Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____Електронної та біомедичної інженерії _____
(повна назва)
Кафедра _____Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти_____другий (магістерський)_____

Дослідження побудови системи наносенсорів для безперервного моніторингу _____рухомості контингенту у навчальному закладі_____
(тема)

Виконала:
студентка 2 курсу, групи
_____Шмідт А.О._____
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

Тип програми освітньо-професійна_____

Освітня програма «Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої»

Керівник
д-р техн. наук, доцент, професор_____
Стрілкова Т.О._____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Бондаренко І.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії_____

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв_____

Рівень вищої освіти_____другий магістерський)_____

Спеціальність _____153 «Мікро- та наносистемна техніка»_____

Тип програми _____ освітньо-професійна_____

Освітня програма____«Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої»_____

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри

_____І.М.Бондаренко

«____»_____2019р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові_____Шмідт Анастасії Олексіївні_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____Дослідження побудови системи наносенсорів для безперервного моніторингу у навчальному закладі_____
затверджена наказом по університету від _04_ _листопада__ 2019_ р. №_1636_Ст__
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії __ ____ 20__р.
3. Вихідні дані до роботи _____ FAR 0,0008%, FRR становить 0.01%, точність 0,25 мм, z_m=255 — максимально можлива яскравість, z_{min}=0,_____
n_{min} = 0,1 ... 0,3; n_{max} = 0,7 ... 0,9_____
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
_1. Системи контролю руху контингенту у закладі_____
_2. Сканер вен долоні_____
_3. Фізико-технічні особливості компонентів системи контролю_____
_4. Методи підвищення контрастності зображення_____
_5. Підвищення контрастності зображення вен долоні_____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Мета роботи, процентне співвідношення використання біометричних методів, схема університету з розміщенням системі контролю, методи отримання зображення малюнка вен долоні, критерії ефективності сканера вен долоні, схема створення біометричного шаблону, компоненти системи контролю, отримані зображення зі сканера при різних умовах, методи підвищення контрастності зображення , підвищення контрастності зображення вен долоні за допомогою метода адаптивного підвищення контрастності.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел	04.11.19	Виконано
2	Дослідження	06.11.19 12.11.19	Виконано
3	Виконання чисельних розрахунків характеристик	13.11.19 15.11.19	Виконано
4	Аналіз розрахунків та параметрів	16.11.19	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	17.11.19 23.11.19	Виконано
6	Оформлення графічних та демонстраційних матеріалів	24.11.19 26.11.19	Виконано
7	Проходження нормо контролю і отримання рецензії	27.11.19 03.12.19	Виконано
8	Підготовка до захисту атестаційної роботи	04.12.19 18.12.19	Виконано

Дата видачі завдання _04__ _листопада____20_19_ р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 88с., 90 рис., 14 формул, 36 джерел, 2 додатки.

БІОМЕТРИЧНИЙ СКАНЕР, ДАТЧИКИ, ЗЧИТУВАЧ, НАНОСЕНСОР, СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПЕРЕБУВАННЯ КОНТИНГЕНТУ У БУДІВЛІ, СКАНЕР СУДИН ДОЛОНІ

Об’єктом дослідження є взаємодія ІЧ-випромінювання з судинами долоні.

Предметом дослідження є метод покращення контрастності зображення.

Метою роботи є покращення безперервного моніторингу контингенту у навчальному закладі за рахунок збільшення чутливості системи, а саме підвищення контрастності знімків вен долоні адаптивним методом.

Методом дослідження є розгляд біометричних методів розпізнавання особи, обробка зображення.

У дипломному проекті розглянуті біометричні методи розпізнавання особи та методи покращення зображення безпосередньо зі сканера вен долоні.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 88s., 90 figures, 14 formulas, 36 sources, 2 supplements.

BIOMETRIC SCANNER, CONTINGENT STAY CONTROL SYSTEM IN THE BUILDING, NANOSENSOR, PATTERN OF THE VESSELS, READER

The object of the study is the interaction of infrared radiation with the vessels of the palm.

The subject of the study is a method of improving the contrast of the image.

The purpose of the work is to improve the continuous monitoring of the contingent in the school by increasing the sensitivity of the system, namely to increase the contrast of the images of palm veins by an adaptive method.

The method of research is the analysis of literature, the review of biometric methods of face recognition, image processing.

The diploma project deals with biometric methods of face recognition and methods of image enhancement directly from the palm vein scanner.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ 7

ВСТУП 8

1 СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РУХУ КОНТИНГЕНТУ У ЗАКЛАДІ 10

1.1 Біометричні сканери 10

1.2 Схема університету с розташуванням на ній системи контролю перебування контингенту в будівлі 13

2 СКАНЕР ВЕН ДОЛОНІ 15

2.1 Принцип роботи сканера 15

2.2 Критерії ефективності 16

2.3 Схема створення біометричного шаблону 18

2.4 Біометричні особливості 19

3 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ СИТЕМИ КОНТРОЛЮ 25

3.1 Arduino Project Enclosure 25

3.2 Infrared Thermometer — MLX90614 25

3.3 CMOS (КМОП, комплементарная структура метал-оксид-напівпровідник) 32

3.4 Infrared Proximity Sensor — Sharp GP2Y0A21YK 38

3.5 Інші компоненти системи 44

3.6 Схема підключення всіх компонентів 45

3.7 Програмне забезпечення 47

3.8 Отримані зображення зі сканера при різних умовах 47

4 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ 49
4.2 Метод соляризації 51
4.3 Метод з використанням Лапласіан 53
4.4 Метод адаптивного підвищення контрастності 55
5 ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ВЕН ДОЛОНІ 60
5.1 Адаптивне збільшення контрастності на прикладі масивів чисел. 60
5.2 Застосування методу адаптивного збільшення контрастності безпосередньо на знімках вен долоні 72
ВИСНОВКИ 82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

FAR (False Acceptance Rate) – «помилкова тривога»

FRR(False Rejection Rate) – «пропуск цілі»

БД – база даних

ІЧ – інфрачервоний

КМОП – комплементарная структура метал-оксид-напівпровідник

СКУД – система контролю і управління доступом

ВСТУП

В даний час підприємства стикаються з проблемами забезпечення інформаційної безпеки і збереження конфіденційних даних. Поняття «безпека» досить широке і може включати в себе інформаційний, комерційний, юридичний і фізичний аспекти. Очевидно, що необхідно приділяти підвищену увагу до забезпечення інформаційної безпеки на великому підприємстві, адже фізична охорона і рядові технічні засоби не можуть забезпечити повне збереження інформації на великому об'єкті, котрий обіймає значну територію, що складається з цілого комплексу будівель і має необхідність обробляти велику кількість даних. Зі збільшенням кількості підприємств зростає конкурентна боротьба між ними, а значить і ймовірність промислового шпигунства. Цілями промислового шпигунства можуть бути: - отримання інформації про конкурента; - внесення змін до джерела інформації; - знищення інформації.

Сучасні біометричні інформаційні системи та технології розпізнають людей на основі їх анатомічних особливостей (відбитків пальців, образу обличчя, малюнка ліній долоні, райдужної оболонки, голосу, долоні руки) або поведінкових рис (підпису, ходи). Оскільки ці риси фізично пов’язані з користувачем, біометричне розпізнавання надійно в ролі механізму, що стежить, щоб тільки ті, у кого є необхідні повноваження, могли потрапити в будівлю, отримати доступ до комп’ютерної системи, перетнути кордон держави або виконати електронну банківську транзакцію. Біометричні інформаційні системи також володіють унікальними перевагами – вони не дозволяють відмовитись від досконалої транзакції і дають можливість визначити, коли індивідуум користується декількома посвідченнями (наприклад, паспортами) на різні імена. Отже, при грамотній реалізації у відповідних додатках інформаційна технологія (ІТ) ідентифікації людини, яка використовую біометричні параметри, забезпечує високий рівень захищеності [1].

Біометрична ідентифікація за малюнком вен руки – нова технологія у сфері біометрії, яка базується на інфрачервоному скануванні вен із подальшим цифровим обробленням. Дана технологія була розроблена для використання в системі охорони здоров’я, щоб допомогти лікарям знайти у пацієнтів вени для ін’єкцій. Але враховуючи те, що струк тура вен у кожної людини індивідуальна, ця технологія викликала інтерес фахівців з ідентифікації, як більш надійна відносно технології ідентифікації за відбитком пальця, оскільки відтворити модель кровоносної системи неможливо [1].

1 СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РУХУ КОНТИНГЕНТУ У ЗАКЛАДІ

1.1 Біометричні сканери

Біометричні технології в області аутентифікації особистості давно стали звичними в СКУД (система контролю і управління доступом). Область їх застосування розширюється практично щодня і не обмежується системами контролю доступу. Біометричних методів безліч: аутентифікація по геометрії особи або рук, райдужній оболонці або сітківці ока, по голосу і по ході. Самий поширений метод - дактилоскопія, у неї не менше 60% світового ринку. На другому місці геометрія особи (2D і 3D), потім райдужна оболонка ока (рис. 1.1). Пальці, обличчя і райдужку називають трьома великими біометриками.

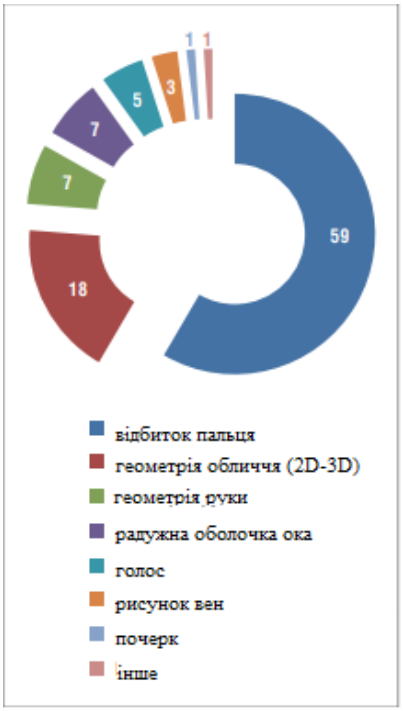


Рисунок 1.1 – Процентне співвідношення використання біометричних методів

На сьогоднішній день поняття «біометричний алгоритм» і «біометричний сканер» не обов'язково взаємопов'язані. Компанія може випускати ці елементи поодинці, а може спільно. Найбільша диференціація виробників сканерів і виробників софту досягнута на ринку біометрії папілярного візерунка пальців. Найменша на ринку сканерів 3D особи. По суті рівень диференціації багато в чому відображає розвиненість і насиченість ринку. Чим більше вибору - тим більше тематика відпрацьована і доведена до досконалості. Різні сканери мають різний набір здібностей. В основному це набір тестів для перевірки підроблений об'єкт біометрії чи ні. Для сканерів пальців це може бути перевірка рельєфності або перевірка температури, для сканерів очі це може бути перевірка акомодації зіниці, для сканерів особи - рух особи [2].

Сканери дуже сильно впливають на отриману статистику FAR і FRR. У деяких випадках ці цифри можуть змінюватися в десятки разів, особливо в реальних умовах. Зазвичай характеристики алгоритму даються для якоїсь «ідеальної» бази, або просто для добре підходить, де викинуті нерізкі і змащені кадри. Лише деякі алгоритми чесно вказують і базу і повну видачу FAR / FRR по ній.

А тепер детальніше про кожну з технологій.

Відбитки пальців. Кожна людина має унікальний папілярний візерунок відбитків пальців, завдяки чому і можлива ідентифікація. Зазвичай алгоритми використовують характерні точки на відбитках пальців: закінчення лінії візерунка, розгалуженні лінії, поодинокі точки. Додатково залучається інформація про морфологічну структуру відбитка пальця: відносне положення замкнутих ліній папілярного візерунка, «арочних» і спіральних ліній. Особливості папілярного візерунка перетворюються в унікальний код, який зберігає інформативність зображення відбитка. І саме «коди відбитків пальців» зберігаються в базі даних, використовуваної для пошуку і порівняння. Час переведення зображення відбитка пальця в код і його ідентифікація зазвичай не перевищує 1с, в залежності від розміру бази. Час, витрачений на піднесення руки - не враховується.

Характерне значення FAR для методу розпізнавання відбитків пальців - 0.001%. Стабільна робота системи ідентифікації при FAR = 0.001% можлива при чисельності персоналу N≈300.

Райдужна оболонка. Метод є одним з найбільш точних серед біометричних методів. Система ідентифікації особи за райдужною оболонкою логічно ділиться на дві частини: пристрій захоплення зображення, його первинної обробки і передачі обчислювачеві і обчислювач, що виробляє порівняння зображення з зображеннями в базі даних, що передає команду про допуск виконавчому пристрою. Час первинної обробки зображення в сучасних системах приблизно 300-500мс, швидкість порівняння отриманого зображення з базою має рівень 50000-150000 порівнянь в секунду на звичайному ПК. Така швидкість порівняння не накладає обмежень на застосування методу в великих організаціях при використанні в системах доступу.

N≈3000 - чисельність персоналу організації, при якій ідентифікація співробітника відбувається досить стабільно. Тут варто відзначити важливу особливість, що відрізняє систему розпізнавання по райдужній оболонці від інших систем. У разі використання камери дозволу від 1.3МП можна захоплювати два ока на одному кадрі. Так як ймовірності FAR і FRR є статистично незалежними можливостями, то при розпізнаванні по двом очам значення FAR буде приблизно дорівнювати квадрату значення FAR для одного ока. Наприклад, для FAR 0,001% при використанні двох очей ймовірність помилкового допуску буде дорівнює 10-8%, при FRR всього в два рази вище, ніж відповідне значення FRR для одного ока при FAR = 0.001%.

2-D розпізнавання особи. 2-D розпізнавання особи - один з найбільш статистично неефективних методів біометрії. З'явився він досить давно і застосовувався, в основному, в криміналістиці, що і сприяло його розвитку. В наслідок з'явилися комп'ютерні інтерпретації методу, в результаті чого він став більш надійним, але, безумовно, поступався і з кожним роком все більше поступається іншим біометричним методам ідентифікації

особистості. В даний час через погані статистичні показники він застосовується, в мультимодальній або, як її ще називають, перехресної біометрії, або в соціальних мережах.

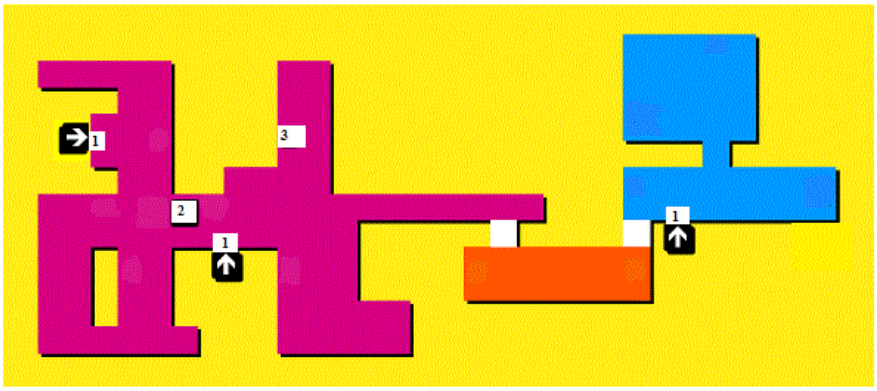
3-D розпізнавання особи. Повні дані про FRR і FAR для алгоритмів цього класу на сайтах виробників відкрито не наведено. Але для кращих моделей фірми Bioscript (3D EnrolCam, 3D FastPass), що працюють за методом проектування шаблону при FAR = 0.0047% FRR становить 0.103%.Вважається, що статистична надійність методу порівнянна з надійністю методу ідентифікації за відбитками пальців.

Вени долоні. Розпізнавання за венами руки – це нова технологія у сфері біометрії, широке застосування її почалося 5-10 років тому. Інфрачервона камера робить знімки зовнішньої або внутрішньої сторони руки. Малюнок вен формується завдяки тому, що гемоглобін крові поглинає ІЧ-випромінювання. У результаті ступінь віддзеркалення зменшується і вени видно на камері у вигляді чорних ліній. Спеціальна програма на основі отриманих даних створює цифрову згортку. Не потрібний контакт людини зі скануючим пристроєм. Технологія порівнянна за надійністю з розпізнаванням за райдужною оболонкою ока, у чомусь перевершуючи її, а у чомусь поступаючись. Значення FRR і FAR наведено для сканера Palm Vein. Згідно з даними розробника при FAR 0,0008% FRR становить 0.01%. Проникність шкіри: глибина ≤12 мм. Точне положення вени: точність 0,25 мм [3].

1.2 Схема університету с розташуванням на ній системи контролю перебування контингенту в будівлі

Університет має велику кількість персоналу, що представляє різні групи доступу: викладачі, студенти, обслуговуючий персонал, абітурієнти і т.д. Всі дані про них зберігаються на сервері БД СКУД і регулярно оновлюються операторами ПК на робочих станціях. Однією з особливостей

роботи вищих навчальних закладів є складний і постійно мінливий графік роботи викладачів. Теж саме стосується і учнів. Заняття можуть чергуватися через тиждень або два, лекції та семінари можуть мінятися місцями, а викладачі змінювати один одного з різних причин протягом семестру. Саме тому облік робочого часу в університеті складний і не завжди доцільний, а система контролю доступу через сканер судин долоні може успішно функціонувати без урахування цих факторів [3].



Примітка:
1. Сканер судин долоні беспосередньо на вході до університету.
2.БД університету (ПК)
3. Сканер судин долоні на вході в аудиторію

Рисунок 1.2 – Схема університету з розміщенням системі контролю

З переліку біометричних систем був вибраний сканер вен долоні, тому що у порівнянні з іншими системами , зокрема по таким критеріям: значення FRR і FAR, час спрацювання системи, численність користувачів, надійність та інше. Саме по цим критеріям сканер вен долоні максимально підходить для контролю перебування контингенту у навчальному закладі.

2 СКАНЕР ВЕН ДОЛОНІ

2.1 Принцип роботи сканера

Малюнок вен зчитується із зовнішнього боку долоні або кисті руки за допомогою інфрачервоної камери і дозволяє отримати достатньо чітке зображення кровоносних судин, таке, що навіть відносно невеликі порізи чи бруд на поверхні шкіри не перешкоджають успішній реєстрації особи. Поглинаючи випромінювання, відновлений гемоглобін переносить кисень по венах і скорочує ступінь відбиття та відображення малюнка вени у вигляді чорного унікального візерунка. Далі отримане зображення обробляється, і залежно від розташування вен на руці формується цифрова згортка.

У даному випадку, як біометричний об’єкт використовується термографія кровоносних судин зовнішнього боку долоні руки, які характеризуються неповторністю і сталістю протягом усього життя, що і дозволяє використовувати їх для ідентифікації особи. Формування судинної системи починається ще до народження людини і відрізняється навіть у близнюків. Процес сканування судин зовнішнього боку долоні відбувається в інфрачервоному діапазоні світлових хвиль, що дозволяє отримати досить чітке зображення кровоносних судин. При цьому відносно невеликі порізи чи забруднення на поверхні шкіри не будуть перешкоджати успішній реєстрації, а швидкість обробки отриманих даних, порівняно з іншими біометричними системами, дуже висока. Користувач, реєструючись у даній біометричній системі, зберігає свою інформацію в самому терміналі чи в корпоративній базі даних, або ж записує її на смарт-карту. У цьому випадку порівнювання проводиться за схемою «один до одного» і займає мінімальний проміжок часу. Це нова технологія в сфері біометрії, широке застосування її почалося ще років 6-10 тому. Інфрачервона камера робить знімки зовнішньої або внутрішньої сторони руки. Малюнок вен формується завдяки тому, що

гемоглобін крові поглинає ІЧ випромінювання. В результаті, ступінь віддзеркалення зменшується, і вени видно на камері у вигляді чорних ліній. Спеціальна програма на основі отриманих даних створює цифрову згортку. Не потрібен контакт людини зі скануючим пристроєм. Існує два методи отримання зображення малюнка вен долоні. Метод відображення (Reflection) дозволяє розмістити всі компоненти пристрою в одному корпусі, за рахунок чого зменшується розмір. Також знижується психологічний бар'єр (не потрібно нікуди засовувати руку). Метод пропускання ІЧ-світла (Transmission) полягає в установці ІЧ-підсвітки з тильного боку долоні, а сама камера з фільтром встановлюється з боку долоні і 27 приймає ІЧ-випромінювання, що проходить через усю долоню. За допомогою методу пропускання одержувані зображення більш деталізовані (наведено на рисунку 2.1).

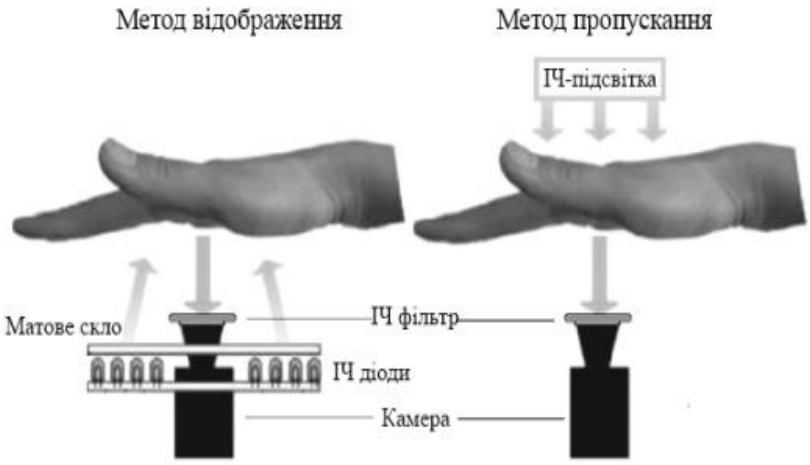


Рисунок 2.1 – Методи отримання зображення малюнка вен долоні

2.2 Критерії ефективності

Але не тільки FAR і FRR визначають якість біометричної системи. Якби це було так, то лідируючої технологією було б розпізнавання людей по

ДНК, для якої FAR і FRR прагнуть до нуля. Але ж очевидно, що ця технологія непридатна на сьогоднішньому етапі розвитку людства, тому було вироблено кілька емпіричних характеристик, що дозволяють оцінити якість системи:

- стійкість до підробки - це узагальнена характеристика, що показує, наскільки легко обдурити біометричний ідентифікатор;
- стійкість до навколишнього середовища - характеристика, яка оцінює стійкість роботи системи в різних зовнішніх умовах, таких як зміна освітлення або температури приміщення;
- простота використання - характеристика, яка показує, наскільки складно скористатися біометричним сканером, чи можлива аутентифікація на ходу;
- швидкість роботи - характеристика, яка показує швидкість розпізнавання користувача системи;
- вартість системи - зрозуміло, що дуже дорогі системи, навіть якщо виграють за іншими пунктами, навряд чи будуть користуватися великим попитом.

Не варто забувати і те, що біометрична характеристика людини може змінюватися з часом, тому якщо вона нестійка - це суттєвий мінус [4].

Переваги методу:

- висока достовірність отриманих результатів;
- відсутність необхідності прямого контакту з пристроєм, що здійснює сканування;
- висока ступінь захищеності – рисунок неможливо отримати від людини «на вулиці», а у випадку використання муляжу кисті малюнок вен не буде зчитаний інфрачервоною камерою [5];

Недоліки методу:

- недопустиме засвічення сканера сонячними променями і променями галогенних ламп;
- вплив деяких захворювань, наприклад артриту, на прийняття рішення.

2.3 Схема створення біометричного шаблону

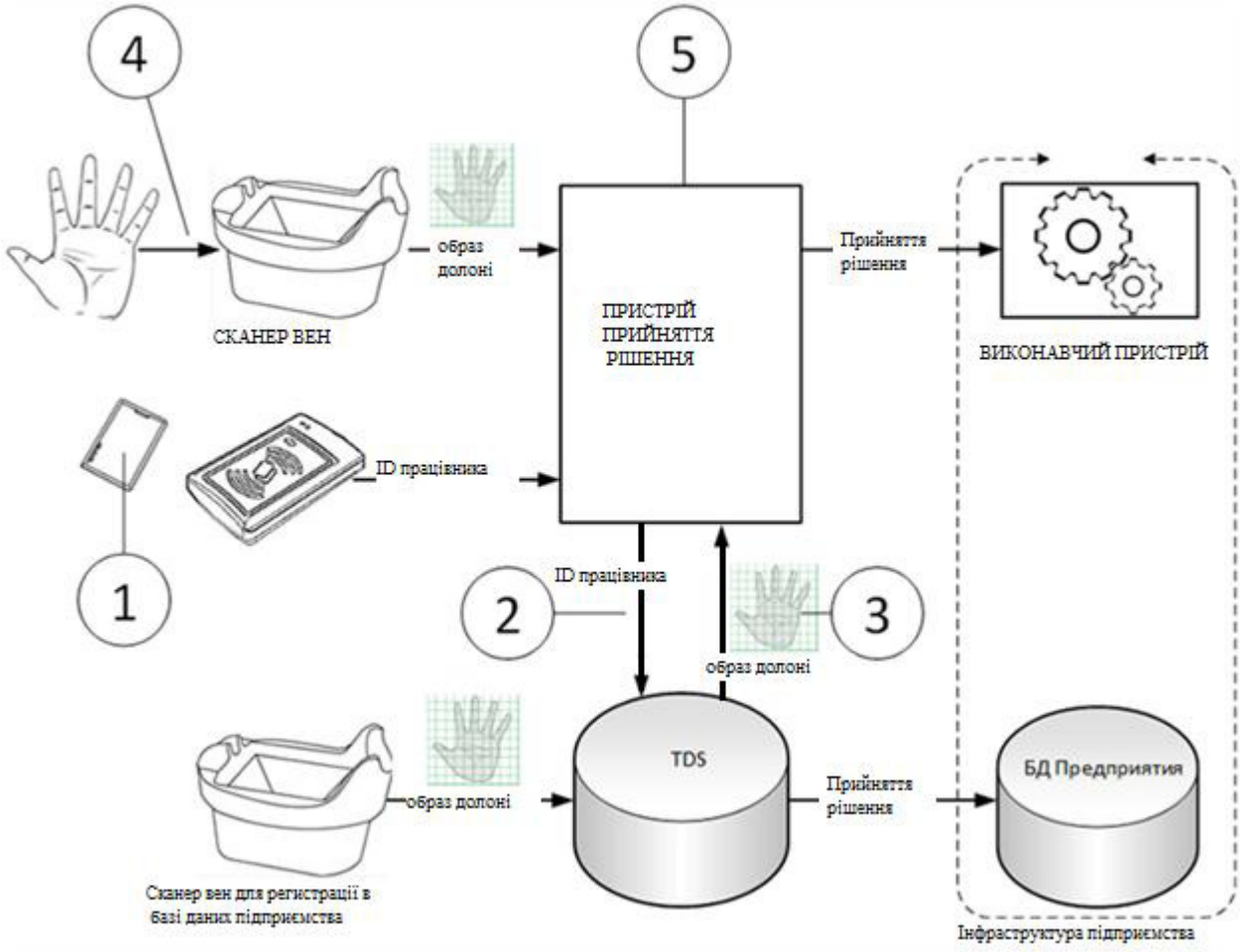


Рисунок 2.2 – Схема роботи сканера

На рисунку 2.2 наступні позначення:

1 людина сканує карту доступу за допомогою зчитувача. Унікальний ідентифікатор передається від зчитувача в деякий програмний пристрій прийняття рішення;

2 пристрій надішле в базу даних запит, який містить даний ідентифікатор;

3 за ідентифікатором в базі даних знаходиться відповідний образ долоні, який передається назад в пристрій прийняття рішення. Зіставлення образу долоні і ідентифікатора картки здійснюється заздалегідь при реєстрації осіб, що мають доступ до вчинення запитуваних дій;

4 людина прикладає руку до зчитувача малюнка вен. Відбувається сканування малюнка вен долоні, який у вигляді образу долоні передається на пристрій прийняття рішення;

5 пристрій виробляє порівняння образів долоні, отриманих від зчитувача і з бази даних і, відповідно до заздалегідь закладеної логікою, приймає рішення про здійснення запитуваної дії. У разі позитивного рішення на виконавчий пристрій відправляється відповідна команда [6].

Створенням біометричного шаблону є фільтрація вихідного графічного зображення й вибір області інтересу. Фільтрація дозволяє виділити значущі області вен долоні і знизити області шумів і відблисків. Для таких завдань загальноприйнятим вважається використання алгоритму дискретного перетворення Фур'є. Беручи до уваги, що долоню може бути піднесена зі зміщенням в горизонтальній площині по відношенню до сканера, важливо розрахувати алгоритм фільтрації з урахуванням цих вимог. Процес ідентифікації заснований на порівнянні одного шаблону з іншими, що зберігаються в базі даних. Для ідентифікації використовується алгоритм кореляції, який несе основне процесорне навантаження для обчислювальної системи. Для збільшення швидкості розпізнавання і зниження процесорного часу часто застосовується алгоритм передвибірки, який використовує глобальні особливості будови венозного малюнка. В цілому алгоритм передвибірки дозволяє значно звузити пошуки по базі даних близьких значень глобальних особливостей [7].

2.4 Біометричні особливості

Біологічні тканини є оптично неоднорідними поглинаючими середовищами. Морфологічна різноманітність визначає різний характер взаємодії світла з біотканинами. Для характеристики даної взаємодії введені оптичні параметри біотканин, які включають показник заломлення n,

коефіцієнти поглинання μa і розсіювання μs світла біотканиною, транспортний коефіцієнт розсіювання μs і фактор анізотропії розсіювання g.

Взаємодія світла з біологічними тканинами носить складний характер. На кордоні розділу тканина - повітря частина падаючого на поверхню біотканини випромінювання відбивається, а інша частина проникає в біотканину. Оптичними неоднорідностями є поверхні або обсяги всередині біотканин, на яких змінюється показник заломлення n. Оптичні неоднорідності відхиляють світло від його первісного напрямку. На поверхнях, розділяють середовища з різними n, відбуваються відображення і заломлення світла.

Коефіцієнт розсіювання і фактор анізотропії розсіювання головним чином залежать від неузгодженості показників заломлення між компонентами клітин, які складають тканину, такими як плазматична мембрана клітини, мітохондрії, ядро, інші органели, цитоплазма і позаклітинна рідина. Для фіброзних тканин (строма склери і рогівки ока, дерма, мозкові оболонки, сполучна тканина стінки судин, волокнисті компоненти м'язової тканини і молочної залози, хрящі, сухожилля і ін.) розсіювання викликається відмінністю показників заломлення внутрішньотканинної рідини або цитоплазми і протяжних ланцюжків склеропротеїнам (колагенових, еластинових і ретикулінові волокон). Значення показників заломлення ядер і органел цитоплазми тваринних клітин, що містять приблизно однакову кількість протеїнів і нуклеїнових кислот, лежать в відносно вузькому інтервалі від 1,38 до 1,41. Показник заломлення цитоплазми становить n_0 = 1,35-1,38. Розсіюють частинки (органели, протеїнові фібрили, мембрани і глобули) мають більш високу щільність протеїнів і ліпідів в порівнянні з базовою речовиною цитоплазми і, внаслідок цього, більш високий показник заломлення (n_s = 1,39-1,47). Значення показника заломлення волокон сполучної тканини лежать в діапазоні 1,41-1,47 і залежать від ступеня гідратації їх основного компонента - колагену. Показник заломлення внутрішньотканинної рідини, а також плазми крові становить приблизно 1,33-1,35 в залежності від довжини

хвилі[8]. Основними розсіювачами в крові є червоні кров'яні тільця - еритроцити, які представляють собою без'ядерні клітини, що містять 70% води, 25% гемоглобіну і 5% ліпідів, цукрів, солей, ензимів і протеїнів. Показник заломлення розчину гемоглобіну при концентрації 32 г / дл, що представляє собою типову концентрацію гемоглобіну в еритроциті, становить приблизно 1,42. Для крові людини цей показник в залежності від довжини хвилі дорівнює 1,36-1,40. Показники заломлення компонентів біотканин у видимому і ближньому інфрачервоному спектральних діапазонах представлені на рисунку 2,5 та 2,6.

