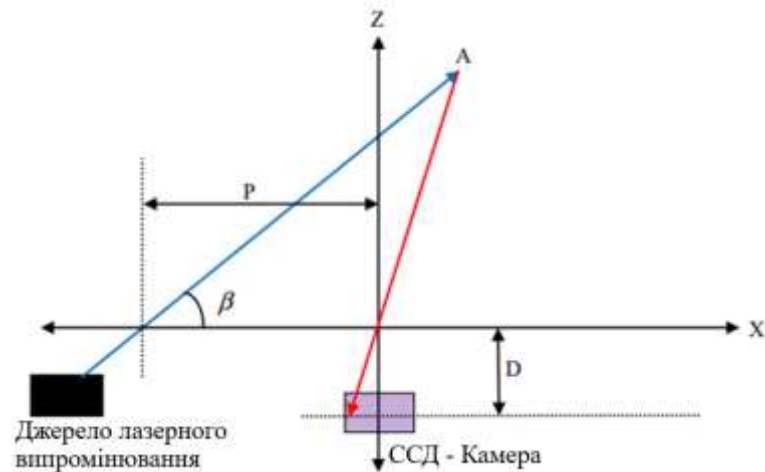


Рисунок 1.4 – Отримання глибини односточкового лазерного променя

Оцінка глибини залежить від викривлення випромінюваного лазерного світла. Лазерне джерело випромінює лазерне світло однієї довжини хвилі в точку A в тривимірному просторі під кутом β до базової лінії. Перетин лазерного джерела та базової лінії знаходиться на P одиниць від початку координат. Фокусна відстань ССД-камери позначається D . Тривимірне положення, тобто (X, Y, Z) координати точки A , визначено як:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \frac{P}{D \cot(\beta - x)} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}. \quad (1.1)$$

Це метод активної триангуляції, який включає лазерне джерело як пристрій освітлення та камеру ССД як датчик. ССД-камера налаштована на довжину хвилі лазерного світла, що проходить. Перевагами методу сканування лазерним променем є висока точність завдяки вузькому фокусу джерела лазера, надійність освітлення завдяки використанню єдиної стандартної довжини хвилі та менші потреби в електроенергії. Цей метод є повільним з точки зору отримання швидкості завдяки построчному скануванню повної тривимірної поверхні. Ці пристрої дорожчі, ніж інші пристрої для 3D-зйомки (рис. 1.5) [12].



Рисунок 1.5 – Прилад сканування активним методом (Revopoint POP2)

Система лазерного сканування загалом була визнана кращою з точки зору наступного:

- лазерний сканер забезпечив швидкий і простий збір даних;
- лазерний сканер забезпечував швидшу обробку даних і був менш вимогливим до програмних систем;
- більш точні вимірювання орієнтації точок були отримані за допомогою лазерного сканера;
- площини, нахилені до експонованого обличчя, легше спостерігати за допомогою лазерного сканера [13].

1.5 Сканування пасивним методом

Новий, інноваційний метод виявлення живості відомий як пасивне виявлення живості, і це форма на основі ШІ (штучного інтелекту), яка гарантує, що обличчя, представлене системі розпізнавання обличчя, є живим. Пасивна активність не вказує користувачам на те, що вони проходять тестування, і користувачам не потрібно виконувати додаткові рухові завдання.

Пасивне виявлення живості відбувається у фоновому режимі, і технологія спирається на алгоритми, які ідентифікують і оцінюють частини

зображення, що вказує на його вміст, наприклад шкіру, межі, текстуру, наявність масок або вирізів, а також будь-які додаткові індикатори того, що помилкове представлення зображення використовується обличчя користувача. Оскільки процес жодним чином не попереджає користувача, шахраям важче зрозуміти, як обійти цю технологію [2].

Пасивна перевірка автентичності:

– перевага №1 – «Швидко та легко» – чудово підходить для залучення нових клієнтів. Наприклад, якщо клієнтам банку потрібно зареєструватися, щоб отримати доступ до свого облікового запису в Інтернеті або через додаток, вони можуть швидко приєднатися. Хороша взаємодія з клієнтами дуже важлива під час впровадження розпізнавання обличчя;

– перевага №2 – «Без перешкод» – ваш клієнт швидко завершує процес реєстрації або входу, тому ви не зіткнетеся з проблемами, пов'язаними з відмовою, і ви гарантуєте хорошу взаємодію з користувачем;

– перевага №3 – «Відсутність руху» – не потрібні масштабування камери, моргання, повороти голови або додаткові активні заходи.

Звичайно, з будь-якою системою розпізнавання обличчя однією з головних проблем безпеки є «підробка обличчя».

Метод Брунеллі та Поджіо описують систему розпізнавання обличчя, яка використовує наступні 22 геометричні особливості розрізнення обличчя:

- товщина брів і вертикальне положення;
- вертикальне положення та ширина носа;
- вертикальне положення рота, ширина і висота;
- одинадцять радіусів, що описують форму підборіддя;
- бігональна ширина (ширина щелепи);
- ширина виличної кістки (ширина обличчя поперек вилиці) [4].

Реалізовано гібридну систему нейронної мережі, що складається з локальної вибірки зображення, самоорганізуючої карти (СОК) і згорткової нейронної мережі. Нейронна мережа СОК використовується як засіб зменшення розмірності (а також для встановлення деякої інваріантності до

незначних змін у тестовому зображенні) перед класифікацією за допомогою згорткової нейронної мережі, яка є частково інваріантною до переміщення, обертання, масштабу та деформації. Процедура вибірки локального зображення – це просто сканування зображення за допомогою локального вікна та створення вектора значень інтенсивності пікселів, взятих із вікна.

Оскільки вікно проходить по зображенню цих векторів будуються для створення векторного представлення всього зображення. Кожному вузлу СОК призначається опорний вектор m_i , із вхідного простору (векторне представлення прикладу зображення). СОК навчається шляхом порівняння кожного вектора x вхідного зображення в навчальному наборі з кожним опорним вектором вузла. Вибирається найближчий збіг, а вузли оновлюються відповідно до наступного рівняння:

$$m_i(t + 1) = m_i(t) + h_{ci}(t)(x(t) - m_i(t)), \quad (1.2)$$

де t – навчальна ітерація;

h – форма ядра згладжування, функція сусідства, для якої локальна область сусідства в СОК зменшується з часом t [7].

Результатом є топологічно впорядкований набір вузлів у набагато нижчому просторі. Кожен вимір СОК можна розглядати як цілісну характеристику, подібну до власних граней аналізу головних компонент, і так само можна представити як зображення. Кожне зображення в навчальному наборі обробляється СОК i , отже, представляється як три зображення (карти функцій), які згодом використовуються для навчання згорткової мережі за допомогою алгоритму навчання градієнтного спуску зворотного поширення. Мережа сформульована з одним виходом для кожного класу в навчальному наборі (кожен вихід ідентифікує конкретну особу), якому передують кілька прихованих шарів підключених вручну вузлів.

