

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФЕСЕНКО Андрій Олексійович

УДК 004.056.5:57.087.1(043.5)

**МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА
АУТЕНТИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ БІОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОКА**

05.13.21 – системи захисту інформації

Науковий керівник
Швець Велеріян Анатолійович
кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри засобів
захисту інформації
ННІДС НАУ

Київ – 2017

АНОТАЦІЯ

Фесенко А.О. Методи обробки даних для систем ідентифікації на основі біометричних характеристик ока. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового степеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.21 «системи захисту інформації» – Національний авіаційний університет, Київ 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково–технічної задачі розробці методів обробки даних для систем біометричної ідентифікації по біометричним характеристикам ока.

У кожному суспільстві можна виділити сектори, системи або мережі порушення функціонування яких може привести до колапсу на загальнодержавному, регіональному або місцевому рівнях. Комплекс цих секторів, систем або мереж може входити в склад критичної інфраструктури (таких як, атомна енергетика, авіаційна галузь, хімічна промисловість та інші). Розвиток сучасних інформаційних та комунікаційних технологій, які є основою критичної інфраструктури, характеризується постійним підвищенням рівня вимог до їх безпеки.

Система захисту критичної інфраструктури являє собою сукупність організаційних і технічних заходів для забезпечення захисту секторів критичної інфраструктури від різних загроз. Ідентифікація користувачів, яка продовжується подальшою їх аутентифікацією, є основою систем безпеки об'єктів критичної інфраструктури, оскільки ці процедури дозволяють виявити несанкціонованих користувачів інформаційно комунікаційних систем на початкових етапах – встановити автентичність та визначити повноваження суб'єкта при його допуску в систему, контроль встановлених повноважень в процесі сеансу роботи, реєстрацію дій тощо.

З точки зору надійності, найбільш ефективними на сьогодні методами ідентифікації та аутентифікації є біометричні, які дозволяють вирішити проблеми втрати паролів та особистих ідентифікаторів. Серед біометричних технологій

(яких на сьогодні є досить широкий спектр) однією із найперспективніших є біометрія з використанням райдужної оболонки ока (РОО), яка має специфічну структуру і містить багато текстурної інформації. Просторові структури, які спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда, а індивідуальні відмінності з'являються в процесі анатомічного розвитку. Крім того, у порівнянні з іншими біометричними об'єктами, ідентифікація по райдужці є стабільнішою і надійною.

Метою роботи є підвищення ефективності методів обробки даних в системах ідентифікації та аутентифікації користувачів по райдужній оболонці ока. Під ефективністю розуміємо зменшення об'єму оброблюваної інформації в базах даних систем контролю і управління доступом та підвищення швидкодії обробки даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) проаналізувати сучасні підходи, методи і системи біометричної ідентифікації та аутентифікації користувачів;
- 2) удосконалити інтегрально–диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока для зниження обчислювальних витрат;
- 3) розробити більш ефективний метод кодування райдужної оболонки ока;
- 4) розробити метод прийняття рішень для біометричних систем ідентифікації та аутентифікації;
- 5) розробити програмні засоби для проведення експериментальних досліджень запропонованих методів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Удосконалено інтегрально–диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока, який за рахунок попередньої НЧ–фільтрації (інтегрування) дозволяє зменшити локальні зміни інтенсивності пікселів, а наступна ВЧ–фільтрація (диференціювання) дозволяє виділити межі райдужної оболонки ока, така послідовність дій дозволяє знизити обчислювальні витрати при збереженні високої точності.

2. Вперше запропоновано метод кодування зображення райдужної оболонки ока, який за рахунок фазових відгуків при обробці модифікованим DoG-фільтром зображення райдужної оболонки ока, дозволяє кодувати один піксель зображення, одним бітом інформації і як наслідок зменшує об'єм бази даних систем контролю і управління доступом.

3. Отримав подальший розвиток метод прийняття рішень на основі статистичних критеріїв Неймана-Пірсона, який за рахунок використання нормованої відстані Хеммінга в біометричних системах ідентифікації по райдужній оболонці ока, дає змогу не зберігати в базі даних еталонне зображення. Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- Удосконалено інтегрально-диференціальний алгоритм локалізації зображення для зменшення області пошуку райдужної оболонки та зменшення обчислювальних витрат.

- Розроблено алгоритм кодування райдужної оболонки ока, за рахунок використання в системах контролю і управління доступом модифікованого DoG-фільтра для отримання бінарного коду райдужки.

- Розроблені програмні модулі попередньої обробки зображення райдужки, DoG-фільтра, обчислення відстані Хеммінга та порогу, модуль порівняння кодів райдужок і прийняття рішень по статистичному критерію.

- Запропонована система ідентифікації та аутентифікації користувача без еталонного зображення райдужки, за допомогою застосування бінарного коду райдужки (фазові відгуки DoG-фільтра) і нормованої відстані Хеммінга з використанням статистичного критерію Неймана-Пірсона, що дало змогу зменшити об'єм бази даних систем контролю і управління доступом, що в свою чергу зменшує час доступу до неї.

Результати дисертації використовуються у навчальному процесі кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету. Розроблені методи доведені до придатних інженерних рішень та були впроваджені в ПАТ «Миронівський хлібопродукт», ТОВ «Акксон Софт»

У процесі виконання дисертації отримані такі вагомі результати:

1. На основі проведеного аналізу сучасних підходів, методів і систем біометричної ідентифікації користувачів обрано один з найбільш надійних методів ідентифікації та аутентифікації, а саме ідентифікація по райдужній оболонці ока, який по сукупності якостей має вагомі переваги перед іншими, а також має великі перспективи застосування в СКУД.

2. Удосконалено інтегрально–диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока, який за рахунок удосконаленого алгоритму локалізації ока на зображенні, дозволяє зменшити область пошуку меж райдужної оболонки та знизити обчислювальні витрати при збереженні високої точності методу та підвищує швидкодію в 13,5 раз.

3. На основі запропонованого алгоритмічного рішення розроблено метод кодування РОО при застосуванні модифікованого DoG–фільтра, що дало можливість підвищити швидкодію в 20 разів для попередньої обробки зображень РОО завдяки отриманню однозначного бінарного кода, що в свою чергу дало можливість зменшити об'єм БД в 25 разів.

4. Розроблено метод прийняття рішень для систем біометричної ідентифікації і аутентифікації з використанням статистичного критерію Неймана–Пірсона на основі КР без еталонного зображення РОО з використанням нормованої відстані Хеммінга.

5. У роботі запропонована система ідентифікації та аутентифікації користувача без еталонного зображення райдужки (складається з двох програмних модулів), за допомогою застосування бінарного коду райдужки (фазові відгуки DoG–фільтра) і нормованої відстані Хеммінга з використанням статистичного критерію Неймана–Пірсона, що дало змогу зменшити об'єм бази даних систем контролю і управління доступом, що в свою чергу зменшує час доступу до неї.

Розроблені програмні засоби і проведено експериментальне дослідження програмних модулів з ціллю оцінки швидкодії та оцінки об'єму бази даних систем контролю та управління доступом, що підтвердило придатність розроблених методів для використання в системах захисту інформації.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фесенко А.О. Основні біометричні характеристики, сучасні системи та технології біометричної аутентифікації/ А.О.Фесенко, В.А.Швець// Безпека інформації. – 2013. – №2, Том 19. – С. 99 – 111.
2. Фесенко А.А. Современные методы цифровой идентификации личности/ А.А.Фесенко, В.А.Швец // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2013. – Вип. 1. – С. 291–296.
3. Фесенко А.О. Кодування та розпізнавання текстурних ознак райдужної оболонки для задач біометрії/А.О.Фесенко// Зв'язок – 2014. – №4. –С.56–62.
4. Фесенко А.А. Метод принятия решений в системе индентификации личности по изображению радужной оболочки глаза/ Зв'язок. – 2015. – №3. – С.23–31.
5. Фесенко А.А. Критерий обнаружения как влияющий фактор объема базы данных, биометрических систем контроля доступа /А.О.Фесенко, В.А.Швец// Захист інформації. – 2016. – №4, Том 18. – С. 308 – 313.
6. Фесенко А.О. Локалізація меж райдужної оболонки ока на основі його зображення/ Ю.Я.Самохвалов, А.О. Фесенко, В.А.Швець// Інформаційна безпека. –2017.– №1(25)№2(26). – С.120–125.
7. Фесенко А.А. Информативность коэффициентов Фурье в аутентификации по радужной оболочке глаза/ Фесенко А.А., Фесенко В.А., Швець В.А , Швець А.В. // Захист інформації – 2017. – №1, Том 19. – С. 33 – 42.
8. Фесенко А.О. Огляд експериментальної системи ідентифікації особи за зображенням райдужної оболонки ока/ А.О. Фесенко, М.О.Рябий// Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації. –2015: І міжнар. наук.–практ. конф., 22–28 лютого 2015 р. : тези доп. – К. : Вид-во Європейського університету,2015. С. 113–117.
9. Фесенко А.О. Метод ідентифікації користувачів на базі райдужної оболонки ока/А.О.Фесенко, В.А.Швець//SITS'2015:XII всеукраїнська наук.–практ.

конф. 09–12 червня 2015 р.: тези доп.– К. :Вид–во ТОВ "Ділова інформація",2015. С.81–84.

10. Фесенко А.О. Критерії вибору порогу при ідентифікації за райдужною оболонкою ока/А.О.Фесенко, О.Г.Оксіюк// ІТ&І:ІІІ Міжнародна наук.–практ. конф. 8–10 листопада 2016р.: тези доп.– К.:Вид–во Виданично–поліграфічний центр «Київський університет»,2016. С.284–286

11. Фесенко А.О. Біометричні технології в в системах контролю і управління доступом (СКУД)/ А.О.Фесенко, О.Г.Оксіюк, В.О.Фесенко// Проблеми кібербезпеки інформаційно–телекомунікаційних систем: ІІ наук.–практ. конф. 23–24 березня 2017 року: тези доп.– К.:Вид–во Виданично–поліграфічний центр «Київський університет», 2017. С.360–365

12. Швець В.А. Использование преобразования Фурье в аутентификации по радужной оболочке глаза/ В.А. Швець, В.А.Фесенко, А.А.Фесенко, В.В.Швець// Матеріали ХІІІ Міжнар. наук.–тех. конф. «АВІА–2017». – 19–21 квіт. 2017р.: тези доп. – К. НАУ, 2017. – Т.1. – С. 2.50–2.53.

13. Фесенко А.О. Цифрові фільтри зображень/Фесенко А.О.,Оксіюк О.Г., Фесенко В.О.// ІТSEC: матеріали VII Міжнар. наук.–тех. конф. – 16–18 трав. 2017р.: тези доп. – К.: НАУ, 2017. – С. 36.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково–технічних конференціях та семінарах, серед яких: Міжнародна науково–практична конференція «Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації» (Київ–2015); Всеукраїнська науково–практична конференція «Стан та удосконалення безпеки інформаційно–телекомунікаційних систем (SITS)» (Миколаїв, 2015); Міжнародна науково–практична конференція «Інформаційні технології та взаємодії» (ІТ&І) (Київ, 2016); науково–практична конференція «Проблеми кібербезпеки інформаційно–телекомунікаційних систем» (Київ, 2017); Міжнародна науково–практична конференція «АВІА» (Київ, 2017); Міжнародна науково–практична конференція «ІТSEC» (Київ, 2017).

ABSTRACT

Fesenko A.O. Methods of data processing for identification systems based on eye biometrics. – Manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Science degree in specialty 05.13.21 – information security systems. – National Aviation University, Kyiv, 2017.

Thesis is devoted to applied scientific research task to developing data processing methods for biometric identification systems by eye biometrics.

The analysis of current approaches, methods and different biometric identification systems was carried out and showed that by set of characteristics widespread use of identification by the iris eye has notable advantages over other biometric features and unlimited prospects of application in security systems. However, essential disadvantage of such systems is the algorithmic complexity and high demands for computing resources as well as high cost. In this regard, current research in the area of developing new methods for data processing and iris image recognition, that are resistant to different types of interference, arising during shooting, that would allow to improve system characteristics and reduce demands to hardware, thereby reducing its value are very important.

Existing algorithms for iris localization have several disadvantages, which reduces the performance of biometric systems. For the first time was proposed and developed approach to identify users by improved integral-differential algorithm of localization iris image, that allows at first determine the region of the eyes at human face image and by the following the procedures integration (low-frequency filtering) performed pixel brightness averaging (image blurring), and further differentiation (high-frequency filtering) allows to allocate boundaries of the iris. This approach helps reduce search area of iris boundaries and reduce computational complexity while maintaining high accuracy of the method and significantly increases the speed of finding iris boundaries.

For the first time was proposed and developed the method of encoding iris using modified DoG-filter that allows receiving the iris code where each image pixel corresponds to one bit of information. To obtain *Iris*-code proposed to use the values of modified filter phase feedbacks. Phase submitting images can get rid of the influence of

uneven illumination in the identification by the iris of the eye. These feedbacks have permanent jump over 0 of frequency axis that distinguishes them. When frequency response passes through 0 of frequency axis then harmonic phases receive permanent jump on π . When receiving just one crossing over 0 of frequency axis, frequency response is gradually approaching by its value to 0. Therefore harmonics phases of filtered iris image would have values that are located within 0 to π and π to 2π , which corresponds to 0 or 1 in the iris binary code. This reduces iris code size and as a result reducing size of Access control system database, which have time privilege compared with using Gabor filter.

Developed method for identifying users without iris image sample, such approach to solving the problem became possible by receiving clear iris binary code (DoG-filter response) and using normalized Hamming distance as a criterion of binary codes similarity measure, with further using Neyman-Pearson statistical criterion for decision making. Applying this approach to the decision making made it possible to reduce Access control system database size, which in turn decreases the access time to it. This approach makes it possible to solve two classes of problems – iris code search in the database with the aim to identify and preliminary control access to objects that are under the protection. Experimentally sensitivity of iridescent shells comparison to image rotation (tilting the head when shooting). In this paper, the technique that would reduce this dependence and reduce thus the likelihood of possible errors. On the registration changed simulation input image rotation on certain corners and calculation codes for each of them to save the results in a database. The value of rotation angles can be determined based on sensitivity analysis Hamming distance to rotate the image. In a change to the identification decision is made by the smallest distance from one of the copies of the pattern.

Was developed special software and conducted experimental research of program modules with purpose of performance evaluation and assessment of access control systems database volume, which confirmed the suitability of developed methods for protection and critical infrastructure: secured access to computer system, border control, access control, terrorism counteracting, Internet security and more.

The result of the work done is solving actual scientific problem of development and research methods for biometric data processing systems based on the characteristics of the human eye.