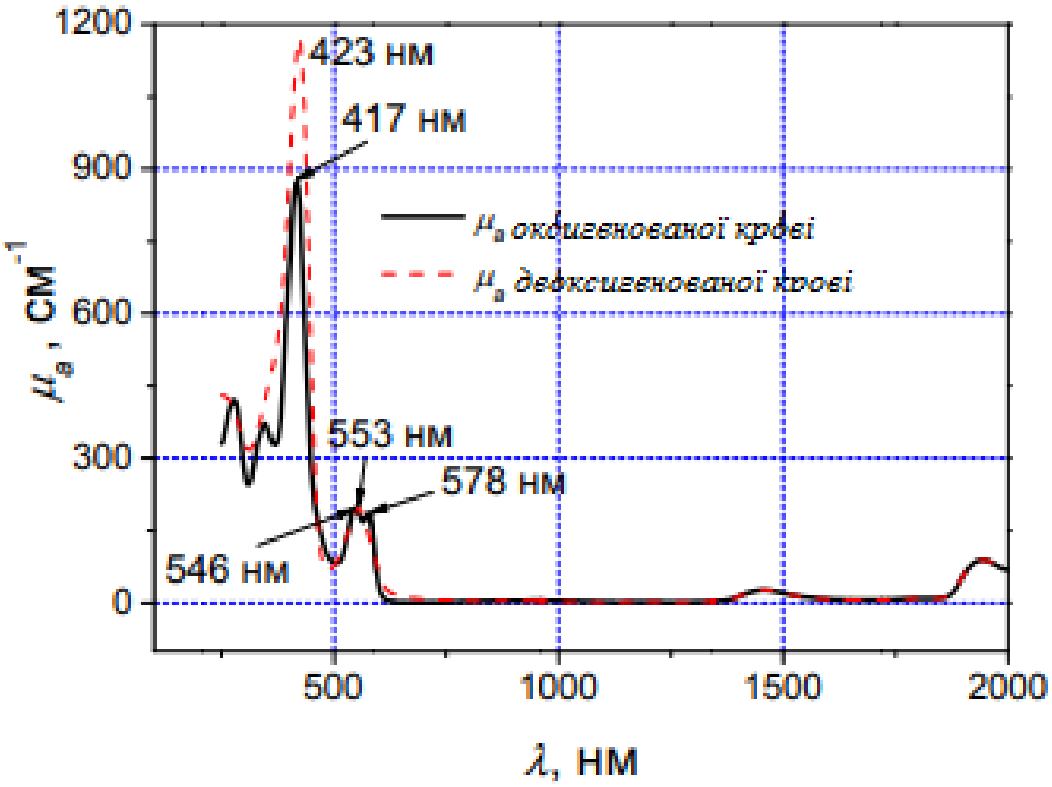


Рисунок 2.3 – Спектри поглинання крові с двома формами гемоглобіну: оксигенованому (неприливна крива) та деоксигенованому (пунктирна крива). Стрілками та цифрами позначені характерні пороги полос поглинання

Компоненти біотканини	Довжина хвилі, нм	Показник заломлення
Ядро клітини	589	1.39
	БИК	1.38-1.41
Цитоплазма	400-700	1.35-1.367
	589	1.37
	800-850	1.38
	БИК	1.360-1.375
Позаклітинна рідина	400-700	1.35
	800-850	1.33-1.348
	БИК	1.35-1.36
Мембрана клітини та клітинних органел	589	1.46
	БИК	1.46
Мітохондрії та органелли	589	1.4
	800-850	1.420
	БИК	1.38–1.41
Меланін	580-633	1.7
	БИК	1.6-1.7
Фібрилли (фізиологічного ступеню гідратації)	400-700	1.47
	589	1.411-1.416
	850	1.43
Внутрішньотканинна рідина	400-700	1.35
	589	1.345-1.365
	633	1.53
Волокно м'язової тканини (міофеламент)	560-640	1.49
	400-1064	1.455-1.46
Ліпіди	400-700	>1.623
Апатити туної тканини	415-700	1.35
Гідроксиапатити кісткової тканини	589	1.604-1.65
Остеон	589	1.559±0.003
Плазма крові	632.8	1.345
	700-1000	1.34

Рисунок 2.4- Показники заломлення компонентів біотканин у видимому і ближньому ІЧ спектральних діапазонах на основі даних, представлених в літературних джерелах

	1079.5	1.332
	1341.4	1.327
	550	1.61-1.66
Еритроцит (зневоднений)	550	1.61–1.64
Еритроцит (інтактний)	250-1100	1.42
Гемоглобін людини в оксигенованій формі (концентрація 93 г/л)	401.5	1.369
	435.8	1.366
	486.1	1.361
	546.1-589.3	1.357
	632.8	1.355
	656.3	1.354
	706.5	1.352
Гемоглобін свині в оксигенованій формі (концентрація 140 г/л)	401.5	1.384
	435.8	1.400
	486.1	1.394
	546.1	1.393
	587.6-589.3	1.395
	632.8-656.3	1.393
	700-1000	1.392
Гемоглобін людини в деоксигенованій формі (концентрація 140 г/л)	401.5	1.365
	435.8	1.367
	486.1	1.361
	546.1	1.357
	587.6-589.3	1.356
	632.8-656.3	1.354
	706.5	1.352
Гемоглобін свині в деоксигенованій формі (концентрація 93 г/л)	401.5	1.381
	435.8	1.396
	486.1	1.392
	546.1	1.390
	587.6-589.3	1.391
	632.8-656.3	1.390
	700-1000	1.389

Продовження рисунку 2.4

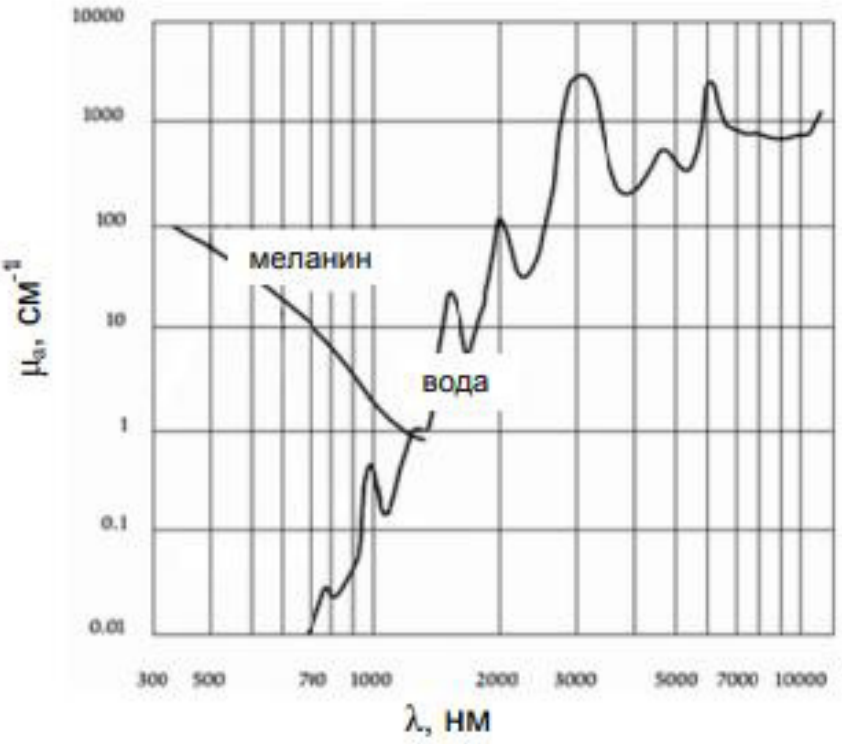


Рисунок 2.5 – Спектри поглинання води та меланіну

Судинні зміни регулюються головним чином вазомоторними механізмами і залежать від викликаються холодовим роздратуванням основних нервових процесів в вазомоторному центрі. Поряд з цим можна думати і про часткове дії холоду безпосередньо на кровоносні судини. Так, описані судинні зміни спостерігалися при охолодженні і після симпатектомії [9].

Дослідивши всі фізико-технологічні та біомедичні показники сканера вен долоні в цілому, та зрозумівши принцип його роботи, треба детально розглянути кожен компонент системи, щоб розуміти нюанси роботи, а також їх можливості (безпосередньо побачимо які знімки можна отримати завдяки сканеру). Ця інформація буде детально описана у наступному (третьому) розділі [10].

3 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ СИТЕМИ КОНТРОЛЮ

3.1 Arduino Project Enclosure

Це невеликий корпус для Arduino проектів. Корпус Arduino дозволяє легко укладати основну плату Arduino, Arduino Mega або якусь іншу дошку, яка підходить для друку Arduino. Він просто притискається, тому вам не доведеться турбуватися про гвинти або кріплення. У ній є місце для Arduino та щит. У нього навіть є знімна вкладка, призначена для використання із екраном Ethernet. На задній панелі також є відсік для вставки для доступу до комутаторів або з'єднань або доступу до акумулятора. Примітка: Деякі старі плати Arduino мають трохи менший отвір біля задньої частини отвору ICSP. Для того, щоб працювати з цими дошками просто просвердлите отвір на 1/8". Крім того, за допомогою новіших екранів Ethernet вам потрібно буде зняти один з кілочків, щоб все правильно встановилося [11].

3.2 Infrared Thermometer — MLX90614

ІЧ-термометр (рисунок 3.1). Melexis 'MLX90614ESF-BAA - інфрачервоний термометр, призначений для безконтактного зондування температури. Внутрішній 17-бітний АЦП та потужний DSP сприяють високій точності та роздільній здатності MLX90614. Він має величезну кількість застосувань, включаючи вимірювання температури тіла та виявлення рухів. MLX90614 забезпечує два способи виведення: PWM та SMBus (тобто TWI, I2C). 10-бітний вихід PWM забезпечує роздільну здатність 0,14 °C, тоді як інтерфейс TWI має роздільну здатність 0,02 °C. MLX90614 відкалібрований на заводі в широких діапазонах температур: від -40 до 85 °C для температури навколишнього середовища і від -70 до 382,2 °C для температури об'єкта.

Виміряне значення - це середня температура всіх об'єктів у полі зору датчика. MLX90614 пропонує стандартну точність 0,5 °C при кімнатній температурі. Цей пристрій постачається у стандартній упаковці TO-39. 3V версія цього датчика [12].

Рисунок 3.1 – ІЧ-термометр

Функції: Невеликий розмір, низька вартість (20$), легко інтегрувати, заводське калібрування в широкому діапазоні температур: Від -40 до + 85 °C для температури датчика, від -70 до + 380 °C для температури об'єкта, цифровий інтерфейс, сумісний з SMBus, налаштований вихід PWM для безперервного зчитування, висока точність 0,5 °C в широкому діапазоні температур (від 0 до + 50 °C і для Ta, і для To), розподільна здатність вимірювання 0,02 °C, одно- та двозонні версії, проста адаптація для додатків 8-16В, режим енергозбереження, різні варіанти пакету для універсальних програм та вимірювань.

MLX90614 Огляд. Внутрішньо MLX90614 - це з'єднання двох пристроїв: інфрачервоного термобатареї детектора та прикладного процесора кондиціонування сигналу. Відповідно до закону Стефана-Больцмана, будь-

який об’єкт, який не знаходиться за абсолютним нулем (0 °K), випромінює світло (не видиме для очей) людини в інфрачервоному спектрі, прямо пропорційному його температурі. Спеціальна інфрачервона термобатарея всередині MLX90614 визначає, скільки інфрачервоної енергії випромінюють матеріали в її полі зору, і виробляє електричний сигнал, пропорційний цьому [13].

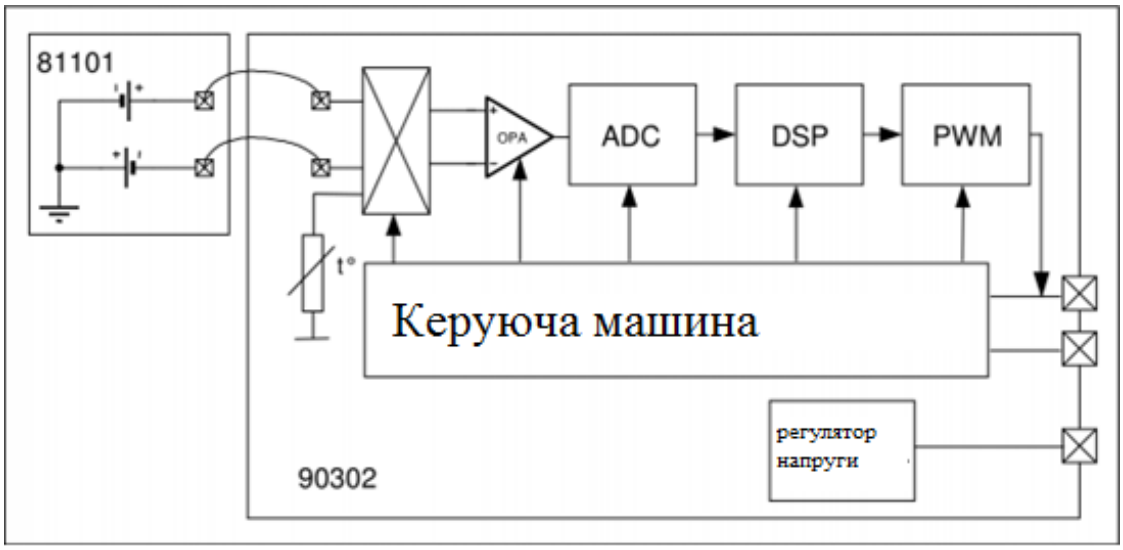


Рисунок 3.2 – MLX90614 внутрішня блокова діаграма, що показує термобатареї (MLX81101) та ASSP (MLX90302)

Ця напруга, що виробляється термобатареєю, піднімається 17-бітним АЦП прикладного процесора, після чого кондиціонується перед передачею на мікроконтролер. MLX90614 розріз (рисунок 3.3).

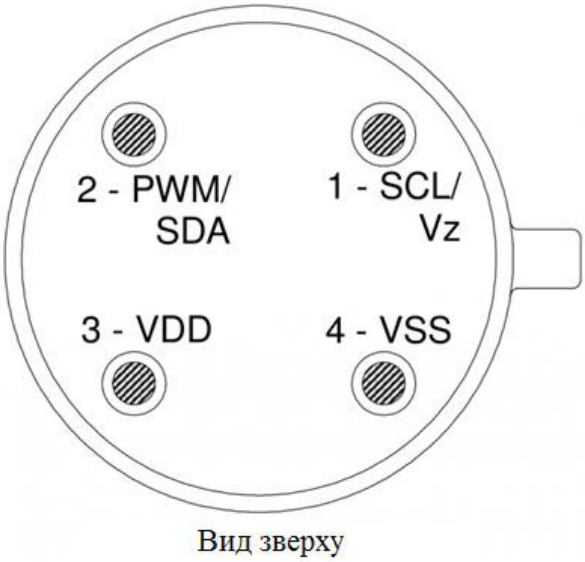


Рисунок 3.3 – Вид зверху MLX90614, розріз

Можливості: MLX90614 виробляє два вимірювання температури: об'єкт і показання навколишнього середовища. Температура об'єкта - це безконтактне вимірювання, яке ви очікуєте від датчика, в той час як температура навколишнього середовища вимірює температуру на матриці датчика. Навколишнє середовище може бути корисна для калібрування даних, але реальний сенс наших показань буде отримано з вимірювання температури об'єкта. Вимірювання температури об'єкта можуть перебувати в діапазоні від -70 до 382,2 °C (від -94 до 719,96 °F), а показники температури навколишнього середовища - від -40 до 125 °C. І температура навколишнього середовища, і температура об'єкта мають дозвіл 0,02 °C.

MLX90614BAA. Існує безліч різновидів MLX90614 (рисунок 4.4), кожен з яких має три букви. Різні варіанти датчиків залежать від робочої напруги, кількості інфрачервоних термобатарей і від того, фільтрують вони всередині нашого зовнішнього датчика. Беремо MLX90614BAA, який розрахований на робочу напругу 3V з одним інфрачервоним датчиком і внутрішнім фільтром [14].

Параметри	MLX90614AAA MLX90614ABA	MLX90614BAA MLX90614BBA	MLX90614AAB MLX90614ABB	MLX90614BAB MLX90614BBB
Напруга живлення,V_{DD}(перенапруга)	7V	5V	7V	5V
Напруга живлення, V_{DD}(працює)	5.5 V	3.6V	5.5V	3.6V
Зворотня напруга	0.4 V			
Діапазон робочих температур, T_A	-40 to +125°C		-40…+85°C	
Діапазон температур розпилення, T_s	-40…+125 °C		-40…+105°C	
ESD чутливість (AEC Q100 002)	2kV			
DC current into SCL/Vz (Vz mode)	2 mA			
DC sink current, SDA /PWM pin	25 mA			
DC source current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC clamp current, SDA/PWM pin	25 mA			
DC clamp current, SCL pin	25 mA			

Рисунок 3.4– Абсолютні максимальні значення для MLX90614

Цей варіант визначає поле зору, котре на MLX90614BAA складає 90°.

Параметри	MLX90614xAA	MLX90614xBA	MLX90614xCC	MLX90614xCF	MLX90614xCH	MLX90614xCI
Пік зони 1	±0°	+25°	±0°	±0°	±0°	±0°
Ширина зони 1	90°	70°	35°	10°	12°	5°
Пік зони 2	Не застосовується	-25°	Не застосовується	Не застосовується	Не застосовується	Не застосовується
Ширина зони 2		70°				

Рисунок 3.5 – Поле зору для MLX90614BAA

Говорячи про котрі можна сказати. Поле зору - Відстань проти діаметра плями. Поле зору ІК-термометра (FOV) є критичною властивістю, про яку варто знати. Вона визначає взаємозв'язок між відстанню від об'єкта і областю спостережуваного простору. Поле огляду MLX90614 має форму конуса - його область чутливості дуже вузька, якщо він знаходиться поруч з об'єктом, але стає все ширше, коли він віддаляється все далі. MLX90614BAA має відносно широкий кут поля зору: 90°. Це означає, що на кожен 1 см, який ви видаляєте від об'єкта, чутлива область збільшується на 2 см. Якщо ви перебуваєте на відстані одного фута від об'єкта (30,48 см), площа сприйняття складе два фути (60,96 см) [15].

Вихідні інтерфейси. MLX90614 підтримує два інтерфейси - хоча вам потрібен один для доступу до іншого. Двопровідний інтерфейс SMBus є

основним засобом зв'язку з ІК-датчиком. Після настройки інтерфейсу SMBus ви можете пізніше конфігурувати MLX90614 для генерації широтно-імпульсного сигналу (PWM), що представляє виміряну температуру (s).

SMBus (I2C). Датчик налаштований і зчитується через 2-провідний інтерфейс SMBus - дуже схожий і майже функціонально еквівалентний I^2C. Два сигналу - SDA і SCL - несуть дані і тактові сигнали відповідно. Провідний пристрій управляє годинами, а сигнал даних контролюється в двох напрямках (рисунок 3.6).

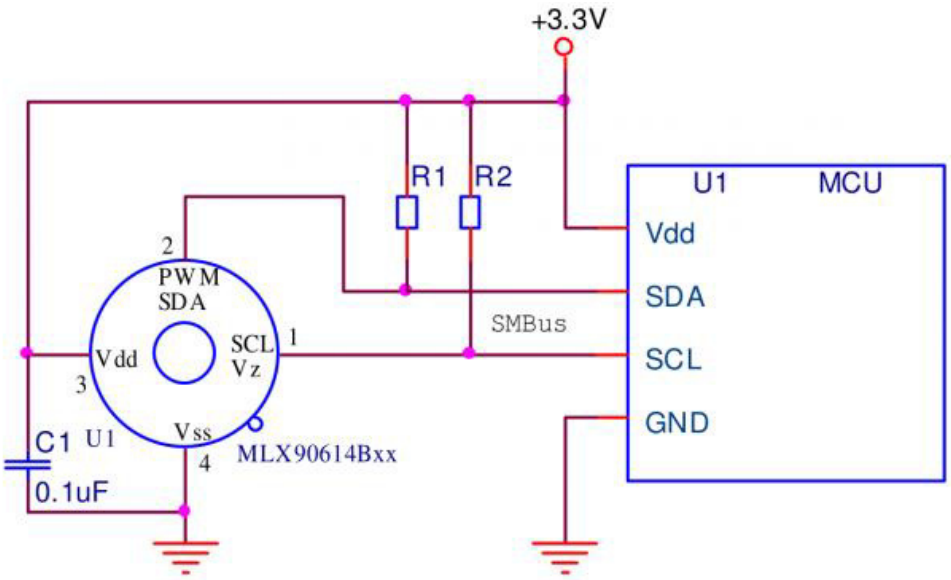


Рисунок 3.6 – Схема роботи ІЧ-термометра MLX90614

Кожен MLX90614 має адресу I^2C уставне значення 0×5A, але ця адреса може бути переписаний - одна з основних функцій, підтримуваних пристроєм. Переконфігурувавши адресу MLX90614, ви можете додати кілька пристроїв (до 127!) До однієї шині, щоб отримати більшу температурну карту. Ще один останній біт, який слід згадати про інтерфейс SMBus - кожна передача з читанням або записом повинна завершуватися 8-бітної перевіркою CRC (CRC-8-CCITT) з використанням полінома $x^8+x^2+x^1+x^0$ - зручно для цього додаткового біта достовірності даних (рисунок 3.7) [16].

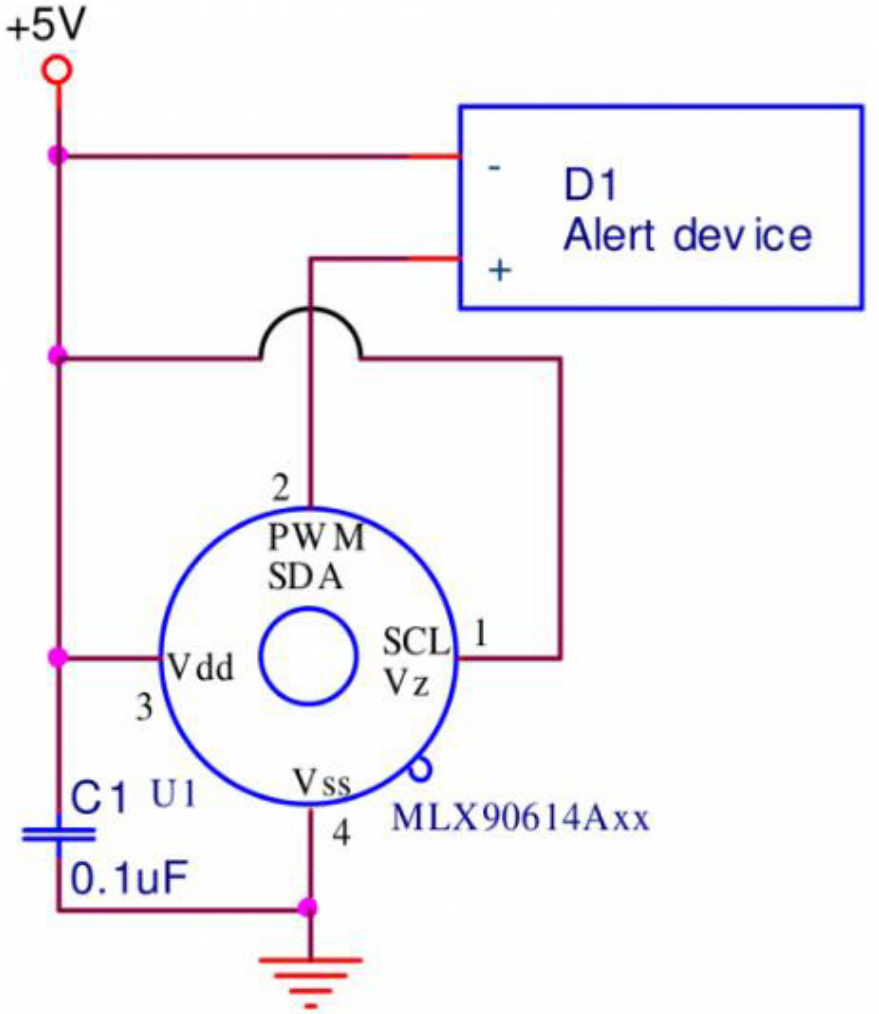


Рисунок 3.7 – Схема підключення

Конфігуруємо діапазон датчика - встановлюючи мінімальні та / або максимальні значення температури - вихід PWM можна перетворити в сигнал «теплового реле». Сигнал PWM буде низьким, якщо температура об'єкта не перевищить встановлений поріг.

3.3 CMOS (КМОП, комплементарная структура метал-оксид-напівпровідник)

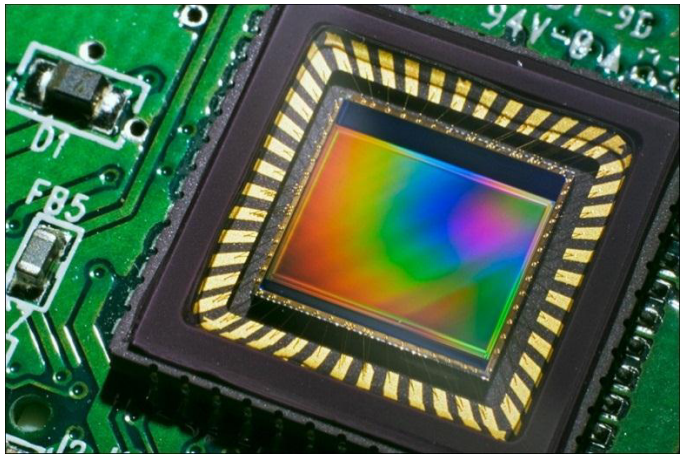


Рисунок 3.8 – CMOS (КМОП, комплементарная структура метал-оксид-напівпровідник)

Якість зображення відеокамери багато в чому залежить від використовуваного в ній світлочутливого сенсора (матриці). Адже поставивши хоч найкращий процесор для оцифровки відео - якщо на матриці отримано погане зображення, хорошим воно вже не стане [17].

Тип мариці:

CCD матриці, при всіх їх перевагах (найкраща світлочутливість і передача кольору, менший рівень шумів) - вже практично не використовуються в відеоспостереження. Тому що сам принцип їх дії CCD матриць - послідовне зчитування заряду по осередках - занадто повільний, щоб задовольнити запити швидких сучасних відеокамер з високою роздільною здатністю. Ну і найголовніше CCD дорожче у виробництві, а в умовах сучасної високо конкурентного середовища на рахунку кожна копійка прибутку. Ось чому всі ключові виробники зосередилися на випуску саме CMOS матриць.

Найбільшими, станом на початок 2017 року, є компанії: ON Semiconductor Corporation (свого часу поглинула відому профільну компанію

Aptina), Omnivision Technologies Inc., Samsung Electronics і Sony Corporation. Крім того, матриці для власних потреб виробляє, наприклад, компанія Canon, Hikvision.

Конкуренцію старим брендам намагаються створити молоді, повні ентузіазму і грошей китайські чипмейкери «другого ешелону», на кшталт компанії SOI (Silicon Optronics, Inc.) і ін. Важко сказати, чи виживе молода поросль, коли на ринку CMOS сенсорів настане насичення і стане занадто тісно . Але в будь-якому випадку в цьому сегменті не виключена поява нових гравців і загострення боротьби, адже налагодити виробництво CMOS сенсорів не надто й складна за сучасними мірками завдання [18].

Великі світові бренди типу Hikvision або Dahua зазвичай вважають за краще працювати з виробниками матриць першого ешелону або власними. Локальні ж поводяться по різному. Наприклад, Tecsar навіть в недорогих камерах використовує матриці з хорошою репутацією від ON Semiconductor, Omnivision і Sony. У в асортименті інших "народних" марок, наприклад Berger, широко представлені рецептори SOI і т.д.

Лідерські якості CMOS:

CMOS технологія передбачає розміщення електронних компонентів (конденсаторів, транзисторів) безпосередньо в кожному пікселі світлочутливої матриці.

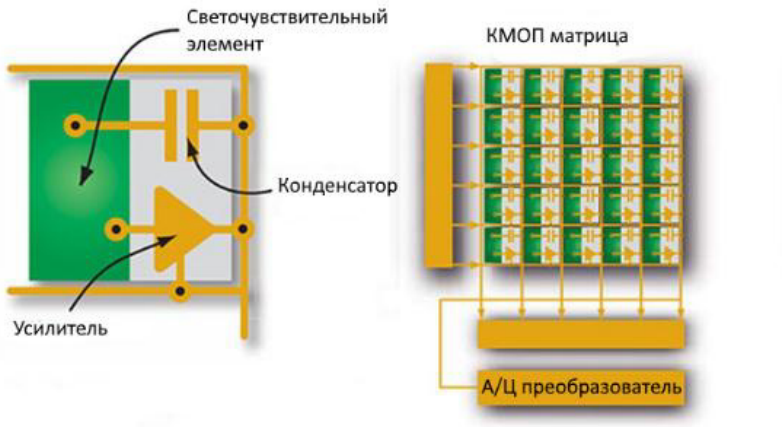


Рисунок 3.9 – Структура пікселя і CMOS матриці

Це зменшує корисну площу світлочутливого елемента і знижує чутливість, плюс активні елементи підвищують рівень власних шумів матриці. Зате технологія дозволяє здійснювати перетворення заряду світлочутливого елемента в електричний сигнал прямо в матриці і набагато швидше сформувати цифровий сигнал зображення, що критично для відеокамер. Саме тому CMOS краще підходять для камер відеоспостереження, де потрібна швидка зміна кадрів [19].

Принцип роботи CCD і CMOS матриць. Плюс можливість довільного зчитування осередків CMOS матриці дає можливість буквально «на льоту» змінювати якість і бітрейт одержуваного відео, що неможливо для CCD. А енергоспоживання CMOS-рішень нижче, що теж важливо для компактних камер спостереження.

Для отримання кольорового зображення матриця розкладає світловий потік на складові кольори: червоний, зелений і синій. Для цього використовуються відповідні світлофільтри. Різні виробники варіюють розміщення і кількість світлочутливих елементів різного кольору, але суть від цього не змінюється.

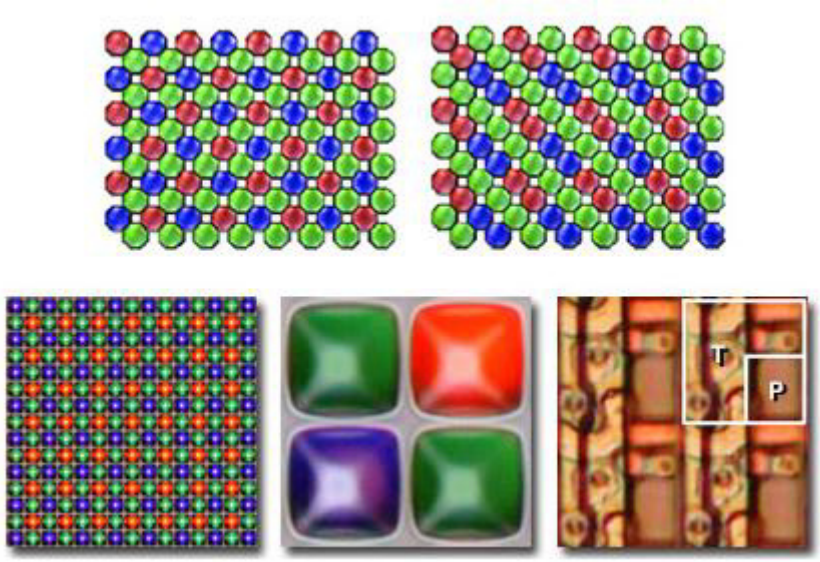


Рисунок 3.10 – Принцип формування зображення на світлочутливої матриці. P - світлочутливий елемент, T - електронні компоненти

Типорозмір (або іншими словами формат) матриці (рисунок 3.11) зазвичай вимірюють по діагоналі в дюймах і вказують у вигляді дробу, наприклад 1/4 ", 1/3", 2/3 ", 1/2 дюйма і ін. Перше правило вибору кращої матриці досить просте: при однаковій кількості пікселів (дозволі), чим більше фізичні розміри сенсора - тим краще. У більшій матриці крупніше пікселі, а значить, вона вловлює більше світла. Пікселі більшої матриці розташовані менш тісно, а значить менше вплив взаємних перешкод і нижче рівень паразитних шумів, що безпосередньо впливає на якість одержуваного зображення. Нарешті, більша матриця дозволяє отримати великі кути огляду при використанні об'єктива з одним і тим же фокусною відстанню [20].

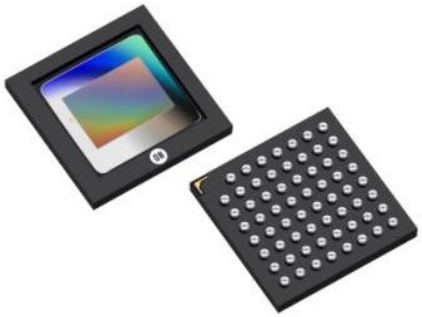


Рисунок 3.11 – Типорозміри матриць. Світлочутлива матриця виробництва ON Semicondactor для камер відеоспостереження

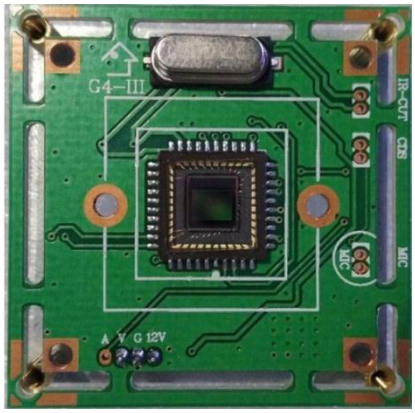


Рисунок 3.12 – Світлочутлива матриця, встановлена на платі відеокамери

На жаль, великоформатні матриці в масових камерах відеоспостереження зараз практично не використовуються в силу дорожнечі і самих матриць, і об'єктивів для них, які повинні мати більші лінзи і, відповідно, габарити і вартість. На сьогодні в камери встановлюють в основному матриці типорозміру 1/2 "- 1/4" (це самі крихітні). Вибираючи камеру, потрібно чітко розуміти, що купуючи ультрадешеву модель з 1/4 "матрицею виробництва SOI і крихітним об'єктивом з пластиковими лінзами сумнівною прозорості, ви не зможете створити систему відеоконтролю прийнятної якості, на якій можна було б добре розрізняти невеликі деталі знятих подій, особливо при зйомці в умовах слабкої освітленості.