Вручну локалізуючи набір орієнтирів обличчя на навчальному наборі зображень обличчя, використовують ПСІ для створення статистичної моделі варіації форми та текстури (рис. 1.6) [5].



Рисунок 1.6 – Прилад сканування пасивним методом (Skyline F23)

Ці активні моделі зовнішнього вигляду потім можна використовувати для точного прогнозування орієнтації обличчя в межах п'яти градусів. Після оцінки кута пози та визначення моделі, яка найкраще підходить, ПСА та інші можуть використовувати ту саму модель зовнішнього вигляду, щоб синтезувати прогнозований вигляд під різними кутами огляду.

2 ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ БІОМЕТРІЇ

2.1 Фільтрація Вандерлюгта

Існує кілька методів оптичної обробки зображень, які базуються на схожих концепціях. Одним із основних методів є обробка зображень за допомогою просторової фільтрації Вандерлюгта. Виходячи з цього, інформація про двовимірне перетворення Фур'є об'єкта можна записати на фоточутливу плівку [12].

Просте й ефективне налаштування оптичної обробки зображень, яке називається налаштуванням $4f$, показано на рис. 2.1. Ця система забезпечує кореляцію між двома зображеннями. Одне зображення розміщується на вхідній площині, а відфільтрована форма іншого зображення розташовується в площині Фур'є [13].

Як видно, лазерний промінь проходить через перше зображення та першу оптичну лінзу та формує Фур'є-перетворену форму першого зображення на площині Фур'є. Фільтр Вандера другого зображення, який містить інформацію про частотну область, створює перешкоди Фур'є перетвореного з першого зображення. Коли інтерференція проходить через другу оптичну лінзу, практично застосовується зворотне перетворення Фур'є. Тому зворотне перетворення Фур'є множення фільтра Вандерлюгта та вхідного зображення в частотній області буде формуватися на вихідній площині, що розглядається як кореляція між двома зображеннями. Відчуваючи інтенсивність кореляції та порівнюючи її з автокореляцією зображень, можна виміряти подібність між двома зображеннями [4].

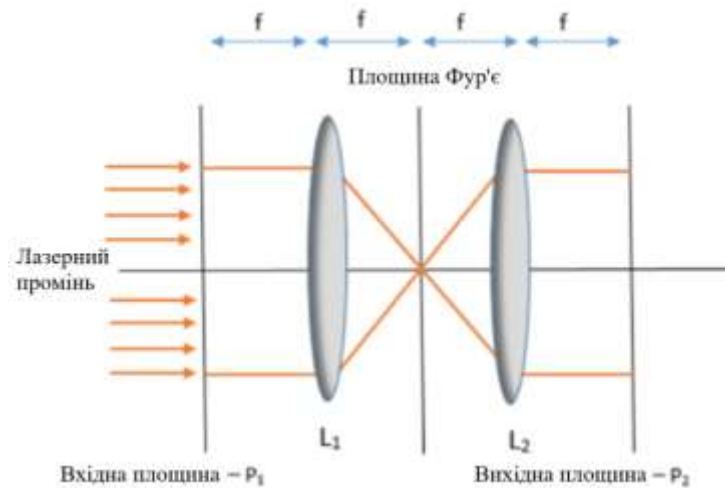


Рисунок 2.1 – Установка корелятора $4f$

На рис. 2.2 показано схематичну установку для синтезу фільтра Вандерлюгта просторової частоти зображення на плівці. Лінза L_1 випромінює паралельне світло в площині P_1 , яка містить зображення з просторовою імпульсною характеристикою $h(x_1, y_1)$. Коли світло зображення проходить через лінзу L_2 , на відстані фокусної відстані L_2 просторове перетворення Фур'є-зображення формується на площині P_2 [6].

Тому матимемо: $\frac{1}{\lambda f} H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)$ на площині P_2 . Замість P_2 можна замінити фоточутливу площину. Крім того, призма P напряму спрямовує частину світла джерела до площини P_2 , таким чином це світло та світло, що надходить від лінзи L_2 , інтерферуює на площині P_2 .

Отже, інтерференція світла джерела та Фур'є-перетворення зображення будуть записані на плівці, розміщеній замість площини P_2 [5].

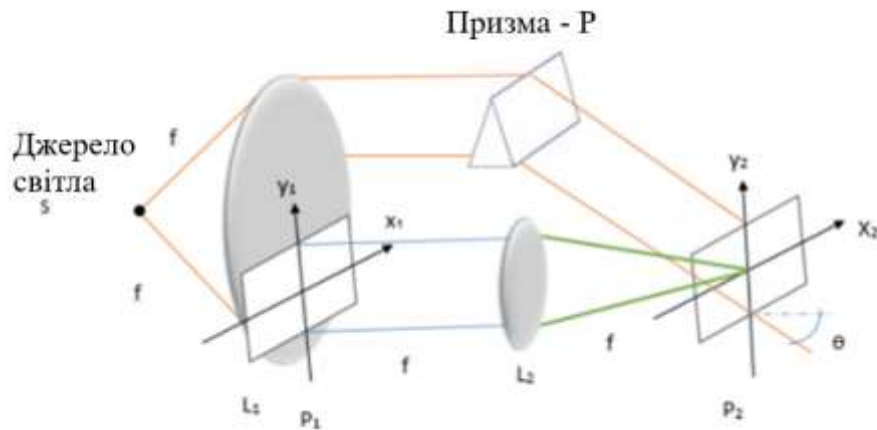


Рисунок 2.2 – Установка синтезу фільтра Вандерлюгта

Якщо нахилена плоска хвиля, що падає від призми, створює розподіл поля $U_r(x_2, y_2)$ на площині P2 як показано нижче:

$$g_r(x_2, y_2) = r_0 \exp(-j2\pi\alpha y_2), \quad (2.1)$$

де $\alpha = \frac{\sin\theta}{\lambda}$, то модель інтерференції на P2 матиме вигляд:

$$g(x_2, y_2) = (r_0 \exp(-j2\pi\alpha y_2) + \frac{1}{\lambda f} H(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}))^2. \quad (2.2)$$

Оскільки фоточувлива плівка чутлива лише до інтенсивності світла, у рівнянні (2.2) модель зведена в квадрат. Використовуючи рівняння (2.2), отримаємо:

$$g(x_2, y_2) = r_0^2 + \frac{1}{(\lambda f)^2} (H(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}))^2 + \exp(-j2\pi\alpha y_2) \frac{r_0}{\lambda f} H(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}) + \exp(-j2\pi\alpha y_2) \frac{r_0}{\lambda f} H(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}). \quad (2.3)$$

На завершальному етапі синтезу фільтра Вандерлюгта просторової частоти зображення плівка записувала б прозора картинка, де її амплітуда: $t(x_2, y_2)$ пов'язана з інтенсивністю світла, що надходить від обох зображень та джерела [2].

$$t(x_2, y_2) = r_0^2 + \frac{1}{(\lambda f)^2} H^2 + \exp(-j2\pi\alpha y_2) \frac{r_0}{\lambda f} H + \exp(-j2\pi\alpha y_2) \frac{r_0}{\lambda f} H^*. \quad (2.4)$$

Третій член у рівнянні (2.4) є точно перетворенням Фур'є імпульсної характеристики зображення, отже може використовуватися для оптичної обробки в просторово-частотній області.