Keywords: biometric identification, iris code, decision making, statistical criteria, normalized Hamming distance.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	13
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АУТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ	23
1.1 Порівняння біометричних технологій.....	23
1.2. Око як об'єкт розпізнавання.....	28
1.3 Основні поняття і методи	36
1.4 Висновки до першого розділу.....	42
Список використаних джерел у першому розділі	43
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ І ТЕКСТУРНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕННЯ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА	46
2.1. Принципи ідентифікації особистості по райдужній оболонці ока	46
2.2. Формалізація вимог до зображення райдужної оболонки	48
2.3. Отримання і обробка зображення райдужної оболонки ока	50
2.3.1. Інтегрально-диференціальний алгоритм локалізації райдужної оболонки з послідовним уточненням.....	52
2.3.2. Удосконалення методу локалізації райдужної оболонки ока.....	55
2.4. Текстульні ознаки райдужної оболонки ока	60
2.5. Формування фазових текстурних ознак райдужки ока на основі фільтрів Габора	63
2.6. Метод формування фазових текстурних ознак райдужної оболонки ока на базі DoG-фільтра	73
2.7 Удосконалення DoG-фільтра	77
2.7. Висновки до другого розділу роботи	80
Список використаних джерел у другому розділі	82
РОЗДІЛ 3. ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ ПО ЗОБРАЖЕННЮ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА	85
3.1 Основні критерії для систем ідентифікації та аутентифікації по райдужній оболонці ока.....	85

3.2	Методи отримання коду райдужної оболонки ока	92
3.3	Коди райдужок і їх порівняння	93
3.4	Прийняття рішень в системі.....	98
3.4.1	Прийняття рішень при ідентифікації легітимних користувачів.....	98
3.4.2.	Прийняття рішень при аутентифікації користувачів	103
3.5.	Висновки до третього розділу.....	103
	Список використаних джерел в третьому розділі.....	105
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ		
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ ПО ЗОБРАЖЕННЮ РАЙДУЖНОЇ		
ОБОЛОНКИ ОКА		
		108
4.1.	Методика і програмно-апаратне забезпечення проведення експериментального дослідження системи	108
4.2.	Вибір параметрів фільтрів.....	109
4.3	Оцінка інформативності коду райдужки в залежності від параметрів фільтра.....	110
4.4.	Вибір розрядності коду райдужної оболонки ока.....	111
4.5.	Результати експериментальних досліджень.....	111
4.6.	Верифікація отриманих результатів.....	116
4.7.	Висновки до розділу	120
	Список використаних джерел у четвертому розділі	122
ВИСНОВКИ.....		
		127
	Додаток А. Лістинги (коди) програмних модулів.....	129
	Додаток Б. Документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації	153

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІКТ – інформаційно комунікаційна технологія

КІ – критична інфраструктура

БД – база даних

СКУД – система контролю та управління доступом

DOG-фільтр – Difference of Gaussian (різниця гаусіанів)

ІЧ-діапазон – інфрачервоний діапазон

РОО – райдужна оболонка ока

КР – код райдужки

НЧ-фільтрація – низькочастотна фільтрація

ВЧ-фільтрація – високочастотна фільтрація

ІБ – інформаційна база

ІС – інформаційна система

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ВСТУП

Актуальність теми. У кожному суспільстві можна виділити сектори, системи або мережі порушення функціонування яких може привести до колапсу на загальнодержавному, регіональному або місцевому рівні. Комплекс цих секторів, систем або мереж може входити в склад критичної інфраструктури КІ (таких як, атомна енергетика, авіаційна галузь, хімічна промисловість та інші), отже КІ - сукупність об'єктів інфраструктури держави, які є найбільш важливими для економіки та промисловості, функціонування суспільства та безпеки населення і виведення з ладу або руйнування яких може мати вплив на національну безпеку і оборону, природне середовище, призвести до значних фінансових збитків та людських жертв [1]. Розвиток сучасних інформаційно комунікаційних технологій ІКТ, які є основою КІ, характеризується постійним підвищенням рівня вимог до їх безпеки. Система захисту КІ являє собою сукупність організаційних і технічних заходів для забезпечення захисту секторів КІ від різних загроз (з боку терористів, диверсантів, екстремістів), у разі появи надзвичайних або кризових ситуацій, та і від наслідків ненавмисних дій, які могли б нанести збитки для КІ. Така система захисту повинна успішно протистояти різним загрозам при адекватному рівні охоронних заходів, залежно від значення сектора КІ, потенційних загроз і їх можливих наслідків. Ідентифікація користувачів, яка продовжується подальшою їх аутентифікацією, є основою систем безпеки об'єктів КІ, оскільки ці процедури дозволяють виявити несанкціонованих користувачів ІКТ на початкових етапах – встановити автентичність та визначити повноваження суб'єкта при його допуску в систему, контроль встановлених повноважень в процесі сеансу роботи, реєстрацію дій тощо.

З точки зору надійності, найбільш ефективними на сьогодні методами ідентифікації та аутентифікації є біометричні, які дозволяють вирішити проблеми втрати паролів та особистих ідентифікаторів[2]. Серед біометричних технологій (яких на сьогодні є досить широкий спектр) однією із найперспективніших є біометрія з використанням райдужки людського ока, яка має специфічну структуру і містить багато текстурної інформації. Просторові структури, які

спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда, а індивідуальні відмінності з'являються в процесі анатомічного розвитку. Крім того, у порівнянні з іншими біометричними об'єктами, ідентифікація по райдужці є стабільнішою і надійною [3].

Ідентифікація особистості людини по зображенню райдужної оболонки ока (РОО) – швидко розвивається метод біометрії, вже має широке застосування в системах контролю доступу. Він заснований на тому, що малюнок райдужної оболонки ока має індивідуальну, слабо змінюється з часом структуру. Унікальність структури райдужної оболонки ока відома з найдавніших часів [3]. Ідея ідентифікації особистості по РОО була запропонована офтальмологами в 1936 році. У 1958 році письменник Ян Флемінг висловив її в одному зі своїх детективів про Джеймса Бонда «Операція 'Кульова Блискавка'». За мотивами цього твору в 1984 році був знятий фільм «Ніколи не кажи ніколи».

У 1985 році Леонард Флом і Аран Сафір подали заявку на патент (виданий в 1987 р) на розпізнавання людини за характеристиками зіниці і райдужної оболонки на зображенні [4,5]. У 1992 році Джон Даугман опублікував роботу, в якій показав найвищу теоретично досяжну точність розпізнавання по райдужці [6]. У 1994 році система ідентифікації особистості по зображеннях райдужної оболонки ока на основі досліджень Даугмана була запатентована. У тому ж році Вільдс запропонував альтернативний метод сегментації райдужки і зберігання інформації про її текстуру [7]. У 1998 ще один метод був запропонований Боулс [8]. Питаннями розробки й дослідження нових біометричних методів ідентифікації та аутентифікації в різний час займаються такі вчені як В. Вишневський, Я. Дорогий, С. Садиков, А. Саченко, С. Теленик та ін.

У 2000-х роках відбулося вибухове зростання інтересу до ідентифікації по РОО. Можна виділити три основні причини цього. По-перше: розвиток технічних засобів реєстрації (доступних камер з хорошими характеристиками) і засобів обробки зображень (обчислювальних пристроїв, що володіють достатньою потужністю для нетривіальної обробки відеопотоку). По-друге: прискорене введення розвиненими країнами контртерористичних зусиль і поліцейських

заходів (зокрема, біометричної паспортизації). По-третє: розпізнавання по райдужці виявилось найбільш точним серед всіх біометричних модальностей [9-11].

У 2000-х роках до вирішення завдань розпізнавання по райдужній оболонці ока підключилося безліч наукових лабораторій, найбільших результатів домоглися: група, очолювана Prof. J.Daugman в Cambridge University, UK; група, очолювана Prof. K.Bowyer в University of Notre Dame, IN, USA; Prof. Hugo Proenca, University of Beira Interior, Portugal; Prof. Adam Czajka, Warsaw University of Technology, Poland. Огляди [12-15] представляють більше двохсот робіт з цієї тематики, і це лише мала частина досліджень. У світі проблемами обробки і розпізнавання зображень райдужної оболонки займаються: колектив лабораторії математичних методів обробки зображень факультету обчислювальної математики і кібернетики МГУ ім.М.В.Ломоносова під керівництвом проф. О.С.Крилова; дослідницька група в Інституті фізики імені Б.І.Степанова Національної академії наук Білорусії під керівництвом д.ф.-м.н. Г.І.Желтова; ЗАО «ПАПІЛОН», Інститут систем обробки зображень РАН.

Також велику увагу приділяється розпізнаванню по райдужці дослідні групи в США, Англії, Португалії, Польщі (University of Notre Dame, P.J.Flynn, K.W.Bowyer, Michigan State University, A.Ross, University of Cambridge, J.Daugman, University of Beira Interior, H.Proenca, Warsaw University of Technology, A.Czajka). Системи розпізнавання по райдужці розроблені фірмами Iritech, LG, OKI, Panasonic, Sagem, Neurotechnology, Morpho.

У середині 2000-х років почали з'являтися програмно-апаратні комплекси розпізнавання по РОО, з них найбільш відомими є системи Panasonic, LG, OKI. Системи розпізнавання по райдужній оболонці ока застосовуються на практиці. В ОАЕ така система використовується для ідентифікації на пунктах прикордонного контролю [16] протягом останніх десяти років. Заявлено, що останнім часом на зібраній базі даних проводиться « близько 2.7 мільярдів порівнянь біометричних еталонів кожен день» [17]. Індія використовує розпізнавання по райдужці як одну

з технологій ідентифікації в проєкті біометричної паспортизації населення, в якому на кінець 2011 року було зареєстровано більше 300 мільйонів чоловік [18]. Таким чином, в даний момент розпізнавання по РОО є одним з основних і першим по точності методом аутентифікації, що викликає великий інтерес як у практичному, так і в теоретичному аспектах.

В зв'язку зі збільшенням кількості біженців із зон проведення бойових дій (Сирія, Ірак, Лівія і т.д.) і активним впровадженням біометричних технологій по РОО для їх реєстрації виникають проблеми у постійному збільшенні об'єму бази даних (БД) еталонів і як наслідок збільшення часу ідентифікації та аутентифікації, а також актуальною проблемою є робота системи в режимі один до багатьох.

Актуальність теми дослідження. Аутентифікація людини, тобто підтвердження того, що він є тим, за кого себе видає, поза всяких сумнівів є актуальним завданням, практичним вирішенням якої заняті тисячі і мільйони людей по всьому світу.

Сканування райдужної оболонки може бути використано в наступних цілях:

- вхід в комп'ютерну систему (райдужка є паролем);
- прикордонний контроль (райдужка як паспорт);
- оплата за телефонний дзвінок без готівки, карток і пін-коду;
- пасажирський транспорт;
- контроль доступу (в будинок, офіс, лабораторію і т.д.);
- водійські права та інші особисті документи;
- аутентифікація особистості при наданні пільг;
- криміналістика;
- протиугінна система автомобіля;
- протидія тероризму (наприклад, моніторинг безпеки аеропортів);
- безпеку фінансових операцій (електронна комерція, банківські операції);
- інтернет-безпеку (контроль доступу до інформації);

- криптографія з біометричним ключем для шифрування і дешифрування повідомлень.

Автоматизація цього процесу, в тому числі за допомогою новітніх технологій – важлива складова розвитку сучасного суспільства. Те ж саме можна сказати і про завдання ідентифікації, тобто встановленні особи людини шляхом пошуку його запису в БД. Розвиток систем комп'ютерного зору, цифрової обробки зображень, збільшення потужності обчислювальних засобів останнім десятиліттям дало можливість ставити і вирішувати задачі автоматичної реєстрації, виділення, розпізнавання таких складних, часто змінюючихся, важко модельованих і формалізованих об'єктів як біометричні ознаки живих організмів. Таким чином, завдання аутентифікації і ідентифікації людини тепер вирішуються за допомогою автоматичних біометричних систем, складаючи одну з нових областей прикладної математики, біометричну ідентифікацію.

Запропоновано, досліджується, практично використовується велика кількість типів біометричних ознак, які називаються біометричними модельностями [2]: малюнок папілярних ліній пальця, зображення особи, райдужна оболонка ока, малюнки вен сітківки ока, форма кисті руки, особливості ходи, почерку, характеристики голосу. Багато з цих модальностей використовувалися в цілях ідентифікації задовго до появи електроніки і обчислювальних засобів.

Зображення РОО серед інших модальностей виділяється в двох аспектах. З одного боку, практичне розпізнавання по райдужці реалізовано зовсім недавно, на межі століть, з появою електронних цифрових камер і досить потужних комп'ютерів. З іншого боку, саме розпізнавання по райдужці на сьогоднішній день – визнаний лідер по точності і надійності серед біометричних ознак. Таким чином, обробка зображень райдужної оболонки є найбільш швидко розвиваючою областю систем біометричної ідентифікації.

В цілому теорія, прикладні методи і системи розпізнавання по райдужці досягли високого рівня, сучасні комерційні системи дозволяють виконувати

розпізнавання з помилками першого і другого роду (помилковий відмова і помилковий пропуск), що не перевищують системи з введенням чотиризначного пін-коду за допомогою клавіатури.

Однак у цій галузі є низка завдань: створення сучасних засобів сканування, поліпшення процедур попередньої обробки зображення, підвищення швидкодії, зменшення об'єму оброблюваної інформації, розв'язання яких має важливе наукове та практичне значення. З цих позицій розробка й дослідження методів обробки даних (зокрема, процедур попередньої обробки) для систем ідентифікації та аутентифікації на основі біометричних характеристик людського ока є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Одержані результати дисертаційної роботи безпосередньо пов'язані з виконанням держбюджетних науково - дослідних робіт Національного авіаційного університету та з «Основними науковими напрямками та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАНУ на 2014–2018 роки», з Стратегією національної безпеки України від 26 травня 2015 року № 287/2015 у контексті п. 4.12 «Реформування системи технічного і криптографічного захисту інформації з урахуванням практики держав–членів НАТО та ЄС», НДР 23/14.01.04 «Системи контролю доступу по біометричними ознаками людини».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності методів обробки даних в системах ідентифікації та аутентифікації користувачів по райдужній оболонці ока. Під ефективністю розуміємо зменшення об'єму оброблюваної інформації в базах даних систем контролю і управління доступом та підвищення швидкодії обробки даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- 1) проаналізувати сучасні підходи, методи і системи біометричної ідентифікації та аутентифікації користувачів;
- 2) удосконалити інтегрально–диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока для зниження обчислювальних витрат;

- 3) розробити більш ефективний метод кодування райдужної оболонки ока;
- 4) розробити метод прийняття рішень для біометричних систем ідентифікації та аутентифікації;
- 5) розробити програмні засоби для проведення експериментальних досліджень запропонованих методів.

Об'єктом дослідження є процес обробки даних в біометричних системах ідентифікації та аутентифікації по райдужній оболонці ока.

Предметом дослідження є методи та моделі попередньої обробки даних в системах ідентифікації та аутентифікації на основі біометричних характеристик людського ока.

Методи дослідження. Використано методи цифрової обробки зображень, методи цифрової фільтрації, методи проектування баз даних, теорія ймовірності для прийняття рішення про аутентифікацію користувача, методи математичної статистики – для оброблення результатів експериментальних досліджень, комп'ютерного моделювання. Моделювання і обробка даних здійснювалася за допомогою програмного забезпечення Matlab та мови програмування C++.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Удосконалено інтегрально-диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока, який за рахунок попередньої НЧ-фільтрації (інтегрування) дозволяє зменшити локальні зміни інтенсивності пікселів, а наступна ВЧ-фільтрація (диференціювання) дозволяє виділити межі райдужної оболонки ока, така послідовність дій дозволяє знизити обчислювальні витрати при збереженні високої точності.

2. Вперше запропоновано метод кодування зображення райдужної оболонки ока, який за рахунок фазових відгуків при обробці модифікованим DoG-фільтром зображення райдужної оболонки ока, дозволяє кодувати один піксель зображення, одним бітом інформації і як наслідок зменшує об'єм бази даних систем контролю і управління доступом.

3. Отримав подальший розвиток метод прийняття рішень на основі статистичних критеріїв Неймана-Пірсона, який за рахунок використання

нормованої відстані Хеммінга в біометричних системах ідентифікації по райдужній оболонці ока, дає змогу не зберігати в базі даних еталонне зображення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

– Удосконалено інтегрально – диференціальний алгоритм локалізації зображення для зменшення області пошуку райдужної оболонки та зменшення обчислювальних витрат.

– Розроблено алгоритм кодування райдужної оболонки ока, за рахунок використання в системах контролю і управління доступом модифікованого DoG–фільтра для отримання бінарного коду райдужки.

– Розроблені програмні модулі попередньої обробки зображення райдужки, DoG–фільтра, обчислення відстані Хеммінга та порогу, модуль порівняння кодів райдужок і прийняття рішень по статистичному критерію.

– Запропонована система ідентифікації та аутентифікації користувача без еталонного зображення райдужки, за допомогою застосування бінарного коду райдужки (фазові відгуки DoG–фільтра) і нормованої відстані Хеммінга з використанням статистичного критерію Неймана–Пірсона, що дало змогу зменшити об'єм бази даних систем контролю і управління доступом, що в свою чергу зменшує час доступу до неї.