Вибираючи камеру з матрицею типорозміру 1 / 2.8 "ви апріорі отримаєте набагато кращий результат за якістю відео, камеру з такою матрицею вже цілком можна використовувати в професійній системі відеоспостереження. І чутливість у такої камери буде свідомо вище, що дозволить краще знімати в умовах слабкої освітленості : в погану погоду, в сутінках, в напівтемному приміщенні і т.п. Зі збільшенням дозволу при тому ж розмірі матриці світлочутливість падає, і це теж потрібно враховувати при виборі. Для камери, встановленої в темному подвір'ї не у чорного ходу, має сенс вибрати матрицю з меншим дозволом і більш високою чутливістю, ніж камеру ультрависокого дозволу з низькою чутливістю матриці на якій через шуми нічого не можна буде розрізнити [21].

Світлочутливість. Світлочутливість матриці визначає можливість її роботи в умовах слабкого зовнішнього освітлення. З точки зору фізики це виглядає зовсім банально: чим менше світлової енергії досить для отримання зображення матрицею, тим вище її світлочутливість. Але, будемо відверті, гнатися за високою чутливістю вже особливо не варто. Справа в тому, що сучасні камери відеоспостереження благополучно переходять в режими «день / ніч», при зниженні освітленості переводячи матрицю в режим чорно-білого зображення з більш високою чутливістю. Плюс автоматичне включення інфрачервоного підсвічування дає камерам можливість відмінно знімати навіть в повній темряві. Наприклад, в закритому приміщенні без

вікон і з вимкненим світлом, коли про рівень якоюсь зовнішньою освітленості навіть мова не йде. Світлочутливість залишається критичною для камер позбавлених ІЧ підсвічування, але використовувати такі в сучасному відеоспостереження – не сучасно. Хоча корпусні моделі без підсвічування все ще продаються, звичайно.

Виробники придумали ряд технічних рішень, щоб поліпшити чутливість CMOS матриць і знизити втрати світла в процесі фіксації зображення. Для цього в основному використовується один принцип: винести світлочутливий елемент якомога ближче до мікролінз матриці, яка збирає світло. Спочатку компанія Sony запропонувала свою технологію Exmor, скоротила шлях проходження світла в матриці(рисунок 3.13) [22]:

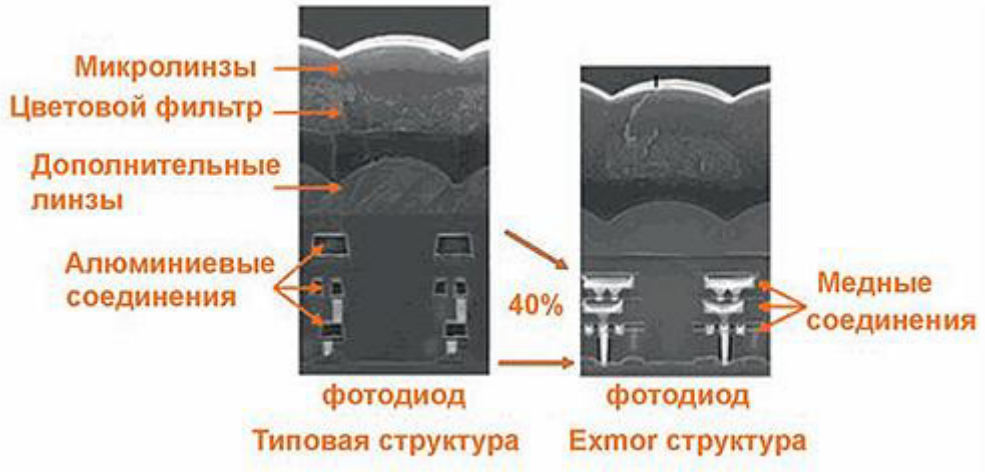


Рисунок 3.13 – Шлях проходження світла в матриці з різними матеріалами з’єднання

Потім прогресивні виробники перейшли на використання матриць зі зворотним засвіченням, що дозволяє не тільки скоротити шлях світла крізь матрицю, але і зробити корисну площу світлочутливого шару більше, розмістивши його над іншими електронними елементами в осередку:

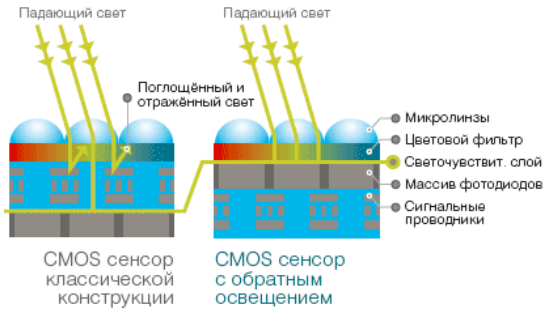


Рисунок 3.14 – Порівняння сенсора класичної конструкції та сенсора зі зворотнім засвіченням

Технологія зворотнього засвічення дає камері максимальну чутливість. Звідси висновок - «при інших рівних умовах» краще придбати камеру в якій використовується матриця зі зворотнім засвіченням, ніж без такої.

Для поліпшення зображення в умовах слабкого освітлення для слабкочутливих дешевих матриць виробники камер можуть використовувати різні хитрощі. Наприклад, режим «повільного затвора», а кажучи простіше - режим великої витримки. Однак «розмазування» контурів рухомих об'єктів вже на етапі фіксації зображення матрицею в такому режимі не дозволяє говорити про більш-менш якісної відеозйомки, тому такий підхід абсолютно неприйнятний в охоронному відеоспостереженні, де важливі деталі [23].

3.4 Infrared Proximity Sensor — Sharp GP2Y0A21YK

ІЧ-датчик відстані (рисунок 3.15) (від 10 до 80см)

Рисунок 3.15 – Інфрачервоний датчик близькості від компанії Sharp

GP2Y0A21YK - це ширококутний датчик вимірювання відстані.

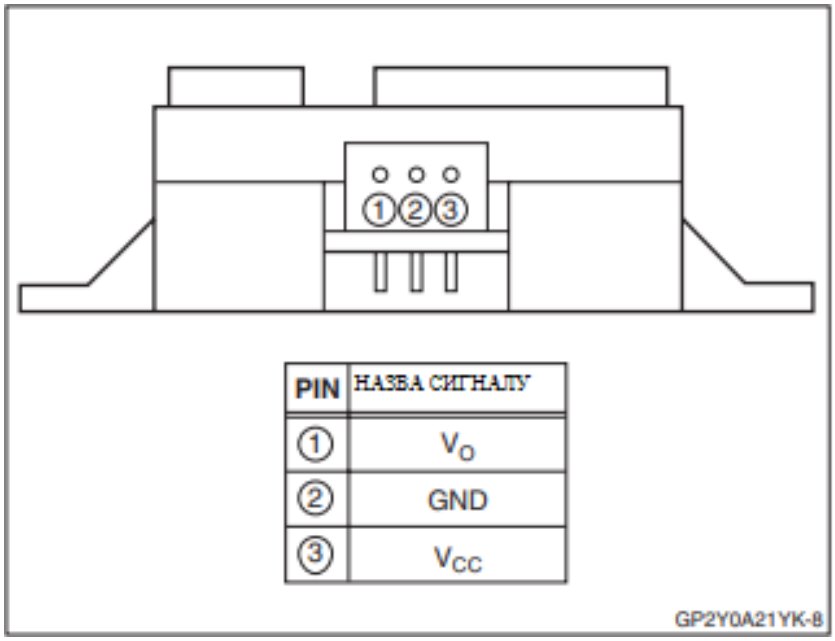


Рисунок 3.16 – Розріз GP2Y0A21YK

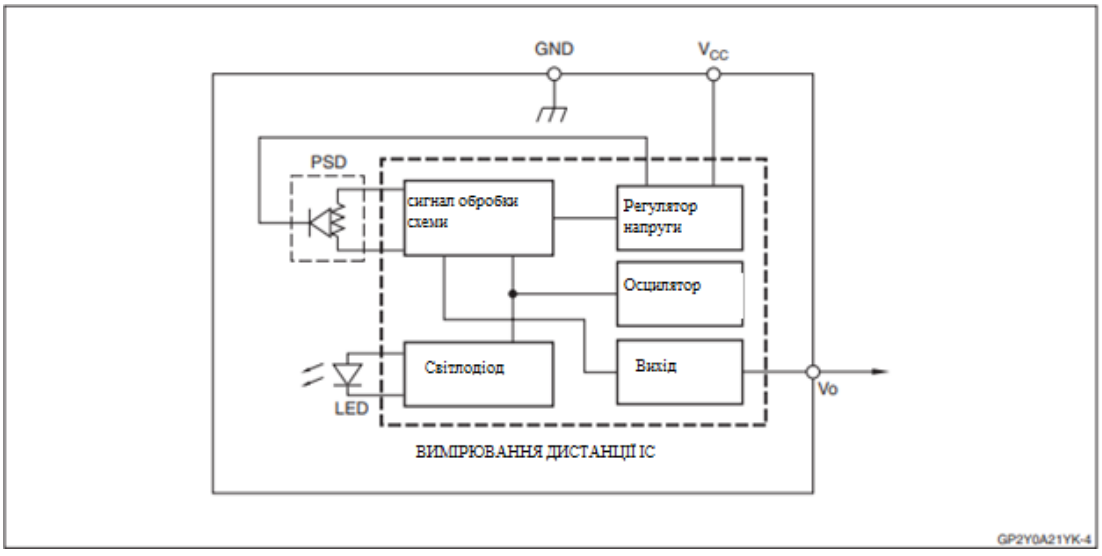


Рисунок 3.17 – Блок-схема

Електричні характеристики (рисунок 3.18).

Ta = 25°C, VCC = 5 VDC

ПАРАМЕТРИ	Позначення	Рейтинг	Один
Напруга живлення	V_{CC}	-0.3 to +7	V
Вихідна напруга клеми	V_O	-0.3 to (V_{CC} +0.3)	V
Робоча температура	Topr	-10 to +60	°C
Температура зберігання	Tstg	-40 to +70	°C

Рисунок 3.18 – Рейтинг абсолютних максимумів

ПАРАМЕТРИ	Позначення	Рейтинг	Один
Робоча напруга живлення	V_{CC}	4.5 to 5.5	V

Рисунок 3.19 – Робоча напруга живлення

Ta = 25°C, VCC = 5 VDC

ПАРАМЕТРИ	СИМВОЛ	УМОВИ	МІН.	ТИП.	МАКС.	ОДИН	Примітка
Вимірювання відстані	ΔL		10	-	80	cm	1, 2
Вимірювання напруги клеми	V_O	L = 80 cm	0.25	0.4	0.55	V	1, 2
Різниця напруги на виході	ΔV_O	Зміна вихідних даних ΔL (80 cm - 10 cm)	1.65	1.9	2.15	V	1, 2
Середній струм подачі	I_{CC}	L = 80 cm	-	30	40	mA	1, 2

Рисунок 3.20 – Електрооптичні характеристики

Використання світловідбиваючого предмета: білий папір, сірі картки R-27, біле обличчя, коефіцієнт відбиття: 90%, L = Відстань до відбиваючого предмета [24].

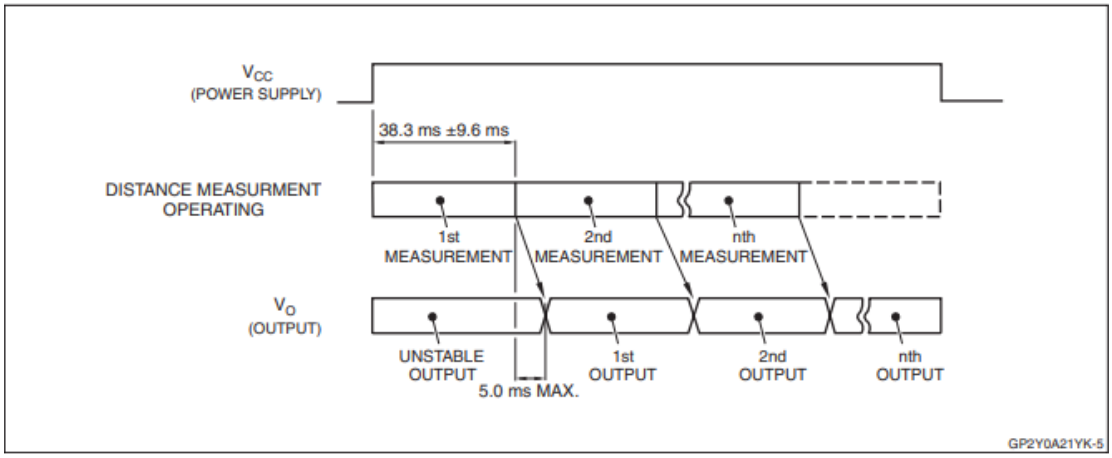


Рисунок 3.21 – Діаграма часу

Надійність.Надійність вимог цього пристрою наведені на рисунку 3.22.

ПАРАМЕТРИ	УМОВИ ТЕСТУВАННЯ	КРИТЕРІЇ РІШЕННЯ ВІДПОВІДЬ	ЗРАЗКИ ВИЗНАЧЕНО (n), (C)
Температура цикла	один цикл -40°C (30 хв.) до +70°C за 30 хв., повторюваний 25 разів	початкові × 0.8 > ΔV_O ΔV_O >початк. х 1.2	n = 11, C = 0
Зберігання високої температури та підвищеної	+40°C, 90% RH, 500h		n = 11, C = 0
Зберігання високих температур	+70°C, 500h		n = 11, C = 0
Термін зберігання при низьких температурах	-40°C, 500h		n = 11, C = 0
Робота (висока температура)	+60°C, V_{CC} = 5 V, 500h		n = 11, C = 0
Механічний удар	100 m/s², 6.0 ms 3 рази +/±X, ±Y, ±Z напрямок		n = 6, C = 0
Вібрація змінної частоти	10-to-55-to-10 Hz в 1 хв амплітуда: 1.5 мм 2h in each X, Y, Z напрямок		n = 6, C = 0

Рисунок 3.22 – Надійність [25]

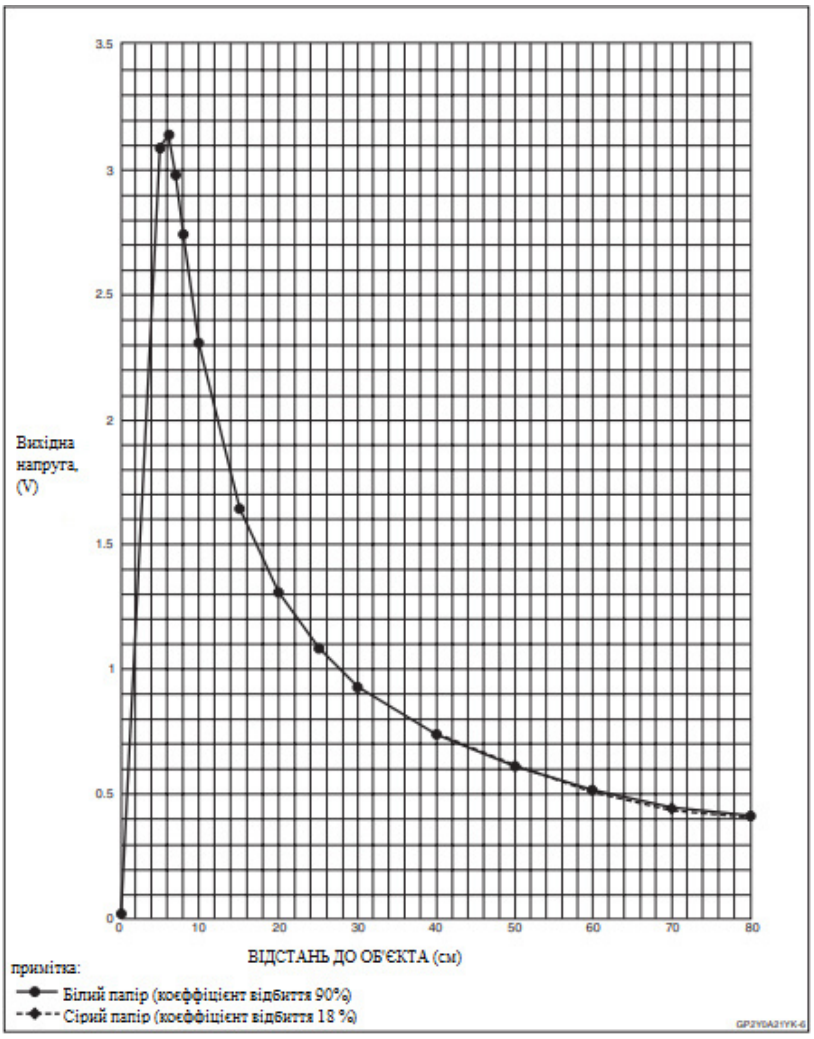


Рисунок 3.23 – GP2Y0A021YK Приклад характеристики вихідної відстані

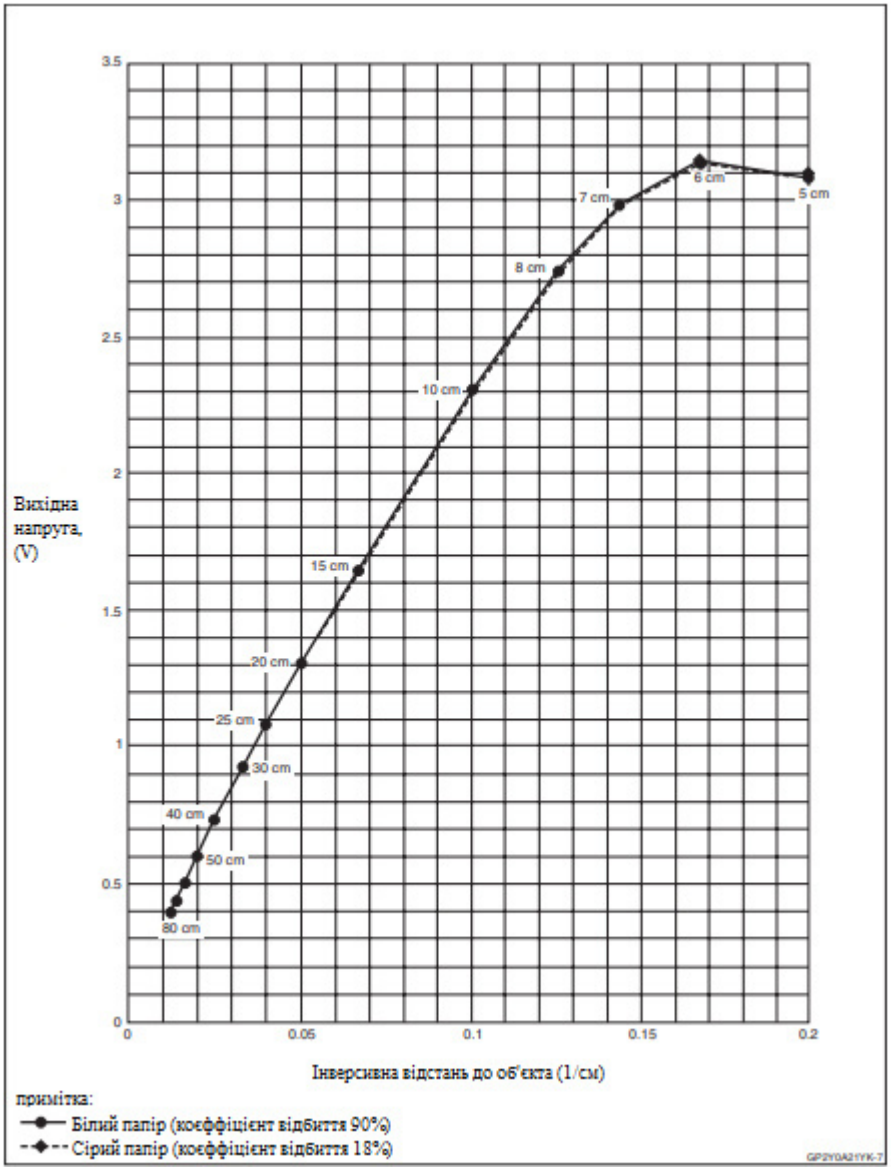


Рисунок 3.24 – GP2Y0A021YK Приклад характеристик виводу із зворотною кількістю відстані

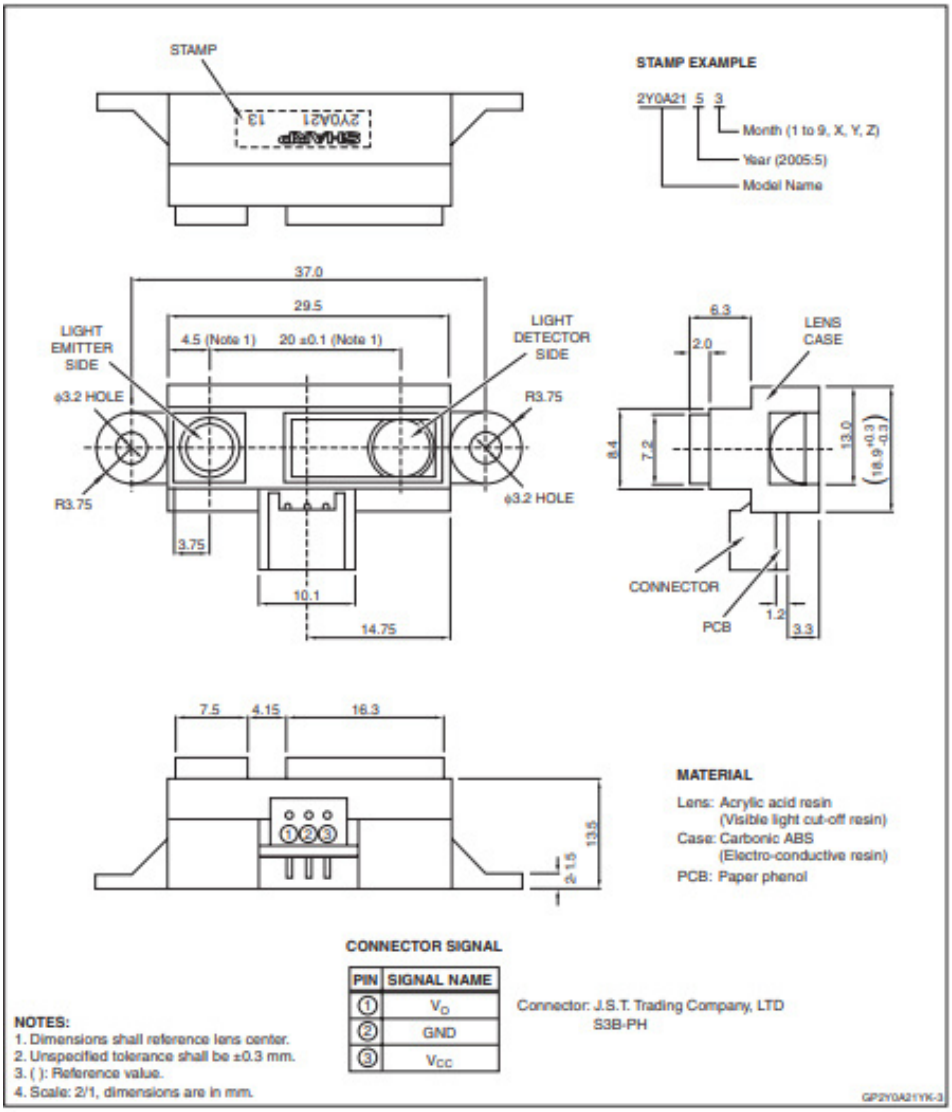


Рисунок 3.25 – Специфікація GP2Y0A021YK[26]

3.5 Інші компоненти системи

USB HUB — для підключення камери та arduino одному кабелю; ORduino Nano — ATMega168; Logitech B910 HD Webcam; Два транзистори; резистори 4.7кОм, 6-470Ом; 6 ІЧ-діодів 850нм; Фототранзистор; USB B роз'єм; ІЧ-фільтр 850 нм; USB-кабель [27].

3.6 Схема підключення всіх компонентів

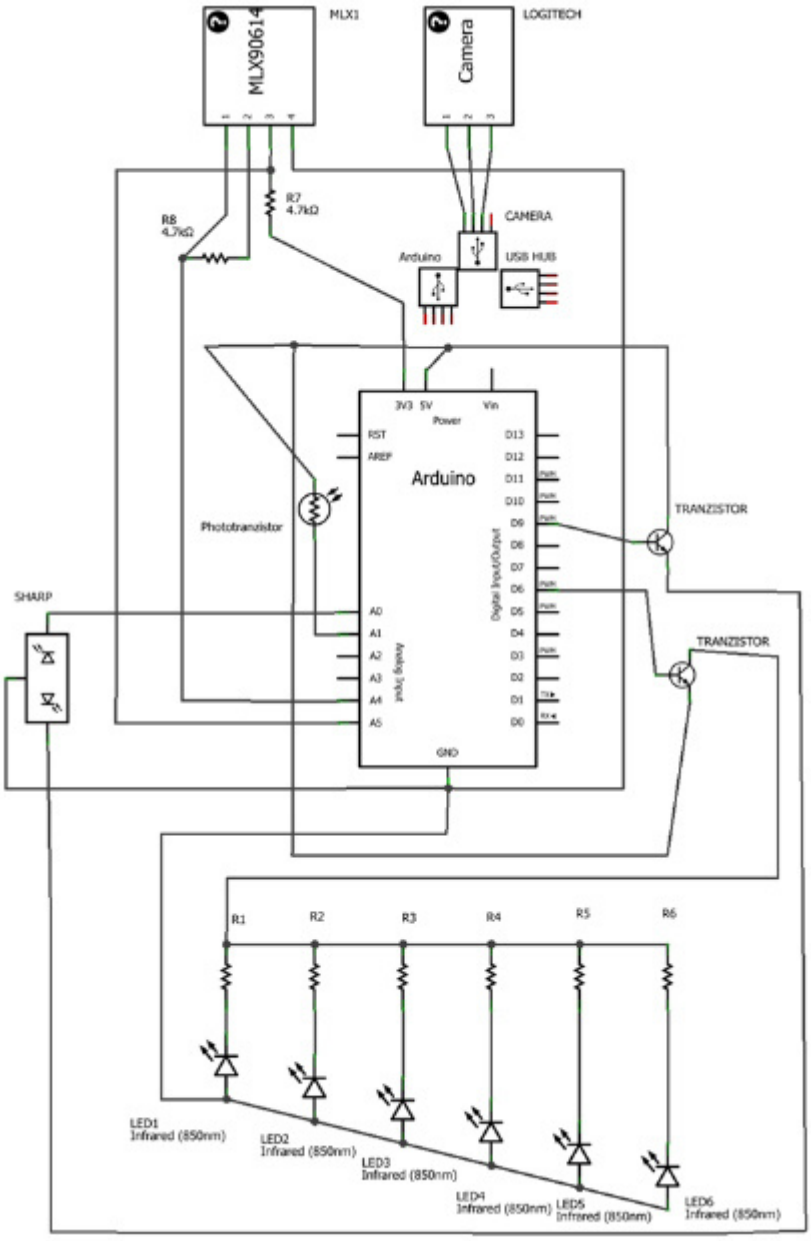


Рисунок 3.26 – Схема підключення

Процес складання полягав в випилюванні в центрі корпусу кола меншого діаметра ніж ІЧ-фільтр. Потім фільтр був приклеєний на клей (супер-момент). Спочатку замість супер-моменту використувався клеючим пістолетом, але камера сильно нагрівалася (особливість Logitech B910) і клей переставав тримати. Випилювати отвір для ІК-термометра. Також з коробки від ІК-фільтра було зроблено «кріплення» для сенсора відстані. Камера була

розібрана і мінімізована за рахунок видалення корпусу і каркаса, залишилася тільки плата. З об'єктива камери був видалений ІК-фільтр, який не пропускав ІК промені. Далі камера була також встановлена на дно корпусу за допомогою клею. Навколо камери симетрично встановив ІЧ-діоди. Щоб не було засвічення від діодів на об'єктиві камери, від об'єктива нарощено із залишків корпусу і двостороннього скотчу, щось подібне до кожуха до ІЧ-фільтра [28].

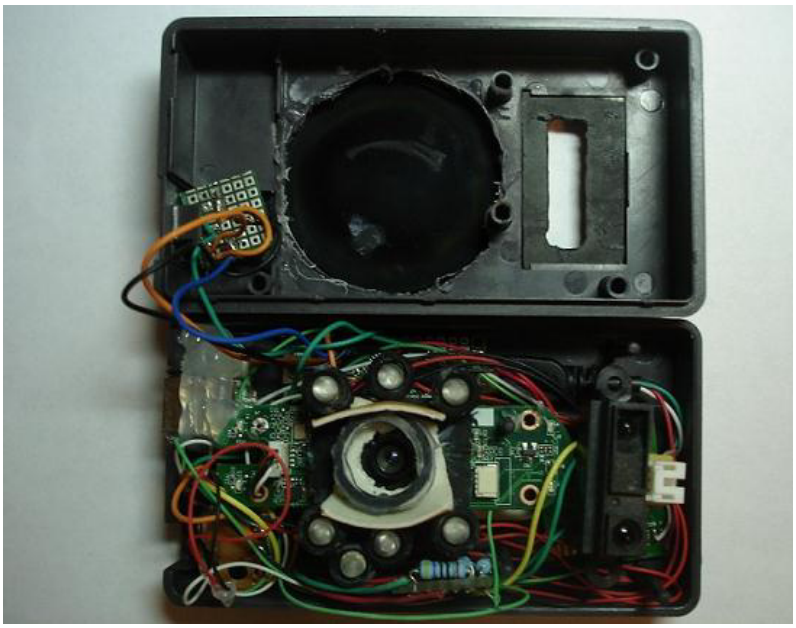


Рисунок 3.27 – Сбірка

Рисунок 3.28 – Пристрій у збірці [29]

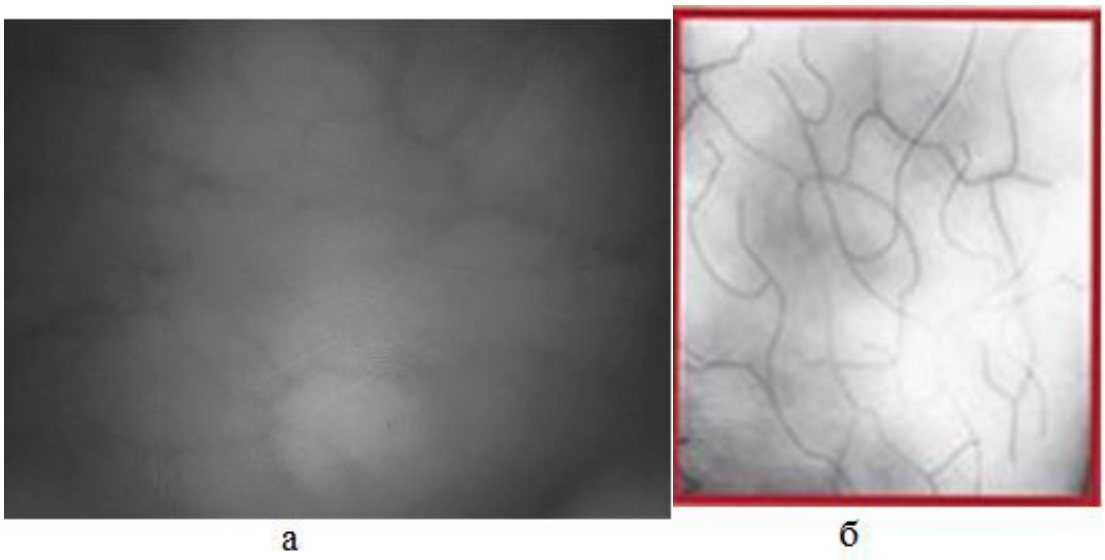
3.7 Програмне забезпечення

Arduino. Управління всіма компонентами пристрою (крім камери) повинне здійснювати arduino. Це датчик відстані, температурний датчик і ІЧ-підсвічування. У сукупності алгоритм роботи полягає в наступному: з ПК надходить команда про старт роботи сенсора відстані і температурного датчика з подальшим виведенням їх значень в порт, як тільки значення датчика збігаються з занесеними значеннями в ПК, відбувається відключення датчика відстані (його промінь робить засвічення на одержуваних зображеннях).