Обробка зображень за допомогою фільтра Вандерлюгта.

Синтезований фільтр Вандерлюгта можна замінити площиною Фур'є на рис. 2.2. Якщо вхідне зображення, яке потрібно відфільтрувати, показано як $g(x_1, y_2)$, його просторовий розподіл частот дорівнюватиме $\frac{1}{\lambda f} G\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)$ [8].

Щодо рівняння (2.4), оптичний сигнал, отриманий на площині Фур'є корелятора $4f$, зображеного на рис. 2.1 буде таким:

$$U_2 = \frac{r_0^2 G}{\lambda f} + \frac{1}{(\lambda f)^3} H^2 G + \exp(j2\pi\alpha y_2) \frac{r_0}{(\lambda f)^2} H G + \exp(-j2\pi\alpha y_2) \frac{r_0}{(\lambda f)^2} H^* G, \quad (2.5)$$

U_2 – це множення фільтра Вандерлюгта та перетворення Фур'є вхідного зображення в частотній області. Коли ця інтерференція проходить крізь другу лінзу корелятора $4f$, після проходження так далеко, як фокусна відстань лінзи, застосовується зворотне перетворення Фур'є, і U_3 формується на вихідній площині [7].

$$U_3 = r_0^2 g(x_3, y_3) + \frac{1}{(\lambda f)^2} (h(x_3, y_3) h^*(-x_3 - y_3) g(x_3, y_3)) + \frac{r_0}{\lambda f} (h(x_3, y_3) g(x_3, y_3) \delta(x_3, y_3 + \alpha \lambda f)) + \frac{r_0}{\lambda f} (h^*(-x_3, -y_3) g(x_3, y_3) \delta(x_3, y_3 - \alpha \lambda f)). \quad (2.6)$$

Третій член рівняння (2.6) – це згортка між h і g , яка відбуватиметься в області з центром $(0, -\alpha\lambda f)$ на вихідній площині. Четвертий член можна записати як:

$$h^*(-x_3, -y_3)g(x_3, y_3)\delta(x_3, y_3 - \alpha\lambda f) = \iint_{-\infty}^{+\infty} g(\varphi, \mu)h^*(\varphi - x, \mu - y_3, +\alpha\lambda f) d\varphi d\mu, \quad (2.7)$$

де кореляція між h і g , яка буде відбуватися в області з центром $(0, +\alpha\lambda f)$ на вихідній площині [2].

Таким чином, якщо джерело світла складає достатньо великий кут з площиною P_2 під час синтезу фільтра Вандерлюгта, зони згортки та кореляції будуть досить далеко одна від одної на вихідній площині корелятора $4f$. Це призводить до можливості просторової високочастотної фільтрації вихідної площини для досягнення кореляції та згортки між вхідним зображенням і фільтром Вандерлюгта окремо.

Відзначимо, що просторова високочастотна фільтрація означає можливість пропускання частини оптичного сигналу, яка знаходиться далеко від центру площини. А також, перший і другий члени рівняння (2.6), які виникають навколо центру вихідної площини, мають найменший вплив на бажаний вихід, і оскільки вони будуть просторово відфільтровані фільтром високих частот, вони будуть також знехтувані для моделювання [13].

На рис. 2.3 показана вихідна площина корелятора $4f$. Місце згортки та перехресної кореляції можна побачити, як описано.

Якщо максимальну просторову ширину h і g розглядати як W_h і W_g відповідно, тоді можливе максимальне значення чотирьох розглянутих членів буде таким, як показано нижче:

$$1: r_0^2 g(x_3, y_3) \rightarrow W_g: ma, \quad (2.8)$$

$$2: \frac{1}{(\lambda f)^2} (h(x_3, y_3)h^*(-x_3 - y_3)g(x_3, y_3)) \rightarrow (2W_h + W_g): max, \quad (2.9)$$

$$3: \frac{r_0}{(\lambda f)^2} (h(x_3, y_3)g(x_3, y_3)\delta(x_3, y_3 + \alpha\lambda f)) \rightarrow (W_h + W_g): \max, \quad (2.10)$$

$$4: \frac{r_0}{(\lambda f)^2} (h^*(-x_3, -y_3)g(x_3, y_3)\delta(x_3, y_3 - \alpha\lambda f)) \rightarrow (W_h + W_g): \max. \quad (2.11)$$

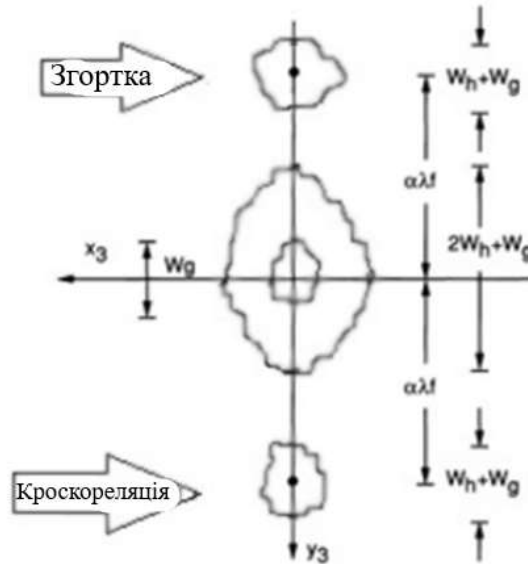


Рисунок 2.3 – Розташування вихідних елементів корелятора

Отже, щоб мати можливість просторово відокремити чотири члени на вихідній площині, α і θ повинні відповідати обмеженням рівняння (2.12) і рівняння (2.13) [10]:

$$\alpha > \frac{1}{\lambda f} \left(\frac{3W_h}{2} + W_g \right) \quad \left(\alpha = \frac{\sin \theta}{\lambda} \right), \quad (2.12)$$

$$\gg \theta > \frac{3W_h}{2f} + \frac{W_g}{f} \quad (\sin \theta \approx \theta). \quad (2.13)$$

Дуже важливо враховувати, що, оскільки природно в установці 4f просторова імпульсна характеристика потрібного зображення буде обчислюватися та записуватися автоматично зі швидкістю світла, не буде потреби у складних і трудомістких обчисленнях, як у цифрових системах. Що ще важливіше, фільтр Вандерлюгта запише як амплітуду,

так і фазу зображення, перетвореного Фур'є, на одній плівці з високою роздільною здатністю, тому не буде необхідності записувати інформацію про амплітуду та фазу окремо [5].