Результати дисертації використовуються у навчальному процесі кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету. Розроблені методи доведені до придатних інженерних рішень та були впроваджені в ПАТ «Миронівський хлібопродукт», ТОВ «Акксон Софт»

На практиці, отримані у дисертації результати можуть бути використаними для захисту процедур на об'єктах КІ як: вхід в комп'ютерну систему (райдужка є паролем); прикордонний контроль (райдужка як паспорт); оплата за телефонний дзвінок без готівки, карток і рін-коду; пасажирський транспорт; контроль доступу (в будинок, офіс, лабораторію і т.д.); водійські права та інші особисті документи; аутентифікація особистості при наданні пільг; криміналістика; протиугінна система автомобіля; протидія тероризму (наприклад, моніторинг безпеки

аеропортів); безпека фінансових операцій (електронна комерція, банківські операції); Інтернет-безпека (контроль доступу до інформації); криптографія з біометричним ключем тощо.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково–технічних конференціях та семінарах, серед яких: Міжнародна науково–практична конференція «Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації» (Київ–2015); Всеукраїнська науково–практична конференція «Стан та удосконалення безпеки інформаційно–телекомунікаційних систем (SITS)» (Миколаїв, 2015); Міжнародна науково–практична конференція «Інформаційні технології та взаємодії» (IT&I) (Київ, 2016); науково–практична конференція «Проблеми кібербезпеки інформаційно–телекомунікаційних систем» (Київ, 2017); Міжнародна науково–практична конференція «ABIA» (Київ, 2017); Міжнародна науково–практична конференція «ITSEC» (Київ, 2017).

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 13 наукових праць, серед них 7 статей у фахових наукових виданнях та 6 у збірниках праць конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок, в тому числі 123 сторінок основного тексту, ілюстрацій – 40, таблиць – 12.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АУТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ

1.1 Порівняння біометричних технологій

Біометрія – це методика розпізнавання та ідентифікації людей на основі їх індивідуальних і унікальних характеристик[2]. Біометричні властивості включають в себе відбитки пальців, форму особи, малюнок райдужної оболонки ока, малюнок сітківки, геометрію руки, мова, почерк, особливості друку на клавіатурі і навіть візерунок вен на зап'ясті.

З біометричних технологій в даний час найбільш відомі ідентифікації особи за відбитками пальців, руки, форма підпису, райдужної оболонці ока, голосу, температурної карти кровоносних судин особи і нарешті, фрагментами генетичного коду.

Біометричні ознаки, які використовуються для ідентифікації повинні володіти такими властивостями[19]:

- Універсальність: кожна людина повинна мати цю характеристику.
- Унікальність: не повинно бути двох осіб, що мають однакову характеристику.
- Сталість: характеристика не повинна змінюватися.
- Вимірність: характеристика повинна мати кількісну міру і вимірюватися досить просто.
- Ефективність: можливість ідентифікації, швидкість, гнучкість, потреба в ресурсах для забезпечення бажаної точності і швидкості ідентифікації, а також фактори виникають в процесі ідентифікації та зовнішні чинники, що впливають на точність ідентифікації та швидкість.
- Доступність: готовність людей використовувати біометричний метод в повсякденному житті.
- Захищеність від підробки: відображає захищеність системи від обману.

Кожен з біометричних методів, розглянутих вище, має свої переваги і недоліки. У табл. 1.1 наведено порівняння методів по раніше перерахованим семи вимогам, що пред'являються до біометричних ознак.

Таблиця 1.1

Порівняння біометричних методів із загальних вимог

Біометрія	Універсаль- ність	Унікаль- ність	Сталість	Вимірюва- ність	Ефектив- ність	Доступ- ність	Захище- ність
Відбиток пальця	С	В	В	С	В	С	В
Геометрія обличчя	В	Н	С	В	Н	В	Н
Форма кисті	С	С	С	В	С	С	С
Райдужка	В	В	В	С	В	Н	В
Сітківка	В	В	С	Н	В	Н	В
Динаміка підпису	Н	Н	Н	В	Н	В	Н
Розпізнавання по голосу	С	Н	Н	С	Н	В	Н
Клавіатурний почерк	Н	Н	Н	С	Н	С	С
Термографія обличчя	В	В	Н	В	С	В	В

Н низька С- середня В- висока

На додаток існує кілька особливих вимог до розробки біометричних методів:

- Ціна: апаратне забезпечення (сенсор) і програмне забезпечення потрібно кожному користувачеві.

- Зручність використання: простота використання коштів ідентифікації (програмних і апаратних); можливість видалення користувача.

- Експлуатаційні характеристики: сенсор повинен працювати в протягом тривалого часу.

У табл. 1.2 представлено порівняння біометричних методів по приватним вимогам, що пред'являються до систем електронного підпису.

Таблиця 1.2

Порівняння біометричних методів по приватним вимогам, що пред'являються до систем електронного підпису

Біометричний метод	Ціна	Зручність використання	Експлуатаційні характеристики
Відбиток пальця	С	В	С/В
Обличчя	С	Н	С
Форма кисті	В	С	С
Райдужка	В	В	С
Сітківка	В	Н	С
Динаміка підпису	С	В	С
Розпізнавання по голосу	Н	В	Н
Клавіатурний почерк	Н	С	Н
Судини кисті	С	В	С
Термограма лица	С	Н	С

Н- низька С- середня В- висока

Ціна низька для всіх методів, які не потребують спеціального апаратного забезпечення; висока для систем розпізнавання за формою кисті, сітківці, і райдужці, оскільки потрібно спеціальне дороге оптичне обладнання. Незручно використовувати пристрої, які вимагають інтерактивне управління користувачем,

наприклад, коли користувач повинен помістити своє обличчя, райдужку або сітківку в рамку, яка зазвичай відображається на дисплеї пристрою сканування.

Зручно використовувати методи, які не вимагають ніякого зворотного зв'язку (наприклад, натискання пальцем на сенсор, друк слова, проголошення фрази). Інші біометричні методи використовують планшети, електронне перо (по розпізнаванню динаміці підпису) або оптичне обладнання, вимагає середніх експлуатаційних витрат.

Найдорожчі технології не обов'язково є найбільш точними. З усіх наведених в останні 25 років найбільшу увагу приділялася ідентифікації за відбитками пальців і розпізнаванню голосу. Не так давно в зв'язку зі змінами вимог широко вивчаються ідентифікація по обличчю і райдужці. Привабливість систем ідентифікації по райдужній оболонці можна досягти шляхом зниження вартості системи.

Інший важливий фактор, що враховується при розробці систем біометричної ідентифікації - середовище використання. Всі методи підходять для керованого середовища будинку або офісу. Методи, що вимагають використання громіздкого або крихкого сенсора, незручні для мобільних додатків. Пристрої ідентифікації в громадському місці, такі як банківські термінали, повинні розроблятися в більшій мірі з точки зору довговічності та міцності; в такому середовищі краще використовувати пасивну біометрію (без прямої взаємодії з користувачем) або біометричні методи, в яких використовуються адаптивні сенсори. Частота виконання ідентифікації впливає на вибір відповідного методу. У середовищі, де ідентифікація виконується часто (наприклад, в банках), вимоги відрізняються від вимог, що пред'являються там, де ідентифікація виконується рідко. Для середовища з частою ідентифікацією підходять тільки ті біометричні методи, які досить швидкі і вимагають мінімальної взаємодії з користувачем. Порівняння біометричних методів по зручності з різними додатками наведено в табл. 1.3.

Наведений аналіз представляє розробку методу біометричної ідентифікації в термінах спеціальних вимог, що пред'являються середовищем використання

пристрою ідентифікації. З вищесказаного можна зробити висновок, що не існує ідеального біометричного методу.

Таблиця 1.3

Порівняння біометричних методів по зручності з різними додатками

Біометрія	Середовище		
	Дім/офіс (ПК/робоча станція/лептоп)	Мобільне (довільне місце) (мобільний телефон, лептоп)	Громадське місце (банківський термінал/платіжний термінал)
Відбиток пальця	Так	Так	Так
Геометрія обличчя	Так	Так(за виключенням телефона)	Так
Форма кисті	Так	Ні	Незручно
Райдужка	Так	Ні	Так
Сітківка	Незручно	Ні	Ні
Динаміка підпису	Так	Незручно	Незручно
Розпізнавання по голосу	Так	Так	Ні (шум)
Клавіатурний почерк	Так	Так	Ні (не скрізь є клавіатури)
Судини кисті	Так	Ні	Ні

Всі біометричні методи мають відповідні переваги та недоліки. Однак, деякі біометричні методи більш зручні, ніж інші в певних програмах. Найбільш важливими характеристики методу ідентифікації є такі:

- захищеність біометричного методу (універсальність, унікальність, ефективність, вимірність, стійкість до спроб обману, механічна міцність);
- доступність для користувача;
- вартість;
- простота використання.

Метод ідентифікації по райдужній оболонці ока має всі перераховані характеристики. Порівняння біометричних методів по їх придатності для багаторазової ідентифікації наведено в табл.1.4.

Таблиця 1.4

Порівняння біометричних методів по їх придатності для багаторазової ідентифікації

Біометричний метод	Придатність для великої кількості ідентифікацій
Відбиток пальця	Добра, метод простий в використанні
Обличчя	Добра
Форма кисті	Середня/метод мало практичний
Райдужка	Середня/метод мало практичний
Сітківка	метод мало практичний
Динаміка підпису	Добра, сильна аналогія між електронним і рукописним підписом
Розпізнавання по голосу	Середня
Клавіатурний почерк	метод мало практичний; схожий, але більш дорогий чим ПІН-код
Судини кисті	Середня/метод мало практичний
Термограма лиця	Добра

1.2. Око як об'єкт розпізнавання

Райдужна оболонка ока, райдужка (iris, давньогрецьке «веселка») – тонка рухома діафрагма ока у хребетних. Вона становить саму передню частину оболонки очного яблука і має вигляд кругової, вертикальної пластинки з круглим отвором, названим зіницею. Райдужка відіграє роль діафрагми, яка регулює кількість світла, що надходить в око, для чого зіниця при сильному світлі звужується, а при слабкому розширюється. Зовнішнім своїм краєм райдужка

з'єднана з війковими тілом і склерою, внутрішній же її край, що оточує зіницю, вільний [20]. Приклад зображення райдужної оболонки наведено на Рис.1.1.

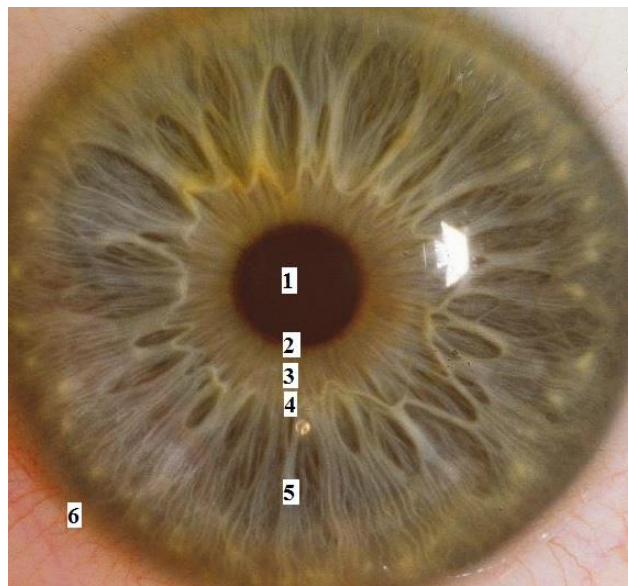


Рис. 1.1. Зображення райдужної оболонки.

(1-зіниця, 2-пігментна межа зіниці, 3- зіничний пояс, 4 – автономне кільце, 5 –циліарний пояс, 6- корінь райдужки)

У райдужці розрізняють передню поверхню, повернену до рогівки, і задню, прилеглу до кришталика. Передня поверхня, видима через прозору рогівку, має різне забарвлення у різних людей і обумовлює колір їх очей. У райдужці присутні два основних пігмента: меланін і ліпофусцин. Видима забарвлення райдужки залежить від концентрації і розподілу пігментів в її товщі. При цьому різні спектри поглинання двох пігментів обумовлюють зміна видимих інтенсивностей деталей райдужки при освітленні світлом з різними довжинами хвиль.

Розміри і форма. Райдужка має кільцеву форму і розміри в середньому по горизонталі $A \approx 12.5$ міліметрів і по вертикалі $B \approx 12.0$ міліметрів [20]. Зовнішній контур райдужної оболонки, її межа з склерою - майже ідеальний еліпс, і може бути наближено представлена колом. Зовнішній контур райдужної оболонки постійний і має практично однакову форму і розміри для всіх людей. Внутрішня межа райдужки задається зіницею. У здорової людини зіниця кругла, а його центр кілька зміщений щодо центру райдужки у напрямку до кінчика носа [20, 21].

Досить часто зустрічаються незначні децентрації і відхилення форми зіниці від кругової (див.рис.1.2).

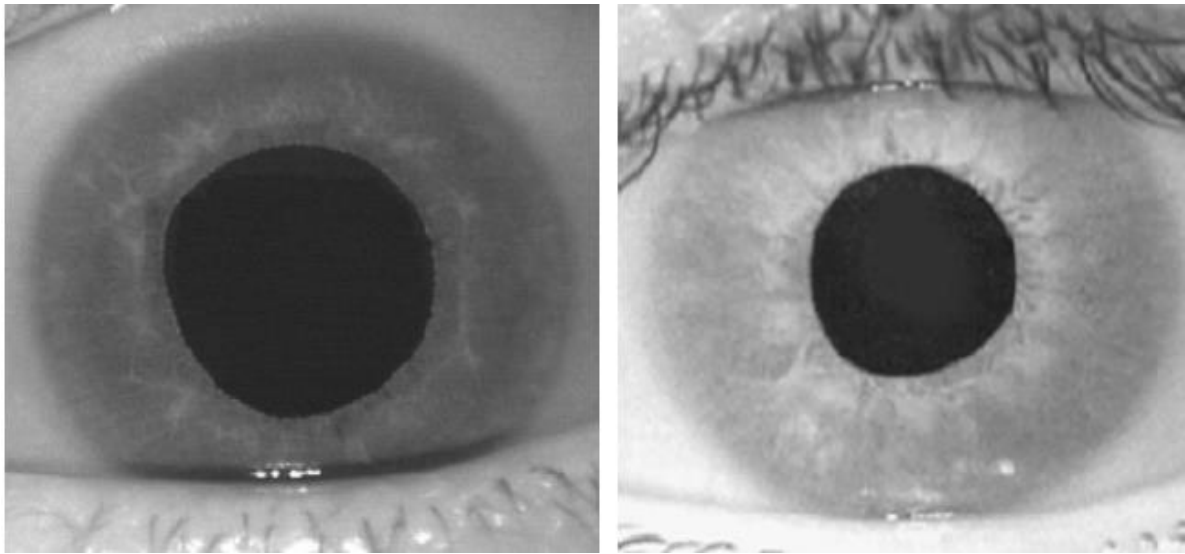


Рис. 1.2. Приклади некруглих зіниць.

Децентрація і відмінність від кругової форми визначаються патологіями, і наростають з віком. Варіації положення центру і відносини радіуса зіниці в заданому напрямку до середнього можуть досягати 20% для однієї людини.

Проведені статистичні дослідження зображень райдужної оболонки дозволяють сформулювати взаємні обмеження на розміри і положення зіниці і райдужної оболонки:

$$\begin{aligned}
 r_p &> \frac{1}{7} r_l, \\
 r_p &< \frac{3}{4} r_l, \\
 r_p &> d = \sqrt{(x_l - x_p)^2 + (y_l - y_p)^2}, \\
 2(r_l - r_p - d) &> r_l - r_p + d,
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

де $(x_p; y_p)$ — координати центру кола, апроксимуючи зіницю, r_p — радіус цього кола, $(x_l; y_l)$, r_l — координати центру і радіус кола райдужки, d — відстань між центрами кіл зіниці і райдужної оболонки. Перша з нерівність (1.1) значить, що радіус райдужки не може перевершувати радіус зіниці більш ніж в 7 разів. Друга нерівність дає обмеження з іншого боку: зіниця не може займати більше 75% райдужки. Третє нерівність визначає, що центр райдужки лежить всередині зіниці.

Четверте - відрізки між колами зіниці і райдужної оболонки, відсічені прямою, яка проходить через їх центри, не відрізняються по довжині більш ніж в два рази.