Далі якщо значення збіглися: включається ІЧ-підсвічування; робиться знімок; вимикається ІЧ-підсвічування; перехід до початкового етапу [30].

3.8 Отримані зображення зі сканера при різних умовах

На рисунку 3.29 представлені зображення вен долоні при впливі на судини різних температур.



а) знімок судин при кімнатній температурі (23°С);

б) знімок судин при температурі 0 °С [31]

Рисунок 3.29 – Отримувані зображеннями з пристрою

Від зміни температури стан судин змінюється, від цього показники спрацьовування сканера можуть змінюватися. Задачею було з’ясувати максимальне відхилення при скануванні, а також чи завадить звуження та розширення судин правильному спрацюванню сканера.

Після того, як було розглянуто кожен компонент системи контролю контингенту у навчальному закладі та отримані знімки зі сканера, було прийнято рішення знайти методи підвищення контрастності зображення. Методи, які можливо застосувати до данної системи описані у четвертому розділі.

4 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ

4.1 Збільшення контрастності зображення

Контрастність монохромного зображення можна визначити як

$$C = z_{max} - z_{min}, \tag{4.1}$$

де z_{max}, z_{min} — відповідно максимальна і мінімальна яскравість пікселів на зображенні.

Относительная контрастность

$$C_{i\,oi=} \frac{N}{z_m}, \tag{4.2}$$

де z_m=255 — максимально можлива яскравість.

Зі співвідношення (1) видно, що контрастність может бути оцінена як для всього зображення глобальна контрастність), так і для будь то годину ти зображення (локальна контрастність). Зокрема, для контрасту фрагментів під z_{max}, z_{min} розуміються відповідно яскравості пікселів сусідніх фрагментів на лінії їх поділу.

Під різкістю прийнято розуміти відношення різниці яркостей сусідніх фрагментів, т. е. Їх контрастність, до ширини контурної лінії, раз ділячи ці фрагменти, т. е. фактично про просторову похідну яскравості. очевидно, що на відміну від контрастності різкість може бути тільки локальної. Виходячи з даного визнаділення різкість можна підвищити, або скоротивши ширину контурної лінії, або збільшивши контраст ність фрагментів, причому підвищення контрастності завжди призводить до збільшення різкості.

Методи збільшення контрастності і, як слідствие, збільшення різкості можна розділити на глобальні, в основі яких лежить преобразование шкали

яскравості, і адаптивні, в яких величина зміни яскравості кожного пікселя залежить від характеристики навколишньої його околиці.

У глобальних методах підвищення контрастності проводиться лінійне або статечне перетворення шкали яскравості. Якщо діапазон яскравості зображення менше, ніж максимально можливий z_m, то збільшення контрастності можна отримати лінійним розтягуванням шкали яскравості [32]

$$z' = \frac{z - z_{min}}{C_{i\,oi}}, \tag{4.3}$$

де z, z' — яскравість пікселя до і після перетворення.

В результаті гістограма яскравості стане більш рідкою, а різниця яскравості сусідніх фрагментів збільшиться.

Якщо діапазон яскравості зображення вже максимальний, то збільшення розрізнення сусідніх фрагментів можна домогтися за рахунок нелінійного перетворення шкали яскравості методом гамма-корекції або соляризації. Гамма-корекція [33], або статечне перетворення шкали яскравості:

$$z' = z_m k^n, \tag{4.4}$$

де $k = \frac{z}{z_m}$ — відносна яскравість, дозволяє збільшити контрастність в локальному діапазоні яркостей за рахунок зниження контрастності в інших діапазонах (рис. 5.1).

Якщо відомо, що погано помітні фрагменти мають високу яскравість, то слід вибрати значення n для (2) з діапазону {2 ... 10}, в іншому випадку діапазон вибору для значення n — {0,1 ... 0,5}.

4.2 Метод соляризації

$$z' = 4\frac{z}{z_m}(z_m - z), \tag{4.5}$$

Метор дозволяє ще більше збільшити розрізнення сусідніх фрагментів за рахунок злиття яскравості фрагментів, симетрично розташованих на шкалі яскравості щодо її середини (рис. 4.2), причому знижується розрізнення фрагментів, що мають яскравість, близьку до середньої.

Приклади підвищення контрастності наведені на рис. 4.3. Особливість вихідного зображення полягає в тому, що при загальній недостатній освітленості є кілька дрібних фрагментів максимальної яскравості (сніг на карнизах і підвіконнях). Застосування гамма-корекції дозволяє краще побачити гілки дерева в лівому верхньому кутку, а після соляризації можна розглянути і структуру фіранок на вікнах. Наведені гістограми яскравості оброблених зображень виявляються зріджені в порівнянні з гістограмою вихідного зображення.

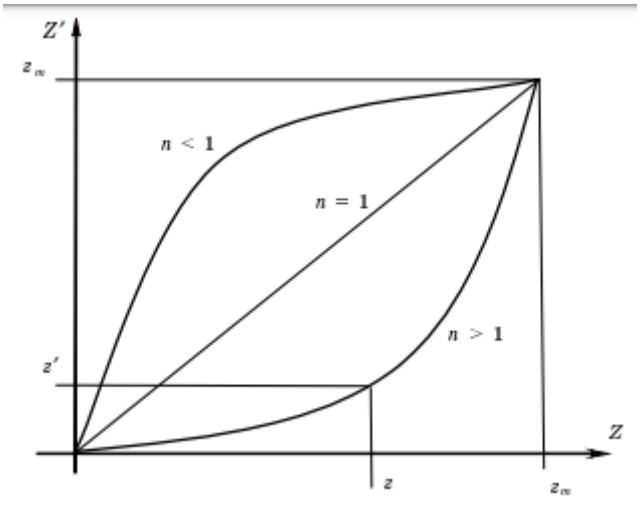


Рисунок 4.1 — Гамма-кореляції шкали яскравості

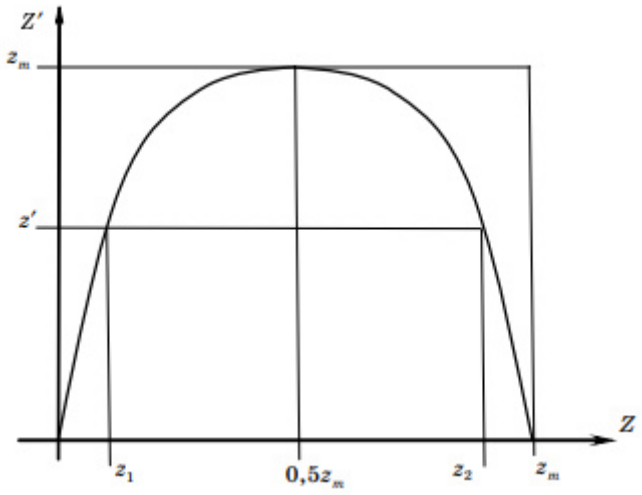


Рисунок 4.2 — Соляризація шкали яскравості

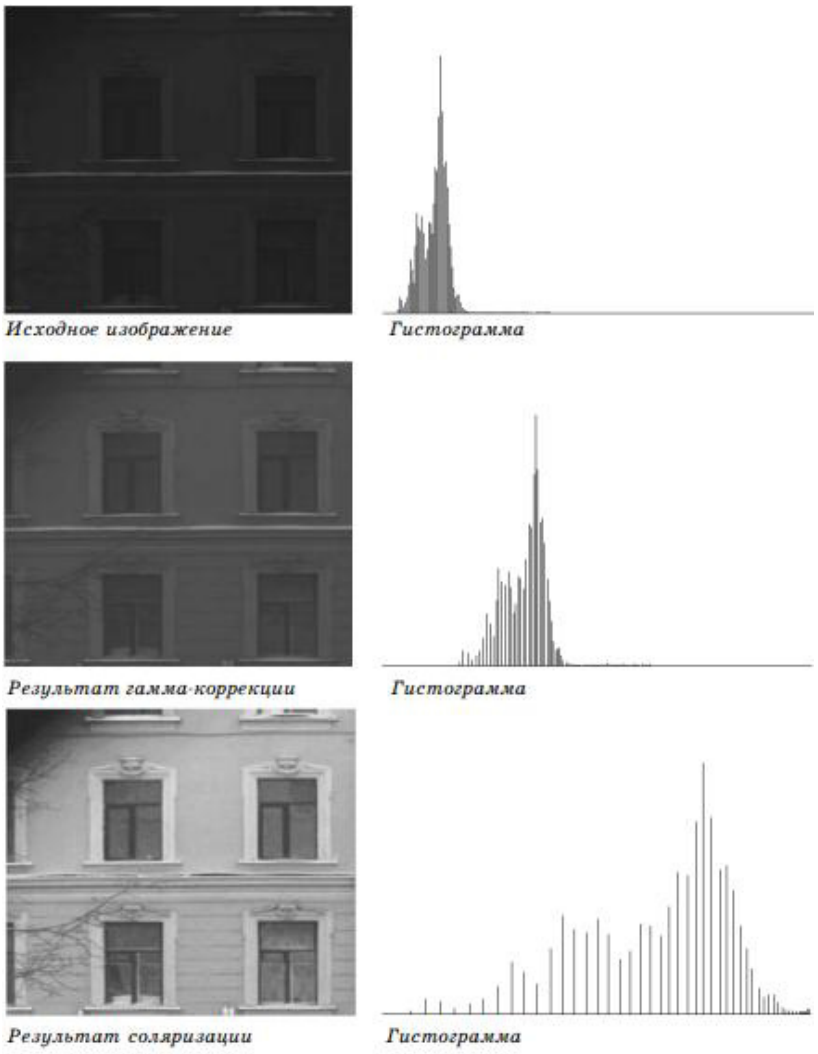


Рисунок 4.3 — Нелінійне перетворення шкали яскравості

Методи підвищення контрастності є досить ефективними, так як в більшості не вимагають настройки параметрів і дуже швидко виконуються. Останнє обставина пояснюється тим, що порівняно складного перетворенню піддається тільки шкала яскравості, а яскравість кожного пікселя обробленого зображення залежить від яскравості тільки одного пікселя вихідного зображення.

На відміну від глобальних методів підвищення контрастності її адаптивне підвищення вимагає установки ряду параметрів і значно більшого часу на обробку.

4.3 Метод з використанням Лапласіан

Візуального ефекту підвищення контрастності при розфокусуванні великих фрагментів можна домогтися шляхом підкреслення контуру, наприклад, широко відомим методом з використанням Лапласіан [32]. В даному методі яскравість поточного пікселя обробленого зображення визначається як різниця яскравості відповідного пікселя вихідного зображення і другої похідної яскравості даного пікселя в деякому околі з урахуванням знака. В результаті яскравість пікселя, що знаходиться на початку області перепаду від меншої яскравості до більшої, зменшується, а яскравість пікселя в кінці цієї області збільшується. В результаті збільшується контрастність контурної лінії і візуально посилюється різкість зображення (рис. 4.4). Основним недоліком цього методу є відсутність вибірковості, тобто ступінь підвищення різкості постійна для всього зображення і не залежить від контрастності сусідніх фрагментів.

Рисунок 4.4 — Збільшення різкості лапсасіаном

Хороші результати дає адаптивне збільшення контрастності на основі локального контрасту околиці, який обчислюється [34] як

$$C_z = \frac{|z - z_c|}{z + z_c}, \tag{4.6}$$

де, z_c — середня яскравість деякому околі пікселя яскравістю z.

Нелінійне посилення локального контрасту задається як

$C_z^* = f(C_z)$, де $f(C_z)$ — нелінійна, монотонна функція, яка задовольняє умовам $f(C_z) > C_z$, $C_z = 0 \ldots 1$, $f(C_z) = 0 \ldots 1$. В якості опції f можна вибрати ступеневу функцію

$$C_z^* = C_z^n, \tag{4.7}$$

де n = 0,1 ... 1,0.

Графік такої функції збігається з представленим на рис. 1 графіком гамма-корекції для n <1. Результуюча яскравість центрального пікселя околиці обчислюється по наступним співвідношенням:

$$z' = \begin{cases} z_c \frac{1-C_z^*}{1+C_z^*} \text{ при } z < z_c \\ z_c \frac{1+C_z^*}{1-C_z^*} \text{ при } z > z_c \end{cases}, \quad (4.8)$$

З (4) випливає, що при n = 1 $C_z^* = C_z$ і відповідно $z' = z$. Чим менше n, тим більше C_z^* щодо C_z, а два варіанти обчислення z' в залежності від співвідношення z і z_c дозволяють збільшити контрастність граничних пікселів сусідніх фрагментів з близької яскравістю, практично не змінюючи яскравості пікселів добре помітних фрагментів.

4.4 Метод адаптивного підвищення контрастності

В (3) значення n залишається постійним при будь-яких значеннях локальних контрастів, що призводить до небажаного збільшення контрастності шумовий складової зображення. Позбутися від цього недоліку можна, вибираючи для кожного пікселя значення n в залежності від характеристик локальної околиці, тобто. використовуючи адаптивну ступінь посилення локального контрасту n_z. Наприклад, можна обчислювати n_z як [35]

$$n_z = n_{min} + (n_{max} - n_{min})^* k_n^8, \quad (4.9)$$

де n_{min}, n_{max} - мінімальне і максимальне значення ступеня n відповідно (n_{min} = 0,1 ... 0,3; n_{max} = 0,7 ... 0,9);

k_n - коефіцієнт адаптації (k_n = 0 ... 1); s - постійний статечної коефіцієнт (s>1).

Згідно (3), максимальне посилення локального контрасту досягається при k_n = 0, тобто. при n = n_{min}, а мінімальне - при k_n = 1, тобто при n = n_{max}.

Як характеристик локальної околиці пікселя пропонується використовувати протяжність гістограми H_z, ентропію ε_z або середньоквадратичне відхилення яскравості σ_z [5]. Слід зазначити, що розміри околиці для обчислення цих характеристик можуть істотно перевищувати розміри околиці для обчислення контрасту. Рекомендований в роботі [36] розмір становить від 15 до 29 пікселів.

Протяжність гістограми локальній околиці визначається [36] як

$$H_z = \frac{L_{max} - L_{min}}{H_{max}}, \tag{4.10}$$

де L_{min}, L_{max} - мінімальне і максимальне значення яскравості в околиці відповідно;

H_{max} - максимальне значення гістограми яскравості околиці.

В даному випадку під гістограмою яскравості околиці розуміється функція H(L), тобто, число пікселів в околиці, що мають яскравість L.

З (6) випливає, що фрагменти з постійною яскравістю мають $H_z = 0$, так як на них $L_{min} = L_{max}$. Фрагменти з рівномірною гистограммой і максимально можливим діапазоном яскравості мають $H_z = 255$ за умови, що число пікселів околиці $N > 255$ (розмір околиці 16 × 16 пікселів і більше), так як на них, орієнтовно, $L_{min} = 0$, $L_{max} = 255$, $H_{max} = 1$. у фрагментів з бімодальною гистограммой H_z залежить від діапазону яркостей і співвідношення числа пікселів в околиці мінімальної і максимальної яскравості. За умови рівності цих чисел 2, H_z $N\,\Delta = \text{де}\,\Delta$ - діапазон яскравості. Бажано визначити k_n так, щоб $k_n = 1$ при $H_z = 0$; $k_n \to 0$ при $H_z \to a$ і $k_n \to 1$ при $H_z \to 1$ і більше. Даному умові відповідає рівняння.

$$k_n = 1 - \exp\left[-\frac{(H_z - a)^2}{2 \times 0{,}14^2}\right], \tag{4.11}$$

Відомо [35], що хороші результати можна отримати при $a = 0{,}5$.

Ентропія околиці пікселя [36]

$$\varepsilon_z = \frac{\sum_{i=1,N} P_i \log_2(P_i)}{\log_2(N)}, \tag{4.12}$$

де $P_i = \frac{H(L_i)}{N}$, —значення гістограми яскравості крестності при $L = L_i, i$ — номер пікселя з околиці z ($i = 1 \dots N$).

З (7) випливає, що ентропія набуває мінімального значення на однорідних фрагментах, а максимальне - на фрагментах з елементами, значення яркостей яких знаходяться на протилежних краях діапазону. В такому випадку можна задати k_n наступним чином:

$$k_n = \frac{\varepsilon_z - \varepsilon_{min}}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}, \tag{4.13}$$

де ε_{max}, ε_{min} —відповідно максимальне і мінімальне значення ентропії околиць по всьому зображенню.

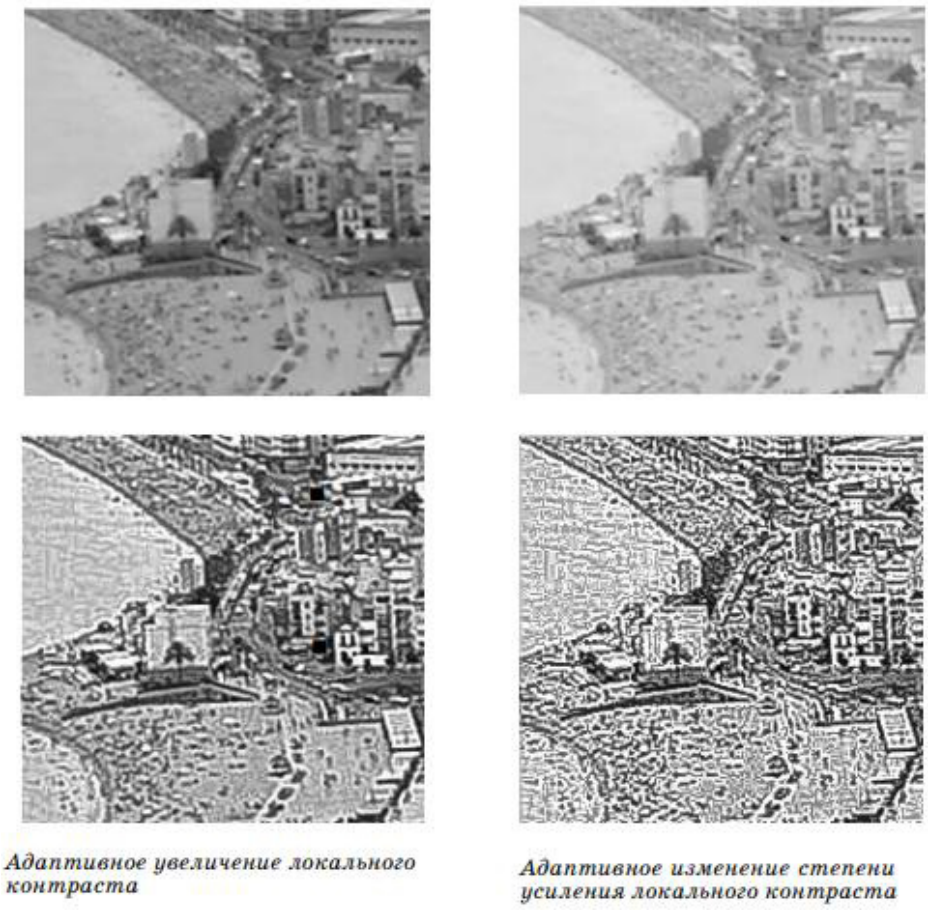


Рисунок 4.5 — Адаптивне збільшення контрастності

Середньоквадратичне відхилення яскравості локальній околиці

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1,N}(z_i - z_c)^2}\,, \qquad (4.14)$$

де z_i - яскравість пікселя з заданої околиці;

z_c - середня яскравість околиці;

N - число пікселів в околиці.

Згідно (9), середньоквадратичне відхилення веде себе аналогічно попередньої характеристиці локальній околиці, отже, для обчислення k_n цілком можна використовувати формулу (8), замінивши ε на відповідні σ.

На рис. 5.5 наведено приклад обробки зображення з дрібними, погано помітними деталями різними адаптивними методами підвищення

контрастності. В результаті обробки виявилася опрацьована структура хвиль на поверхні моря і підкреслені контури дрібних об'єктів.

Слід зазначити, що наведений вище підхід до визначення k_n для (5) порівняно мало відомий і ще не досить вивчений. Для дослідження можливостей адаптивного збільшення контрастності був створений програмний продукт у вигляді Windows додатки, який реалізує описані вище методи. Продукт дозволяє підбирати параметри і наочно порівнювати результати обробки растрових монохромних зображень з погано помітними фрагментами різними методами. Представлені на рис. 5.3-5.5 зображення отримані за допомогою даної програми.

5 ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ВЕН ДОЛОНІ

5.1 Адаптивне збільшення контрастності на прикладі масивів чисел.

Приведені випадкові числа відношення сигнал- шум. Взято 5 абсолютно різних відношень, на основі яких були побудовані масиви чисел в Excel. Потім були визначені їх максимуми. Масив чисел множився у декілька разів, і від результатів було віднято максимуми початкових масивів.

$$a := \begin{pmatrix}
13 & 8 & 8 & 10 & 9 & 15 & 11 & 6 & 10 & 9 & 13 & 11 & 5 & 10 & 13 & 11 & 9 & 12 & 8 & 11 \\
15 & 9 & 6 & 6 & 6 & 13 & 16 & 7 & 14 & 9 & 7 & 12 & 17 & 10 & 11 & 10 & 10 & 10 & 9 & 13 \\
9 & 7 & 7 & 12 & 13 & 11 & 9 & 13 & 10 & 9 & 8 & 8 & 10 & 17 & 7 & 8 & 14 & 12 & 14 & 7 \\
8 & 11 & 11 & 12 & 13 & 11 & 8 & 8 & 8 & 13 & 4 & 15 & 10 & 4 & 7 & 14 & 12 & 7 & 11 & 10 \\
5 & 7 & 16 & 18 & 19 & 17 & 17 & 12 & 28 & 20 & 20 & 23 & 10 & 9 & 13 & 6 & 8 & 9 & 10 & 9 \\
15 & 7 & 21 & 23 & 18 & 19 & 21 & 17 & 34 & 35 & 17 & 23 & 7 & 9 & 12 & 10 & 6 & 14 & 13 & 5 \\
6 & 7 & 18 & 18 & 21 & 22 & 21 & 15 & 25 & 16 & 17 & 15 & 10 & 9 & 10 & 4 & 12 & 9 & 12 & 16 \\
9 & 5 & 20 & 24 & 18 & 22 & 21 & 17 & 28 & 29 & 25 & 18 & 12 & 12 & 16 & 14 & 12 & 11 & 7 & 10 \\
12 & 14 & 23 & 16 & 21 & 17 & 22 & 16 & 14 & 20 & 18 & 22 & 14 & 8 & 14 & 14 & 13 & 7 & 13 & 9 \\
11 & 6 & 16 & 25 & 21 & 20 & 17 & 16 & 22 & 26 & 25 & 21 & 13 & 7 & 7 & 10 & 10 & 9 & 14 & 10 \\
15 & 13 & 21 & 18 & 21 & 16 & 21 & 23 & 23 & 21 & 16 & 10 & 4 & 9 & 10 & 10 & 16 & 6 & 4 & 12 \\
7 & 12 & 20 & 9 & 15 & 31 & 20 & 25 & 20 & 18 & 27 & 24 & 8 & 6 & 7 & 9 & 6 & 8 & 10 & 14 \\
10 & 14 & 24 & 14 & 16 & 21 & 19 & 28 & 16 & 17 & 19 & 21 & 3 & 7 & 9 & 10 & 16 & 6 & 11 & 11 \\
10 & 8 & 25 & 16 & 20 & 22 & 23 & 23 & 12 & 20 & 15 & 18 & 7 & 10 & 8 & 15 & 10 & 10 & 11 & 10 \\
10 & 12 & 13 & 8 & 10 & 8 & 17 & 12 & 12 & 15 & 8 & 16 & 7 & 14 & 6 & 4 & 4 & 12 & 11 & 5 \\
15 & 9 & 7 & 14 & 12 & 11 & 9 & 13 & 8 & 16 & 13 & 8 & 14 & 12 & 13 & 8 & 9 & 12 & 9 & 8 \\
9 & 8 & 11 & 8 & 9 & 8 & 11 & 8 & 9 & 12 & 2 & 7 & 8 & 6 & 7 & 13 & 7 & 12 & 14 & 6 \\
14 & 8 & 6 & 9 & 13 & 7 & 14 & 12 & 13 & 8 & 7 & 17 & 9 & 16 & 5 & 9 & 13 & 13 & 12 & 9 \\
9 & 10 & 14 & 11 & 11 & 13 & 11 & 8 & 13 & 7 & 11 & 9 & 14 & 6 & 7 & 11 & 8 & 12 & 9 & 10 \\
13 & 9 & 12 & 8 & 5 & 8 & 5 & 13 & 14 & 12 & 11 & 8 & 12 & 10 & 6 & 13 & 12 & 14 & 10 & 9
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.1 — Масив першого прикладу , сигнал 20, шум 10

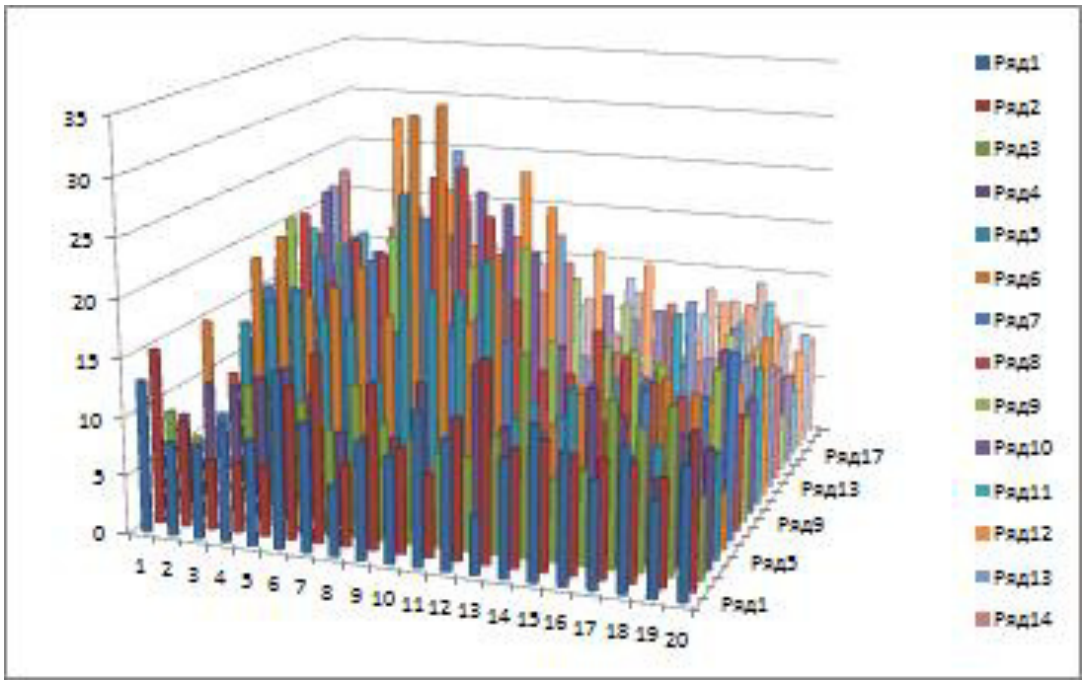


Рисунок 5.2 — Гістограма масиву першого прикладу до перетворення

За допомогою програми Matcad з масиву чисел було побудовано малюнок прикладу. Використана функція WRITEBMP для всіх масивів.

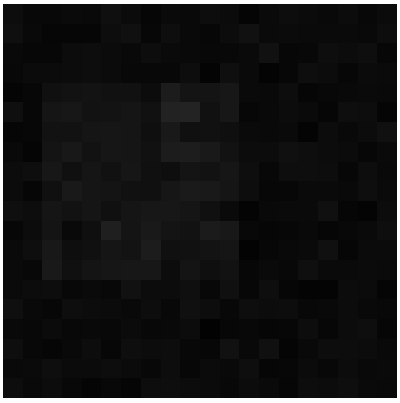


Рисунок 5.3 — Зображення масиву першого прикладу, отриманий за допомогою програми Matcad

$$b := \begin{pmatrix}
56 & 21 & 21 & 35 & 28 & 70 & 42 & 7 & 35 & 28 & 56 & 42 & 0 & 35 & 56 & 42 & 28 & 49 & 21 & 42 \\
70 & 28 & 7 & 7 & 7 & 56 & 77 & 14 & 63 & 28 & 14 & 49 & 84 & 35 & 42 & 35 & 35 & 35 & 28 & 56 \\
28 & 14 & 14 & 49 & 56 & 42 & 28 & 56 & 35 & 28 & 21 & 21 & 35 & 84 & 14 & 21 & 63 & 49 & 63 & 14 \\
21 & 42 & 42 & 49 & 56 & 42 & 21 & 21 & 21 & 56 & -7 & 70 & 35 & -7 & 14 & 63 & 49 & 14 & 42 & 35 \\
0 & 14 & 77 & 91 & 98 & 84 & 84 & 49 & 161 & 105 & 105 & 126 & 35 & 28 & 56 & 7 & 21 & 28 & 35 & 28 \\
70 & 14 & 112 & 126 & 91 & 98 & 112 & 84 & 203 & 210 & 84 & 126 & 14 & 28 & 49 & 35 & 7 & 63 & 56 & 0 \\
7 & 14 & 91 & 91 & 112 & 119 & 112 & 70 & 140 & 77 & 84 & 70 & 35 & 28 & 35 & -7 & 49 & 28 & 49 & 77 \\
28 & 0 & 105 & 133 & 91 & 119 & 112 & 84 & 161 & 168 & 140 & 91 & 49 & 49 & 77 & 63 & 49 & 42 & 14 & 35 \\
49 & 63 & 126 & 77 & 112 & 84 & 119 & 77 & 63 & 105 & 91 & 119 & 63 & 21 & 63 & 63 & 56 & 14 & 56 & 28 \\
42 & 7 & 77 & 140 & 112 & 105 & 84 & 77 & 119 & 147 & 140 & 112 & 56 & 14 & 14 & 35 & 35 & 28 & 63 & 35 \\
70 & 56 & 112 & 91 & 112 & 77 & 112 & 126 & 126 & 112 & 77 & 35 & -7 & 28 & 35 & 35 & 77 & 7 & -7 & 49 \\
14 & 49 & 105 & 28 & 70 & 182 & 105 & 140 & 105 & 91 & 154 & 133 & 21 & 7 & 14 & 28 & 7 & 21 & 35 & 63 \\
35 & 63 & 133 & 63 & 77 & 112 & 98 & 161 & 77 & 84 & 98 & 112 & -14 & 14 & 28 & 35 & 77 & 7 & 42 & 42 \\
35 & 21 & 140 & 77 & 105 & 119 & 126 & 126 & 49 & 105 & 70 & 91 & 14 & 35 & 21 & 70 & 35 & 35 & 42 & 35 \\
35 & 49 & 56 & 21 & 35 & 21 & 84 & 49 & 49 & 70 & 21 & 77 & 14 & 63 & 7 & -7 & -7 & 49 & 42 & 0 \\
70 & 28 & 14 & 63 & 49 & 42 & 28 & 56 & 21 & 77 & 56 & 21 & 63 & 49 & 56 & 21 & 28 & 49 & 28 & 21 \\
28 & 21 & 42 & 21 & 28 & 21 & 42 & 21 & 28 & 49 & -21 & 14 & 21 & 7 & 14 & 56 & 14 & 49 & 63 & 7 \\
63 & 21 & 7 & 28 & 56 & 14 & 63 & 49 & 56 & 21 & 14 & 84 & 28 & 77 & 0 & 28 & 56 & 56 & 49 & 28 \\
28 & 35 & 63 & 42 & 42 & 56 & 42 & 21 & 56 & 14 & 42 & 28 & 63 & 7 & 14 & 42 & 21 & 49 & 28 & 35 \\
56 & 28 & 49 & 21 & 0 & 21 & 0 & 56 & 63 & 49 & 42 & 21 & 49 & 35 & 7 & 56 & 49 & 63 & 35 & 28
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.4 — Масив першого прикладу після перетворення