Наступним кроком є застосування кожного зображення обличчя до корелятора $4f$ і співвіднесення його з усіма фільтрами Вандерлюгта зображень у наборі даних. Це означає, що перетворення Фур'є кожного з вхідних зображень множиться на фільтри Вандерлюгта, а результат є зворотним перетворенням Фур'є для отримання оптичної кореляції на вихідну площину. Тепер максимальне значення вихідної площини використовується як міра подібності. Таким чином, чим більше це значення, тим більше вхідне зображення має бути схоже на фільтр Вандерлюгта. Система розпізнала вхідне зображення майже без помилок і з приблизною точністю 100 %. Це означає, що вхідне зображення точно збігається з фільтром Вандерлюгта, оскільки вони мають найвищу оптичну кореляцію серед усіх.

Схема алгоритму розпізнавання образів вказана на рис. 2.4 [6].



Рисунок 2.4 – Алгоритм розпізнавання образів

Тестове зображення, зроблене камерою спочатку оброблюється кореляційним фільтром в масив. Отримуємо результуючий масив частотної області з N -кількістю пікселів оброблене співвідношенням піку до бічної пелюстки (ПСІ), яке зображене на діаграмі [9].

Співвідношення ПСІ інваріантне до змін постійного освітлення. Збіг оголошується, коли ПСІ великий, тобто пік повинен не тільки бути великими, але бічні частки повинні бути маленькими (рис.2.5).

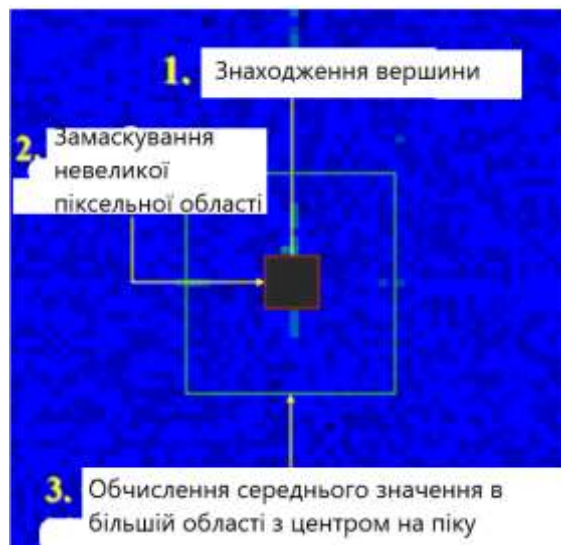


Рисунок 2.5 – Робота ПСІ системи

Усі параметри та константи слід враховувати точно, щоб отримати роздільну здатність, близьку до реальної оптичної установки; інакше моделювання кореляції буде невдалим. На рис. 2.6 представлено два зображення з набору даних та їх розраховані фільтри Вандерлюгта.

На рис. 2.7 представлені стовпчасті діаграми для шести суб'єктів, які показують нормалізовану оптичну кореляцію між першими зображеннями шести різних суб'єктів із набору даних. Як можна зробити, кореляція вхідного зображення з відповідним фільтром Вандерлюгта є найвищою серед усіх зі значною різницею з іншими, що призводить до високої достовірності результату розпізнавання. Другий пік і наступні найвищі числа стосуються

того самого предмета з різними позиціями. Хоча деякі з них не збіглися з вхідним зображенням краще, ніж інші предмети. На рис. 2.7 кожні 10 смуг стосуються різних позицій окремого суб'єкта [1].

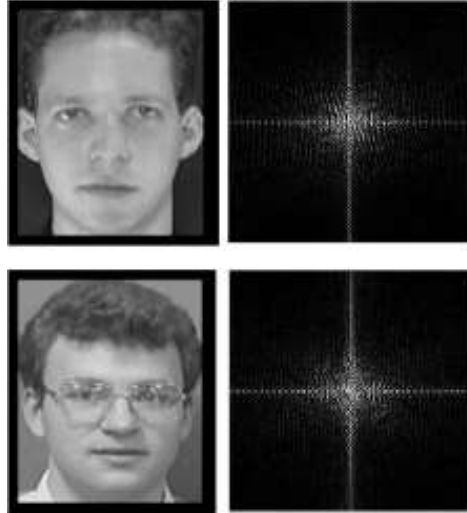


Рисунок 2.6 – Суб'єкт 1 та його фільтрація у верхньому рядку; суб'єкт 2 та його фільтрація у нижньому рядку