Зображення райдужки. Зображення райдужки обумовлений радіально розташованими нитками (трабекулами) переплетеними між собою сполучною тканиною, що йдуть в різних напрямках, і унікальний для кожної людини. Малюнок райдужки у більшості людей малоконтрастний (діапазон яскравості точок зображення райдужної оболонки на багато менший діапазону яскравостей зображення ока, що включає темну зіницю і світлу склеру). Крім того, деякі типи райдужки мають тонку текстуру (на них немає великих яскравих або темних елементів). Це висуває високі вимоги до системи реєстрації зображення. Залежно від довжини хвилі світла, в якому реєструється райдужка, на ній виявляються різні деталі, причому їх вираженість залежить від типу очей. Наприклад, більшість світлих очей дає найбільш чіткий малюнок у видимому світлі. При переході в інфрачервоний діапазон цей малюнок поступово розмивається і майже зникає на довжинах хвиль великих 900нм. Навпаки, структури темних очей, характерних для жителів екваторіального поясу, практично непомітні в видимому світлі, але чітко проявляються в інфрачервоному діапазоні. Тому до цих пір залишається не вирішене питання, яка довжина хвилі оптимальна.

Стійкість зображення. Формування структур райдужки в основному закінчується на восьмому місяці внутрішньоутробного розвитку і в подальшому житті практично не зазнає змін, за винятком викликаних травмами або патологіями очей. Зміна кольору райдужної оболонки (насичення пігментом) триває в перші кілька років життя, але, не змінює форму її елементів. Остаточний колір очей встановлюється до 10-12 років. У літніх людей очі іноді бліднуть, що пов'язано з депігментацією, яка відбувається через розвитку склеротичних і дистрофічних процесів. В цілому, протягом великого періоду життя форма елементів райдужки залишається постійною [20-24]. Це дозволяє говорити про високу стійкість зображення райдужної оболонки.

Інформативність. Оскільки райдужка є практично плоским об'єктом простої форми і незмінних розмірів, варіації її зображення, створювані зміною

умов реєстрації, малі (щодо інших біометричних даних) і легко можуть бути компенсовані, дозволяючи відокремити інформацію, яка дійсно відноситься до індивідуальності даної райдужки, від випадкових спотворень при спостереженні. Райдужка має складний малюнок, що складається з багатьох деталей. Тому з зображення райдужної оболонки можна отримати велику кількість параметрів (висока інформативність). Як показано в [25], інформаційна ємність зображення райдужної оболонки радіусом 200 пікселів становить не менше 200 біт.

Варіації зображень райдужної оболонки. В ідентифікації по райдужці, як і в будь-якій проблемі розпізнавання, основна складність полягає в отриманні параметрів об'єкта, унікальних в класі йому подібних і інваріантних щодо умов реєстрації та зміни самого об'єкта. Таким чином, параметри малюнка райдужної оболонки необхідно витягти з її зображення, відсіявши варіації двох класів: варіації самої райдужної оболонки і зміни умов зйомки.

Зміни райдужки як такої. Зміни РОО можна розділити на довготривалі зміни малюнка і швидкі зміни форми, які визначаються скороченням / розширенням зіниці. Райдужна оболонка, виконуючи функцію діафрагми, володіє великою рухливістю. Основа райдужки складається з сполучної тканини, що має архітектуру решітки, в яку вставлені судини, що йдуть радіально, від периферії до зіниці. Ці судини разом з сполучною тканиною утворюють еластичний скелет райдужки, що дозволяє їй легко змінюватися за величиною. Самі рухи райдужної оболонки здійснюються м'язовою системою, що залягає в її товщі. Ця система складається з м'язових волокон, які частково розташовуються кільцеподібно навколо зіниці, утворюючи м'яз, звужують зіницю (сфінктер), а частина розходяться радіально від зіничного отвору і утворюють м'яз, який розширює зіницю (дилататор). М'язи діють взаємообернено: при звуженні зіниці сфінктер розтягує дилататор, а при розширенні дилататор розправляє сфінктер. Завдяки цьому досягається точність і швидкість рухів райдужки. Сфінктер інервується парасимпатичною нервовою системою, а дилататор - симпатичною. Під впливом змін освітленості, при переміщенні фокуса уваги і в залежності від фізичного та психічного стану зіниця постійно змінює свій розмір. Зіниця також здійснює

аперіодичні мимовільні рухи (гіппус). В результаті цих рухів зіниці змінює розмір райдужки і, відповідно, деформується її малюнок.

Зміни умов реєстрації. Рогівка ока відображає навколишні предмети. Ці відображення, особливо відблиски від джерел світла, перекривають картину райдужки і можуть створювати варіації яскравості зображення у багато разів більші, ніж інформативні елементи райдужки. Тому стає неможливим не використовувати власне підсвічування. У цьому полягає принципова відмінність розпізнавання райдужної оболонки ока від систем, що використовують зображення обличчя. Для особи стороння засвітка також є великою проблемою, проте, на зображенні особи, освітленого стороннім, випадково розташованими джерелом, можна виявити інваріантні ознаки, як то: розміри і форму елементів особи, його рельєф і т.п., а для райдужки це неможливо. Підсвічування повинна давати в області реєстрації райдужок освітленість в кілька разів перевищує ту, що створюється сторонніми джерелами. Видиме світло з такою інтенсивністю викликає велику незручність. Тому у всіх сучасних системах використовується інфрачервоне підсвічування.

Просторове положення щодо камери. Так як райдужка є об'єктом невеликого розміру, то для отримання її зображення прийнятної якості (в фокусі і достатнього дозволу) потрібно дуже точне позиціонування очей (голови) користувача. Наприклад, навіть при отриманні зображення райдужної оболонки з діаметром 100 пікселів, що визначається стандартом [26] як низькоякісне, на камері з дозволом 1000x800 пікселів, очей користувача повинен потрапити в зону 9x7 сантиметрів.

Кутова орієнтація відносно камер. Поворот щодо осі - променя зору камери. Точне визначення кута цього повороту, а отже, нормування можливі для бінокулярних систем або монокулярних з допоміжною камерою, яка знімає особу з метою позиціонування. У монокулярній системі можливе кутове нормування по положенню слізного мішка ока, але методи пошуку слізного мішка на зображенні ненадійні, а визначений кут має похибки в кілька градусів. Таким чином, в монокулярній системі при порівнянні зображень райдужок потрібно зіставляти

еталон декільком зображень, поверненим на різні кути в межах можливих змін нахилу голови користувача. Даний факт в відповідне число разів збільшує час, витрачений на порівняння, ймовірність помилкового допуску.

Для більш чіткого розуміння проаналізуємо найбільш поширені системи на ринку СКУД табл.1.5.

Таблиця 1.5

Системи найбільш поширені на ринку СКУД з використанням райдужки

Система	параметри					
	Фокусна відстань, м	Час на зйомку, с	Максимальна кількість записів в БД	Пропускна можливість системи користувачів за хв.	FAR	FRR
LG -3000	0.1	0.04	1000	10	0,00066	0,00078
OKI IRISPASS-WG	0.45	30	1000	1-2	0,00066	0,00078
Panasonic BM-ET300	0.35	0.5	10000	10	0,00066	0,00078
Securimetrics Pier 2.3	0.12	0.008	2000	30	0,00066	0,00078
Sarnoff IOM	3	8	50000	30	0,00066	0,00078
Циркон 4	0.4	2	2000	12-30	0,00066	0,00078
EySwipe-Nano	0.3	2	50000	20	0,00066	0,00078

Провівши аналіз найбільш поширених систем ідентифікації та аутентифікації по РОО, зазначимо, що у них всіх без виключення обмежена кількість записів в БД.

Будь-яка аутентифікація людини будуватися на трьох традиційних принципах:

- За власністю. До власності може відноситись пропуск, пластикова карта, ключ або загальногромадянські документи.
- За знаннями. До знань відносяться паролі, коди або інформація (наприклад дівоче прізвище матері).
- За біометричними характеристиками. Детальніше про те, які бувають біометричні характеристики приведені вище.

Отже, сучасні вимоги такі, що необхідна здатність алгоритмів розпізнавання райдужної оболонки працювати в ідентифікаційному режимі пошуку "один до багатьох", в якому особа попередньо не декларується за допомогою магнітних карт або інших ідентифікаторів (документів), і алгоритми повинні самостійно визначити особистість, здійснивши повний інтенсивний пошук в базі зареєстрованих даних. Таким чином, більшість біометричних технологій спроможні тільки на роботу в верифікаційному режимі порівняння "один до одного". У такому режимі особа спочатку декларується, і програмою для прийняття рішення "так / ні" досить виконати зіставлення з одним зареєстрованим шаблоном.

В даний час є приклади використання технології розпізнавання райдужної оболонки в аеропортах, яка використовується для пасажирів міжнародних рейсів і може бути застосоване замість пред'явлення ними паспорта. Слідом за великим випробуванням в аеропорту Heathrow (Лондон) в 2001 р перше розширене застосування цієї технології почалося в 2002 р в аеропорту Schiphol (Амстердам, Нідерланди). Пасажири, яким доводиться часто здійснювати авіаперельоти, змогли взяти участь в програмі Privium і отримати свій Iris-код, занесений в базу даних. Учасники програми сплачують щорічну абонентську плату і по прибуттю в аеропорт Schiphol отримують можливість не стояти в довгих чергах, очікуючи імміграційної перевірки. Замість цього вони можуть автоматично отримати дозвіл на в'їзд до Нідерландів, для чого їм досить зафіксувати погляд прямо перед камерою, яка по алгоритмам Даугмана обчислює Iris-код і реєструє їх в базі

даних. Камера включає в себе багато передових і корисних функцій: активація при наближенні, автофокус, автоматичне наближення, позиціонування за допомогою допоміжного дзеркала і голосових підказок, що створює користувацький інтерфейс. Розпізнавання зазвичай відбувається в межах менше однієї секунди, а високий дозвіл і якість одержуваних зображень знижує рівень помилок "відмова в реєстрації" і "відмова в розпізнаванні". Інший проект "Iris-код як паспорт" - проект в аеропорту Frankfurt / Main, в якому бере участь 10000 часто літаючих пасажирів німецької авіакомпанії. Уже за перший рік дії програми її можливостями щодня користувалися близько 140 пасажирів, і число їх постійно зростає. Аналогічні програми "Iris-код як паспорт" в рамках проекту IRIS (Імміграційна система розпізнавання райдужної оболонки) були розроблені і для інших великих аеропортів, які включають вісім великих канадських аеропортів і 10 терміналів аеропортів Великобританії.

Об'єм баз даних систем контролю і управління доступом на базі РОО залежить від розрядності коду. Якщо розрядність коду райдужки 8×256 біт, то ймовірність повторення коду райдужки приблизно 1:10000. Відповідно об'єм БД повинен бути менший чим 10000 записів, тоді одна із задач є отримання стійкого коду райдужної оболонки ока, який не буде повторюватись 2^{33} раз.

1.3 Основні поняття і методи

Зображенням називається функція $I = (x, y) = I(p)$, задана на площині. Тут використовуються тільки растрові зображення, де аргументи x і y є цілими числами: $x, y \in \mathbb{Z}$; $y \in \mathbb{Z}$. Цілочисельна пара $(x, y) = p$ називається пікселем [38,39]. Ці значення також обмежені горизонтальних і вертикальних розмірами зображення: $x \in [0, W - 1]$, $y \in [0, H - 1]$. Сама функція I також являється цілою та обмеженою максимальною яскравістю $L : I(x, y) \in \mathbb{Z}$, $I(x, y) \in [0, L - 1]$. Таким чином, використовувати зображення можна також уявити як матриці з невід'ємними цілими обмеженими значеннями. Бінарним зображенням називається зображення, що має тільки дві яскравості $I = (x, y) \in \{0, 1\}$.

Гістограмою яскравості зображення називається функція, яка визначає число пікселів, що мають певне значення яскравості:

$$h(b) = |\{p : I(p) = b\}|. \quad (1.2)$$

Накопиченою або інтегральною гістограммою називається функція, яка визначає число пікселів, що мають значення яскравості, яке не перевищує визначеного:

$$H(b) = |\{p : I(p) \leq b\}| \equiv \sum_{b'=0}^b h(b'). \quad (1.3)$$

Поширеною операцією [41,42] обробки зображення є вибір порога яскравості з використанням гістограми:

$$T_b : H(T_b) \leq lWH, H(T_b + 1) > lWH, T_b \in Z, \quad (1.4)$$

де l - необхідна частка точок (квантиль), W і H - розміри зображення, тобто WH - число пікселів зображення. З використанням такого порогу часто проводиться бінаризація зображення:

$$I'(p) = \begin{cases} 0, & \text{if } I(p) \leq T_b, \\ 1, & \text{if } I(p) > T_b. \end{cases} \quad (1.5)$$

За замовчуванням вважається, що пікселі зі значенням 1 є об'єктами інтересу, в той час як пікселі з нульовою яскравістю є фоновими. Таким чином, бінаризація (1.5) виділяє точки з високою яскравістю. Для виділення точок з малою яскравістю використовується бінаризація виду:

$$I'(p) = \begin{cases} 0, & \text{if } I(p) < T_b, \\ 1, & \text{if } I(p) \geq T_b. \end{cases} \quad (1.6)$$

Найважливішим поняттям є градієнт яскравості - вектор часткових похідних функції $I(p)$ за напрямками:

$$g(p) = \nabla(p) = \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} I(p) \\ \frac{\partial}{\partial y} I(p) \end{pmatrix}. \quad (1.7)$$

Оскільки використовується дискретне уявлення, то (1.7) перетворюється в різницю:

$$g(p) = \begin{pmatrix} I(x+1, y) - I(x-1, y) \\ I(x, y+1) - I(x, y-1) \end{pmatrix}. \quad (1.8)$$

На практиці також використовується обчислення градієнтів масками Прюїта:

$$g(x, y) = \begin{pmatrix} -I(x-1, y+1) & +0 & +I(x+1, y+1) \\ -I(x-1, y) & +0 & +I(x+1, y) \\ -I(x-1, y-1) & +0 & +I(x+1, y-1) \end{pmatrix}, \quad (1.9)$$

$$g(x, y) = \begin{pmatrix} +I(x-1, y+1) & +I(x, y+1) & +I(x+1, y+1) \\ +0 & +0 & +0 \\ -I(x-1, y-1) & -I(x, y-1) & -I(x+1, y-1) \end{pmatrix},$$

де ξ і η - діагональні напрямки. Як правило, інтерес представляють напрямки градієнта і відношення величин градієнтів, але не самі абсолютні величини градієнтів як такі. Тому нормування градієнтів, вирахованих згідно (1.7), (1.8) щоб їх величини відповідали градієнтам яскравості, не проводиться.

За аналогією з гістограмами яскравості будуються гістограми абсолютних величин градієнта, проста:

$$h(G) = |\{p : \|g(p)\| = G\}|, \quad (1.12)$$

і з накопиченням

$$H(G) = |\{p : \|g(p)\| \leq G\}| \equiv \sum_0^G h(G'). \quad (1.13)$$

Аналогічно (1.4) по цій гістограмі обчислюється поріг з частки точок:

$$T_g : H(T_g) \leq IWH, H(T_g + 1) > IWH, T_g \in R, \quad (1.14)$$

і проводиться бінаризація зображення.

Крім величини перепаду яскравості важливе значення має його напрямки. У задачах виділення кола часто відомо положення її центру (хочаб наближене). В цьому випадку градієнти яскравості в пікселях меж кола спрямовані уздовж або приблизно уздовж прямих, з'єднують центр і ці пікселі. Таким чином, пікселі, складові меж кола, можна виділити у напрямку градієнта, які задовольняють умові:

$$\frac{g \cdot (p - c)}{\|g\| \|p - c\|} < T\phi, \quad (1.15)$$

де g - вектор градієнта в точці p , c - вектор координат центру, $T\phi$ -порогове значення кута, залежне від точності визначення центру і шуму зображення. Як правило, початок координат при вирішенні задач пошуку круга з відомим центром переноситься в точку c , тоді (1.15) спрощується:

$$\frac{g \cdot c}{\|g\| \|c\|} < T\phi, \quad (1.16)$$

Багато методів пошуку об'єктів на зображенні засновані на тому, що спочатку з якихось міркувань виділяються пікселі, які можуть входити до складу шуканого об'єкта з істотно більшою ймовірністю, ніж невиділені пікселі. Такі пікселі будемо називати кандидатами. Наприклад, при пошуку темного кола кандидатами будуть пікселі, що мають мале значення яскравості, при пошуку кола (межі кола) кандидатами будуть пікселі з високим градієнтом яскравості і т.п. Кандидатами можуть бути не тільки окремі пікселі, але і більш складні об'єкти, наприклад пари, трійки, групи пікселів. Якість виділення кандидатів суттєво впливає на результати роботи методів пошуку.