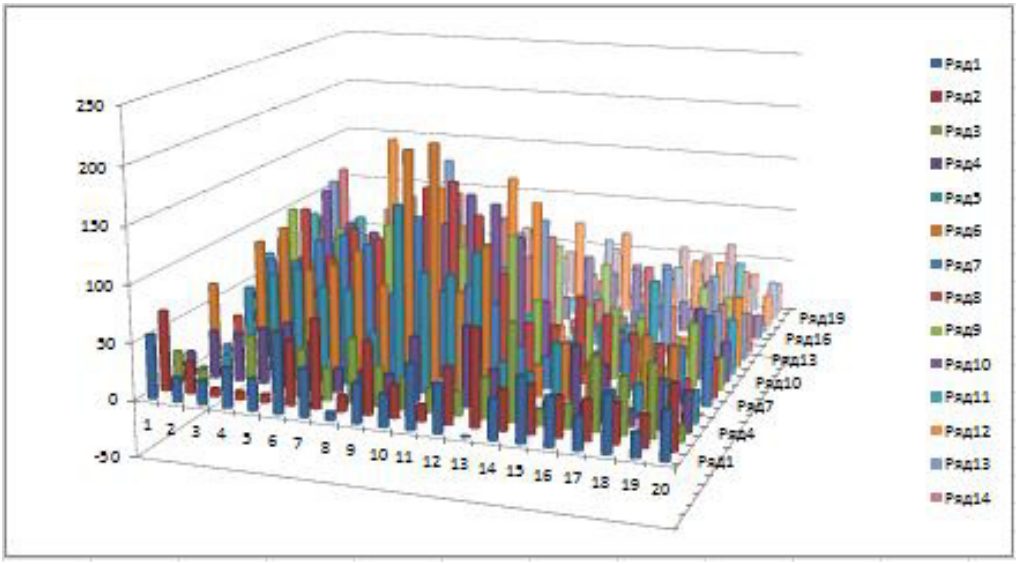


Рисунок 5.5 — Гістограма масиву першого прикладу після перетворення

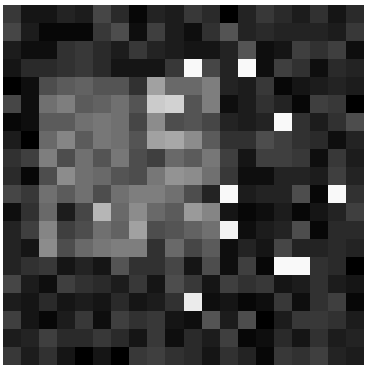


Рисунок 5.6 — Зображення першого прикладу після перетворення

$$c :=$$

19	6	7	6	13	13	8	6	12	10	9	11	7	10	7	7	16	12	6	9
12	11	5	3	12	18	7	9	8	10	7	12	16	10	18	11	8	7	7	18
9	4	10	13	16	10	10	6	14	7	11	8	13	10	17	9	8	10	12	12
15	13	9	7	10	13	13	8	11	11	9	14	8	9	9	8	10	10	17	9
12	10	55	49	55	43	49	50	47	46	57	46	11	10	12	6	8	9	8	6
17	10	58	54	44	50	60	37	48	53	55	44	7	13	14	10	12	9	11	10
9	11	50	47	48	48	41	50	53	61	62	44	9	9	6	10	11	11	9	2
7	14	35	44	43	53	58	47	52	45	50	51	14	10	16	8	4	9	11	4
3	10	49	54	58	53	51	50	49	53	59	59	9	8	9	9	5	9	8	13
9	11	47	48	52	44	45	54	57	42	55	45	7	9	9	8	9	15	13	11
9	13	41	47	53	53	50	44	57	65	45	39	5	10	12	17	5	7	11	10
9	12	45	47	54	49	51	58	55	53	54	51	8	7	4	12	12	13	12	21
8	14	33	53	45	46	51	51	64	45	47	48	8	11	13	20	8	10	9	13
11	4	48	39	45	48	53	53	53	42	39	57	12	5	16	9	13	9	7	7
13	6	10	7	11	10	12	14	6	12	10	13	10	10	12	9	7	5	8	12
7	5	11	10	15	8	8	8	8	8	8	10	5	14	8	7	8	9	10	12
12	13	8	14	9	8	17	6	20	9	11	5	12	8	15	7	6	6	8	8
8	3	12	8	13	9	11	6	8	8	15	10	12	17	13	13	10	11	12	14
11	8	12	9	13	11	14	8	20	8	6	11	6	12	7	13	14	6	7	9
11	9	8	12	8	9	11	6	11	12	15	10	9	9	10	10	16	6	13	10

Рисунок 5.7 — Масив чисел другого прикладу, сигнал 50, шум 10

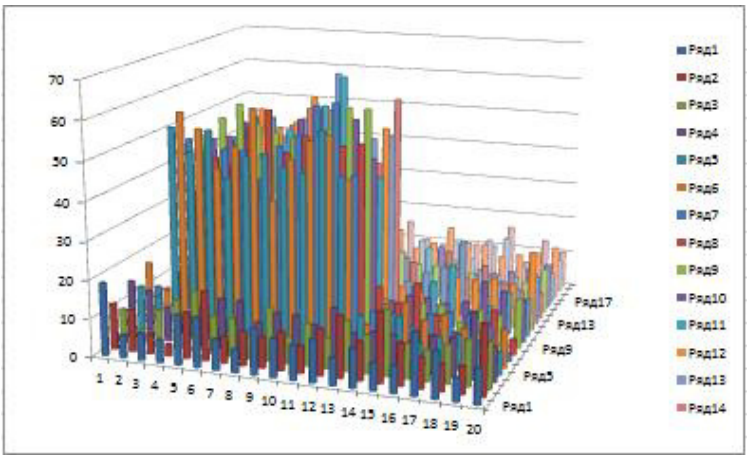


Рисунок 5.8 — Гістограма масиву другого прикладу до перетворення

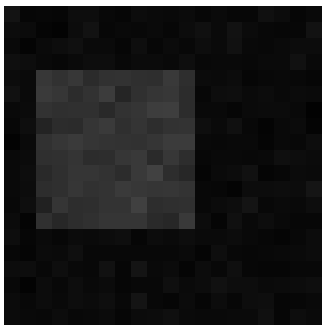


Рисунок 5.9 — Зображення другого прикладу до перетворення

d :=

−8	−47	−44	−47	−26	−26	−41	−47	−29	−35	−38	−32	−44	−35	−44	−44	−17	−29	−47	−38
−29	−32	−50	−56	−29	−11	−44	−38	−41	−35	−44	−29	−17	−35	−11	−32	−41	−44	−44	−11
−38	−53	−35	−26	−17	−35	−35	−47	−23	−44	−32	−41	−26	−35	−14	−38	−41	−35	−29	−29
−20	−26	−38	−44	−35	−26	−26	−41	−32	−32	−38	−23	−41	−38	−38	−41	−35	−35	−14	−38
−29	−35	100	82	100	64	82	85	76	73	106	73	−32	−35	−29	−47	−41	−38	−41	−47
−14	−35	109	97	67	85	115	46	79	94	100	67	−44	−26	−23	−35	−29	−38	−32	−35
−38	−32	85	76	79	79	58	85	94	118	121	67	−38	−38	−47	−35	−32	−32	−38	−59
−44	−23	40	67	64	94	109	76	91	70	85	88	−23	−35	−17	−41	−53	−38	−32	−53
−56	−35	82	97	109	94	88	85	82	94	112	112	−38	−41	−38	−38	−50	−38	−41	−26
−38	−32	76	79	91	67	70	97	106	61	100	70	−44	−38	−38	−41	−38	−20	−26	−32
−38	−26	58	76	94	94	85	67	106	130	70	52	−50	−35	−29	−14	−50	−44	−32	−35
−38	−29	70	76	97	82	88	109	100	94	97	88	−41	−44	−53	−29	−29	−26	−29	−2
−41	−23	34	94	70	73	88	88	127	70	76	79	−41	−32	−26	−5	−41	−35	−38	−26
−32	−53	79	52	70	79	94	94	94	61	52	106	−29	−50	−17	−38	−26	−38	−44	−44
−26	−47	−35	−44	−32	−35	−29	−23	−47	−29	−35	−26	−35	−35	−29	−38	−44	−50	−41	−29
−44	−50	−32	−35	−20	−41	−41	−41	−41	−41	−41	−35	−50	−23	−41	−44	−41	−38	−35	−29
−29	−26	−41	−23	−38	−41	−14	−47	−5	−38	−32	−50	−29	−41	−20	−44	−47	−47	−41	−41
−41	−56	−29	−41	−26	−38	−32	−47	−41	−41	−20	−35	−29	−14	−26	−26	−35	−32	−29	−23
−32	−41	−29	−38	−26	−32	−23	−41	−5	−41	−47	−32	−47	−29	−44	−26	−23	−47	−44	−38
−32	−38	−41	−29	−41	−38	−32	−47	−32	−29	−20	−35	−38	−38	−35	−35	−17	−47	−26	−35

Рисунок 5.10 — Масив чисел другого прикладу після перетворення

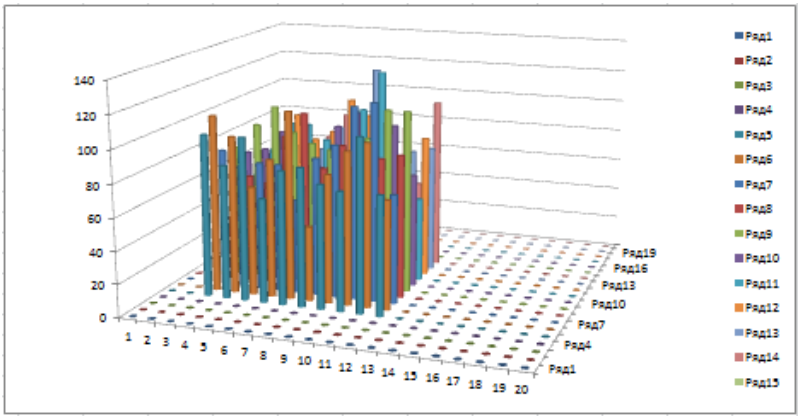


Рисунок 5.11 — Гістограма масиву другого прикладу після перетворення

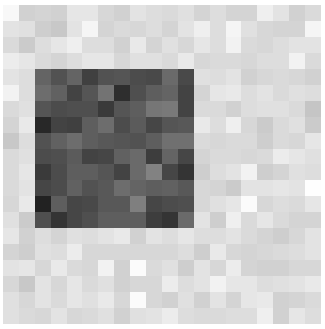


Рисунок 5.12 — Зображення другого прикладу після перетворення

$e :=$

29	29	22	21	23	22	30	28	31	27	27	26	29	31	21	22	24	19	29	32
18	25	21	21	17	30	34	30	21	26	23	23	24	17	33	16	19	31	33	22
26	30	26	30	30	36	21	29	23	23	25	20	25	25	25	21	32	22	23	23
41	26	31	22	32	29	31	28	33	38	40	22	22	28	24	27	28	30	16	32
30	18	34	32	31	31	21	29	29	33	28	39	29	27	31	35	23	30	25	18
32	27	36	33	31	28	34	32	32	36	24	30	33	31	28	26	25	28	20	47
30	28	23	32	32	21	39	21	35	33	23	32	21	15	19	28	11	33	25	33
31	28	34	24	33	35	28	34	33	33	29	23	18	24	25	27	19	25	26	28
25	31	35	37	35	31	39	38	30	39	27	33	36	25	31	32	41	27	34	35
28	31	26	23	28	29	29	27	21	36	36	20	32	25	19	32	19	28	27	23
22	30	43	24	30	35	32	34	27	25	33	32	26	22	30	17	26	29	29	23
24	28	24	31	31	39	37	33	31	17	26	29	24	23	23	23	31	25	23	35
26	23	24	27	32	31	31	24	28	23	19	16	34	32	33	20	22	26	28	36
36	26	28	33	35	28	33	27	29	30	30	35	24	39	34	21	27	31	29	24
32	29	32	22	26	25	32	27	26	22	23	21	29	30	25	25	27	31	26	41
28	32	26	31	25	27	38	24	32	21	26	26	32	26	27	29	26	24	25	33
37	38	23	27	28	31	26	27	23	30	30	14	25	24	22	21	27	31	28	37
27	35	31	25	34	39	39	21	25	24	28	24	20	26	28	28	30	20	23	25
28	29	30	32	26	40	29	23	30	29	24	19	31	25	26	28	25	20	27	29
23	22	18	27	28	33	29	19	26	36	28	29	39	20	37	27	20	25	27	26

Рисунок 5.13 — Масив третього прикладу, сигнал 30, шум 27

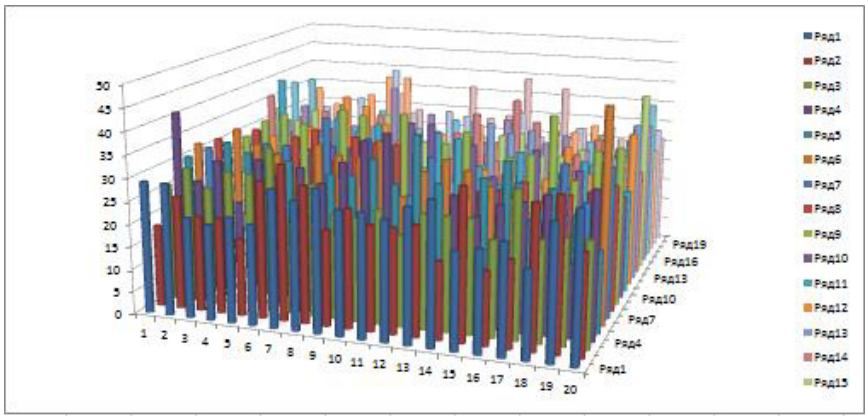


Рисунок 5.14 — Гістограма масиву третього прикладу до перетворення

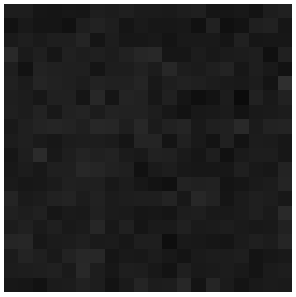


Рисунок 5.15 — Зображення третього прикладу до перетворення

$$q := \begin{pmatrix}
98 & 98 & 63 & 58 & 68 & 63 & 103 & 93 & 108 & 88 & 88 & 83 & 98 & 108 & 58 & 63 & 73 & 48 & 98 & 113 \\
43 & 78 & 58 & 58 & 38 & 103 & 123 & 103 & 58 & 83 & 68 & 68 & 73 & 38 & 118 & 33 & 48 & 108 & 118 & 63 \\
83 & 103 & 83 & 103 & 103 & 133 & 58 & 98 & 68 & 68 & 78 & 53 & 78 & 78 & 78 & 58 & 113 & 63 & 68 & 68 \\
158 & 83 & 108 & 63 & 113 & 98 & 108 & 93 & 118 & 143 & 153 & 63 & 63 & 93 & 73 & 88 & 93 & 103 & 33 & 113 \\
103 & 43 & 123 & 113 & 108 & 108 & 58 & 98 & 98 & 118 & 93 & 148 & 98 & 88 & 108 & 128 & 68 & 103 & 78 & 43 \\
113 & 88 & 133 & 118 & 108 & 93 & 123 & 113 & 113 & 133 & 73 & 103 & 118 & 108 & 93 & 83 & 78 & 93 & 53 & 188 \\
103 & 93 & 68 & 113 & 113 & 58 & 148 & 58 & 128 & 118 & 68 & 113 & 58 & 28 & 48 & 93 & 8 & 118 & 78 & 118 \\
108 & 93 & 123 & 73 & 118 & 128 & 93 & 123 & 118 & 118 & 98 & 68 & 43 & 73 & 78 & 88 & 48 & 78 & 83 & 93 \\
78 & 108 & 128 & 138 & 128 & 108 & 148 & 143 & 103 & 148 & 88 & 118 & 133 & 78 & 108 & 113 & 158 & 88 & 123 & 128 \\
93 & 108 & 83 & 68 & 93 & 98 & 98 & 88 & 58 & 133 & 133 & 53 & 113 & 78 & 48 & 113 & 48 & 93 & 88 & 68 \\
63 & 103 & 168 & 73 & 103 & 128 & 113 & 123 & 88 & 78 & 118 & 113 & 83 & 63 & 103 & 38 & 83 & 98 & 98 & 68 \\
73 & 93 & 73 & 108 & 108 & 148 & 138 & 118 & 108 & 38 & 83 & 98 & 73 & 68 & 68 & 68 & 108 & 78 & 68 & 128 \\
83 & 68 & 73 & 88 & 113 & 108 & 108 & 73 & 93 & 68 & 48 & 33 & 123 & 113 & 118 & 53 & 63 & 83 & 93 & 133 \\
133 & 83 & 93 & 118 & 128 & 93 & 118 & 88 & 98 & 103 & 103 & 128 & 73 & 148 & 123 & 58 & 88 & 108 & 98 & 73 \\
113 & 98 & 113 & 63 & 83 & 78 & 113 & 88 & 83 & 63 & 68 & 58 & 98 & 103 & 78 & 78 & 88 & 108 & 83 & 158 \\
93 & 113 & 83 & 108 & 78 & 88 & 143 & 73 & 113 & 58 & 83 & 83 & 113 & 83 & 88 & 98 & 83 & 73 & 78 & 118 \\
138 & 143 & 68 & 88 & 93 & 108 & 83 & 88 & 68 & 103 & 103 & 23 & 78 & 73 & 63 & 58 & 88 & 108 & 93 & 138 \\
88 & 128 & 108 & 78 & 123 & 148 & 148 & 58 & 78 & 73 & 93 & 73 & 53 & 83 & 93 & 93 & 103 & 53 & 68 & 78 \\
93 & 98 & 103 & 113 & 83 & 153 & 98 & 68 & 103 & 98 & 73 & 48 & 108 & 78 & 83 & 93 & 78 & 53 & 88 & 98 \\
68 & 63 & 43 & 88 & 93 & 118 & 98 & 48 & 83 & 133 & 93 & 98 & 148 & 53 & 138 & 88 & 53 & 78 & 88 & 83
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.16 — Масив третього прикладу після перетворення

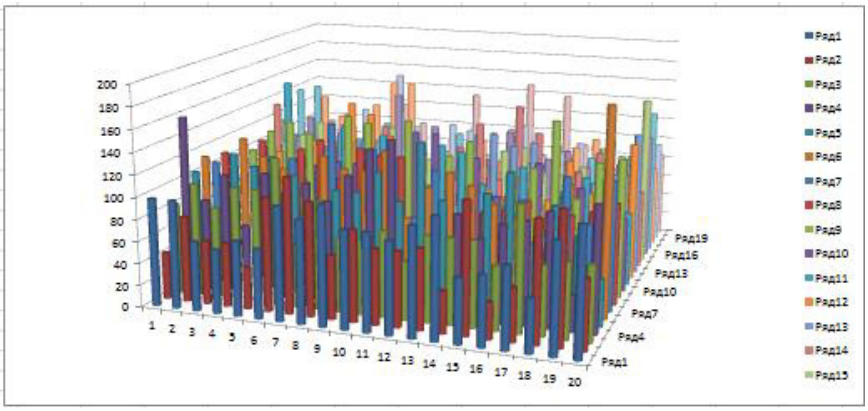


Рисунок 5.17 — Гістограма масиву третього прикладу після перетворення

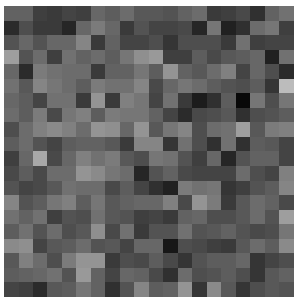


Рисунок 5.18 — Зображення третього прикладу після перетворення

w :=

107	121	129	114	98	89	108	92	103	111	105	106	109	105	106	108	125	124	110	120
114	114	112	119	103	124	122	96	119	96	116	96	97	121	103	112	117	122	116	104
93	114	96	99	101	118	110	122	114	127	123	130	97	94	114	112	101	110	107	107
115	120	127	118	130	115	124	140	114	125	116	103	104	92	105	109	110	106	114	101
111	124	125	128	100	125	131	115	107	102	137	102	114	114	126	112	104	126	130	115
109	94	126	125	150	117	116	135	115	100	118	108	100	103	97	112	104	94	116	101
111	132	142	111	139	109	111	113	117	122	113	101	121	106	101	109	104	114	104	108
116	123	101	123	112	118	120	123	116	118	116	99	112	118	114	121	114	116	102	110
112	147	101	139	129	126	102	148	122	114	102	96	116	110	118	113	102	130	130	123
100	102	143	121	130	118	122	112	121	121	118	109	117	109	93	104	96	126	98	122
121	124	126	139	137	117	122	120	151	117	103	113	127	111	113	125	104	109	109	110
124	124	131	138	136	112	127	122	112	115	122	102	127	105	91	122	108	120	105	110
103	111	121	116	109	121	131	121	117	99	123	119	102	124	102	103	94	111	109	106
105	103	119	97	114	120	130	108	102	116	110	103	102	100	112	109	93	92	108	101
102	110	116	113	94	124	127	104	109	116	99	123	106	110	112	115	92	105	100	99
98	112	123	119	117	122	122	112	119	114	95	107	117	98	137	102	110	115	122	117
107	98	95	110	100	114	111	104	102	123	97	125	108	111	93	107	113	110	121	110
111	96	121	120	110	102	120	121	102	116	115	117	88	114	91	122	112	107	92	112
97	136	103	88	113	111	111	102	104	104	121	101	113	123	117	107	107	105	122	107
93	115	103	99	108	121	106	124	110	110	109	110	122	112	110	110	101	132	111	110

Рисунок 5.19 — Масив четвертого прикладу, сигнал 120, шум 110

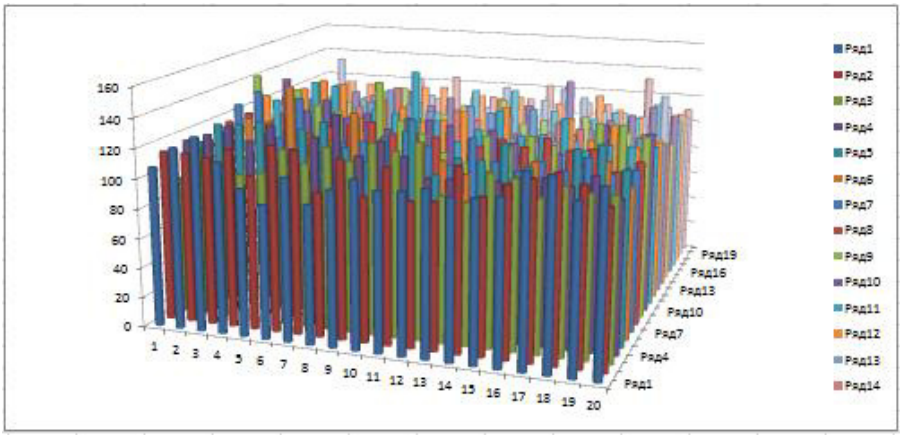


Рисунок 5.20 — Гістограма масиву четвертого прикладу до перетворення

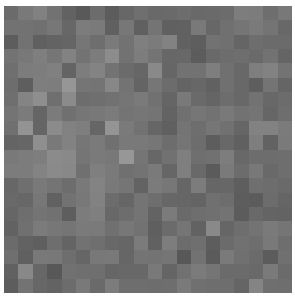


Рисунок 5.21 — Зображення четвертого прикладу до перетворення

$$r := \begin{pmatrix}
63 & 91 & 107 & 77 & 45 & 27 & 65 & 33 & 55 & 71 & 59 & 61 & 67 & 59 & 61 & 65 & 99 & 97 & 69 & 89 \\
77 & 77 & 73 & 87 & 55 & 97 & 93 & 41 & 87 & 41 & 81 & 41 & 43 & 91 & 55 & 73 & 83 & 93 & 81 & 57 \\
35 & 77 & 41 & 47 & 51 & 85 & 69 & 93 & 77 & 103 & 95 & 109 & 43 & 37 & 77 & 73 & 51 & 69 & 63 & 63 \\
79 & 89 & 103 & 85 & 109 & 79 & 97 & 129 & 77 & 99 & 81 & 55 & 57 & 33 & 59 & 67 & 69 & 61 & 77 & 51 \\
71 & 97 & 99 & 105 & 49 & 99 & 111 & 79 & 63 & 53 & 123 & 53 & 77 & 77 & 101 & 73 & 57 & 101 & 109 & 79 \\
67 & 37 & 101 & 99 & 149 & 83 & 81 & 119 & 79 & 49 & 85 & 65 & 49 & 55 & 43 & 73 & 57 & 37 & 81 & 51 \\
71 & 113 & 133 & 71 & 127 & 67 & 71 & 75 & 83 & 93 & 75 & 51 & 91 & 61 & 51 & 67 & 57 & 77 & 57 & 65 \\
81 & 95 & 51 & 95 & 73 & 85 & 89 & 95 & 81 & 85 & 81 & 47 & 73 & 85 & 77 & 91 & 77 & 81 & 53 & 69 \\
73 & 143 & 51 & 127 & 107 & 101 & 53 & 145 & 93 & 77 & 53 & 41 & 81 & 69 & 85 & 75 & 53 & 109 & 109 & 95 \\
49 & 53 & 135 & 91 & 109 & 85 & 93 & 73 & 91 & 91 & 85 & 67 & 83 & 67 & 35 & 57 & 41 & 101 & 45 & 93 \\
91 & 97 & 101 & 127 & 123 & 83 & 93 & 89 & 151 & 83 & 55 & 75 & 103 & 71 & 75 & 99 & 57 & 67 & 67 & 69 \\
97 & 97 & 111 & 125 & 121 & 73 & 103 & 93 & 73 & 79 & 93 & 53 & 103 & 59 & 31 & 93 & 65 & 89 & 59 & 69 \\
55 & 71 & 91 & 81 & 67 & 91 & 111 & 91 & 83 & 47 & 95 & 87 & 53 & 97 & 53 & 55 & 37 & 71 & 67 & 61 \\
59 & 55 & 87 & 43 & 77 & 89 & 109 & 65 & 53 & 81 & 69 & 55 & 53 & 49 & 73 & 67 & 35 & 33 & 65 & 51 \\
53 & 69 & 81 & 75 & 37 & 97 & 103 & 57 & 67 & 81 & 47 & 95 & 61 & 69 & 73 & 79 & 33 & 59 & 49 & 47 \\
45 & 73 & 95 & 87 & 83 & 93 & 93 & 73 & 87 & 77 & 39 & 63 & 83 & 45 & 123 & 53 & 69 & 79 & 93 & 83 \\
63 & 45 & 39 & 69 & 49 & 77 & 71 & 57 & 53 & 95 & 43 & 99 & 65 & 71 & 35 & 63 & 75 & 69 & 91 & 69 \\
71 & 41 & 91 & 89 & 69 & 53 & 89 & 91 & 53 & 81 & 79 & 83 & 25 & 77 & 31 & 93 & 73 & 63 & 33 & 73 \\
43 & 121 & 55 & 25 & 75 & 71 & 71 & 53 & 57 & 57 & 91 & 51 & 75 & 95 & 83 & 63 & 63 & 59 & 93 & 63 \\
35 & 79 & 55 & 47 & 65 & 91 & 61 & 97 & 69 & 69 & 67 & 69 & 93 & 73 & 69 & 69 & 51 & 113 & 71 & 69
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.22 — Масив четвертого прикладу після перетворення

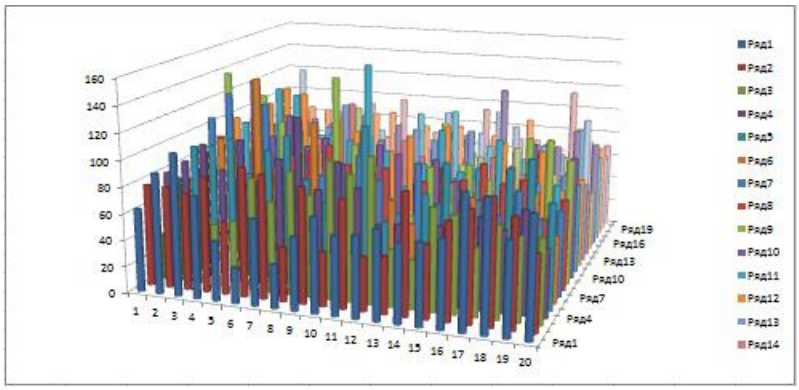


Рисунок 5.23 — Гістограма масиву четвертого прикладу після перетворення

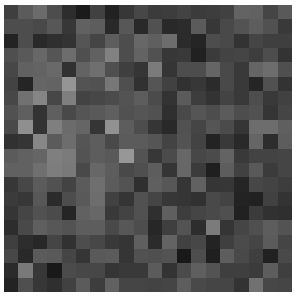


Рисунок 5.24 — Зображення масиву четвертого прикладу після перетворення

$$t := \begin{pmatrix}
53 & 46 & 42 & 57 & 51 & 50 & 55 & 46 & 55 & 56 & 55 & 57 & 53 & 39 & 56 & 53 & 66 & 51 & 45 & 49 \\
55 & 54 & 46 & 41 & 52 & 44 & 63 & 49 & 48 & 47 & 59 & 52 & 56 & 45 & 64 & 37 & 40 & 41 & 47 & 49 \\
47 & 56 & 55 & 45 & 49 & 51 & 59 & 54 & 38 & 49 & 56 & 43 & 40 & 57 & 53 & 62 & 56 & 56 & 48 & 51 \\
43 & 55 & 57 & 65 & 46 & 42 & 26 & 51 & 40 & 60 & 40 & 48 & 61 & 51 & 47 & 69 & 54 & 52 & 57 & 50 \\
49 & 47 & 52 & 54 & 51 & 55 & 41 & 54 & 59 & 59 & 51 & 46 & 41 & 56 & 44 & 57 & 56 & 70 & 52 & 49 \\
53 & 49 & 56 & 52 & 57 & 52 & 143 & 139 & 152 & 164 & 153 & 142 & 153 & 135 & 164 & 164 & 55 & 52 & 68 & 43 \\
54 & 59 & 56 & 44 & 55 & 52 & 155 & 143 & 126 & 139 & 153 & 150 & 158 & 142 & 138 & 142 & 48 & 48 & 51 & 39 \\
51 & 43 & 50 & 39 & 52 & 47 & 132 & 150 & 152 & 157 & 156 & 138 & 139 & 152 & 136 & 153 & 63 & 51 & 55 & 39 \\
50 & 44 & 44 & 44 & 50 & 46 & 125 & 138 & 123 & 147 & 169 & 158 & 145 & 167 & 136 & 143 & 43 & 56 & 49 & 46 \\
42 & 33 & 61 & 41 & 50 & 60 & 149 & 171 & 165 & 150 & 146 & 135 & 149 & 174 & 164 & 148 & 54 & 44 & 46 & 41 \\
56 & 43 & 36 & 54 & 38 & 55 & 143 & 131 & 147 & 145 & 141 & 150 & 150 & 131 & 143 & 148 & 56 & 45 & 36 & 43 \\
42 & 45 & 36 & 46 & 50 & 42 & 159 & 137 & 164 & 139 & 145 & 150 & 143 & 139 & 139 & 151 & 43 & 42 & 54 & 55 \\
49 & 53 & 55 & 50 & 41 & 53 & 109 & 148 & 156 & 140 & 150 & 148 & 144 & 154 & 177 & 154 & 51 & 36 & 49 & 49 \\
54 & 54 & 35 & 56 & 60 & 54 & 159 & 139 & 138 & 167 & 150 & 156 & 145 & 131 & 160 & 107 & 46 & 42 & 51 & 55 \\
54 & 56 & 55 & 33 & 48 & 46 & 143 & 156 & 153 & 140 & 136 & 158 & 149 & 166 & 146 & 149 & 38 & 54 & 62 & 53 \\
46 & 51 & 50 & 56 & 52 & 52 & 51 & 61 & 46 & 46 & 56 & 51 & 65 & 46 & 43 & 49 & 59 & 45 & 63 & 47 \\
54 & 55 & 36 & 42 & 52 & 50 & 52 & 49 & 58 & 48 & 52 & 59 & 40 & 54 & 48 & 51 & 55 & 56 & 54 & 55 \\
50 & 49 & 41 & 41 & 62 & 42 & 48 & 58 & 40 & 45 & 42 & 51 & 52 & 51 & 37 & 53 & 39 & 44 & 49 & 51 \\
54 & 51 & 54 & 58 & 53 & 56 & 64 & 54 & 44 & 54 & 49 & 49 & 57 & 34 & 47 & 57 & 53 & 42 & 46 & 55 \\
45 & 39 & 42 & 49 & 37 & 56 & 65 & 46 & 51 & 49 & 51 & 48 & 55 & 48 & 64 & 50 & 61 & 56 & 43 & 42
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.25 — Масив чисел п’ятого прикладу, сигнал 150, шум 50