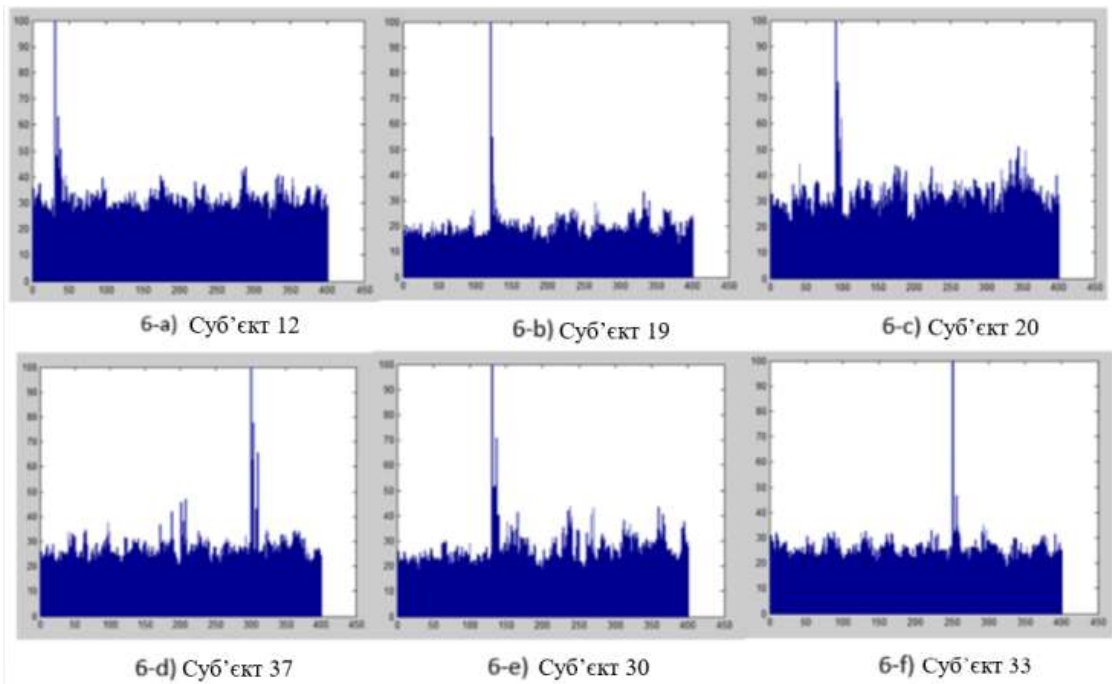


Рисунок 2.7 – Оптична кореляція між першим зображенням шести суб'єктів і фільтрами Вандерлюгта для двох типів обличчя

2.2 Реалізація Фур'є аналізу при розпізнаванні образів

Велика частина оптичних методів обробки інформації (ОМОІ) виконана на використанні перетворення Фур'є, або других інтегральних перетворень, напряду чи опосередковано з ним пов'язаних. Математично перетворення Фур'є є окремим випадком інтегрального перетворення Фредгольма з ядром у вигляді експоненти з уявним, лінійним за аргументом, показником. В оптиці воно «реалізується» за допомогою аналогового пристрою – позитивної лінзи, і основні властивості цього перетворення можуть бути продемонстровані при розгляді проходження світлових хвиль через оптичну систему, що містить лінзи, діафрагми, оптичні транспаранти та ін. (рис. 2.8) [3].

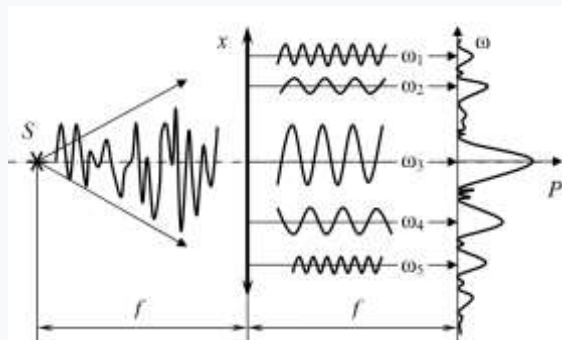


Рисунок 2.8 – Розкладання сигналу на просторові гармоніки.

Розрізняють пряме (та зворотнє) перетворення Фур'є:

$$F(f(x, y)) = F(u, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy, \quad (2.14)$$

$$F^{-1}(f(u, v)) = F(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int f(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv, \quad (2.15)$$

де u, v – просторові частоти, що мають розмірність $[1/\text{см}]$.

Функцію $F(u, v)$, що описує фур'є-спектр вихідної функції, іноді називають Фур'є-образом цієї функції.

Властивості перетворення Фур'є.

1. Перетворення Фур'є лінійне:

$$F[ag(x) + bh(x)] = aF[g(x)] + bF[h(x)], \quad (2.16)$$

де $g(x)$ і $h(x)$ – вихідні функції;

a, b – постійні (для стислості вказані одновимірні функції). Це означає, що через одну лінзу, виконуючу перетворення Фур'є, одночасно може проходити багато світлових сигналів.

2. Виконується особливість подоби:

$$F[g(ax, by)] = \frac{1}{ab} G\left(\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right), \quad (2.17)$$

де зміна масштабу зображення на вході в систему призводить до стиснення або розтягування області його просторового спектру.

3. Теорема зміщення:

$$F[g(x - a, y - b)] = e^{-j2\pi(ua+vb)} G(u, v), \quad (2.18)$$

де здвиг зображення викликає зміну фази спектральної функції, але зберігає незмінною її амплітуду.

4. Теорема о похідній:

$$F\left[\frac{\partial}{\partial x} f(x, y)\right] = j2\pi u F(u, v). \quad (2.19)$$

5. Для функції з обмеженим спектром виконується теорема Парсеваля:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int |f(x, y)|^2 dx dy = \int_{-\infty}^{+\infty} \int |F(u, v)|^2 du dv. \quad (2.20)$$

Ця особливість означає постійність повної потужності (квадрата амплітуди) випромінювання, проходячого через ідеально прозору лінзу.

6. В Фур'є-аналізі часто використовується поняття «свертка» двох функцій. Свертка визначається як інтервал від похідної двох функцій, зміщених друг відносно друга по осям координат, при цьому величина зміщення є аргументом (незалежної змінної) інтеграла згортки [6].

Якщо відомі перетворення Фур'є двох функцій:

$$F[g(x, y)] = G(u, v), \quad (2.21)$$

$$F[h(x, y)] = H(u, v), \quad (2.22)$$

тоді теорема згортки стверджує, що перетворення Фур'є від згортки функцій рівна твору фур'є-образів цих функцій:

$$F[\Phi(x, y)] = F[g\phi h] = G(u, v)H(u, v). \quad (2.23)$$

7. Частішим випадком теореми згортки є теорема автокореляції:

$$F[g\phi g^*] = [G(u, v)]^2, \quad (2.24)$$

де символ «*» позначає комплексне сполучення.

Вираження для згортки і автокореляції корисні при описанні дії оптичних систем просторової фільтрації зображення.

8. Перетворення Фур'є від постійної функції є однією з форм дельта функції Дірака:

$$F[1] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy = \delta(u, v). \quad (2.25)$$

Символічна дельта-функція рівна безкінечності при її аргументі, рівному нулю, і рівність рівна нулю в іншій області; описує точкове джерело світла з безкінечно малими розмірами, але кінцевою потужністю. Інтеграл від дельта-функції кінцевий.

Функції з постійною комплексною амплітудою та постійною фазою відповідає плоска хвиля, що розповсюджується вздовж оптичної осі. Її спектр локалізований у центрі задньої фокальної площини лінзи поблизу точки фокусування лінзи (нульової просторової частоти). Плоскі хвилі, що розповсюджуються під кутами до оптичної осі, характеризуються просторовими частотами, розташованими поза фокусом лінзи [9].

Зворотне перетворення Фур'є від дельта-функції дорівнює постійній:

$$F^{-1}[\delta(u, v)] = 1. \quad (2.26)$$

Цей вираз показує, що просторовий спектр точкового джерела світла містить нескінченний, рівномірно розподілений у спектральній області, набір просторових частот (білий шум).