Для зменшення розмірності вхідних даних і їх агрегування з метою виявлення особливостей використовується проектування. Проектування застосовується до безлічі пікселів зображення (пікселів-кандидатів) $K = \{p_i\}$.

Проекція множини точок на вісь, тобто на пряму, задану рівнянням $\rho = \cos \phi x + \sin \phi y$:

$$\Pi(l) = \sum_{p_i \in K} \delta(p_{i,x} \sin \phi - p_{i,y} \cos \phi - l). \quad (1.17)$$

Для дискретного випадку пікселів-кандидатів:

$$\Pi(l) = \left| \left\{ p : p \in K, \quad l - \frac{1}{2} \leq p_x \sin \phi - p_y \cos \phi < l + \frac{1}{2} \right\} \right|. \quad (1.18)$$

При проекції на горизонтальну і вертикальну осі, тобто $\phi = \pi/2$ і $\phi = 0$ відповідно, (1.18) спрощується до:

$$\Pi_{hor}(l) = |\{p \in K, p_x = l\}|, \quad \Pi_{ver}(l) = |\{p \in K, p_y = l\}|. \quad (1.19)$$

Оскільки межі райдужки є близькі до кола контури, велике значення в роботі мають методи пошуку і виділення кіл на зображенні. Потужним методом обробки

округлих об'єктів і контурів є кругова проекція. Нехай на зображенні існує округла область, і якимось методом виділені деякі пікселі її меж, що становлять безліч кандидатів K . У безлічі кандидатів неодмінно містяться і шумові пікселі. Нехай знайдений приблизний центр в цій області. Для простоти запису перенесемо початок координат в цю точку.

Назвемо кругової проекцією функцію:

$$P(r) = \frac{|p : r - 0,5 \leq \|p\| < r + 0,5, p \in K|}{|p : r - 0,5 \leq \|p\| < r + 0,5|}. \quad (1.20)$$

Це означає, що для кожного радіусу визначається частка кандидатів серед усіх пікселів, що лежать на такій відстані від центру. Точки округлої межі лежать на приблизно однаковій відстані від центру, тому отримані з них кандидати при обчисленні кругової проекції потрапляють в одну або кілька сусідніх точок проекції. Решта, некруглі, неконцентричні центру контури утворюють досить рівномірний розподіл без згущень. Таким чином, значні локальні максимуми на круговій проекції можуть відповідати концентричним контурам.

Якщо кругова проекція обчислювалася як нормовані кількості точок-кандидатів в концентричних кільцях (тобто аргументом функції $P(r)$ в (1.20) був радіус), то радіальна проекція обчислюється як кількість точок-кандидатів в секторах:

$$P(\Phi) = \frac{|p : \Phi - \delta\phi \leq \|\phi(p)\| < \Phi + \delta\phi, p \in K|}{|p : \Phi - \delta\phi \leq \|\phi(p)\| < \Phi + \delta\phi|} \quad (1.21)$$

де $\phi(p)$ - кутова координата точки p , $\delta\phi$ - крок дискретизації при побудові проекції. Аргумент Φ - дискретний, можна взяти $\Phi \in [0; 359]$, якщо дискретизувати один градус в один відлік, тоді $\delta\phi = 1/2$, кут Φ вимірюється в градусах.

Для опису виділених об'єктів використовується еквівалентний еліпс - еліпс (точніше, еліпс і обмежена ним частина площини), що має тіж моменти інерції нульового, першого і другого порядку, що і виділений об'єкт.

Нехай об'єкт K складається з пікселів:

$$K = \{(x_i; y_i)\}_{i=1}^N \quad I(x_i, y_i) \neq 0. \quad (1.22)$$

Тоді його моменти будуть

$$\begin{aligned}
 0: \quad M &= \sum_{i=1}^N 1 \equiv N; \\
 1: \quad M_x &= \sum_{i=1}^N x_i, \quad M_y = \sum_{i=1}^N y_i; \\
 2: \quad M_{xx} &= \sum_{i=1}^N x_i^2, \quad M_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i, \quad M_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2.
 \end{aligned} \tag{1.23}$$

Еліпс можна задати п'ятьма параметрами: двома координатами центру c_x і c_y , двома осями a і b , кутом нахилу ϕ , це найбільш практично з точки зору його опису і визначення вирішальних правил на цій основі. Координати центру обчислюються:

$$c_x = \frac{M_x}{M}, \quad c_y = \frac{M_y}{M}. \tag{1.24}$$

Нормовані другі моменти

$$\overline{M}_{xx} = \frac{M_{xx}}{M} - \left(\frac{M_x}{M} \right)^2, \quad \overline{M}_{xy} = \frac{M_{xy}}{M} - \frac{M_x}{M} \frac{M_y}{M}, \quad \overline{M}_{yy} = \frac{M_{yy}}{M} - \left(\frac{M_y}{M} \right)^2. \tag{1.25}$$

Кут нахилу

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2 \overline{M}_{xy}}{\overline{M}_{xx} - \overline{M}_{yy}}. \tag{1.26}$$

Осі еліпса

$$\begin{aligned}
 a &= 2 \sqrt{\cos^2 \phi \overline{M}_{xx} + 2 \cos \phi \sin \phi \overline{M}_{xy} + \sin^2 \phi \overline{M}_{yy}}, \\
 b &= 2 \sqrt{\sin^2 \phi \overline{M}_{xx} - 2 \cos \phi \sin \phi \overline{M}_{xy} + \cos^2 \phi \overline{M}_{yy}}.
 \end{aligned} \tag{1.27}$$

Окремим випадком еквівалентного еліпса служить еквівалентне коло, яке визначається трьома параметрами (дві координати центру c_x і c_y , і радіус r), обчислюються простіше:

$$c_x = \frac{M_x}{M}, \quad c_y = \frac{M_y}{M}, \quad r = \sqrt{\frac{M}{2\pi}}. \tag{1.28}$$

Розраховувати моменти другого порядку для побудови еквівалентного кола немає необхідності.

Введемо морфологічні операції над бінарним зображенням або, що еквівалентно, над безліччю його ненульових пікселів (1.22). Ядром морфологічної операції назвемо безліч пікселів, заданий подібно (1.22). Як правило, ядрами є невеликі, радіально-симетричні множини, наприклад

$$J_5 = \left\{ \begin{array}{ccc} & (0;1) & \\ (-1;0) & (0;0) & (1;0) \\ & (0;-1) & \end{array} \right\}, \quad J_9 = \left\{ \begin{array}{ccc} (-1;1) & (0;1) & (1;1) \\ (-1;0) & (0;0) & (1;0) \\ (-1;-1) & (0;-1) & (1;-1) \end{array} \right\}. \quad (1.29)$$

Зсув множини J на вектор $s = (s_x; s_y)$ назвемо множиною:

$$J_z = \{(j_i + s_x, j_i + s_y)\}. \quad (1.30)$$

Дилатація K по ядру J назвемо:

$$K \oplus J = \{s : K \cup J_s \neq \emptyset\}. \quad (1.31)$$

Ерозія K по ядру J назвемо:

$$K \oplus J = \{s : \overline{K} \cup J_s \neq \emptyset\} = \{s : \overline{J_s} \subset K\}. \quad (1.32)$$

1.4 Висновки до першого розділу

Порівняння різних біометричних методів ідентифікації показало, що за сукупністю якостей широке використання ідентифікації по райдужній оболонці ока має помітні переваги перед більшістю інших біометричних характеристик і необмежені перспективи застосування в системах безпеки. Однак суттєвим недоліком таких систем є алгоритмічна складність і високі вимоги до обчислювальних ресурсів, а також висока вартість. У зв'язку з цим, актуальні дослідження в області розробки нових методів аналізу і розпізнавання зображення райдужної оболонки, які при стійкості до різних видів перешкод, що виникають при зйомці, дозволили б поліпшити характеристики системи і знизити вимоги до апаратури, зменшивши її вартість.

Список використаних джерел у першому розділі

1. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави» від 23.08.2016 р. №563 [Електронний ресурс] / Верховна рада України // Закон України. - Режим доступу: [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF\(13.10.2016\)](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF(13.10.2016)) .
2. Болл Р.М. Руководство по биометрии: пер. с англ. Н.Е. Агаповой. – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.
3. Лебеденко Ю.И. Биометрические системы безопасности. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012, 160 с. ISBN 978-5-7679-2377-9
4. Introduction to Computer Security Matt Bishop, University of California - Davis ISBN: 0321247442
5. Flom L., Sar A. Iris recognition system // United States Patent 4641349. Filed February 20, 1985.
6. Daugman J. High condence personal identication by rapid video analysis of iris texture // Proc. IEEE Internat. Carnahan conf. on security technology, 1992. P. 50-60.
7. Wildes R.P., Asmuth J.C., Green G.L. et al. A system for automated iris recognition // Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. 1994. P. 121-128.
8. Boles W., Boashash B. A human identication technique using images of the iris and wavelet transform // IEEE Trans. Signal Process. 1998. V.46. N.4.P.1185-1188.
9. Multiple Biometric Grand Challenge (MBGC - 2007) // <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/mbgc.cfm>
10. Multiple Biometric Evaluation (MBE2009) // <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/mbe.cfm>
11. Murynin A.B., Kuznetsov V.D., Matveev I.A. Automatic Stereoscopic System For Person Recognition // 23rd Int. Congress on High-Speed Photography and Photonics, Moscow, 1998; Proc. of SPIE Volume: 3516, pp.409-416.

12. Bowyer K.W., Hollingsworth K., Flynn P.J. Image understanding for iris biometrics: a survey // *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. V.110. N.2. P.281-307.
13. Bowyer K.W., Hollingsworth K., Flynn P.J. A Survey of Iris Biometrics Research: 2008-2010, in *Handbook of Iris Recognition*, Mark Burge and Kevin W. Bowyer, editors, Springer, 2012.
14. Labati R.D., Genovese A., Piuri V., Scotti F. Iris segmentation: state of the art and innovative methods // *Intelligent Systems Reference Library*. 2012. V.37.P.151-182.
15. Ng R.Y.F., Tay Y.H., Mok K.M. A Review of Iris Recognition Algorithms//*Proc. Int. Symp. Information Technology*. 2008. V.2. P.1-7.
16. Al-Raisi A.N., Al-Khoury A.M. Iris recognition an the challenge of homeland and border control security in UAE // *Telemat. Inform.* 2008. V.25. N.2.P.117-132.
17. Daugman J., Malhas I. Iris recognition border crossing system in UAE // *Biometrics*. 2004. V.44. N.2. P.4953.
18. Aadhaar gains momentum, clocks two crores in October, *The Times of India*. 2011.//http://articles.economictimes.indiatimes.com/2011-11-02/news/30350146_1_aadhaar-numbers-uidai-director-general-enrollment-stations
19. Jain, A. K.; Ross, Arun & Prabhakar, Salil (January 2004), "An introduction to biometric recognition", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* T. 14th (1): 4-20
20. Вельховер Е.С., Ананин В.Ф. Введение в иринологию. Пупиллодиагностика - М.: Изд-во УДН, 1991. - 212 с., 22 Потевня Г.П., Лисовенко Г.С., Кривенко В.В. Клиническая и экспериментальная иринология. Киев:Наукова думка, 1995.
21. Коновалов В.В., Антонов А.А. Практическая иринология. - М.: Медицинская газета "Окулюс 1990. 88 с.
22. Вельховер Е.С., Шульпина Н.Б., Алиева З.А., Ромашов Ф.Н. Ирилодиагностика.-М.: Медицина, 1988. - 240 с.
23. Jensen B. The science and practice of iridology. - 21st Printing, 1995.-372 p.
24. Kansky J.J. *Clinical Ophthalmology: a Systematic Approach*, Elsevier. London,2003.

25. Daugman J. High condence visual recognition of persons by a test of statistical independence // IEEE TPAMI. 1993. V.15. N.11. P.1148-1161.
26. ISO/IEC 19794-6:2011 Preview Information technology -- Biometric data interchange formats -- Part 6: Iris image data.
27. ANSI INCITS 377-2009 Information technology - Finger Pattern Data Interchange Format
28. ANSI INCITS 381-2009 Information Technology - Finger Image Based Data Interchange Format
29. ANSI INCITS 378-2004 Information technology - Finger Minutiae Format for Data Interchange
30. ANSI INCITS 379-2004 - Information Technology Iris Image Interchange Format
31. ANSI INCITS 396-2005 Information Technology - Hand Geometry Interchange Format Information Technology Industry Council
32. ANSI INCITS 385-2004 - Face Recognition Format for Data Interchange
33. ANSI INCITS 442-2010 Information Technology – Biometric Identity Assurance Services (BIAS)
34. ANSI INCITS 429 - Conformance Testing Methodology For Ansi Incits 358-2002, Bioapi Specification
35. ANSI/NIST-ITL 1-2007 - Data Format for the Interchange of Fingerprint Facial, & Other Biometric Information
36. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов, - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1989. - 232 с.
37. Мирошников М.М., Лисовский В.А., Филиппов Е.В. и др. Иконика в физиологии и медицине // Под ред. Уголева А.М. АН СССР. Отд-ние физиологии. Л.: Наука, 1987. 392 с.
38. Лакни Г. Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов-4-е ИЗД., перераб. и Доп.-М.: Бышш. шк., 1990. 352 С.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ І ТЕКСТУРНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕННЯ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

2.1. Принципи ідентифікації особистості по райдужній оболонці ока

За результатами, отриманими в першому розділі цієї роботи, можна констатувати актуальність розробки нових методів і алгоритмів локалізації райдужки на знімку, нормалізації отриманого зображення, виділення текстурних ознак і їх кодування і розпізнавання. Порівняння різних біометричних методів ідентифікації показало, що за сукупністю якостей широке використання ідентифікації по РОО має помітні переваги перед більшістю інших біометричних характеристик і необмежені перспективи застосування в системах безпеки. Однак суттєвим недоліком таких систем є алгоритмічна складність і високі вимоги до обчислювальних ресурсів, а також висока вартість. У зв'язку з цим, актуальні дослідження в області розробки нових методів аналізу і розпізнавання зображення райдужної оболонки, які при стійкості до різних видів перешкод, що виникають при зйомці, дозволили б поліпшити характеристики системи і знизити вимоги до апаратури, зменшивши її вартість. Також, визначено, що людська райдужка має специфічну структуру і містить багато текстури інформації. Просторові структури, які спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда. Кольорові ознаки райдужної оболонки недостатньо надійні, оскільки вони можуть змінюватися з віком. Основна проблема при побудові системи ідентифікації - ефективне виділення і подання текстурної інформації, що містяться в райдужній оболонці.

Біометрична система ідентифікації – це система розпізнавання, яка встановлює автентичність специфічних біологічних або поведінкових характеристик властивих користувачеві. Логічно біометрична система може бути розділена на дві підсистеми: модуль реєстрації та модуль ідентифікації (рис. 2.1) [1-4].

Модуль реєстрації відповідає за навчання системи ідентифікації пропонованої особистості. У процесі реєстрації біометричний сенсор сканує

ознаки користувача, щоб отримати їх цифрове представлення. Детектор ознак виконує цю процедуру, щоб отримати компактне і інформативне уявлення, зване шаблоном. Шаблон для кожного з користувачів зберігається в базі даних біометричної системи. База даних може бути централізованою або розподіленою, як у випадку, коли шаблони користувачів зберігаються на їх смарт-картах.