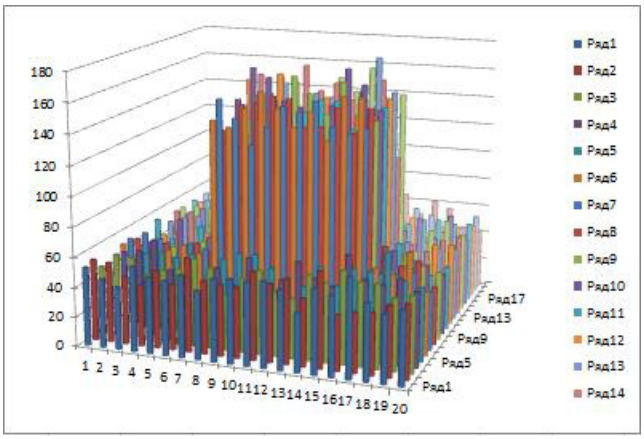


Рисунок 5.26 — Гістограма п’ятого прикладу до перетворення

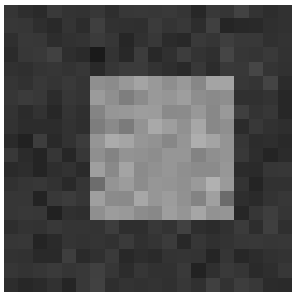


Рисунок 5.27 — Зображення п’ятого прикладу до перетворення

$$y := \left(\begin{array}{cccccccccccccccccc|ccc}
-71 & -85 & -93 & -63 & -75 & -77 & -67 & -85 & -67 & -65 & -67 & -63 & -71 & -99 & -65 & -71 & -45 & -75 & -87 & -79 \\
-67 & -69 & -85 & -95 & -73 & -89 & -51 & -79 & -81 & -83 & -59 & -73 & -65 & -87 & -49 & -103 & -97 & -95 & -83 & -79 \\
-83 & -65 & -67 & -87 & -79 & -75 & -59 & -69 & -101 & -79 & -65 & -91 & -97 & -63 & -71 & -53 & -65 & -65 & -81 & -75 \\
-91 & -67 & -63 & -47 & -85 & -93 & -125 & -75 & -97 & -57 & -97 & -81 & -55 & -75 & -83 & -39 & -69 & -73 & -63 & -77 \\
-79 & -83 & -73 & -69 & -75 & -67 & -95 & -69 & -59 & -59 & -75 & -85 & -95 & -65 & -89 & -63 & -65 & -37 & -73 & -79 \\
-71 & -79 & -65 & -73 & -63 & -73 & 109 & 101 & 127 & 151 & 129 & 107 & 129 & 93 & 151 & 151 & -67 & -73 & -41 & -91 \\
-69 & -59 & -65 & -89 & -67 & -73 & 133 & 109 & 75 & 101 & 129 & 123 & 139 & 107 & 99 & 107 & -81 & -81 & -75 & -99 \\
-75 & -91 & -77 & -99 & -73 & -83 & 87 & 123 & 127 & 137 & 135 & 99 & 101 & 127 & 95 & 129 & -51 & -75 & -67 & -99 \\
-77 & -89 & -89 & -89 & -77 & -85 & 73 & 99 & 69 & 117 & 161 & 139 & 113 & 157 & 95 & 109 & -91 & -65 & -79 & -85 \\
-93 & -111 & -55 & -95 & -77 & -57 & 121 & 165 & 153 & 123 & 115 & 93 & 121 & 171 & 151 & 119 & -69 & -89 & -85 & -95 \\
-65 & -91 & -105 & -69 & -101 & -67 & 109 & 85 & 117 & 113 & 105 & 123 & 123 & 85 & 109 & 119 & -65 & -87 & -105 & -91 \\
-93 & -87 & -105 & -85 & -77 & -93 & 141 & 97 & 151 & 101 & 113 & 123 & 109 & 101 & 101 & 125 & -91 & -93 & -69 & -67 \\
-79 & -71 & -67 & -77 & -95 & -71 & 41 & 119 & 135 & 103 & 123 & 119 & 111 & 131 & 177 & 131 & -75 & -105 & -79 & -79 \\
-69 & -69 & -107 & -65 & -57 & -69 & 141 & 101 & 99 & 157 & 123 & 135 & 113 & 85 & 143 & 37 & -85 & -93 & -75 & -67 \\
-69 & -65 & -67 & -111 & -81 & -85 & 109 & 135 & 129 & 103 & 95 & 139 & 121 & 155 & 115 & 121 & -101 & -69 & -53 & -71 \\
-85 & -75 & -77 & -65 & -73 & -73 & -75 & -55 & -85 & -85 & -65 & -75 & -47 & -85 & -91 & -79 & -59 & -87 & -51 & -83 \\
-69 & -67 & -105 & -93 & -73 & -77 & -73 & -79 & -61 & -81 & -73 & -59 & -97 & -69 & -81 & -75 & -67 & -65 & -69 & -67 \\
-77 & -79 & -95 & -95 & -53 & -93 & -81 & -61 & -97 & -87 & -93 & -75 & -73 & -75 & -103 & -71 & -99 & -89 & -79 & -75 \\
-69 & -75 & -69 & -61 & -71 & -65 & -49 & -69 & -89 & -69 & -79 & -79 & -63 & -109 & -83 & -63 & -71 & -93 & -85 & -67 \\
-87 & -99 & -93 & -79 & -103 & -65 & -47 & -85 & -75 & -79 & -75 & -81 & -67 & -81 & -49 & -77 & -55 & -65 & -91 & -93
\end{array}\right)$$

Рисунок 5.28 — Масив чисел п’ятого прикладу після перетворення

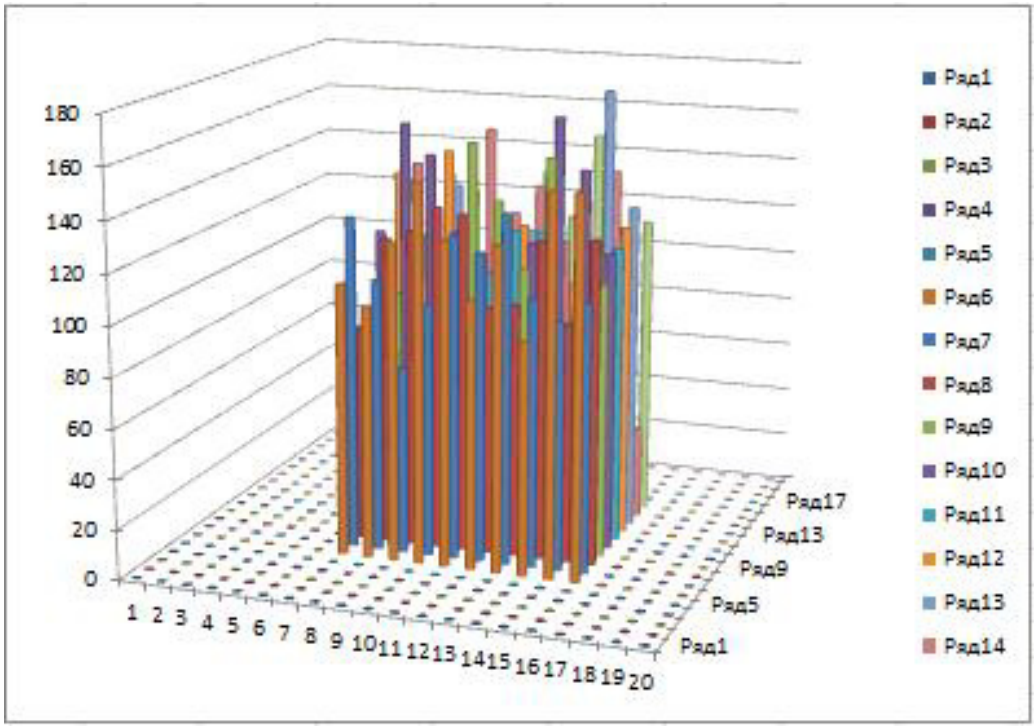


Рисунок 5.29 — Гістограма масиву п’ятого прикладу після перетворення

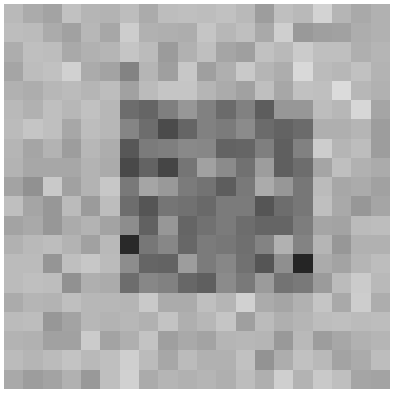


Рисунок 5.30 — Зображення п’ятого прикладу після перетворення

5.2 Застосування методу адаптивного збільшення контрастності безпосередньо на знімках вен долоні

$u :=$

232	235	235	239	239	241	242	242	241	240	240	241	242	237	237	242	241	237	235	236	238	217	215	233	243	240	242	248	246	245	247	250	243
233	237	238	241	240	241	243	242	241	241	241	242	243	239	239	242	241	238	235	234	229	223	227	239	242	239	240	245	248	246	246	245	237
234	238	241	242	241	243	244	244	243	242	242	243	243	242	241	242	239	235	233	233	230	235	237	236	236	240	243	245	246	245	243	240	239
236	240	244	242	242	244	245	245	244	243	243	244	242	242	242	239	235	232	232	234	238	237	236	235	238	241	244	243	241	244	242	240	244
238	241	245	241	243	245	246	246	245	244	244	245	242	242	240	238	235	235	236	237	241	234	233	238	241	239	239	241	241	244	244	242	244
239	241	245	239	244	245	246	246	245	245	245	245	244	241	239	238	238	241	243	242	242	237	234	233	231	233	238	243	243	245	245	245	243
239	240	243	243	245	246	245	244	244	244	245	244	240	237	240	247	247	244	242	243	239	229	222	225	233	239	244	246	245	245	245	245	244
240	240	243	245	244	245	246	246	245	244	242	240	242	240	243	248	247	240	237	239	236	226	222	228	237	243	245	245	245	244	244	244	245
242	242	244	245	244	245	246	246	245	242	239	237	241	241	242	243	240	238	237	238	235	232	231	235	239	240	242	244	245	244	243	243	244
243	244	244	245	244	244	243	242	241	241	241	241	239	241	241	240	240	242	241	240	237	236	237	238	239	239	241	243	245	243	241	241	242
245	245	245	244	243	241	240	240	240	242	244	245	245	245	245	243	245	247	243	239	241	239	237	236	237	239	241	243	245	242	240	239	239
245	246	244	242	238	239	240	242	244	245	245	246	248	247	246	246	248	246	241	238	245	241	236	233	235	239	242	243	244	242	240	239	239
245	245	243	240	239	240	242	243	245	246	246	246	245	243	244	247	247	243	242	242	246	244	239	235	235	239	241	241	243	242	240	240	240
245	245	242	239	244	244	243	242	243	245	247	248	246	244	247	250	247	240	242	248	244	246	244	239	236	238	239	239	243	242	241	241	241
245	245	242	240	244	245	243	242	243	244	247	248	247	249	245	246	247	242	241	250	246	247	245	237	231	236	240	239	242	241	241	241	240
245	243	242	243	244	244	243	242	243	244	246	247	248	251	247	246	248	242	241	250	245	245	244	237	231	235	239	239	242	241	240	240	239
244	241	243	247	245	244	241	241	243	245	245	245	245	248	246	247	247	241	240	249	245	243	242	240	236	235	238	240	242	241	240	240	239
244	241	244	248	246	243	240	241	243	245	244	242	239	241	242	246	246	241	242	248	247	243	240	241	239	234	235	240	241	240	240	240	239
244	243	245	247	246	243	240	241	243	244	243	240	237	236	240	246	245	242	244	247	247	242	238	239	239	230	230	239	240	240	240	240	239
244	245	245	245	246	243	241	241	243	243	242	240	238	233	237	243	241	239	241	241	247	246	240	240	240	231	229	239	239	239	240	240	239
244	245	246	245	245	244	243	242	243	242	241	240	238	228	232	240	238	239	239	236	242	247	243	242	243	233	228	237	238	238	238	238	237
243	245	246	247	245	245	245	243	243	241	241	241	240	228	231	240	241	243	244	238	232	244	242	240	241	230	224	233	236	236	237	237	236
247	245	246	247	249	246	245	244	245	244	241	239	235	223	232	242	237	239	245	240	238	230	239	240	239	231	222	232	236	238	238	234	232
247	244	245	247	248	246	244	244	244	244	240	239	239	223	227	240	238	241	244	238	240	236	236	231	231	233	228	230	236	238	238	235	232
246	243	244	246	246	245	244	244	243	242	240	239	240	222	225	239	238	238	242	239	240	242	235	227	222	223	231	234	236	235	235	235	233
246	244	244	247	245	245	245	244	243	241	239	239	235	221	225	238	236	233	238	242	238	241	236	235	216	202	227	242	236	233	233	235	234
246	245	245	248	245	245	246	245	243	241	241	241	234	221	222	234	237	234	236	239	236	237	236	239	216	196	220	240	237	234	232	233	233
247	244	245	247	246	246	246	246	244	243	242	241	240	225	218	228	239	239	236	236	235	237	233	231	219	211	219	227	238	237	234	231	230
246	242	241	242	247	246	245	245	245	245	243	242	244	233	222	222	233	237	237	237	234	236	233	220	221	229	223	220	233	238	235	229	227

Рисунок 5.31 — Масив чисел першого фрагменту знімку вен долоні при низькій температурі (звужені судини) до перетворення

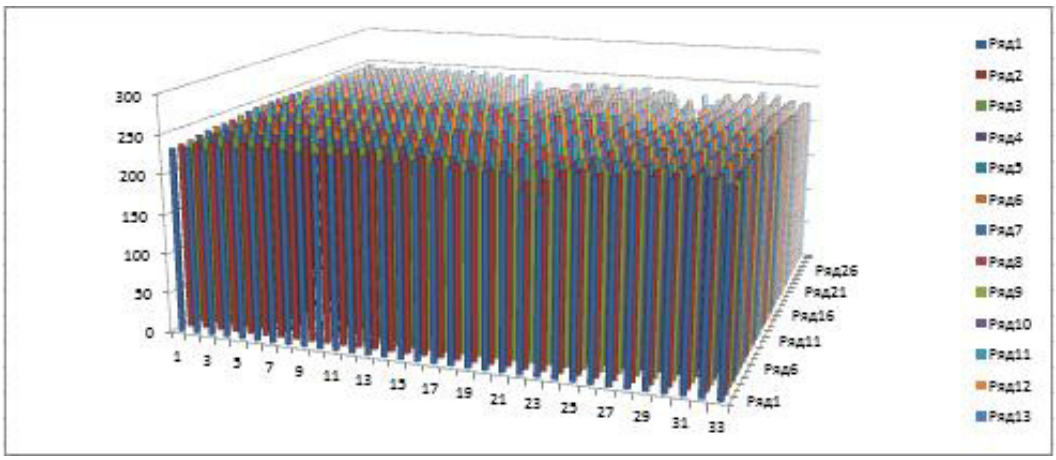


Рисунок 5.32 — Гістограма першого фрагменту звужених судин до перетворення

Рисунок 5.33 — Зображення вен долоні масиву першого фрагменту звужених судин, до перетворення

$$i := \begin{pmatrix}
213 & 219 & 219 & 227 & 227 & 231 & 233 & 233 & 231 & 229 & 229 & 231 & 233 & 223 & 223 & 233 & 231 & 223 & 219 & 221 \\
215 & 223 & 225 & 231 & 229 & 231 & 235 & 233 & 231 & 231 & 231 & 233 & 235 & 227 & 227 & 233 & 231 & 225 & 219 & 217 \\
217 & 225 & 231 & 233 & 231 & 235 & 237 & 237 & 235 & 233 & 233 & 235 & 235 & 233 & 231 & 233 & 227 & 219 & 215 & 215 \\
221 & 229 & 237 & 233 & 233 & 237 & 239 & 239 & 237 & 235 & 235 & 237 & 233 & 233 & 233 & 227 & 219 & 213 & 213 & 217 \\
225 & 231 & 239 & 231 & 235 & 239 & 241 & 241 & 239 & 237 & 237 & 239 & 233 & 233 & 229 & 225 & 219 & 219 & 221 & 223 \\
227 & 231 & 239 & 227 & 237 & 239 & 241 & 241 & 239 & 239 & 239 & 239 & 237 & 231 & 227 & 225 & 225 & 231 & 235 & 233 \\
227 & 229 & 235 & 235 & 239 & 241 & 239 & 237 & 237 & 237 & 239 & 237 & 229 & 223 & 229 & 243 & 243 & 237 & 233 & 235 \\
229 & 229 & 235 & 239 & 237 & 239 & 241 & 241 & 239 & 237 & 233 & 229 & 233 & 229 & 235 & 245 & 243 & 229 & 223 & 227 \\
233 & 233 & 237 & 239 & 237 & 239 & 241 & 241 & 239 & 233 & 227 & 223 & 231 & 231 & 233 & 235 & 229 & 225 & 223 & 225 \\
235 & 237 & 237 & 239 & 237 & 237 & 235 & 233 & 231 & 231 & 231 & 231 & 227 & 231 & 231 & 229 & 229 & 233 & 231 & 229 \\
239 & 239 & 239 & 237 & 235 & 231 & 229 & 229 & 229 & 233 & 237 & 239 & 239 & 239 & 239 & 235 & 239 & 243 & 235 & 227 \\
239 & 241 & 237 & 233 & 225 & 227 & 229 & 233 & 237 & 239 & 239 & 241 & 245 & 243 & 241 & 241 & 245 & 241 & 231 & 225 \\
239 & 239 & 235 & 229 & 227 & 229 & 233 & 235 & 239 & 241 & 241 & 241 & 239 & 235 & 237 & 243 & 243 & 235 & 233 & 233 \\
239 & 239 & 233 & 227 & 237 & 237 & 235 & 233 & 235 & 239 & 243 & 245 & 241 & 237 & 243 & 249 & 243 & 229 & 233 & 245 \\
239 & 239 & 233 & 229 & 237 & 239 & 235 & 233 & 235 & 237 & 243 & 245 & 243 & 247 & 239 & 241 & 243 & 233 & 231 & 249 \\
239 & 235 & 233 & 235 & 237 & 237 & 235 & 233 & 235 & 237 & 241 & 243 & 245 & 251 & 243 & 241 & 245 & 233 & 231 & 249 \\
237 & 231 & 235 & 243 & 239 & 237 & 231 & 231 & 235 & 239 & 239 & 239 & 239 & 245 & 241 & 243 & 243 & 231 & 229 & 247 \\
237 & 231 & 237 & 245 & 241 & 235 & 229 & 231 & 235 & 239 & 237 & 233 & 227 & 231 & 233 & 241 & 241 & 231 & 233 & 245 \\
237 & 235 & 239 & 243 & 241 & 235 & 229 & 231 & 235 & 237 & 235 & 229 & 223 & 221 & 229 & 241 & 239 & 233 & 237 & 243 \\
237 & 239 & 239 & 239 & 241 & 235 & 231 & 231 & 235 & 235 & 233 & 229 & 225 & 215 & 223 & 235 & 231 & 227 & 231 & 231 \\
237 & 239 & 241 & 239 & 239 & 237 & 235 & 233 & 235 & 233 & 231 & 229 & 225 & 205 & 213 & 229 & 225 & 227 & 227 & 221 \\
235 & 239 & 241 & 243 & 239 & 239 & 239 & 235 & 235 & 231 & 231 & 231 & 229 & 205 & 211 & 229 & 231 & 235 & 237 & 225 \\
243 & 239 & 241 & 243 & 247 & 241 & 239 & 237 & 239 & 237 & 231 & 227 & 219 & 195 & 213 & 233 & 223 & 227 & 239 & 229 \\
243 & 237 & 239 & 243 & 245 & 241 & 237 & 237 & 237 & 237 & 229 & 227 & 227 & 195 & 203 & 229 & 225 & 231 & 237 & 225 \\
241 & 235 & 237 & 241 & 241 & 239 & 237 & 237 & 235 & 233 & 229 & 227 & 229 & 193 & 199 & 227 & 225 & 225 & 233 & 227 \\
241 & 237 & 237 & 243 & 239 & 239 & 239 & 237 & 235 & 231 & 227 & 227 & 219 & 191 & 199 & 225 & 221 & 215 & 225 & 233 \\
241 & 239 & 239 & 245 & 239 & 239 & 241 & 239 & 235 & 231 & 231 & 231 & 217 & 191 & 193 & 217 & 223 & 217 & 221 & 227 \\
243 & 237 & 239 & 243 & 241 & 241 & 241 & 241 & 237 & 235 & 233 & 231 & 229 & 199 & 185 & 205 & 227 & 227 & 221 & 221 \\
241 & 233 & 231 & 233 & 243 & 241 & 239 & 239 & 239 & 239 & 235 & 233 & 237 & 215 & 193 & 193 & 215 & 223 & 223 & 223
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
225 & 183 & 179 & 215 & 235 & 229 & 233 & 245 & 241 & 239 & 243 & 249 & 235 \\
207 & 195 & 203 & 227 & 233 & 227 & 229 & 239 & 245 & 241 & 241 & 239 & 223 \\
209 & 219 & 223 & 221 & 221 & 229 & 235 & 239 & 241 & 239 & 235 & 229 & 227 \\
225 & 223 & 221 & 219 & 225 & 231 & 237 & 235 & 231 & 237 & 233 & 229 & 237 \\
231 & 217 & 215 & 225 & 231 & 227 & 227 & 231 & 231 & 237 & 237 & 233 & 237 \\
233 & 223 & 217 & 215 & 211 & 215 & 225 & 235 & 235 & 239 & 239 & 239 & 235 \\
227 & 207 & 193 & 199 & 215 & 227 & 237 & 241 & 239 & 239 & 239 & 239 & 237 \\
221 & 201 & 193 & 205 & 223 & 235 & 239 & 239 & 239 & 237 & 237 & 237 & 239 \\
219 & 213 & 211 & 219 & 227 & 229 & 233 & 237 & 239 & 237 & 235 & 235 & 237 \\
223 & 221 & 223 & 225 & 227 & 227 & 231 & 235 & 239 & 235 & 231 & 231 & 233 \\
231 & 227 & 223 & 221 & 223 & 227 & 231 & 235 & 239 & 233 & 229 & 227 & 227 \\
239 & 231 & 221 & 215 & 219 & 227 & 233 & 235 & 237 & 233 & 229 & 227 & 227 \\
241 & 237 & 227 & 219 & 219 & 227 & 231 & 231 & 235 & 233 & 229 & 229 & 229 \\
237 & 241 & 237 & 227 & 221 & 225 & 227 & 227 & 235 & 233 & 231 & 231 & 231 \\
239 & 243 & 239 & 223 & 211 & 221 & 229 & 227 & 233 & 231 & 231 & 231 & 229 \\
239 & 239 & 237 & 223 & 211 & 219 & 227 & 227 & 233 & 231 & 229 & 229 & 227 \\
239 & 235 & 233 & 229 & 221 & 219 & 225 & 229 & 233 & 231 & 229 & 229 & 227 \\
243 & 235 & 229 & 231 & 227 & 217 & 219 & 229 & 231 & 229 & 229 & 229 & 227 \\
243 & 233 & 225 & 227 & 227 & 209 & 209 & 227 & 229 & 229 & 229 & 229 & 227 \\
243 & 241 & 229 & 229 & 229 & 211 & 207 & 227 & 227 & 227 & 229 & 229 & 227 \\
233 & 243 & 235 & 233 & 235 & 215 & 205 & 223 & 225 & 225 & 225 & 225 & 223 \\
213 & 237 & 233 & 229 & 231 & 209 & 197 & 215 & 221 & 221 & 223 & 223 & 221 \\
225 & 209 & 227 & 229 & 227 & 211 & 193 & 213 & 221 & 225 & 225 & 217 & 213 \\
229 & 221 & 221 & 211 & 211 & 215 & 205 & 209 & 221 & 225 & 225 & 219 & 213 \\
229 & 233 & 219 & 203 & 193 & 195 & 211 & 217 & 221 & 219 & 219 & 219 & 215 \\
225 & 231 & 221 & 219 & 181 & 153 & 203 & 233 & 221 & 215 & 215 & 219 & 217 \\
221 & 223 & 221 & 227 & 181 & 141 & 189 & 229 & 223 & 217 & 213 & 215 & 215 \\
219 & 223 & 215 & 211 & 187 & 171 & 187 & 203 & 225 & 223 & 217 & 211 & 209 \\
217 & 221 & 215 & 189 & 191 & 207 & 195 & 189 & 215 & 225 & 219 & 207 & 203
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.34 — Масив Масив чисел першого фрагменту знімку вен долоні при низькій температурі (звужені судини), після перетворення

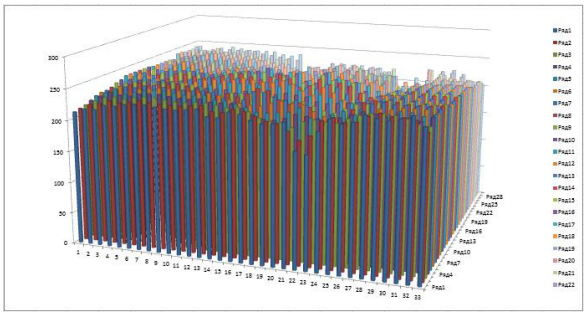


Рисунок 5.35 — Гістограма масиву першого фрагменту звужених судин, після перетворення

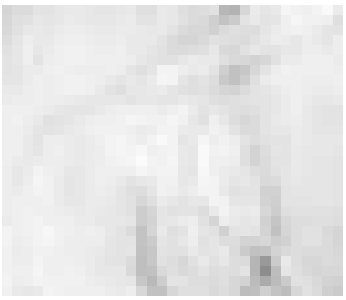


Рисунок 5.36 — Зображення вен долоні масиву першого фрагменту звужених судин, після перетворення

$$o := \begin{pmatrix}
214 & 211 & 208 & 208 & 206 & 210 & 211 & 204 & 201 & 209 & 208 & 205 & 211 & 203 & 179 & 180 & 199 & 206 & 205 & 203 & 199 & 197 & 194 & 191 & 188 & 185 & 182 & 177 & 177 & 176 & 176 & 171 & 170 & 181 & 185 & 189 & 192 \\
213 & 211 & 212 & 202 & 184 & 193 & 209 & 211 & 202 & 200 & 203 & 201 & 202 & 209 & 202 & 180 & 176 & 192 & 203 & 201 & 197 & 194 & 191 & 188 & 185 & 183 & 181 & 176 & 177 & 175 & 175 & 170 & 168 & 180 & 185 & 188 & 190 \\
208 & 209 & 212 & 211 & 196 & 182 & 189 & 205 & 206 & 197 & 198 & 202 & 200 & 203 & 209 & 201 & 180 & 172 & 189 & 198 & 195 & 192 & 188 & 186 & 184 & 183 & 182 & 179 & 180 & 178 & 176 & 169 & 166 & 178 & 185 & 186 & 188 \\
205 & 205 & 207 & 213 & 216 & 194 & 178 & 187 & 202 & 200 & 194 & 197 & 200 & 197 & 198 & 209 & 200 & 177 & 175 & 189 & 193 & 189 & 186 & 184 & 183 & 183 & 182 & 182 & 182 & 179 & 175 & 165 & 162 & 174 & 181 & 184 & 186 \\
207 & 206 & 205 & 201 & 207 & 213 & 189 & 177 & 192 & 199 & 192 & 191 & 195 & 198 & 200 & 196 & 199 & 200 & 177 & 179 & 191 & 188 & 185 & 183 & 183 & 182 & 181 & 183 & 183 & 179 & 173 & 162 & 157 & 170 & 177 & 181 & 184 \\
207 & 207 & 206 & 206 & 209 & 209 & 197 & 180 & 181 & 198 & 198 & 191 & 196 & 195 & 193 & 199 & 196 & 199 & 194 & 178 & 184 & 189 & 183 & 183 & 185 & 179 & 180 & 177 & 177 & 177 & 173 & 161 & 156 & 170 & 178 & 182 & 183 \\
208 & 206 & 205 & 204 & 206 & 206 & 201 & 193 & 185 & 188 & 197 & 196 & 196 & 194 & 192 & 196 & 195 & 198 & 196 & 178 & 177 & 185 & 185 & 186 & 184 & 177 & 176 & 177 & 175 & 172 & 171 & 162 & 158 & 171 & 176 & 178 & 181 \\
213 & 212 & 209 & 206 & 203 & 203 & 205 & 207 & 191 & 180 & 192 & 198 & 195 & 193 & 192 & 194 & 195 & 195 & 194 & 178 & 172 & 181 & 185 & 184 & 181 & 177 & 175 & 176 & 171 & 168 & 171 & 163 & 160 & 174 & 176 & 180 & 183 \\
217 & 216 & 214 & 210 & 202 & 200 & 206 & 211 & 200 & 179 & 182 & 196 & 196 & 196 & 197 & 196 & 196 & 193 & 190 & 176 & 172 & 181 & 182 & 176 & 176 & 179 & 176 & 174 & 167 & 166 & 171 & 161 & 155 & 171 & 177 & 185 & 187 \\
216 & 215 & 212 & 211 & 204 & 200 & 205 & 206 & 206 & 185 & 173 & 191 & 201 & 202 & 200 & 196 & 197 & 194 & 190 & 173 & 171 & 183 & 179 & 171 & 174 & 179 & 173 & 172 & 170 & 169 & 172 & 158 & 147 & 163 & 177 & 184 & 187 \\
216 & 214 & 211 & 210 & 206 & 202 & 203 & 200 & 203 & 191 & 174 & 184 & 200 & 203 & 199 & 194 & 195 & 196 & 190 & 170 & 171 & 183 & 179 & 172 & 174 & 175 & 170 & 174 & 176 & 171 & 169 & 157 & 144 & 157 & 177 & 180 & 182 \\
217 & 214 & 211 & 210 & 209 & 205 & 201 & 199 & 196 & 193 & 181 & 173 & 186 & 195 & 191 & 190 & 189 & 192 & 182 & 168 & 175 & 182 & 178 & 176 & 173 & 170 & 173 & 174 & 171 & 159 & 153 & 151 & 141 & 149 & 171 & 179 & 180 \\
215 & 213 & 212 & 210 & 211 & 207 & 201 & 200 & 191 & 192 & 188 & 165 & 168 & 182 & 183 & 186 & 186 & 186 & 171 & 167 & 181 & 183 & 179 & 178 & 172 & 168 & 179 & 168 & 157 & 143 & 139 & 144 & 139 & 142 & 160 & 178 & 183 \\
214 & 211 & 214 & 214 & 209 & 204 & 204 & 202 & 195 & 187 & 184 & 176 & 159 & 160 & 169 & 179 & 185 & 175 & 165 & 174 & 184 & 186 & 183 & 177 & 171 & 175 & 177 & 152 & 140 & 160 & 173 & 166 & 164 & 155 & 142 & 153 & 179 \\
216 & 216 & 215 & 213 & 208 & 203 & 201 & 199 & 192 & 185 & 182 & 181 & 165 & 156 & 157 & 155 & 160 & 160 & 167 & 182 & 183 & 179 & 179 & 176 & 179 & 180 & 159 & 146 & 158 & 172 & 174 & 168 & 173 & 177 & 160 & 142 & 156 \\
218 & 216 & 213 & 210 & 206 & 200 & 197 & 195 & 189 & 182 & 180 & 182 & 171 & 163 & 171 & 169 & 166 & 169 & 179 & 188 & 181 & 178 & 180 & 176 & 183 & 180 & 147 & 152 & 175 & 179 & 176 & 176 & 178 & 185 & 175 & 158 & 147 \\
217 & 213 & 210 & 208 & 203 & 198 & 194 & 192 & 188 & 183 & 179 & 178 & 169 & 161 & 174 & 183 & 174 & 174 & 179 & 180 & 180 & 182 & 182 & 179 & 182 & 171 & 150 & 170 & 183 & 180 & 182 & 186 & 181 & 179 & 180 & 173 & 149 \\
213 & 211 & 208 & 205 & 201 & 196 & 192 & 191 & 188 & 184 & 180 & 178 & 173 & 157 & 161 & 176 & 170 & 174 & 176 & 175 & 183 & 183 & 182 & 184 & 184 & 163 & 161 & 184 & 184 & 184 & 187 & 192 & 189 & 176 & 178 & 182 & 173 \\
204 & 204 & 201 & 198 & 197 & 193 & 191 & 190 & 189 & 186 & 182 & 177 & 175 & 158 & 151 & 168 & 170 & 177 & 178 & 178 & 185 & 181 & 179 & 186 & 187 & 160 & 168 & 185 & 183 & 189 & 191 & 190 & 194 & 183 & 177 & 175 & 187 \\
202 & 197 & 195 & 195 & 193 & 191 & 189 & 190 & 191 & 188 & 183 & 176 & 173 & 164 & 150 & 158 & 170 & 174 & 176 & 181 & 186 & 182 & 182 & 184 & 184 & 160 & 170 & 184 & 187 & 194 & 196 & 191 & 193 & 194 & 182 & 170 & 177 \\
201 & 195 & 194 & 195 & 190 & 189 & 188 & 189 & 190 & 187 & 182 & 182 & 181 & 176 & 157 & 150 & 168 & 173 & 177 & 182 & 184 & 185 & 186 & 181 & 178 & 161 & 171 & 188 & 194 & 198 & 202 & 197 & 194 & 201 & 190 & 193 & 182 \\
188 & 192 & 191 & 189 & 189 & 187 & 186 & 186 & 185 & 182 & 182 & 182 & 178 & 175 & 164 & 146 & 163 & 174 & 176 & 181 & 183 & 186 & 183 & 181 & 177 & 163 & 175 & 189 & 194 & 197 & 198 & 199 & 200 & 197 & 191 & 191 & 190 \\
184 & 177 & 180 & 186 & 188 & 184 & 181 & 181 & 180 & 180 & 182 & 182 & 180 & 179 & 168 & 149 & 156 & 171 & 179 & 186 & 183 & 183 & 183 & 183 & 177 & 161 & 176 & 189 & 192 & 195 & 198 & 200 & 201 & 199 & 196 & 193 & 191 \\
190 & 181 & 178 & 178 & 176 & 178 & 181 & 182 & 179 & 176 & 176 & 179 & 181 & 180 & 173 & 154 & 151 & 168 & 181 & 186 & 182 & 180 & 181 & 182 & 176 & 165 & 179 & 189 & 190 & 192 & 198 & 202 & 202 & 200 & 200 & 196 & 193 \\
195 & 190 & 184 & 179 & 174 & 171 & 172 & 176 & 179 & 177 & 173 & 174 & 177 & 176 & 172 & 159 & 148 & 163 & 176 & 177 & 179 & 177 & 181 & 183 & 172 & 170 & 183 & 189 & 189 & 192 & 197 & 202 & 202 & 201 & 201 & 200 & 195 \\
191 & 191 & 188 & 187 & 185 & 171 & 163 & 165 & 171 & 175 & 175 & 173 & 172 & 171 & 170 & 166 & 151 & 157 & 170 & 173 & 179 & 175 & 183 & 186 & 166 & 170 & 188 & 191 & 191 & 193 & 197 & 200 & 201 & 200 & 199 & 199 & 197 \\
193 & 193 & 189 & 185 & 182 & 177 & 171 & 165 & 161 & 163 & 170 & 173 & 172 & 171 & 171 & 173 & 158 & 154 & 166 & 173 & 177 & 174 & 183 & 183 & 163 & 170 & 189 & 192 & 194 & 196 & 197 & 198 & 201 & 200 & 196 & 193 & 197 \\
194 & 191 & 187 & 183 & 178 & 180 & 179 & 175 & 168 & 164 & 166 & 169 & 170 & 169 & 168 & 173 & 159 & 146 & 161 & 170 & 173 & 177 & 176 & 167 & 165 & 176 & 188 & 191 & 196 & 200 & 197 & 197 & 202 & 202 & 195 & 193 & 201 \\
190 & 186 & 184 & 185 & 183 & 178 & 176 & 177 & 178 & 175 & 166 & 164 & 167 & 165 & 161 & 165 & 154 & 141 & 154 & 160 & 162 & 173 & 167 & 160 & 172 & 184 & 188 & 191 & 197 & 200 & 199 & 198 & 200 & 201 & 197 & 197 & 204 \\
188 & 188 & 185 & 184 & 182 & 178 & 174 & 171 & 174 & 178 & 169 & 161 & 161 & 159 & 156 & 159 & 157 & 147 & 154 & 156 & 155 & 158 & 161 & 169 & 175 & 180 & 189 & 195 & 197 & 199 & 200 & 199 & 197 & 198 & 203 & 201 & 198 \\
184 & 188 & 188 & 186 & 178 & 173 & 171 & 171 & 175 & 179 & 175 & 159 & 148 & 157 & 166 & 170 & 169 & 156 & 163 & 176 & 173 & 167 & 165 & 168 & 168 & 168 & 176 & 188 & 194 & 197 & 197 & 197 & 199 & 203 & 207 & 204 & 200 \\
183 & 185 & 185 & 184 & 178 & 171 & 171 & 173 & 176 & 180 & 179 & 159 & 147 & 164 & 173 & 172 & 174 & 163 & 164 & 176 & 179 & 177 & 179 & 182 & 177 & 167 & 166 & 167 & 175 & 189 & 198 & 202 & 201 & 199 & 198 & 205 & 204 \\
182 & 182 & 179 & 179 & 176 & 171 & 173 & 176 & 175 & 175 & 173 & 158 & 157 & 173 & 174 & 172 & 177 & 173 & 163 & 172 & 185 & 183 & 180 & 181 & 183 & 182 & 183 & 177 & 173 & 176 & 186 & 196 & 199 & 199 & 199 & 206 & 204 \\
181 & 180 & 177 & 175 & 171 & 170 & 174 & 176 & 174 & 171 & 167 & 158 & 164 & 173 & 173 & 179 & 180 & 179 & 164 & 167 & 186 & 189 & 183 & 182 & 188 & 192 & 191 & 197 & 188 & 176 & 176 & 184 & 190 & 198 & 207 & 207 & 203 \\
181 & 179 & 175 & 172 & 168 & 171 & 176 & 176 & 174 & 172 & 166 & 160 & 165 & 170 & 175 & 184 & 181 & 179 & 165 & 161 & 180 & 192 & 189 & 186 & 189 & 191 & 189 & 193 & 193 & 191 & 188 & 183 & 182 & 188 & 198 & 202 & 204
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.37 — Масив чисел другого фрагменту знімку вен долоні при низькій температурі (звужені судини) до перетворення