За визначенням, згортка дельта-функції зі звичайною функцією дорівнює її значенню в точці, де дельта-функція нескінченна:

$$f \circ \delta = \int_{-\infty}^{+\infty} \int f(\xi - x, \eta - y) d\xi d\eta = f(x, y). \quad (2.27)$$

З використанням наведених теорем виконується двовимірний частотний аналіз характеристик оптичних систем перетворення зображень, аналогічний спектральному аналізу одновимірних сигналів у радіотехніці. При цьому проходження оптичного сигналу через систему призм, лінз, діафрагм та т. п. аналогічно проходженню електричного сигналу через електронний фільтр (чотириполюсник) із заданою амплітудно-частотною (передавальною) характеристикою. Функція з постійною комплексною

амплітудою і постійною фазою відповідає плоскій хвилі, яка поширюється по оптичній осі [2].

2.3 Просторові гармоніки

Для одновимірного випадку по осі x частоту позначимо ω , $i = 1, 2, 3 \dots$

$$g(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(\omega) e^{j\omega x} d\omega, \quad (2.28)$$

де $e^{j\omega x}$ – елементарні компоненти випадкового сигналу;

$G(\omega)$ – їх вага в розкладанні.

Подання двовимірних функцій інтегралом Фур'є:

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int F(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)} dudv. \quad (2.29)$$

Можна роздивлятися їх як виступ у формі безкінечного набору елементарних функцій виду $e^{j2\pi(ux+vy)}$.

Елементарна функція (2.30) описує найпростіший – гармонійний – розподіл амплітуди поля у площині (x, y) з періодом L , рівним:

$$L = \frac{1}{\sqrt{u^2+v^2}}. \quad (2.30)$$

Кут нахилу поверхонь постійної фази функції (2.31) щодо осі x , дорівнює:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v}{u} \right). \quad (2.31)$$

Елементарну функцію (2.28) називають двовимірною просторовою фур'є-складовою (фур'є-гармонікою) вихідного розподілу $D(x,y)$. Просторові фур'є-гармоніки (2.28) аналогічні частотам у спектральному розкладанні одновимірного, наприклад тимчасового, сигналу та їх період лежить в інтервалі від нуля до нескінченності. При дифракції світла на решітці з амплітудним пропусканням, описаним функцією виду (2.29), нулевій просторовій частоті відповідає плоска хвиля, двигуюча по оптичній осі системи формування малюнка. Ненулевим частотам відповідають плоскі світлові хвилі, поширюючись під кутом φ до оптичної, при цьому відповідно до формул теорії дифракції виконується:

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{L}, \quad (2.32)$$

де λ – довжина хвилі світла [4].

Складне просторове розподілення комплексної амплітуди монохроматичного світлового сигналу, наприклад, зображення об'єкта, розташованого у передній фокальній площині лінзи, можна представити як набір (когерентну суперпозицію) плоских світлових хвиль різними амплітудами та початковими фазами, що поширюються під різними кутами до оптичної осі розглянутої оптичної системи. Картина просторового спектра такого сигналу відображається у задній фокальній площині такої лінзи [8].

Така широка застосованість Фур'є перетворення зумовлена багатьма корисними властивостями перетворення:

- перетворення є лінійними відображенні і, при відповідній нормалізації, є так само унітарними.
- перетворення як правило є оберненими.
- показникові функції є власними функціями для диференціювання, це означає що таке представлення перетворює лінійні диференційні рівняння із сталими коефіцієнтами в звичайні алгебраїчні рівняння. Таким чином, можна

аналізувати поведінку лінійних стаціонарних систем незалежно для кожної частоти.

– завдяки теоремі про згортки, перетворення Фур'є перетворює складну операцію згортки у просте множення, що означає, що такі перетворення дозволяють робити розрахунки із операціями на основі згорток, такими як множення многочленів і множення великих чисел, ефективнішим способом.

– дискретна версія перетворення Фур'є може швидко розраховуватися комп'ютерами із використанням алгоритмів швидкого перетворення Фур'є.

Основні переваги систем оптичного оброблення інформації.

1. Велика інформаційна ємність.
2. Багатоканальність (велика кількість паралельно оброблюваних каналів).
3. Висока швидкодія.
4. Багатофункціональність (інтегральні перетворення Фур'є).

Перетворення Фур'є також використовують для компактного представлення сигналу. Наприклад, алгоритм стиснення JPEG використовує модифікацію перетворення Фур'є (дискретне косинусне перетворення) для невеликих квадратних фрагментів цифрового зображення. Компоненти Фур'є кожного квадрату округлюються до меншої арифметичної точності, а не значними компонентами нехтують, тому компоненти, що залишилися можна зберігати дуже компактно. При реконструкції зображення, кожен квадрат відновлюється із збережених наближених компонентів перетворення Фур'є, які потім зворотно перетворюються для наближеного відновлення початкового зображення [7].

2.4 Приклад Фур'є-перетворення в біометрії за допомогою пакету «Scilab»

Для початку треба створити модель гармонійного сигналу, який буде представлений у вигляді синусоїди. Для цього використаємо математичний пакет з мовою програмування «Scilab».

1. Побудова чистого сигналу.

Алгоритм коду програми:

```
t=0:0.1:40;
a=0.03*sin(46*%pi*t)+0.04*sin(32*%pi*t+21*%pi*t);
y=fftw(a);
plot(t, y);
```

На рис. 2.9 зображений синусоїдальний гармонічний сигнал, де горизонтальна вісь відповідає часу, вертикальна вісь – амплітуді:

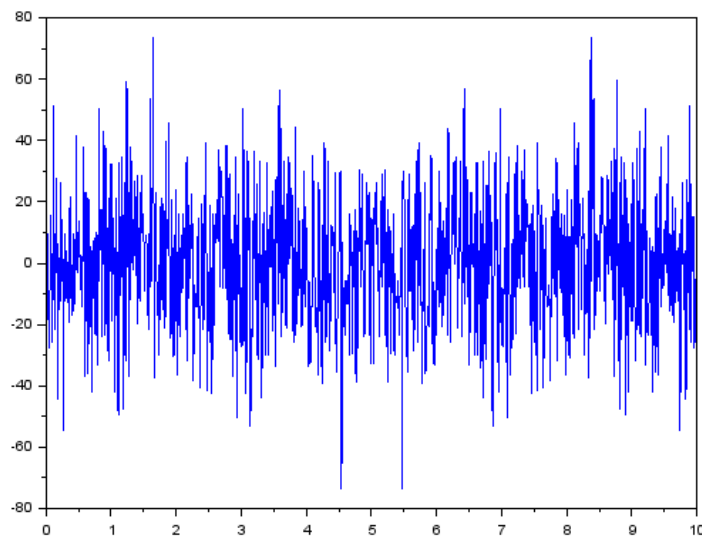


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд гармонічного сигналу

Далі треба з'ясувати роботу перетворення Фур'є, а також спосіб його застосування. Для цього вирішимо задачу фільтрації сигналу. Будуємо сигнал, який створений адитивним шумом (рис.2.10), а потім видаляємо шум за допомогою методу перетворення Фур'є (рис.2.11).