Модуль ідентифікації відповідає за розпізнавання людини. У процесі ідентифікації, біометричний сенсор отримує характеристику людини, що підлягає ідентифікації і перетворює в формат шаблону. Отриманий шаблон передається в блок зіставлення, який порівнює його з шаблонами, збереженими в базі даних, щоб визначити чи збігаються шаблони.

Загальна схема роботи біометричних систем ідентифікації представлено на рис. 2.1:

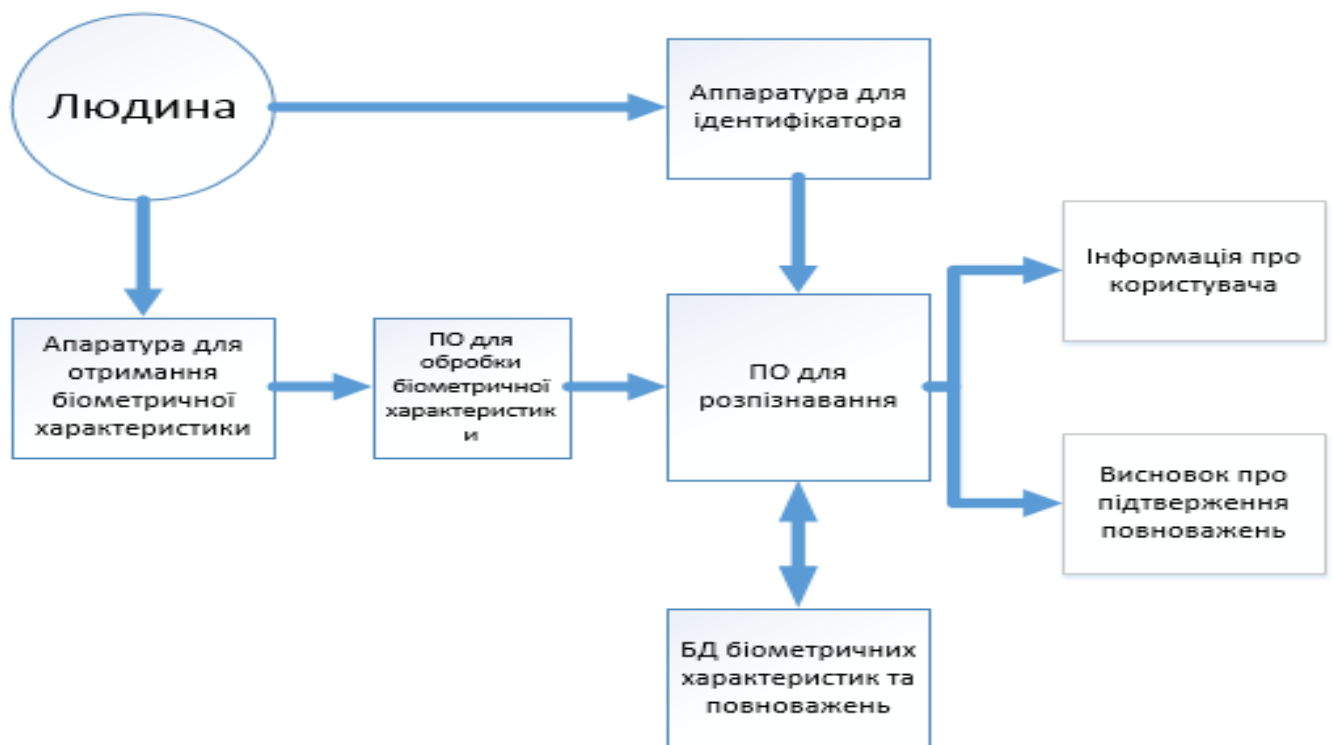


Рис. 2.1. Загальна схема роботи біометричних систем ідентифікації

Схема алгоритму обробки зображення ока в системі ідентифікації особистості по зображенню райдужки приведена на рис. 2.2:

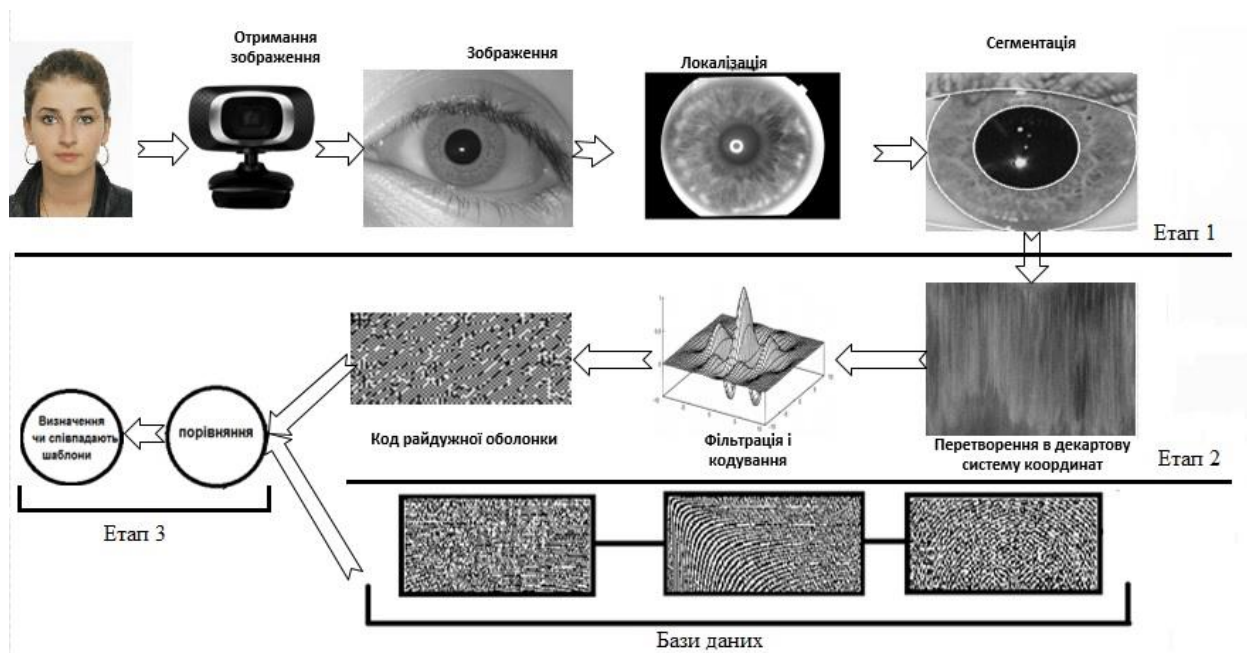


Рис. 2.2. Біометрична система заснована на райдужці ока

2.2. Формалізація вимог до зображення райдужної оболонки

Для забезпечення стабільного високого швидкодії при ідентифікації по райдужці важливо, щоб використовувані зображення відповідали певним мінімальним вимогам [5-7]:

1. Просторова роздільна здатність системи отримання зображення повинно бути як мінімум 3,2 ліній / мм при контрасті 60%, цифрове зображення повинно мати дозвіл як мінімум 17 пікселів / мм. При цьому гарантується, що зображення вільні від артефактів, що виникають в результаті недостатньої частоти дискретизації. Якість фокусування має зберігати задану просторову роздільну здатність. На рис. 2.3 представлено зображення райдужної оболонки з достатнім дозволом і якістю фокусування.

Діаметр зіниці не повинен перевищувати 7мм, а діаметр лімба повинен бути не менше 14 мм.

2. Зображення повинно мати динамічний діапазон як мінімум 256 біт, при цьому як мінімум 7 біт яскравості повинні бути не схильні до впливу шуму. Якщо на зображенні присутні відблиски, то їх яскравість не повинна

перевищувати 255. Інші області ока (зіниця, райдужка, склера) повинні мати яскравості в діапазоні 0-255.



Рис. 2.3. Приклад зображення райдужної оболонки

3. Зображення райдужної оболонки повинно мати як мінімум 90 рівнів, які поділяють райдужку і склеру і як мінімум 50 рівнів, які поділяють райдужку і зіницю для всіх кольорів очей.

4. В усякому разі, 70% райдужки має бути не закрита відблисками, повікою, віями, або іншими перешкодами.

5. Масштаб зображення повинен бути таким, щоб райдужка що має розмір 14 мм мала діаметр 200-300 пікселів. Зображення повинно бути досить велике, щоб відстань між краєм райдужки і межею зображення було як мінімум 70 пікселів (рис. 2.4).

6. Відношення сигнал / шум має бути не менше 40 дБ, включаючи будь-які шуми, що вносяться методами стиснення зображень.

7. Зображення повинно пред'являтися в стандартній орієнтації: верхня повіка повинна бути розташована у верхній частині зображення, слізний проток правого ока повинен знаходитися в правій частині зображення, лівого - в лівій.

Для досягнення максимальної ефективності розпізнавання слід дотримуватись таких вимог:

- Голова повинна знаходитися у вертикальному положенні, її нахил не повинен перевищувати 10° . Система розпізнавання може вимірювати і компенсувати нахил голови.

- Спостережуване око має бути відкрите як можна ширше.
- Окуляри повинні бути зняті.
- Жорсткі контактні лінзи і пофарбовані м'які контактні лінзи повинні бути видалені.

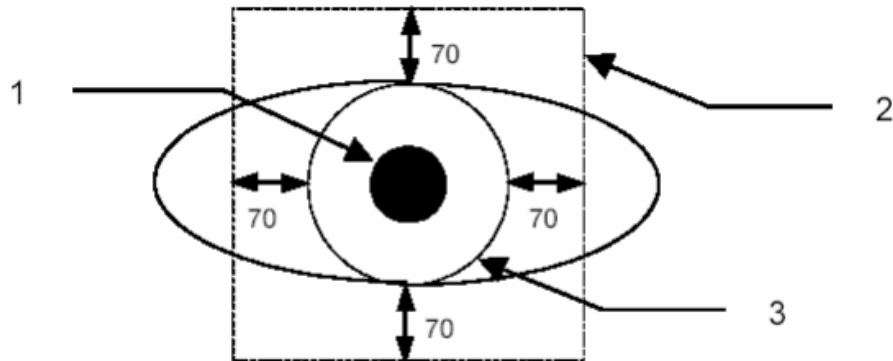


Рис. 2.4. Необхідний масштаб зображення
(1.Межа зіниці, 2. Межа зображення 3.Межа райдужки)

2.3. Отримання і обробка зображення райдужної оболонки ока

Для забезпечення достатньої для розпізнавання деталізації зображення райдужної оболонки система введення зображення повинна забезпечувати розширення не менше 50 пікселів на радіус райдужки. В даний час, в основному використовуються системи введення зображення з роздільною здатністю 100-140 пікселів на радіус райдужки. Для введення зображення використовують ПЗС камери з роздільною здатністю 640×480 , чутливі до ближнього інфрачервоного випромінювання, невидимому для людини, з довжиною хвилі 700-900нм. Деякі пристрої введення зображення мають ширококутову камеру для грубої локалізації ока і камеру з малим кутом зору, яка налаштовується за результатами локалізації ока і забезпечує введення зображення райдужної оболонки з високою роздільною здатністю. Існує безліч різних методів отримання зображення райдужної оболонки. Більшість пристроїв для зйомки райдужки не мають пристрою наведення, але замість цього використовується візуальний зворотний зв'язок, яка базується на використанні дзеркала або відеозображення. Зворотній зв'язок дозволяє користувачеві правильно помістити око в поле зору камери з малим

кутом зору. Фокус встановлюється в реальному часі (швидше, ніж інтервал між кадрами) шляхом вимірювання сумарної енергії високочастотної частини двовимірного спектра Фур'є для кожного з кадрів, і максимізації цієї енергії шляхом переміщення лінз об'єктива або шляхом звуковий зворотного зв'язку з суб'єктом [7, 8].

Одержувані зображення райдужної оболонки, крім областей які становлять інтерес, містять «непотрібні» частини (тобто повіку, зіниця і т.д.) Тому зображення не може бути використано безпосередньо. Більш того, зміна відстані між камерою і райдужкою може привести до зміни розміру однієї і тієї ж райдужки. Крім того, райдужка освітлюється нерівномірно. Для ефективного розпізнавання, на оригінальному зображенні необхідно локалізувати райдужку, порівнянн методів виділення контурів наведено в табл.2.1, нормалізувати її зображення, і знизити вплив вищезгаданих факторів. Попередня обробка зображення райдужної оболонки описана в наступних розділах.

Таблиця 2.1

Порівняння методів виділення контурів

Метод	Недоліки	Застосування
Робертса	Низька точність із-за використання маски 2x2. Розриви контурів зображення.	Чутливий до шуму
Собеля	Оснований на методі Робертса. Використовує маску 3x3. Розриви контурів. Використовуються попередньо визначені вагові коефіцієнти	Грубе наближення градієнта яскравості

Канні	Оснований на методі Робертса. Використовуються два порога. Використовує маску 3x3. Розрив контурів.	Межі мають деяку кінцеву товщину. Тому необхідно виконати потоншення ліній придушенням немаксимальних точок в перпендикулярному до межі напрямку, тобто в напрямку градієнта.
Превіта	Передбачено 8 ядер, що відповідають різним напрямкам, що підвищує точність визначення меж.	Велика складність обчислень (в 8 разів більше, ніж при Собелі).
Градієнтний інтегрально-деференціальний	Травалість обчислень. Використовує градієнт яскравості.	Широке застосування на практиці в СКУД, в біології та медицині
DoG	Збільшується чіткість країв і дрібних деталей на зображенні	Дуже неточно позначаються межі гострих кутів. Компоненти фільтра схильні реагувати на шум, а не тільки на край.

2.3.1. Інтегрально-диференціальний алгоритм локалізації райдужної оболонки з послідовним уточненням

Як внутрішня, так і зовнішня межа райдужки можуть бути апроксимовані колами. Однак ці кола зазвичай не є концентричними. Метод локалізації, описаний в [9,10], включає в себе просту фільтрацію, виділення перепадів яскравості і перетворення Хоха. Перетворення Хоха дозволяє перейти від радіальної системи координат, на якій базується об'єкт зображення райдужної оболонки, так як вона апроксимується кругом, в декартову систему координат.

Інший метод визначення меж райдужної оболонки [9-13] полягає у виділенні меж шляхом максимізації суми градієнтів яскравості в напрямку перпендикулярному до границі райдужки:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|, \quad (2.1)$$

де $I(x, y)$ – зображення ока, r – радіус кола по якій виконується інтегрування, (x_0, y_0) – координати центра, ds – елементарна дуга, $G_{\sigma}(r)$ – гаусів фільтр з масштабним параметром σ , $*$ – операція згортки. Оператор є детектором розмитих кругових перепадів з параметром розмиття σ . Оператор здійснює ітеративний пошук максимуму контурного інтеграла градієнта в напрямку радіусу кола в просторі трьох параметрів (x_0, y_0, r) що визначають шлях інтегрування.

Для обрахування виразу 2.1 на копіютері, його потрібно перетворити в дискретний вигляд. Де в якості дискретних значень використовується приріст радіуса по контуру і дискретні координати зображення, сам градієнт може бути апроксимований в дискретне значення виразом:

$$\frac{\partial G_{\sigma}(r)}{\partial r} \approx G_{\sigma}^1(n) = \frac{1}{\Delta r} (G_{\sigma}(n\Delta r) - \frac{1}{\Delta r} G_{\sigma}((n-1)\Delta r)), \quad (2.2)$$

де Δr мінімальний приріст радіуса, а $n = \frac{r}{\Delta r}$. Контурний інтеграл і згортка в виразі 2.1 замінюються знаком суми з приростом по куту $\Delta \theta$, тоді кінцевий вираз для дискретних величин буде мати наступний вигляд:

$$\max_{(n\Delta r, x_0, y_0)} \left| \sum_k \left\{ \frac{(G_{\sigma}((n-k)\Delta r) - G_{\sigma}((n-k-1)\Delta r)) \sum_m I[(k\Delta r \cos(m\Delta \theta) + x_0), (k\Delta r \sin(m\Delta \theta) + y_0)]}{\Delta r \sum_m I[(k-2)\Delta r \cos(m\Delta \theta) + x_0), ((k-2)\Delta r \sin(m\Delta \theta) + y_0)]} \right\} \right|. \quad (2.3)$$

Також недоліком цього методу є те, що межа РОО може мати дуже велику помилку за рахунок того, що вираз 2.3 припиняє розрахунок при досягненні меж зображення ока, де межа РОО не співпадає з межами зображення ока Рис 2.5.