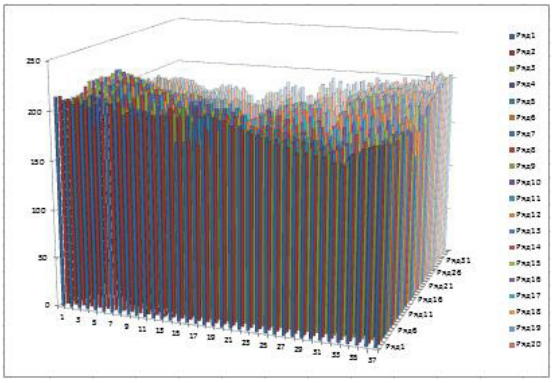


Рисунок 5.38 — Гістограма другого фрагменту звужених судин до перетворення

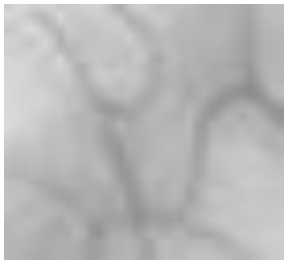


Рисунок 5.39 — Зображення вен долоні масиву другого фрагменту звужених судин, до перетворення

$$p := \begin{pmatrix}
8 & 14 & 20 & 20 & 24 & 16 & 14 & 28 & 34 & 18 & 20 & 26 & 14 & 30 & 78 & 76 & 38 & 24 & 26 & 30 & 38 & 42 & 48 & 54 & 60 & 66 & 72 & 82 & 82 & 84 & 84 & 94 & 96 & 74 & 66 & 58 \\
10 & 14 & 12 & 32 & 68 & 50 & 18 & 14 & 32 & 36 & 30 & 34 & 32 & 18 & 32 & 76 & 84 & 52 & 30 & 34 & 42 & 48 & 54 & 60 & 66 & 70 & 74 & 84 & 82 & 86 & 86 & 96 & 100 & 76 & 66 & 60 \\
20 & 18 & 12 & 14 & 44 & 72 & 58 & 26 & 24 & 42 & 40 & 32 & 36 & 30 & 18 & 34 & 76 & 92 & 58 & 40 & 46 & 52 & 60 & 64 & 68 & 70 & 72 & 78 & 76 & 80 & 84 & 98 & 104 & 80 & 66 & 64 \\
26 & 26 & 22 & 10 & 4 & 48 & 80 & 62 & 32 & 36 & 48 & 42 & 36 & 42 & 40 & 18 & 36 & 82 & 86 & 58 & 50 & 58 & 64 & 68 & 70 & 70 & 72 & 72 & 72 & 78 & 86 & 106 & 112 & 88 & 74 & 68 \\
22 & 24 & 26 & 34 & 22 & 10 & 58 & 82 & 52 & 38 & 52 & 54 & 46 & 40 & 36 & 44 & 38 & 36 & 82 & 78 & 54 & 60 & 66 & 70 & 70 & 72 & 74 & 70 & 70 & 78 & 90 & 112 & 122 & 96 & 82 & 74 \\
22 & 22 & 24 & 24 & 18 & 18 & 42 & 76 & 74 & 40 & 40 & 54 & 44 & 46 & 50 & 38 & 44 & 38 & 48 & 80 & 68 & 58 & 70 & 70 & 66 & 78 & 76 & 82 & 82 & 82 & 90 & 114 & 124 & 96 & 80 & 72 \\
20 & 24 & 26 & 28 & 24 & 24 & 34 & 50 & 66 & 60 & 42 & 44 & 44 & 48 & 52 & 44 & 46 & 40 & 44 & 80 & 82 & 66 & 66 & 64 & 68 & 82 & 84 & 82 & 86 & 92 & 94 & 112 & 120 & 94 & 84 & 80 \\
10 & 12 & 18 & 24 & 30 & 30 & 26 & 22 & 54 & 76 & 52 & 40 & 46 & 50 & 52 & 48 & 46 & 46 & 48 & 80 & 92 & 74 & 66 & 68 & 74 & 82 & 86 & 84 & 94 & 100 & 94 & 110 & 116 & 88 & 84 & 76 \\
2 & 4 & 8 & 16 & 32 & 36 & 24 & 14 & 36 & 78 & 72 & 44 & 44 & 44 & 42 & 44 & 44 & 50 & 56 & 84 & 92 & 74 & 72 & 84 & 84 & 78 & 84 & 88 & 102 & 104 & 94 & 114 & 126 & 94 & 82 & 66 \\
4 & 6 & 12 & 14 & 28 & 36 & 26 & 24 & 24 & 66 & 90 & 54 & 34 & 32 & 36 & 44 & 42 & 48 & 56 & 90 & 94 & 70 & 78 & 94 & 88 & 78 & 90 & 92 & 96 & 98 & 92 & 120 & 142 & 110 & 82 & 68 \\
4 & 8 & 14 & 16 & 24 & 32 & 30 & 36 & 30 & 54 & 88 & 68 & 36 & 30 & 38 & 48 & 46 & 44 & 56 & 96 & 94 & 70 & 78 & 92 & 88 & 86 & 96 & 88 & 84 & 94 & 98 & 122 & 148 & 122 & 82 & 76 \\
2 & 8 & 14 & 16 & 18 & 26 & 34 & 38 & 44 & 50 & 74 & 90 & 64 & 46 & 54 & 56 & 58 & 52 & 72 & 100 & 86 & 72 & 80 & 84 & 90 & 96 & 90 & 88 & 94 & 118 & 130 & 134 & 154 & 138 & 94 & 78 \\
6 & 10 & 12 & 16 & 14 & 22 & 34 & 36 & 54 & 52 & 60 & 106 & 100 & 72 & 70 & 64 & 64 & 64 & 94 & 102 & 74 & 70 & 78 & 80 & 92 & 100 & 78 & 100 & 122 & 150 & 158 & 148 & 158 & 152 & 116 & 80 \\
8 & 14 & 8 & 8 & 18 & 28 & 28 & 32 & 46 & 62 & 68 & 84 & 118 & 116 & 98 & 78 & 66 & 86 & 106 & 88 & 68 & 64 & 70 & 82 & 94 & 86 & 82 & 132 & 156 & 116 & 90 & 104 & 108 & 126 & 152 & 130 \\
4 & 4 & 6 & 10 & 20 & 30 & 34 & 38 & 52 & 66 & 72 & 74 & 106 & 124 & 122 & 126 & 116 & 116 & 102 & 72 & 70 & 78 & 78 & 84 & 78 & 76 & 118 & 144 & 120 & 92 & 88 & 100 & 90 & 82 & 116 & 152 \\
0 & 4 & 10 & 16 & 24 & 36 & 42 & 46 & 58 & 72 & 76 & 72 & 94 & 110 & 94 & 98 & 104 & 98 & 78 & 60 & 74 & 80 & 76 & 84 & 70 & 76 & 142 & 132 & 86 & 78 & 84 & 84 & 80 & 66 & 86 & 120 \\
2 & 10 & 16 & 20 & 30 & 40 & 48 & 52 & 60 & 70 & 78 & 80 & 98 & 114 & 88 & 70 & 88 & 88 & 78 & 76 & 76 & 72 & 72 & 78 & 72 & 94 & 136 & 96 & 70 & 76 & 72 & 64 & 74 & 78 & 76 & 90 \\
10 & 14 & 20 & 26 & 34 & 44 & 52 & 54 & 60 & 68 & 76 & 80 & 90 & 122 & 114 & 84 & 96 & 88 & 84 & 86 & 70 & 70 & 72 & 68 & 68 & 110 & 114 & 68 & 68 & 68 & 62 & 52 & 58 & 84 & 80 & 72 \\
28 & 28 & 34 & 40 & 42 & 50 & 54 & 56 & 58 & 64 & 72 & 82 & 86 & 120 & 134 & 100 & 96 & 82 & 80 & 80 & 66 & 74 & 78 & 64 & 62 & 116 & 100 & 66 & 70 & 58 & 54 & 56 & 48 & 70 & 82 & 86 \\
32 & 42 & 46 & 46 & 50 & 54 & 58 & 56 & 54 & 60 & 70 & 84 & 90 & 108 & 136 & 120 & 96 & 88 & 84 & 74 & 64 & 72 & 72 & 68 & 68 & 116 & 96 & 68 & 62 & 48 & 44 & 54 & 50 & 48 & 72 & 96 \\
34 & 46 & 48 & 46 & 56 & 58 & 60 & 58 & 56 & 62 & 72 & 72 & 74 & 84 & 122 & 136 & 100 & 90 & 82 & 72 & 68 & 66 & 64 & 74 & 80 & 114 & 94 & 60 & 48 & 40 & 32 & 42 & 48 & 34 & 56 & 50 \\
60 & 52 & 54 & 58 & 58 & 62 & 64 & 64 & 66 & 72 & 72 & 72 & 80 & 86 & 108 & 144 & 110 & 88 & 84 & 74 & 70 & 64 & 70 & 74 & 82 & 110 & 86 & 58 & 48 & 42 & 40 & 38 & 36 & 42 & 54 & 54 \\
68 & 82 & 76 & 64 & 60 & 68 & 74 & 74 & 76 & 76 & 72 & 72 & 76 & 78 & 100 & 138 & 124 & 94 & 78 & 64 & 70 & 70 & 70 & 70 & 82 & 114 & 84 & 58 & 52 & 46 & 40 & 36 & 34 & 38 & 44 & 50 \\
56 & 74 & 80 & 80 & 84 & 80 & 74 & 72 & 78 & 84 & 84 & 78 & 74 & 76 & 90 & 128 & 134 & 100 & 74 & 64 & 72 & 76 & 74 & 72 & 84 & 106 & 78 & 58 & 56 & 52 & 40 & 32 & 32 & 36 & 36 & 44 \\
46 & 56 & 68 & 78 & 88 & 94 & 92 & 84 & 78 & 82 & 90 & 88 & 82 & 84 & 92 & 118 & 140 & 110 & 84 & 82 & 78 & 82 & 74 & 70 & 92 & 96 & 70 & 58 & 58 & 52 & 42 & 32 & 32 & 34 & 34 & 36 \\
54 & 54 & 60 & 62 & 66 & 94 & 110 & 106 & 94 & 86 & 86 & 90 & 92 & 94 & 96 & 104 & 134 & 122 & 96 & 90 & 78 & 86 & 70 & 64 & 104 & 96 & 60 & 54 & 54 & 50 & 42 & 36 & 34 & 36 & 38 & 38 \\
50 & 50 & 58 & 66 & 72 & 82 & 94 & 106 & 114 & 110 & 96 & 90 & 92 & 94 & 94 & 90 & 120 & 128 & 104 & 90 & 82 & 88 & 70 & 70 & 110 & 96 & 58 & 52 & 48 & 44 & 42 & 40 & 34 & 36 & 44 & 50 \\
48 & 54 & 62 & 70 & 80 & 76 & 78 & 86 & 100 & 108 & 104 & 98 & 96 & 98 & 100 & 90 & 118 & 144 & 114 & 96 & 90 & 82 & 84 & 102 & 106 & 84 & 60 & 54 & 44 & 36 & 42 & 42 & 32 & 32 & 46 & 50 \\
56 & 64 & 68 & 66 & 70 & 80 & 84 & 82 & 80 & 86 & 104 & 108 & 102 & 106 & 114 & 106 & 128 & 154 & 128 & 116 & 112 & 90 & 102 & 116 & 92 & 68 & 60 & 54 & 42 & 36 & 38 & 40 & 36 & 34 & 42 & 42 \\
60 & 60 & 66 & 68 & 72 & 80 & 88 & 94 & 88 & 80 & 98 & 114 & 114 & 118 & 124 & 118 & 122 & 142 & 128 & 124 & 126 & 120 & 114 & 98 & 86 & 76 & 58 & 46 & 42 & 38 & 36 & 38 & 42 & 40 & 30 & 34 \\
68 & 60 & 60 & 64 & 80 & 90 & 94 & 94 & 86 & 78 & 86 & 118 & 140 & 122 & 104 & 96 & 98 & 124 & 110 & 84 & 90 & 102 & 106 & 100 & 100 & 100 & 84 & 60 & 48 & 42 & 42 & 42 & 38 & 30 & 22 & 28 \\
70 & 66 & 66 & 68 & 80 & 94 & 94 & 90 & 84 & 76 & 78 & 118 & 142 & 108 & 90 & 92 & 88 & 110 & 108 & 84 & 78 & 82 & 78 & 72 & 82 & 102 & 104 & 102 & 86 & 58 & 40 & 32 & 34 & 38 & 40 & 26 \\
72 & 72 & 78 & 78 & 84 & 94 & 90 & 84 & 86 & 86 & 90 & 120 & 122 & 90 & 88 & 92 & 82 & 90 & 110 & 92 & 66 & 70 & 76 & 74 & 70 & 72 & 70 & 82 & 90 & 84 & 64 & 44 & 38 & 38 & 38 & 24 \\
74 & 76 & 82 & 86 & 94 & 96 & 88 & 84 & 88 & 94 & 102 & 120 & 108 & 90 & 90 & 78 & 76 & 78 & 108 & 102 & 64 & 58 & 70 & 72 & 60 & 52 & 54 & 42 & 60 & 84 & 84 & 68 & 56 & 40 & 22 & 22 \\
74 & 78 & 86 & 92 & 100 & 94 & 84 & 84 & 88 & 92 & 104 & 116 & 106 & 96 & 86 & 68 & 74 & 78 & 106 & 114 & 76 & 52 & 58 & 64 & 58 & 54 & 58 & 50 & 50 & 54 & 60 & 70 & 72 & 60 & 40 & 32
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.40 — Масив Масив чисел другого фрагменту знімку вен долоні при низькій температурі (звужені судини), після перетворення

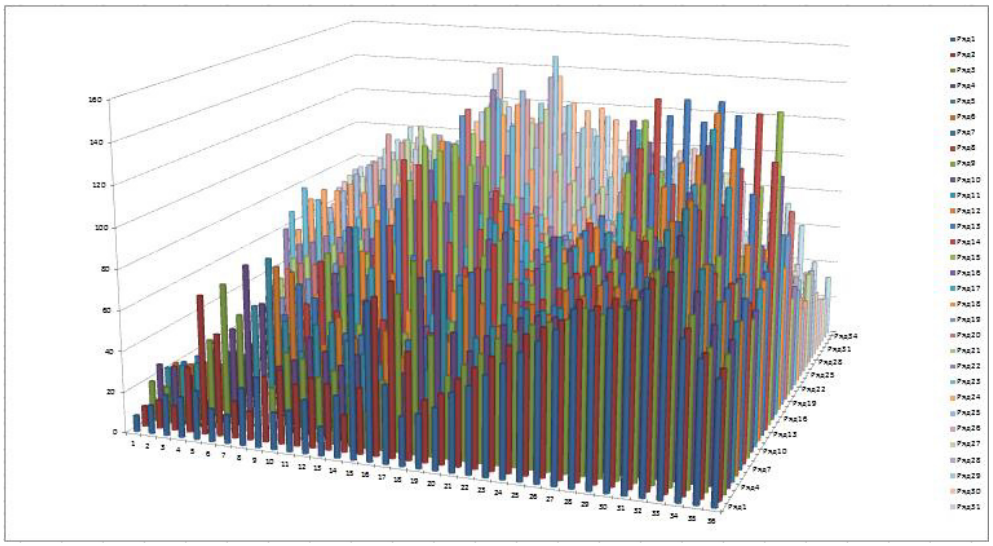


Рисунок 5.41 — Гістограма масиву другого фрагменту звужених судин, після перетворення

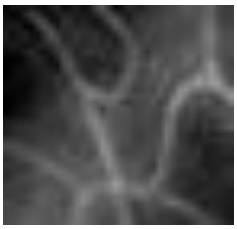


Рисунок 5.42 — Зображення вен долоні масиву другого фрагменту звужених судин, після перетворення

$$S := \begin{pmatrix}
243 & 246 & 245 & 244 & 244 & 243 & 240 & 236 & 232 & 236 & 237 & 236 & 233 & 233 & 232 & 225 & 217 & 213 & 208 & 207 & 211 & 214 & 215 & 216 & 219 & 216 & 218 & 221 & 223 & 225 & 226 & 226 \\
250 & 247 & 246 & 245 & 245 & 244 & 242 & 237 & 234 & 235 & 238 & 240 & 239 & 238 & 236 & 227 & 218 & 218 & 213 & 212 & 216 & 220 & 220 & 221 & 223 & 219 & 220 & 222 & 224 & 225 & 226 & 226 \\
250 & 250 & 251 & 251 & 249 & 246 & 242 & 237 & 235 & 236 & 239 & 244 & 246 & 243 & 236 & 227 & 221 & 218 & 214 & 214 & 219 & 223 & 223 & 223 & 226 & 220 & 221 & 224 & 225 & 226 & 225 & 224 \\
250 & 253 & 252 & 251 & 249 & 245 & 241 & 237 & 234 & 237 & 240 & 245 & 247 & 245 & 238 & 230 & 224 & 220 & 217 & 217 & 221 & 224 & 224 & 225 & 227 & 222 & 223 & 225 & 227 & 227 & 226 & 225 \\
251 & 255 & 253 & 250 & 247 & 243 & 239 & 236 & 234 & 238 & 242 & 247 & 250 & 247 & 241 & 234 & 230 & 225 & 221 & 220 & 224 & 227 & 226 & 227 & 229 & 224 & 225 & 227 & 228 & 228 & 228 & 227 \\
251 & 253 & 251 & 247 & 244 & 240 & 237 & 235 & 235 & 240 & 244 & 250 & 252 & 250 & 244 & 238 & 235 & 229 & 225 & 223 & 226 & 228 & 227 & 228 & 230 & 226 & 227 & 228 & 229 & 229 & 228 & 228 \\
251 & 249 & 247 & 244 & 241 & 238 & 237 & 236 & 236 & 241 & 246 & 252 & 254 & 251 & 246 & 241 & 239 & 232 & 227 & 225 & 227 & 228 & 227 & 228 & 230 & 227 & 227 & 228 & 228 & 228 & 227 & 227 \\
251 & 248 & 246 & 244 & 241 & 239 & 238 & 237 & 237 & 242 & 248 & 253 & 255 & 251 & 246 & 242 & 240 & 234 & 228 & 225 & 226 & 227 & 226 & 226 & 229 & 226 & 226 & 226 & 226 & 226 & 225 & 225 \\
250 & 250 & 249 & 246 & 244 & 241 & 239 & 238 & 238 & 243 & 249 & 254 & 255 & 250 & 245 & 241 & 240 & 234 & 228 & 224 & 225 & 225 & 223 & 224 & 227 & 225 & 225 & 224 & 223 & 223 & 223 & 222 \\
250 & 253 & 252 & 250 & 247 & 244 & 241 & 239 & 238 & 244 & 249 & 254 & 255 & 250 & 244 & 241 & 240 & 234 & 228 & 223 & 224 & 224 & 222 & 222 & 225 & 224 & 223 & 222 & 222 & 221 & 221 & 221 \\
253 & 255 & 254 & 252 & 250 & 248 & 245 & 240 & 237 & 246 & 249 & 253 & 254 & 252 & 247 & 243 & 241 & 233 & 229 & 225 & 223 & 223 & 223 & 222 & 221 & 224 & 223 & 222 & 221 & 220 & 220 & 219 \\
255 & 255 & 255 & 253 & 252 & 250 & 247 & 243 & 239 & 244 & 247 & 251 & 252 & 250 & 245 & 241 & 239 & 232 & 228 & 223 & 219 & 218 & 217 & 216 & 214 & 218 & 219 & 219 & 220 & 220 & 220 & 219 \\
255 & 255 & 253 & 252 & 251 & 250 & 247 & 242 & 239 & 242 & 245 & 249 & 251 & 248 & 243 & 239 & 237 & 232 & 227 & 220 & 214 & 210 & 208 & 207 & 206 & 209 & 211 & 214 & 217 & 218 & 218 & 217 \\
255 & 253 & 251 & 249 & 248 & 246 & 243 & 239 & 235 & 241 & 245 & 249 & 250 & 247 & 242 & 238 & 236 & 233 & 227 & 218 & 210 & 204 & 201 & 200 & 200 & 202 & 204 & 207 & 210 & 213 & 214 & 214 \\
255 & 254 & 252 & 250 & 248 & 246 & 242 & 237 & 234 & 241 & 245 & 249 & 250 & 247 & 242 & 238 & 236 & 234 & 227 & 217 & 207 & 199 & 196 & 197 & 198 & 200 & 201 & 203 & 205 & 207 & 209 & 211 \\
254 & 254 & 252 & 250 & 249 & 247 & 243 & 239 & 235 & 240 & 244 & 248 & 249 & 246 & 242 & 238 & 235 & 233 & 226 & 215 & 204 & 196 & 194 & 197 & 200 & 203 & 203 & 203 & 204 & 206 & 207 & 209 \\
248 & 247 & 246 & 245 & 245 & 244 & 241 & 237 & 234 & 238 & 242 & 246 & 247 & 244 & 240 & 236 & 233 & 230 & 224 & 213 & 201 & 194 & 193 & 198 & 202 & 208 & 208 & 208 & 209 & 209 & 209 & 208 \\
241 & 239 & 238 & 238 & 238 & 239 & 237 & 234 & 231 & 237 & 240 & 244 & 245 & 243 & 238 & 234 & 232 & 227 & 221 & 211 & 199 & 192 & 192 & 198 & 204 & 211 & 212 & 213 & 214 & 213 & 211 & 208 \\
231 & 228 & 229 & 231 & 232 & 231 & 231 & 232 & 233 & 238 & 240 & 243 & 244 & 242 & 238 & 233 & 230 & 226 & 218 & 204 & 192 & 186 & 188 & 194 & 199 & 207 & 210 & 214 & 216 & 215 & 214 & 214 \\
223 & 219 & 220 & 221 & 224 & 227 & 229 & 230 & 230 & 237 & 239 & 241 & 242 & 241 & 237 & 232 & 229 & 226 & 216 & 200 & 186 & 179 & 181 & 187 & 192 & 201 & 204 & 209 & 212 & 213 & 214 & 215 \\
215 & 210 & 210 & 211 & 216 & 223 & 227 & 229 & 228 & 235 & 237 & 240 & 241 & 240 & 236 & 232 & 229 & 226 & 214 & 197 & 182 & 175 & 177 & 183 & 189 & 195 & 199 & 205 & 210 & 213 & 215 & 217 \\
212 & 210 & 208 & 208 & 214 & 224 & 231 & 232 & 230 & 235 & 237 & 239 & 240 & 239 & 236 & 232 & 230 & 226 & 214 & 196 & 182 & 176 & 178 & 184 & 188 & 191 & 196 & 203 & 208 & 212 & 214 & 217 \\
216 & 215 & 212 & 212 & 218 & 228 & 235 & 236 & 234 & 235 & 237 & 238 & 239 & 237 & 235 & 231 & 229 & 226 & 214 & 198 & 184 & 178 & 177 & 180 & 182 & 186 & 191 & 197 & 202 & 206 & 208 & 210
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.43 — Масив чисел третього фрагменту знімку вен долоні при кімнатній температурі (розширені судини) до перетворення

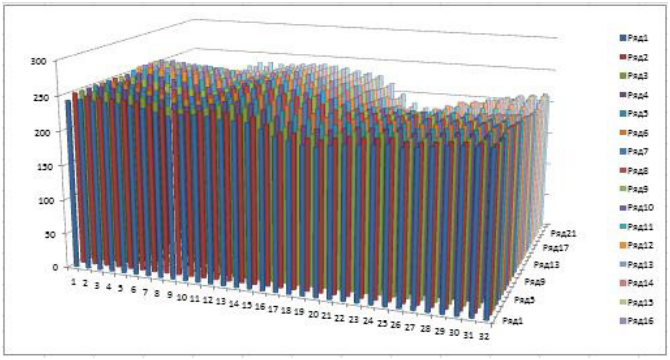


Рисунок 5.44 — Гістограма третього фрагменту розширених судин до перетворення

Рисунок 5.45 — Зображення вен долоні масиву третього фрагменту розширених судин, до перетворення

$$f := \begin{pmatrix}
231 & 237 & 235 & 233 & 233 & 231 & 225 & 217 & 209 & 217 & 219 & 217 & 211 & 211 & 209 & 195 & 179 & 171 & 161 & 159 & 167 & 173 & 175 & 177 & 183 & 177 & 181 & 187 & 191 & 195 & 197 & 197 \\
245 & 239 & 237 & 235 & 235 & 233 & 229 & 219 & 213 & 215 & 221 & 225 & 223 & 221 & 217 & 199 & 181 & 181 & 171 & 169 & 177 & 185 & 185 & 187 & 191 & 183 & 185 & 189 & 193 & 195 & 197 & 197 \\
245 & 245 & 247 & 247 & 243 & 237 & 229 & 219 & 215 & 217 & 223 & 233 & 237 & 231 & 217 & 199 & 187 & 181 & 173 & 173 & 183 & 191 & 191 & 191 & 197 & 185 & 187 & 193 & 195 & 197 & 195 & 193 \\
245 & 251 & 249 & 247 & 243 & 235 & 227 & 219 & 213 & 219 & 225 & 235 & 239 & 235 & 221 & 205 & 193 & 185 & 179 & 179 & 187 & 193 & 193 & 195 & 199 & 189 & 191 & 195 & 199 & 199 & 197 & 195 \\
247 & 255 & 251 & 245 & 239 & 231 & 223 & 217 & 213 & 221 & 229 & 239 & 245 & 239 & 227 & 213 & 205 & 195 & 187 & 185 & 193 & 199 & 197 & 199 & 203 & 193 & 195 & 199 & 201 & 201 & 201 & 199 \\
247 & 251 & 247 & 239 & 233 & 225 & 219 & 215 & 215 & 225 & 233 & 245 & 249 & 245 & 233 & 221 & 215 & 203 & 195 & 191 & 197 & 201 & 199 & 201 & 205 & 197 & 199 & 201 & 203 & 203 & 201 & 201 \\
247 & 243 & 239 & 233 & 227 & 221 & 219 & 217 & 217 & 227 & 237 & 249 & 253 & 247 & 237 & 227 & 223 & 209 & 199 & 195 & 199 & 201 & 199 & 201 & 205 & 199 & 199 & 201 & 201 & 201 & 199 & 199 \\
247 & 241 & 237 & 233 & 227 & 223 & 221 & 219 & 219 & 229 & 241 & 251 & 255 & 247 & 237 & 229 & 225 & 213 & 201 & 195 & 197 & 199 & 197 & 197 & 203 & 197 & 197 & 197 & 197 & 197 & 195 & 195 \\
245 & 245 & 243 & 237 & 233 & 227 & 223 & 221 & 221 & 231 & 243 & 253 & 255 & 245 & 235 & 227 & 225 & 213 & 201 & 193 & 195 & 195 & 191 & 193 & 199 & 195 & 195 & 193 & 191 & 191 & 191 & 189 \\
245 & 251 & 249 & 245 & 239 & 233 & 227 & 223 & 221 & 233 & 243 & 253 & 255 & 245 & 233 & 227 & 225 & 213 & 201 & 191 & 193 & 193 & 189 & 189 & 195 & 193 & 191 & 189 & 189 & 187 & 187 & 187 \\
251 & 255 & 253 & 249 & 245 & 241 & 235 & 225 & 219 & 237 & 243 & 251 & 253 & 249 & 239 & 231 & 227 & 211 & 203 & 195 & 191 & 191 & 191 & 189 & 187 & 193 & 191 & 189 & 187 & 185 & 185 & 183 \\
255 & 255 & 255 & 251 & 249 & 245 & 239 & 231 & 223 & 233 & 239 & 247 & 249 & 245 & 235 & 227 & 223 & 209 & 201 & 191 & 183 & 181 & 179 & 177 & 173 & 181 & 183 & 183 & 185 & 185 & 185 & 183 \\
255 & 255 & 251 & 249 & 247 & 245 & 239 & 229 & 223 & 229 & 235 & 243 & 247 & 241 & 231 & 223 & 219 & 209 & 199 & 185 & 173 & 165 & 161 & 159 & 157 & 163 & 167 & 173 & 179 & 181 & 181 & 179 \\
255 & 251 & 247 & 243 & 241 & 237 & 231 & 223 & 215 & 227 & 235 & 243 & 245 & 239 & 229 & 221 & 217 & 211 & 199 & 181 & 165 & 153 & 147 & 145 & 145 & 149 & 153 & 159 & 165 & 171 & 173 & 173 \\
255 & 253 & 249 & 245 & 241 & 237 & 229 & 219 & 213 & 227 & 235 & 243 & 245 & 239 & 229 & 221 & 217 & 213 & 199 & 179 & 159 & 143 & 137 & 139 & 141 & 145 & 147 & 151 & 155 & 159 & 163 & 167 \\
253 & 253 & 249 & 245 & 243 & 239 & 231 & 223 & 215 & 225 & 233 & 241 & 243 & 237 & 229 & 221 & 215 & 211 & 197 & 175 & 153 & 137 & 133 & 139 & 145 & 151 & 151 & 151 & 153 & 157 & 159 & 163 \\
241 & 239 & 237 & 235 & 235 & 233 & 227 & 219 & 213 & 221 & 229 & 237 & 239 & 233 & 225 & 217 & 211 & 205 & 193 & 171 & 147 & 133 & 131 & 141 & 149 & 161 & 161 & 161 & 163 & 163 & 163 & 161 \\
227 & 223 & 221 & 221 & 221 & 223 & 219 & 213 & 207 & 219 & 225 & 233 & 235 & 231 & 221 & 213 & 209 & 199 & 187 & 167 & 143 & 129 & 129 & 141 & 153 & 167 & 169 & 171 & 173 & 171 & 167 & 161 \\
207 & 201 & 203 & 207 & 209 & 207 & 207 & 209 & 211 & 221 & 225 & 231 & 233 & 229 & 221 & 211 & 205 & 197 & 181 & 153 & 129 & 117 & 121 & 133 & 143 & 159 & 165 & 173 & 177 & 175 & 173 & 173 \\
191 & 183 & 185 & 187 & 193 & 199 & 203 & 205 & 205 & 219 & 223 & 227 & 229 & 227 & 219 & 209 & 203 & 197 & 177 & 145 & 117 & 103 & 107 & 119 & 129 & 147 & 153 & 163 & 169 & 171 & 173 & 175 \\
175 & 165 & 165 & 167 & 177 & 191 & 199 & 203 & 201 & 215 & 219 & 225 & 227 & 225 & 217 & 209 & 203 & 197 & 173 & 139 & 109 & 95 & 99 & 111 & 123 & 135 & 143 & 155 & 165 & 171 & 175 & 179 \\
169 & 165 & 161 & 161 & 173 & 193 & 207 & 209 & 205 & 215 & 219 & 223 & 225 & 223 & 217 & 209 & 205 & 197 & 173 & 137 & 109 & 97 & 101 & 113 & 121 & 127 & 137 & 151 & 161 & 169 & 173 & 179 \\
177 & 175 & 169 & 169 & 181 & 201 & 215 & 217 & 213 & 215 & 219 & 221 & 223 & 219 & 215 & 207 & 203 & 197 & 173 & 141 & 113 & 101 & 99 & 105 & 109 & 117 & 127 & 139 & 149 & 157 & 161 & 165
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.46 — Масив чисел третього фрагменту знімку вен долоні при кімнатній температурі (розширені судини), після перетворення