2. Побудова чистого сигналу з накладанням шуму.

Алгоритм коду програми:

```
t=0:0.01:40; rand('normal');
```

```
n=rand(t);
```

```
a=0.03*sin(46*%pi*t)+0.04*sin(32*%pi*t+21*%pi*t);
```

```
s=a+n;
```

```
y=fftw(a);
```

```
plot(t, s);
```

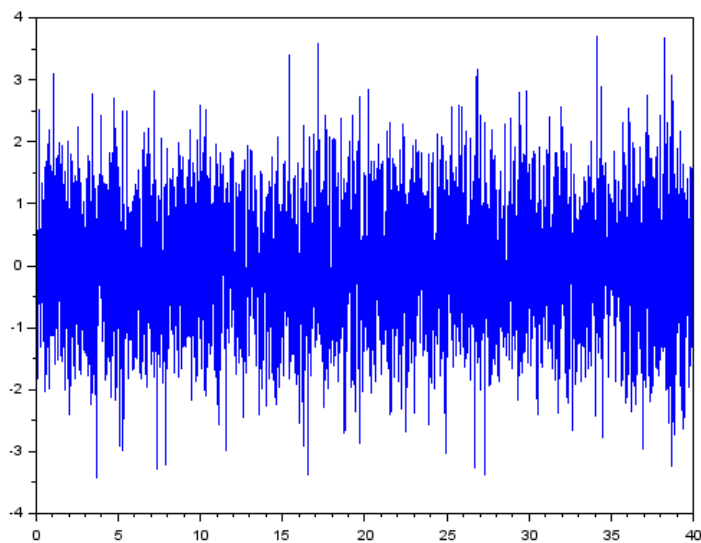


Рисунок 2.10 – Сигнал, що спотворений шумом

Після цього треба накласти на побудовану гармонійну синусоїду швидке перетворення Фур'є – математичний алгоритм, який дає можливість обчислювати частотний спектр сигналу. Це загальна назва алгоритмів, що дозволяють обчислити перетворення Фур'є за меншу кількість операцій, ніж за формулою.

3. Побудова Фур'є перетворення сигналу.

Алгоритм коду програми:

```
t=0:0.01:40; rand('normal');
```

```
n=rand(t);
```

```

a=0.03*sin(46*%pi*t)+0.04*sin(32*%pi*t+21*%pi*t);
s=a+n;
y=fftw(s);
plot(t, y);

```

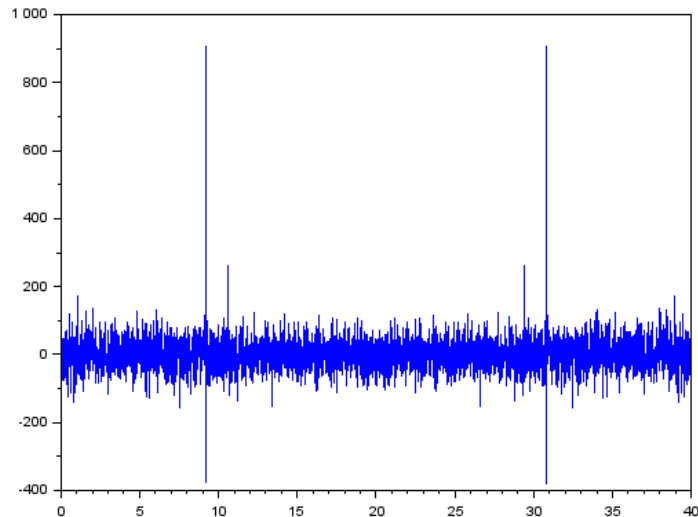


Рисунок 2.11 – Результат використання перетворення Фур'є на гармонійний сигнал

Було виявлена наявність у сигналі гармонійних складових за допомогою впливу перетворення Фур'є на спотворений сигнал шумом. Це підтвердило можливість використання аналізу Фур'є при обробці зашумлених сигналів для того, щоб повернути їх первинну форму.

2.5 Переваги та недоліки сканування облич

До переваг розпізнавання обличчя відносяться:

- розпізнавання обличчя можна використовувати для розблокування пристроїв;
- можна використовувати в аеропортах;

- машинне навчання та ШІ допоможуть покращити та розширити розпізнавання облич;
- може допомогти нам покращити загальний рівень безпеки;
- розпізнавання облич може бути хорошим заходом, щоб уникнути поширення хвороб;
- може допомогти захистити важливу інфраструктуру;
- розпізнавання обличчя може допомогти зробити процеси ефективнішими;
- може допомогти розпізнати підроблені паспорти;
- важче сховатися злочинцям;
- може запобігти всім видам шахрайства.

Але поряд з перевагами є ще й недоліки:

- розпізнавання обличчя може бути дорогим;
- може забрати у людей свободу і веселощі;
- може бути зловживано урядами;
- конфіденційні дані можуть бути викрадені хакерами;
- технологія ще не зріла;
- правила та норми, які забороняють розпізнавання обличчя в деяких регіонах;
- зберігання даних може бути проблематичним
- надмірна залежність від розпізнавання обличчя може бути небезпечною;
- широка громадськість може не прийняти цю технологію;
- розпізнавання обличчя може призвести до підвищення рівня безробіття.

Немає сумніву, що розпізнавання обличчя має багато важливих переваг. Проте, наша конфіденційність і наша свобода, про які також не варто забувати є досить важливими благами [3].

2.6 Проблеми при розпізнаванні образів та розвиток цих систем

У класифікації зображень є такі основні проблеми.

1. Внутрішньокласова варіація.

Внутрішньокласова варіація – це варіація між зображеннями одного класу, тобто один предмет в різному стилі. Наприклад, ми маємо різні типи стільців. Таким чином, наша система класифікації зображень повинна бути в змозі вирішити проблему варіації всередині класу.

2. Варіація масштабу.

Ця проблема дуже поширена в класифікації зображень. Варіація масштабу – це фактично наявність зображення того самого об'єкта з кількома розмірами.

3. Варіація точки зору.

У нас є варіація точки огляду, коли об'єкт можна орієнтувати(обертати) в кількох вимірах відповідно до того, як об'єкт фотографується та фіксується на зображенні. Незалежно від ракурсу, під яким ми фіксуємо зображення, це все одно предмет розпізнавання.

4. Оклюзія.