Для усунення цих недоліків необхідно розробити новий або удосконалити цей метод.

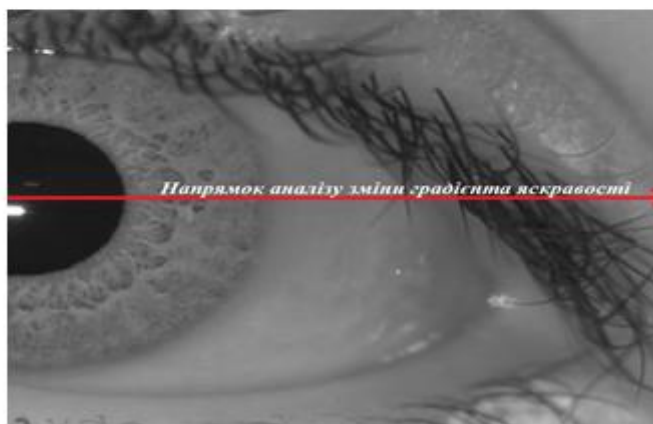
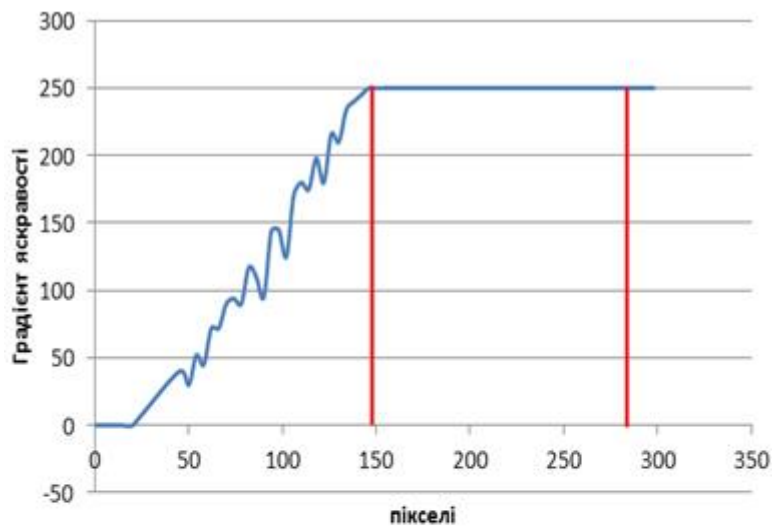


Рис 2.5. Інтегрально-диференціальний метод

Дуже часто центр зіниці зміщений вниз і в бік носа по відношенню до центра райдужки. Радіус зіниці становить 0,1 - 0,8 радіуса райдужки. Тому всі параметри кола, що описує зіницю, оцінюються окремо. Оператор (2.1) дозволяє виявити межу зіниці і зовнішню межу райдужної оболонки. Однак, для визначення початкового наближення при пошуку зовнішньої межі необхідно використовувати інформацію про межу зіниці, оскільки зовнішня межа має менший контраст при зйомці в ближньому інфрачервоному світлі. Після того, як межі райдужки виділені з точністю до одного пікселя, схожий спосіб використовується для визначення криволінійної кордону між райдужкою і повіками. Описаний метод досить ефективний, проте при пошуку глобального максимуму вимагає великих обчислювальних витрат.

2.3.2. Удосконалення методу локалізації райдужнонь оболонки ока

Проаналізувавши велику кількість зображень ока з БД Casia можна зробити висновок, що перехід від райдужної оболонки до склери є різка зміна яскравості пікселя і в якості міри такого перепаду можна взяти першу або другу похідну від функції зміни яскравості, яка однозначно буде характеризувати нам межі переходів [13], які виділяються фільтром високих частот, однак якщо застосувати фільтр ВЧ до всього зображення ока в області РОО зявиться високочастотні шуми викликані фільтрацією зображення РОО, в яких також є різкі яскравісні перепади. Тому для виділення контурів РОО і зіниці на зображенні ока потрібно згладити по яскравості, тобто виділити тільки нижні частоти в зображенні.

З двох вище перерахованих задач:

- виділення меж РОО і зіниці , тобто ВЧ-фільтрація;
- згладжування по яскравості , тобто НЧ-фільтрація.

Впливають вимоги до фільтра, який зможе виділяти межі РОО і зіниці – це буде фільтр з АЧХ наведено на рис 2.6.

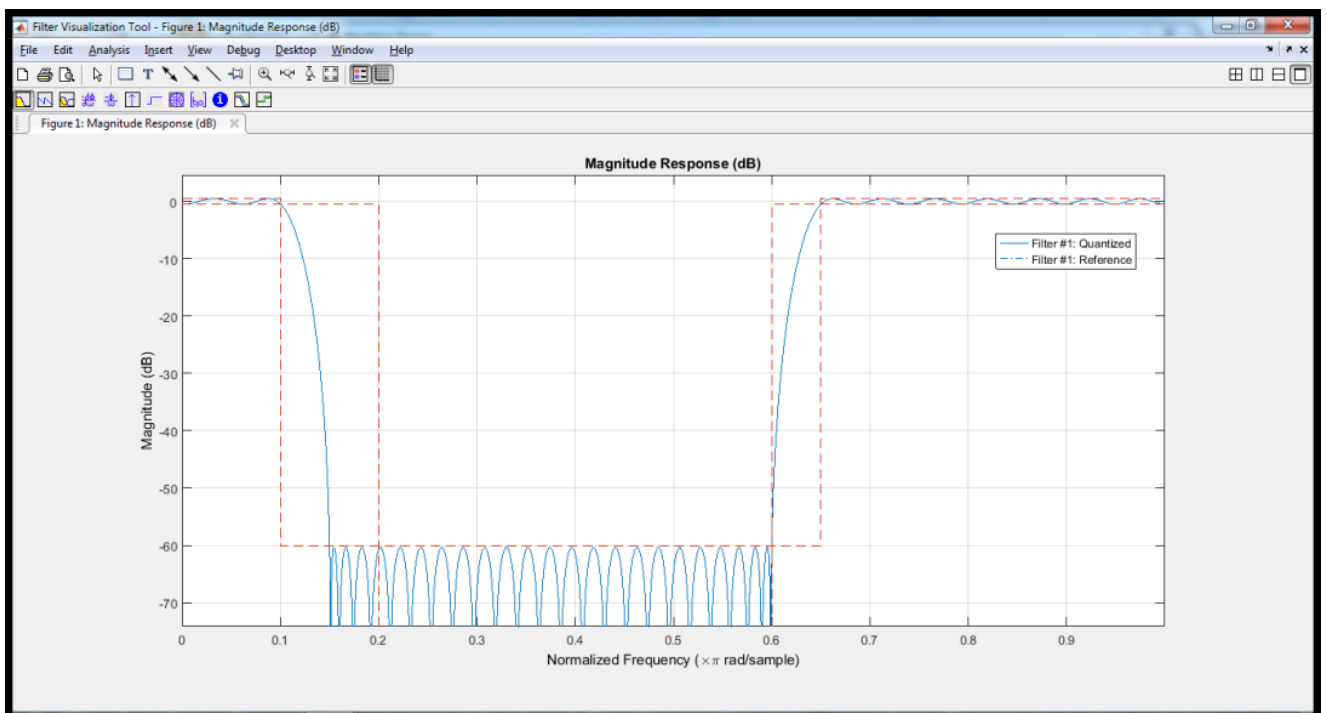


Рис 2.6. Амплітудно-частотна характеристика фільтра

АЧХ на рис 2.6 це характеристика загороджувального фільтра, де ширина полоси затримки буде характеризувати якість виділення меж РОО і зіниці.

Чим менша частота ω_1 тим більше буде згладжування, тобто яскравість пікселелів буде більш рівномірна, чим більша частота ω_2 - тим краще будуть виділятися межі РОО і зіниці, де $\omega_1 < \omega_2$.

Користуючись інструментом digital signal processing toolbox пакета matlab по заданій АЧХ отримаємо двомірну імпульсну характеристику (маска фільтра) загороджувального фільтра яка представлена на рис 2.7.

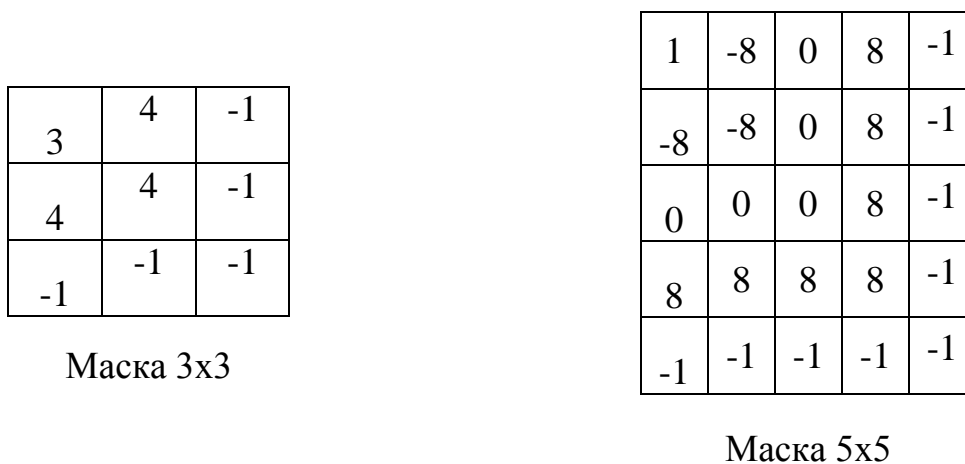


Рис. 2.7 Маска режекторного фільтра

Результат фільтрації представлено на рис 2.8, на якому видні чіткі межі зіниці і РОО.

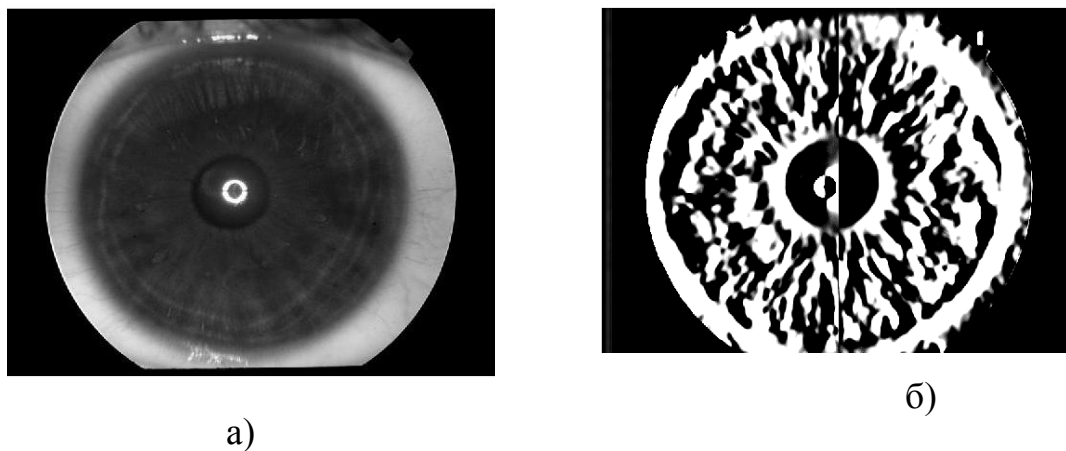


Рис 2.8 Результат фільтрації

а)вхідне зображення б)зображення після фільтрації

Райдужки різних людей можуть мати різний розмір. Навіть розмір райдужки однієї і тієї ж людини може змінюватися через зміни умов зйомки. Деформація текстури райдужки впливає на розпізнавання. Для забезпечення більш ефективного розпізнавання необхідно компенсувати ці деформації. Для цього, кільце райдужки відображається в прямокутник розміром (320 × 640).

Реалізація запропонованого методу відбувається при почерговому виконанні наступних процедур:

Процедура 1: Отримуємо зображення обличчя людини $I(x, y)$, де $x = [1, M]$, $y = [1, N]$ N і M розмірність вхідного зображення, зазначимо, що розмірність має бути кратною 2.

Процедура 2: Виділяємо зону розташування ока, згідно біометричних особливостей. $I'(x, y)$, де $x' = \left[1, \frac{M}{2}\right]$, $y' = \left[1, \text{fix} \frac{2N}{3}\right]$.

Процедура 3: Вираховуємо зміни яскравості $dI_{x''} = \begin{cases} I'_{x''} < \text{rft} ; dI_{x''} = dI_{x''} ; \\ I'_{x''} > \text{rft} ; dI_{x''} + 1. \end{cases}$,
 $dI_{y''} = \begin{cases} I'_{y''} < \text{rft} ; dI_{y''} = dI_{y''} ; \\ I'_{y''} > \text{rft} ; dI_{y''} + 1. \end{cases}$

Процедура 4: Визначення області ока, використовуючи особливості зміни яскравості на зображенні $I'\{x', y'\} = \{\min(dI_{x''})\} \cap \{\min(dI_{y''})\}$.

Процедура 5: Сегментація зображення зіниці та РОО. В результаті отримуємо матрицю $I''(x, y) = I'(x, y) * H(x, y)$, $H(x, y)$ де двовірсна імпульсна характеристика (маска) режекторного фільтра.

Процедура 6: Знаходження радіусів райдужної оболонки ока і зіниці за допомогою використання псевдокоду:

```

y'' =  $\frac{y''}{2} = \text{const}$ 
for ((n = 1 : x''))
    if min (I'''(y'', n))
        rp = rp + 1           %о-радіус зіниці

```

```

end
if minmin(I'''(y",n))
ri = ri + 1           %-радіус райдужної оболонки ока
end

```

end.

Процедура 7: В результаті локалізації райдужки на зображенні внутрішня і зовнішня межа, що мають форму кіл, визначають кільцеву область, що підлягає аналізу. Перетворення декартової системи координат в полярну дозволяє отримати еквівалентне представлення області аналізу у вигляді прямокутної області інтересу.

Результат роботи процедур наведено на рисунку 2.9.

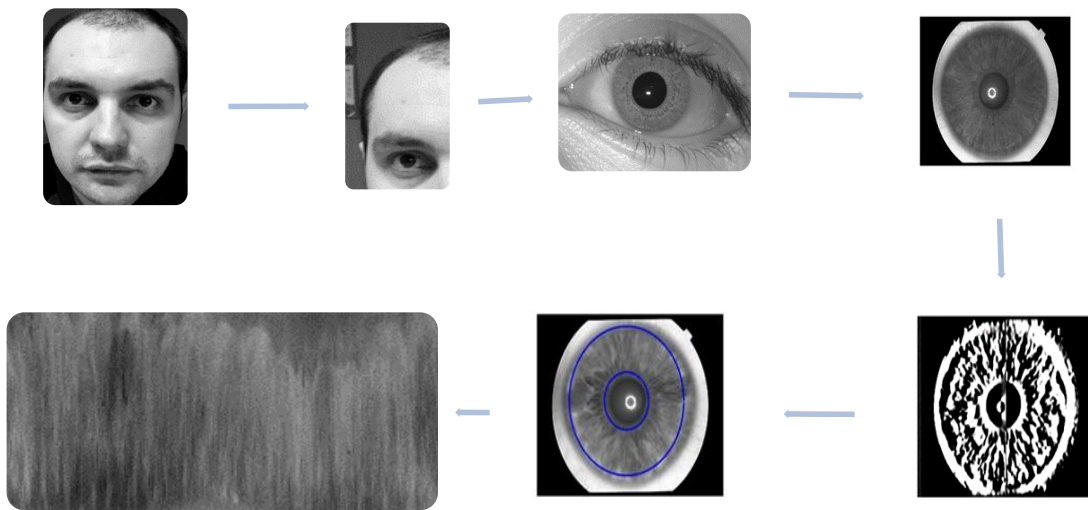


Рис 2.9 Візуалізація роботи процедур 1-7

Бувають випадки коли центри зіниці і РОО не співпадають. Внутрішня і зовнішня межі райдужки можуть мати різні центри та описуються параметрами:

$I(I_x, I_y)$ – центр внутрішньої межі з радіуса R_i , $O(O_x, O_y)$ – центр зовнішньої межі радіуса R_o . Зв'язок між цими параметрами аналізується нижче:

- 1) $I_x = O_x$;
 - 2) $I_x > O_x, I_y \geq O_y$;
 - 3) $I_x > O_x, I_y \leq O_y$;
 - 4) $I_x > O_x, I_y \leq O_y$;
 - 5) $I_x < O_x, I_y \leq O_y$.
- (2.2)

Розглянемо другий випадок (рис. 2.10):

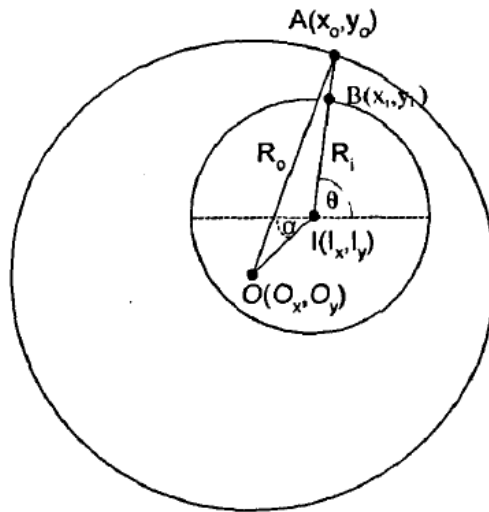


Рис. 2.10. Модель другого випадку зображення райдужки

В результаті локалізації райдужки на зображенні внутрішня і зовнішня межі, мають форму кіл, визначають кільцеву область, що підлягає аналізу. Запропоноване перетворення декартової системи координат в полярну дозволяє отримати еквівалентну уявлення області аналізу у вигляді прямокутної області інтересу [13,14].