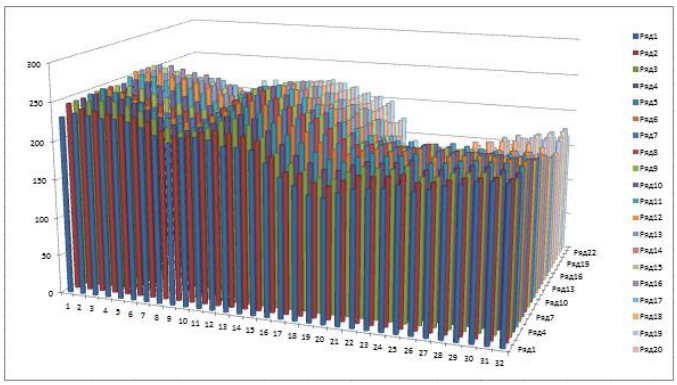


Рисунок 5.47 — Гістограма третього фрагменту розширених судин після перетворення

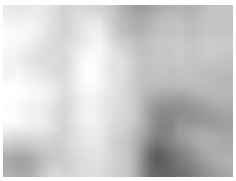


Рисунок 5.48 — Зображення вен долоні масиву третього фрагменту розширених судин, після перетворення

$$g := \begin{pmatrix}
191 & 193 & 195 & 196 & 196 & 197 & 198 & 200 & 201 & 200 & 199 & 199 & 199 & 201 & 204 & 206 & 207 & 205 & 202 & 201 & 203 & 207 & 212 & 215 & 216 & 215 & 213 & 211 & 210 & 210 & 211 \\
189 & 191 & 193 & 193 & 193 & 194 & 196 & 198 & 203 & 203 & 203 & 202 & 201 & 202 & 204 & 206 & 205 & 204 & 202 & 201 & 203 & 207 & 211 & 214 & 214 & 213 & 211 & 209 & 207 & 207 & 209 \\
185 & 187 & 189 & 189 & 189 & 190 & 192 & 194 & 199 & 200 & 201 & 201 & 199 & 199 & 200 & 202 & 203 & 202 & 201 & 201 & 203 & 206 & 210 & 212 & 213 & 212 & 210 & 207 & 204 & 204 & 207 \\
183 & 184 & 186 & 186 & 186 & 187 & 190 & 192 & 188 & 190 & 191 & 191 & 189 & 188 & 188 & 190 & 196 & 196 & 195 & 196 & 197 & 200 & 203 & 205 & 212 & 211 & 209 & 206 & 202 & 202 & 205 \\
181 & 182 & 182 & 183 & 184 & 185 & 185 & 185 & 184 & 187 & 190 & 191 & 190 & 188 & 188 & 188 & 189 & 192 & 195 & 196 & 197 & 197 & 198 & 199 & 205 & 208 & 210 & 208 & 203 & 200 & 202 \\
180 & 180 & 181 & 182 & 183 & 183 & 184 & 184 & 184 & 186 & 189 & 189 & 188 & 186 & 185 & 185 & 187 & 190 & 193 & 195 & 196 & 196 & 197 & 199 & 204 & 207 & 208 & 207 & 202 & 200 & 201 \\
178 & 178 & 179 & 180 & 181 & 182 & 183 & 183 & 183 & 185 & 187 & 186 & 184 & 181 & 180 & 180 & 184 & 187 & 191 & 193 & 194 & 195 & 196 & 197 & 202 & 204 & 206 & 205 & 201 & 199 & 199 \\
176 & 176 & 177 & 178 & 180 & 181 & 182 & 182 & 181 & 183 & 183 & 182 & 179 & 176 & 175 & 175 & 179 & 182 & 187 & 190 & 191 & 192 & 193 & 194 & 198 & 200 & 202 & 202 & 199 & 197 & 196 \\
173 & 173 & 174 & 176 & 177 & 179 & 180 & 180 & 179 & 179 & 179 & 177 & 174 & 171 & 170 & 170 & 174 & 178 & 183 & 187 & 188 & 188 & 189 & 189 & 194 & 196 & 198 & 198 & 196 & 194 & 193 \\
168 & 168 & 170 & 171 & 173 & 174 & 176 & 176 & 175 & 176 & 175 & 172 & 169 & 166 & 166 & 166 & 170 & 174 & 179 & 183 & 184 & 184 & 183 & 184 & 189 & 191 & 193 & 194 & 193 & 191 & 189 \\
162 & 162 & 164 & 165 & 167 & 169 & 170 & 171 & 172 & 172 & 172 & 169 & 165 & 163 & 163 & 163 & 167 & 171 & 177 & 180 & 180 & 179 & 179 & 179 & 186 & 187 & 189 & 191 & 191 & 189 & 186 \\
157 & 158 & 159 & 161 & 163 & 165 & 166 & 167 & 170 & 170 & 170 & 167 & 164 & 161 & 161 & 162 & 166 & 170 & 175 & 178 & 178 & 177 & 176 & 176 & 184 & 185 & 187 & 189 & 189 & 187 & 184 \\
154 & 155 & 157 & 159 & 161 & 162 & 162 & 163 & 164 & 163 & 164 & 164 & 161 & 157 & 160 & 166 & 164 & 169 & 174 & 175 & 173 & 172 & 174 & 177 & 181 & 182 & 183 & 185 & 187 & 187 & 185 \\
148 & 150 & 152 & 155 & 157 & 158 & 159 & 160 & 154 & 152 & 153 & 153 & 150 & 147 & 151 & 157 & 165 & 169 & 173 & 175 & 175 & 175 & 176 & 178 & 178 & 178 & 179 & 181 & 183 & 184 & 183 \\
142 & 144 & 147 & 150 & 152 & 155 & 156 & 157 & 152 & 150 & 149 & 149 & 147 & 145 & 149 & 156 & 163 & 165 & 169 & 171 & 173 & 174 & 175 & 175 & 174 & 173 & 173 & 174 & 177 & 180 & 180 \\
139 & 141 & 144 & 147 & 150 & 152 & 154 & 155 & 156 & 152 & 150 & 150 & 148 & 146 & 150 & 157 & 158 & 159 & 162 & 166 & 169 & 170 & 170 & 170 & 171 & 169 & 167 & 168 & 172 & 176 & 178 \\
139 & 141 & 143 & 146 & 149 & 151 & 152 & 152 & 153 & 148 & 145 & 145 & 143 & 141 & 144 & 150 & 155 & 156 & 159 & 163 & 166 & 168 & 168 & 167 & 168 & 165 & 163 & 164 & 168 & 172 & 176 \\
140 & 141 & 142 & 144 & 146 & 147 & 147 & 147 & 148 & 143 & 140 & 141 & 140 & 138 & 141 & 145 & 153 & 156 & 159 & 162 & 164 & 165 & 165 & 166 & 164 & 162 & 159 & 160 & 163 & 168 & 172 \\
138 & 139 & 140 & 140 & 141 & 140 & 140 & 140 & 142 & 138 & 136 & 139 & 139 & 138 & 140 & 144 & 148 & 152 & 156 & 158 & 157 & 157 & 159 & 161 & 160 & 158 & 155 & 156 & 159 & 163 & 167 \\
136 & 136 & 137 & 137 & 136 & 135 & 134 & 134 & 134 & 130 & 130 & 134 & 136 & 136 & 138 & 141 & 142 & 146 & 151 & 152 & 150 & 149 & 151 & 154 & 157 & 155 & 153 & 153 & 156 & 160 & 163 \\
127 & 128 & 128 & 129 & 129 & 130 & 131 & 131 & 128 & 130 & 133 & 135 & 137 & 137 & 137 & 136 & 135 & 138 & 140 & 142 & 143 & 144 & 146 & 148 & 149 & 151 & 152 & 151 & 151 & 153 & 158 \\
129 & 129 & 128 & 127 & 127 & 128 & 129 & 130 & 129 & 131 & 134 & 137 & 138 & 137 & 135 & 134 & 135 & 136 & 138 & 139 & 139 & 140 & 142 & 144 & 148 & 150 & 150 & 149 & 148 & 151 & 157 \\
132 & 130 & 128 & 126 & 125 & 126 & 127 & 128 & 129 & 132 & 135 & 138 & 138 & 136 & 133 & 131 & 134 & 135 & 135 & 135 & 134 & 135 & 138 & 140 & 147 & 148 & 148 & 146 & 145 & 148 & 154
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.49 — Масив чисел четвертого фрагменту знімку вен долоні при кімнатній температурі (розширені судини) до перетворення

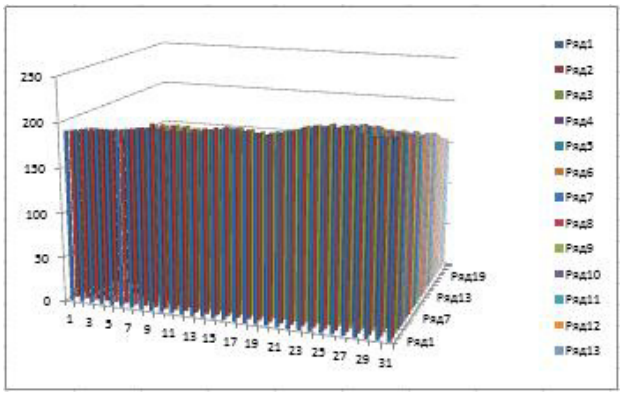


Рисунок 5.50 — Гістограма четвертого фрагменту розширених судин до перетворення

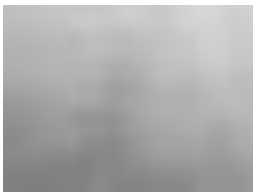


Рисунок 5.51 — Зображення вен долоні масиву четвертого фрагменту розширених судин, до перетворення

$$h := \begin{pmatrix}
166 & 170 & 174 & 176 & 176 & 178 & 180 & 184 & 186 & 184 & 182 & 182 & 182 & 186 & 192 & 196 & 198 & 194 & 188 & 186 & 190 & 198 & 208 & 214 & 216 & 214 & 210 & 206 & 204 & 204 & 206 \\
162 & 166 & 170 & 170 & 170 & 172 & 176 & 180 & 190 & 190 & 190 & 188 & 186 & 188 & 192 & 196 & 194 & 192 & 188 & 186 & 190 & 198 & 206 & 212 & 212 & 210 & 206 & 202 & 198 & 198 & 202 \\
154 & 158 & 162 & 162 & 162 & 164 & 168 & 172 & 182 & 184 & 186 & 186 & 182 & 182 & 184 & 188 & 190 & 188 & 186 & 186 & 190 & 196 & 204 & 208 & 210 & 208 & 204 & 198 & 192 & 192 & 198 \\
150 & 152 & 156 & 156 & 156 & 158 & 164 & 168 & 160 & 164 & 166 & 166 & 162 & 160 & 160 & 164 & 176 & 176 & 174 & 176 & 178 & 184 & 190 & 194 & 208 & 206 & 202 & 196 & 188 & 188 & 194 \\
146 & 148 & 148 & 150 & 152 & 154 & 154 & 154 & 152 & 158 & 164 & 166 & 164 & 160 & 160 & 160 & 162 & 168 & 174 & 176 & 178 & 178 & 180 & 182 & 194 & 200 & 204 & 200 & 190 & 184 & 188 \\
144 & 144 & 146 & 148 & 150 & 150 & 152 & 152 & 152 & 156 & 162 & 162 & 160 & 156 & 154 & 154 & 158 & 164 & 170 & 174 & 176 & 176 & 178 & 182 & 192 & 198 & 200 & 198 & 188 & 184 & 186 \\
140 & 140 & 142 & 144 & 146 & 148 & 150 & 150 & 150 & 154 & 158 & 156 & 152 & 146 & 144 & 144 & 152 & 158 & 166 & 170 & 172 & 174 & 176 & 178 & 188 & 192 & 196 & 194 & 186 & 182 & 182 \\
136 & 136 & 138 & 140 & 144 & 146 & 148 & 148 & 146 & 150 & 150 & 148 & 142 & 136 & 134 & 134 & 142 & 148 & 158 & 164 & 166 & 168 & 170 & 172 & 180 & 184 & 188 & 188 & 182 & 178 & 176 \\
130 & 130 & 132 & 136 & 138 & 142 & 144 & 144 & 142 & 142 & 142 & 138 & 132 & 126 & 124 & 124 & 132 & 140 & 150 & 158 & 160 & 160 & 162 & 162 & 172 & 176 & 180 & 180 & 176 & 172 & 170 \\
120 & 120 & 124 & 126 & 130 & 132 & 136 & 136 & 134 & 136 & 134 & 128 & 122 & 116 & 116 & 116 & 124 & 132 & 142 & 150 & 152 & 152 & 150 & 152 & 162 & 166 & 170 & 172 & 170 & 166 & 162 \\
108 & 108 & 112 & 114 & 118 & 122 & 124 & 126 & 128 & 128 & 128 & 122 & 114 & 110 & 110 & 110 & 118 & 126 & 138 & 144 & 144 & 142 & 142 & 142 & 156 & 158 & 162 & 166 & 166 & 162 & 156 \\
98 & 100 & 102 & 106 & 110 & 114 & 116 & 118 & 124 & 124 & 124 & 118 & 112 & 106 & 106 & 108 & 116 & 124 & 134 & 140 & 140 & 138 & 136 & 136 & 152 & 154 & 158 & 162 & 162 & 158 & 152 \\
92 & 94 & 98 & 102 & 106 & 108 & 108 & 110 & 112 & 110 & 112 & 112 & 106 & 98 & 104 & 116 & 112 & 122 & 132 & 134 & 130 & 128 & 132 & 138 & 146 & 148 & 150 & 154 & 158 & 158 & 154 \\
80 & 84 & 88 & 94 & 98 & 100 & 102 & 104 & 92 & 88 & 90 & 90 & 84 & 78 & 86 & 98 & 114 & 122 & 130 & 134 & 134 & 134 & 136 & 140 & 140 & 140 & 142 & 146 & 150 & 152 & 150 \\
68 & 72 & 78 & 84 & 88 & 94 & 96 & 98 & 88 & 84 & 82 & 82 & 78 & 74 & 82 & 96 & 110 & 114 & 122 & 126 & 130 & 132 & 134 & 134 & 132 & 130 & 130 & 132 & 138 & 144 & 144 \\
62 & 66 & 72 & 78 & 84 & 88 & 92 & 94 & 96 & 88 & 84 & 84 & 80 & 76 & 84 & 98 & 100 & 102 & 108 & 116 & 122 & 124 & 124 & 124 & 126 & 122 & 118 & 120 & 128 & 136 & 140 \\
62 & 66 & 70 & 76 & 82 & 86 & 88 & 88 & 90 & 80 & 74 & 74 & 70 & 66 & 72 & 84 & 94 & 96 & 102 & 110 & 116 & 120 & 120 & 118 & 120 & 114 & 110 & 112 & 120 & 128 & 136 \\
64 & 66 & 68 & 72 & 76 & 78 & 78 & 78 & 80 & 70 & 64 & 66 & 64 & 60 & 66 & 74 & 90 & 96 & 102 & 108 & 112 & 114 & 114 & 116 & 112 & 108 & 102 & 104 & 110 & 120 & 128 \\
60 & 62 & 64 & 64 & 66 & 64 & 64 & 64 & 68 & 60 & 56 & 62 & 62 & 60 & 64 & 72 & 80 & 88 & 96 & 100 & 98 & 98 & 102 & 106 & 104 & 100 & 94 & 96 & 102 & 110 & 118 \\
56 & 56 & 58 & 58 & 56 & 54 & 52 & 52 & 52 & 44 & 44 & 52 & 56 & 56 & 60 & 66 & 68 & 76 & 86 & 88 & 84 & 82 & 86 & 92 & 98 & 94 & 90 & 90 & 96 & 104 & 110 \\
38 & 40 & 40 & 42 & 42 & 44 & 46 & 46 & 40 & 44 & 50 & 54 & 58 & 58 & 58 & 56 & 54 & 60 & 64 & 68 & 70 & 72 & 76 & 80 & 82 & 86 & 88 & 86 & 86 & 90 & 100 \\
42 & 42 & 40 & 38 & 38 & 40 & 42 & 44 & 42 & 46 & 52 & 58 & 60 & 58 & 54 & 52 & 54 & 56 & 60 & 62 & 62 & 64 & 68 & 72 & 80 & 84 & 84 & 82 & 80 & 86 & 98 \\
48 & 44 & 40 & 36 & 34 & 36 & 38 & 40 & 42 & 48 & 54 & 60 & 60 & 56 & 50 & 46 & 52 & 54 & 54 & 54 & 52 & 54 & 60 & 64 & 78 & 80 & 80 & 76 & 74 & 80 & 92
\end{pmatrix}$$

Рисунок 5.52 — Масив чисел четвертого фрагменту знімку вен долоні при кімнатній температурі (розширені судини), після перетворення

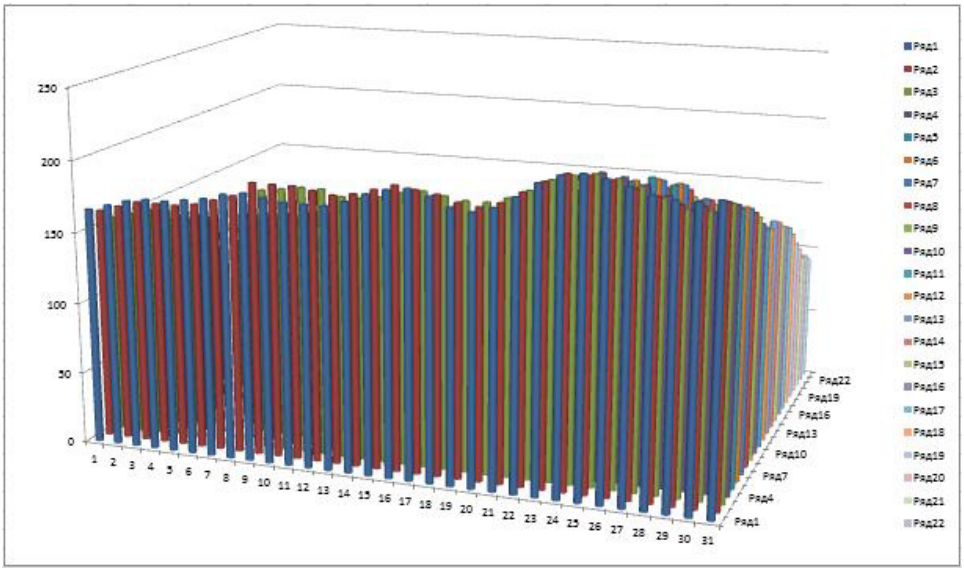


Рисунок 5.53 — Гістограма четвертого фрагменту розширених судин після перетворення

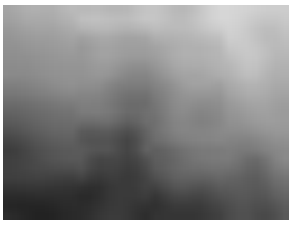


Рисунок 5.54 — Зображення вен долоні масиву четвертого фрагменту розширених судин, після перетворення

Підсумовуючи експеримент можна сказати, що метод адаптивного збільшення контрастності працює досить гарно. Результат є і він доволі помітний, про це свідчать і випадково змодельовані приклади і «живі» знімки судин долоні.

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені в даній роботі, лежать в основі практичного застосування високочутливих польових сенсорів, яке може почати лавиноподібний розвиток в найближче десятиліття.

Використання польових транзисторів з каналом-нанодротів в ролі біосенсорів, по суті, обмежується лише відсутністю успіхів в суміжних областях, в першу чергу, біохімії. Використання їх як локальних полечутливих зондів стримується на даний момент лише відсутністю демонстрації роботи даного пристрою на їх основі.

Використання одноелектронних транзисторів обмежується їх робочою температурою, тому створення транзистора на окремих атомах може відкрити нові перспективи перед одноелектронікою в цілому.

Проведений аналіз літературного контенту, присвяченого методам біометричної ідентифікації та технологіям їх реалізації, підтвердив актуальність існуючої проблеми ідентифікації і аутентифікації особистості і визначив її як одну з пріоритетних, вирішення якої сприяє якісному збереженню персональних даних, забезпечує надійний доступ до об’єктів таємної інформації, наукових розробок тощо. Показано, що поєднання паролів із біометричними характеристиками людини підвищує надійність системи доступу в сотні і тисячі разів. Наведені переваги, недоліки та основні характеристики біометричних ідентифікаційних технологій методів біометричної ідентифікації дозволили класифікувати їх на статичні (за відбитками пальців, за райдужною оболонкою ока, за геометрією обличчя або кисті руки, за венозним малюнком руки, за сітківкою ока) та динамічні (ідентифікація за голосом, за набором на клавіатурі, за підписом).

Дослідження показали, що підбір методів підвищення контрастності зображення слід починати з глобальних, як найбільш швидких і не вимагають настройки численних параметрів. Застосування методів адаптивного підвищення контрастності дозволяє підвищити розрізнення

дрібних малоконтрастних деталей, але вимагає проведення низки попередніх експериментів для точного підбору параметрів.

У роботі приведено актуальну науково-технічну задачу розробки інформаційної технології для ідентифікації персоналу на основі комплексу біометричних параметрів з використанням поєднання статично-динамічних методів розпізнавання та удосконаленням методів створення еталонних зразків. ІТ ідентифікації персоналу, з застосуванням мультимодальних біометричних методів, має суттєві переваги. Завдяки поєднання методів, що враховують відразу кілька біометричних характеристик, можна підвищити захищеність інформаційних ресурсів від несанкціонованого доступу загалом.

Підсумовуючи експеримент можна сказати, що метод адаптивного збільшення контрастності працює досить гарно. Результат є і він доволі помітний, про це свідчать і випадково змодельовані приклади і «живі» знімки судин долоні.

Матеріали магістерської роботи можуть бути застосовані на підприємствах, де застосовують систему контролю по венам долоні, а також при розробці лабораторних та практичних занять для фахівців спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Красильников Н. Н. Цифровая обработка изображений. М.: Вузовская книга, 2001. 320 с.

2. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

3. Грузман И. С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах / НГТУ. Новосибирск, 2000. 156 с.

4. Захаров В. П. Використання біометричних технологій правоохоронними органами у XXI столітті / В. П. Захаров, В. І. Рудешко. – Львів: ЛьвДУВС, 2009. – 440 с

5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.1. Двоеносова Г. Биометрия как наука, метод и способ документирования [Електронний ресурс] / Г. Двоеносова, М. Двоеносова // Журнал «Управление персоналом». – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.toppersonal.ru/issue.html?2039.

6. Кумченко Ю. О. Аналіз існуючих підходів біометричної ідентифікації та аутентифікації людини / Ю. О. Кумченко, А. І. Купін // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 4 (87). – С. 129–134.

7. Тихонов І. А. Інформативні параметри біометричної аутентифікації користувачів інформаційних систем по інфрачервоному зображенню судинного русла Біомедична техніка і радіоелектроніка. / І. А. Тихонов. – 2010. – №9. – С. 26–32

8. Секрет И. В. Информационные технологии в учебной деятельности студенческой молодежи: Европейское измерение / Е-журнал «Педагогическая наука: история, теория, практика, тенденции развития» / Выпуск №1, 2010.

9. Андрущенко В. Роздуми про вчителя / Віктор Андрущенко // Вища освіта України – 2011. – № 2. – С. 5–12.

10. Стрелкова Т.А., Ромоданова Э.А. Тиманюк В.А. Адаптация студентов младших курсов вузов к методам оценивания качества знаний в кредитно-модульной системе образования / Новий колегіум. – 2010. – № 6 (61). – С. 10-17.

11. Крупенин В. А., Преснов Д. Е., Амитонов С. В., Ушакова Ю. С. Зарядовый сенсор на основе кремниевого нанопровода // Тезисы Четвертой международной конференции "Современные достижения бионаноскопии". 2010. P. 38.

12. Крупенин В. А., Преснов Д. Е., Власенко В. С., Амитонов С. В. Полевой транзистор на основе кремниевого нанопровода // Радиотехника. 2009. № 3. С. 104–107.

13. Преснов Д. Е., Амитонов С. В., Крупенин В. А. Полевой транзистор с каналом-нанопроводом – основа молекулярного биосенсора // Радиотехника. 2012. № 9. С. 122–126.

14. Krupenin V., Presnov D., Amitonov S. Suspended silicon nanowire transistor as high sensitive charge sensor // Abstracts of Int. Symposium - Nano and Giga Challenges in Electronics, Photonics and Renewable Energy. Moscow - Zelenograd, Russia, 12-16 September, 2011. P. 32.

15. Крупенин В. А., Преснов Д. Е., Курочкин И. Н. et al. Зарядовый сенсор на основе подвешенного кремниевого нанопровода // Тезисы Пятой международной конференции "Современные достижения бионаноскопии". 2011. P. 9–10. 23

16. Крупенин В. А., Преснов Д. Е., Амитонов С. В. et al. Высокочувствительный биосенсор на основе подвешенного кремниевого нанопровода // Сборник трудов научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты инновационных проектов Физического факультета МГУ». 2011.

17. Krupenin V., Presnov D., Amitonov S. et al. Silicon single-electron transistor with suspended island // Abstr. of The Seventh General Meeting of

ACCMS-VO (Asian Consortium on Computational Material Science - Virtual Organisation). IMR, Tohoku University, Sendai and Matsushima, Japan, 23-25 November, 2012. P. PS–33.

18. Amitonov S., Presnov D., Rudenko K. et al. Silicon nanowire field effect transistor with highly doped leads // International Conference <>. Abstr. Book. Moscow-Zvenigorod, Russia, 1-5 October, 2012. P. O3–02.

19. Soloviev I., Devyatov I., Krutitskiy P. et al. Experimental and theoretical study of nanowire FET based on SOI // International Conference <>. Abstr. Book. Moscow-Zvenigorod, Russia, 1-5 October, 2012. P. P1–41.

20. Krupenin V., Presnov D., Amitonov S., Nejo H. Suspended silicon nanowire transistor high sensitive charge sensor // Abstr. of The Sixth General Meeting of ACCMS-VO (Asian Consortium on Computational Material Science - Virtual Organisation). IMR, Tohoku University, Sendai and Matsushima , Japan, 10-12 February, 2012. P. PS–9.

21. Krupenin V., Presnov D., Amitonov S. et al. Suspended silicon single-electron transistor // International Conference <>. Abstr. Book. Moscow-Zvenigorod, Russia, 1-5 October, 2012. P. P1–39.

22. Крупенин В. А., Преснов Д. Е., Амитонов С. В. et al. Транзистор с кремниевым нанопроводом в качестве высокочувствительного химического и биосенсора // Тезисы III Евразийского конгресса по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика – 2010». Vol. 3. 2010. P. 257–259.

23. Преснов Д. Е., Крупенин В. А., Амитонов С. В. et al. Биосенсор на основе кремниевого нанопровода // Тезисы III Международной конференции "Объединенный Дальневосточный научно-исследовательский центр ДВФУ и ДВО РАН - ведущий научный интегратор внедрения инновационных методов исследований в биотехнологиях и нанотехнологиях. 2010.

24. Krupenin V., Presnov D., Amitonov S. Suspended silicon nanowire transistor as high sensitive charge sensor // Abstracts of Int. Symposium - Nano and Giga Challenges in Electronics, Photonics and Renewable Energy. Moscow - Zelenograd, Russia, 12-16 September, 2011. P. 32.

25. Кумченко Ю. О. Аналіз основних характеристик біометричних систем розпізнавання на основі поширених помилок ідентифікації / Ю. О. Кумченко, А. І. Купін // Сучасні інформаційні технології 2013: Матеріали третьої Міжнародної конференції студентів і молодих науковців (25–26 квітня 2013 р.). – Одеса, 2013. – С. 112–113.

26. Кумченко Ю. О. Оцінка точності роботи та переваги мультимодальної біометричної інформаційної технології ідентифікації персоналу / Ю. О. Кумченко // IX Всеукраїнська науково-практична WEB конференція аспірантів, студентів та молодих вчених «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі»: 22–24 березня 2016 р.: матер. – Кривий Ріг, 2016. – С. 92–94.

27. Прудник А. М. Биометрические методы защиты информации / А. М. Прудник, Г. А. Власова, Я. В. Рощупкин. – Минк: БГУИР, 2014. – 123 с.

28. Системи контролю доступу [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.npblog.com.ua/.

29. Биометрическая идентификация по рисунку вен ладони (mini How To) [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://habrahabr.ru/post/149424/

30. Традиционные методы биометрической аутентификации и идентификации [Електронний ресурс] / [В. М. Колешко, Е. А. Воробей, П. М. Азизов та ін.] // БНТУ. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://rep.bntu.by/handle/data/780.

31. Acuity Market Intelligence [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.acuity-mi.com.

32. Задорожный В. Обзор биометрических технологий / В. Задорожный. // Конфидент. – 2003. – №5.

33. Биометрическая система на мобильном телефоне [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://habrahabr.ru/post/236209/.

34. Моржаков В. Современные биометрические методы идентификации / В. Моржаков, А. Мальцев. // БДИ. – 2009. – №2.

35. Мальцев А. Современные биометрические методы идентификации [Електронний ресурс] / Антон Мальцев. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://habrahabr.ru/post/126144/.

36. Журавель И. М. Краткий курс теории обработки изображений. http://matlab.exponenta.ru

37. Шмідт А.О. Використання новітніх технічних засобів, як засіб динамічного оновлення змісту освіти в галузі мікро- та наноелектроніка/ XIV Міжнародна наукова конференція «Фізичні явища в твердих тілах» 3-5 грудня 2019 року

38.Стрілкова Т.О., Шмідт А.О. Вплив інформаційних технологій на якість сучасної технічної освіти/ XVIII Міжнародна науково-практична конференція 19-20 вересня 2019 р.,293 с.