Є багато об'єктів, які ми хочемо класифікувати на зображенні, і їх неможливо переглянути повністю. Значна частина прихована за іншими предметами. Це означає, що предмет не повністю видимий, але наша система класифікації зображень повинна мати змогу виявити та класифікувати його.

5. Освітлення.

Розпізнавальна техніка також повинна мати можливість обробляти зміни в освітленні. Маючи однаковий предмет, але з різним рівнем інтенсивності пікселів. Наша система повинна бути в змозі обробляти варіації в освітленні. Отже, коли ми надаємо будь-яке зображення того самого об'єкта з різними рівнями яскравості (освітлення) нашій системі розпізнавання, система повинна мати можливість призначити їм однакову мітку.

6. Фоновий безлад.

Об'єкти інтересу можуть зливатися з фоном, що ускладнює їх ідентифікацію. Ці зображення дуже «шумні». Але нас цікавить лише один конкретний об'єкт на зображенні; однак через увесь «шум» нелегко виділити певний об'єкт. Таким чином, наша система розпізнавання також повинна вирішити проблему фонового безладу.

Хороший детектор має бути достатньо надійним, щоб виявити перехресний продукт усіх цих варіацій, зберігаючи при цьому чутливість до міжкласових варіацій. Прикладом такої системи розпізнавання є на рис. 2.12 [13].



Рисунок 2.12 – Розпізнавальна система по лодоні, обличчя та QR-коду
SpeedFace V5L P-QR

Пристрій об'єднав у собі новітні напрацювання, в галузі безконтактного розпізнавання осіб та долонь користувачів з урахуванням заходів у галузі гігієни та боротьби з епідеміями вірусів, ГРВІ та подібних інфекційних захворювань.

Цей термінал обмежує доступ до приміщень не авторизованих осіб, у тому числі може розпізнати особу в медичній масці. При цьому процедура ідентифікації користувачів не стала довшою, ідентифікація виконується без повної зупинки перед терміналом.

Так, термінал може розпізнати користувача: по обличчю – менше 1 с, а по долоні – за 0,35 с.

Незважаючи на прогрес, досягнутий за останні роки, і різні запропоновані рішення, продуктивність ще не є задовільною, коли потрібні більш вимогливі умови (різні точки зору, заблоковані ефекти, зміни освітлення, стани сильного освітлення тощо). Зокрема, вплив таких неконтрольованих умов освітлення на зображення обличчя призводить до одного з найсильніших спотворення зовнішнього вигляду обличчя.

Впровадження та збільшення цієї технології штучного інтелекту в повсякденну роботу підприємств, дослідницьких установ і державних установ може допомогти значно підвищити ефективність, врятувати життя та досягти наукових проривів.

Алгоритми розпізнавання образів можна застосовувати до різних типів цифрових даних. Пошук закономірностей дозволяє класифікувати результати для прийняття обґрунтованого рішення. Розпізнавання образів можна використовувати для повної автоматизації, захисту даних та вирішення складних аналітичних задач.

ВИСНОВКИ

В роботі представлено сутність поняття «розпізнавання облич» та описано загальні принципів побудови, розглянуто технічні засоби, алгоритми оброблення інформації, проведені розрахунки з використанням перетворення Фур'є за допомогою універсальної мови програмування «Scilab».

В роботі було поставлено і вирішене питання, що завданнями положення біометрії є забезпечення безпеки, надійності, водночас роблячи легкодоступність та швидкодію розпізнавання облич.

Було виявлено, що при дослідженні оптичних методів камери на основі лазерного променя, пропонується найвищий діапазон захоплення (приблизно 8 футів) порівняно з іншими методами збору даних.

В роботі при дослідженні математичних методів було визначено, що за допомогою перетворення Фур'є можливо визначити наявність у сигналі гармонійних складових.

Було поставлено та вирішене завдання розпізнавання при дослідженні труднощів неконтрольованих умов освітлення на зображення обличчя, яке призводить до одного з найсильніших спотворень зовнішнього вигляду обличчя. Вилучивши шуми, гарантується значне удосконалення якості обробки інформації зображення, збільшення продуктивності засобів розпізнавання та спрощення їх використання.

Тому хороший детектор має бути достатньо надійним, щоб виявити перехресний продукт усіх цих варіацій, зберігаючи при цьому чутливість до міжкласових варіацій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Heidari F., Kaatuzyan H., Alizadeh A. Frequency domain approach for face recognition using optical Vanderlugt filters // *Optics and Photonics*. Vol. 6, No 8B. P. 94–100.
2. Васильев В.Н., Павлов А.В. Оптические технологии искусственного интеллекта: учеб. пособ. 2-е изд., дополненное. В 2-х т. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2017. Т.1. 80с.
3. Васильев В.Н., Павлов А.В. Оптические технологии искусственного интеллекта: учеб. пособ. 2-е изд., дополненное. В 2-х т. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2008. 71с.
4. David D. Zhang. *Automated Biometrics: technologies and Systems*. USA: Kluwer Academic Publishers, 2000. 332 p.
5. Richard D. Zakia, Stroebel L. *The Focal Encyclopedia of Photography*. 3 Ed. English: Focal Press, 1996. 928 p.
6. David D. Zhang. *Biometric Solutions: for the Authentication in an E-World*. USA: Ed. Kluwer Academic Publishers, 2002. 465 p.
7. Zhou S.K. *Face Recognition using more than One Still Image: what is More?: lecture Notes In Computer Science*. // *Sinobiometrics*. Springer Verlag. 2004. P. 212–223.
8. Yang A. Y., Wright J., Ma Y., Sastry S. S. *Feature selection in face recognition: a sparse representation perspective*. Electrical engineering and computer sciences university of California at Berkeley: technical report. August 14. 2007.
9. Roivainen Li. H. *3-d motion estimation in model-based facial image coding*. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1993. Vol. 15. P. 545–555.
10. Lin. I.C. *Mirror mocap: automatic and efficient capture of dense 3d facial motion parameters from video* // *The Visual Computer*. 2005. Vol. 21, No 6. P. 355–372.

11. Perez P., Gangnet M., Blake A. Poisson image editing // ACM Trans. Graph. Vol. 22, No 3. P. 313–318.
12. Williams L. Performance-driven facial animation // Siggraph Comput. Graph. 1990. Vol. 24, No 4. P. 235–242.
13. Decarlo. D., Metaxas D. Optical flow constraints on deformable models with applications to face tracking. // Journal of Computer Vision. 2000. Vol. 38, No 2. P. 99–127.
14. KurskoyYu.S., Gnatenko A.S. System for recognition of optical tools, based on fractal mathematic views // Метрологія та прилади. 2021. Т. 85, № 1. С. 14–18.