Параметри $\theta (\theta \in [0; 2\pi])$ і $\rho (\rho \in [0; 1])$ описують полярну систему координат. Тоді, перетворення $I(x(\rho, \theta), y(\rho, \theta)) \rightarrow I(\rho, \theta)$ може бути виконано наступним чином:

$$\begin{cases} x(\rho, \theta) = (1 - \rho) * x_p(\theta) + \rho * x_i(\theta); \\ y(\rho, \theta) = (1 - \rho) * y_p(\theta) + \rho * y_i(\theta), \end{cases} \quad (2.3)$$

де

$$\begin{cases} x_p(\theta) = x_{p0}(\theta) + r_p * \cos(\theta); \\ y_p(\theta) = y_{p0}(\theta) + r_p * \sin(\theta), \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\begin{cases} x_i(\theta) = x_{i0}(\theta) + r_i * \cos(\theta); \\ y_i(\theta) = y_{i0}(\theta) + r_i * \sin(\theta), \end{cases} \quad (2.5)$$

де r_p і r_i – відповідно радіус зіниці і райдужної оболонки, $(x_p(\theta), y_p(\theta))$ і $(x_i(\theta), y_i(\theta))$ – координати внутрішньої і зовнішньої межі райдужки в напрямку θ .

Таким чином, компенсується деформація текстури райдужки при змінах діаметра зіниці. Нове уявлення зображення райдужної оболонки усуває неконцентричність райдужки і зіниці (рис 2.11).

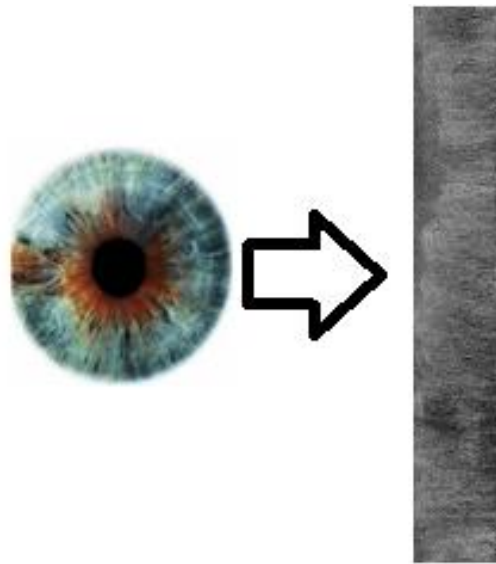


Рис. 2.11. Початкове локалізоване → нормалізоване зображення райдужної оболонки

Області біля країв меж (райдужка / зіницю і райдужка / склера) обрізаються для того, щоб виключити перешкоди утворені частинами зображення, які не є радужкою. Помилки локалізації виникають через те, що зіниця не є ідеально круглим.

2.4. Текстурні ознаки райдужної оболонки ока

Райдужка людини має дуже складну структуру з великою кількістю дрібних деталей. Вона містить безліч колагенових ниток, складок, корони, крипти, області різного забарвлення, плями, западини, кільця (рис. 2.12). Вимірювання параметрів

цих ознак і їх просторової зв'язку дозволяє отримати кількісні параметри, які можуть бути використано для ідентифікації, аутентифікації і контролю [15].

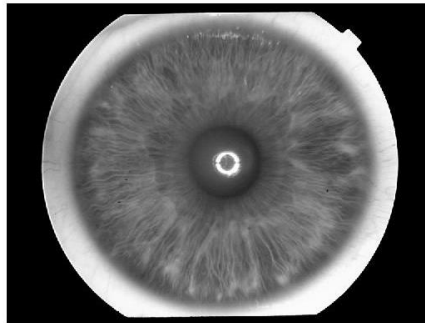


Рис. 2.12. Структура райдужки

Проведено дослідження в порівнянні нормалізованих зображень X і F райдужних оболонок з використанням кореляційного критерію:

$$r(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{D(X) \cdot D(Y)}, \quad (2.6)$$

де $D(X)$, $D(Y)$ – дисперсія, $\text{cov}(X, F)$ – ковариация (міра лінійної залежності двох випадкових величин) зображень X , Y .

Результати експериментів представлені на рис. 2.13:

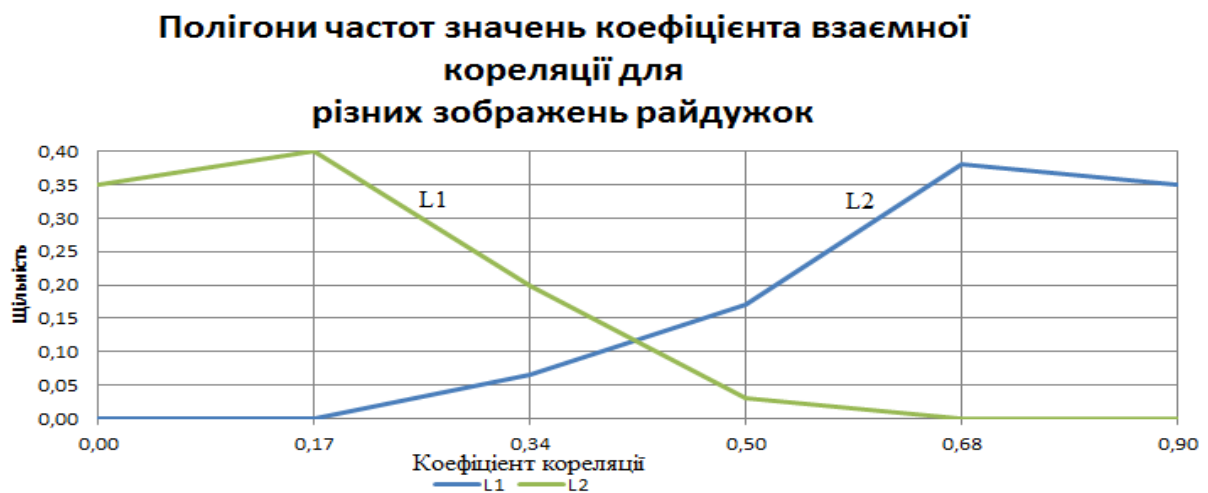


Рис. 2.13. Полігони частот значень коефіцієнта взаємної кореляції для різних зображень райдужок: $l1$ - те ж око, $l2$ - різні очі

Як видно з рис. 2.13 коефіцієнт взаємної кореляції має слабкі роздільні властивості, тому подальшу частину цього розділу роботи присвятимо

застосуванню більш перспективних підходів, заснованих на виділенні текстурної інформації.

Існує багато методів виділення текстурних ознак. В даному випадку до методу виділення ознак ставляться такі вимоги:

- нечутливість до зміни яскравості і контрасту;
- нечутливість до зрушення зображення (до повороту в декартовій системі координат);
- гарна роздільна здатність.

Для виділення текстурних ознак найчастіше використовують методи: Габора або двомірне косинусное перетворення, двомірних вайвлетів Хаара. Проведемо порівняння табл.2.2 найчастіше використовуваних методів і альтернативного.

Таблиця 2.2

Порівняння фільтрів для виділення текстурних ознак

Метод	Недолік	Формування текстурних ознак
Габбора	складна реалізація. Результати в комплексному вигляді (дійсна і уявна частина)	За яскравістю
Двомірне косинусное перетворення	час обчислення пропорційно квадрату розмірності зображення. Обчислення в форматі з плаваючою комою	За яскравістю
Двомірні вайвлети Хаара	несиметричність і негладкість форми, тобто виникає нескінченне чергування "пелюсток".	За яскравістю або за значенням фази після фільтрації
Різниця Гаусіанів (DoG-фільтр)	Використовується як два гаусових фільтра	за значенням фази після фільтрації

2.5. Формування фазових текстурних ознак райдужки ока на основі фільтрів Габора

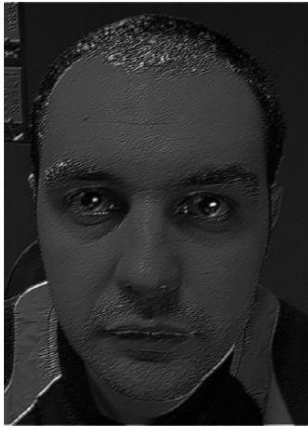
Система ознак, що володіє перерахованими властивостями і пропонується заснована на обчисленні локальних фаз. Фазова інформація, що міститься в Фур'є-спектрі зображення інваріантна до лінійних перетворень контрасту. На рис. 2.14. наведено вхідне зображення. Замінімо амплітуди гармонік дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) зображення на рис. 2.14(а) випадковими значеннями. В результаті відновлення отримаємо зображення, представлене на рис. 2.14 (б), на якому збереглася частина структурної інформації. Скомбінуємо фазу ДПФ другого зображення з амплітудою ДПФ першого. В результаті зворотного ДПФ отримаємо зображення, представлене на рис. 2.14(в). Як видно з рис. 2.14 (в) фаза має вирішальне значення. Замінімо фазу ДПФ другого зображення випадковими значеннями. В результаті отримаємо зображення, представлене на рис. 2.14(г). Видалення фазової інформації повністю руйнує структуру зображення.

Локальні фазові ознаки визначаються за допомогою фільтрів Габора. Локалізація ознак, дозволяє враховувати взаємне розташування елементів текстури на зображенні [1,8,15-17].

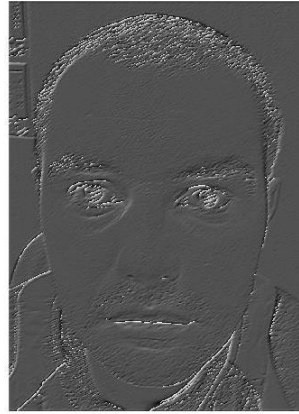


а)

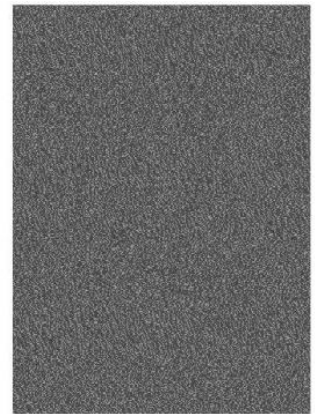
Рис. 2.14. Вхідне зображення



б)



в)



г)

Рис. 2.14 Перетворення зображення:
(б- значення фаз відгуків прирівняні до нуля, в- значення амплітуд відгуків прирівнянні до одиниці, г – значення фаз всіх відгуків замінені випадковими числами)

Розглянемо двовимірну нормалізовану функцію Габора:

$$\psi(x, y, \zeta_0, \nu_0, x_0, y_0, \rho, \theta, \sigma, \beta) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma\beta}} e^{-\left[\frac{((x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta)^2}{2\sigma^2} + \frac{(-(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta)^2}{2\beta^2} \right]} \cdot e^{i(\zeta_0(x-x_0) + \nu_0(y-y_0) + \rho)} \quad (2.7)$$

Центр фільтра розташований в точці зображення $(x = x_0, y = y_0)$, і в точці $(\zeta = \zeta_0, \nu = \nu_0)$ площини просторових частот, σ і β – масштабні параметри еліптичних гауссіанів уздовж осей x і y , θ – угол орієнтації фільтра, ρ – фаза фільтра. Таким чином, узагальнена функція Габора має шість ступенів свободи: $\zeta_0, \nu_0, \theta, \rho, \sigma, \beta$.

Відгуки простих зорових рецепторів не є чітко парними або непарними, проте квадратурного-фазовий відношення між парою простих рецепторів зберігається. Оскільки в подальших перетвореннях буде брати участь тільки потужність, можна спростити фільтр Габора, розмістивши його центр в точці $(x = x_0, y = y_0)$ і вибрати фазу $\rho=0$. Результат перетворення Фур'є спрощеного комплексного фільтра Габора має наступний вигляд:

$$\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma\beta}} e^{-\frac{1}{2}[(\zeta - \zeta_0)\cos\theta + (\nu - \nu_0)\sin\theta]^2 \sigma^2 + [-(\zeta - \zeta_0)\sin\theta + (\nu - \nu_0)\cos\theta]^2 \beta^2]} \quad (2.8)$$

де ζ, ν – просторові частоти по осях x і y .

Надалі ми можемо зменшити число ступенів свободи фільтра визначивши σ, β і θ через ζ_0 і ν_0 , відповідно до таких фізіологічними властивостями: смуги просторових частот простого і складного рецепторів повинні бути в діапазоні від 0,5 до 2,5 октав, межа розділу повинна бути близько 1,2 октави, і 1,5 октави. Масштабні параметри гаусіана зазвичай вибираються зі ставленням 1,5-2,0, при цьому напрямком модуляції збігається з напрямком малої осі гаусіана.

На параметри σ і β може бути довільним чином накладено таке обмеження $\frac{\beta}{\sigma} = 2$. Це обмеження узгоджується з даними фізіологічних досліджень органів зору людей, що мають характеристики, схожі з фільтрами Габора.

На цій же підставі хвиля з частотами (ζ_0, ν_0) повинна бути спрямована уздовж малої осі еліптичного гауссіана.

При зміні орієнтації хвилі, еліптичний Гаусіан теж повертається. Це означає, що центральна частота (ζ_0, ν_0) фільтра пов'язана з кутом повороту θ модулюючого гауссіана наступним чином:

$$\zeta_0 = \omega_0 \cos \theta, \nu_0 = \omega_0 \sin \theta, \quad (2.9)$$

де кругова частота $\omega_0 = \sqrt{\zeta_0^2 + \nu_0^2}$.

З урахуванням цих обмежень фільтр Габора можна визначити наступним чином:

$$\psi(x, y, \zeta_0, \nu_0, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{8\sigma^2} \left[4 \left(x \frac{\zeta_0}{|\omega_0|} + y \frac{\nu_0}{|\omega_0|} \right)^2 + \left(-x \frac{\nu_0}{|\omega_0|} + y \frac{\zeta_0}{|\omega_0|} \right)^2 \right]} \cdot e^{i(\zeta_0 x + \nu_0 y)}, \quad (2.10)$$

Орієнтація фільтра збігається з великою віссю еліптичного гауссіана.

Смугу частот за рівнем амплітуди 0,5 виберемо від 1 до 1,5 октав в напрямку оптимальної орієнтації.

Співвідношення між σ і ω_0 задається наступним виразом:

$$\sigma = \frac{k}{\omega_0}, \quad (2.11)$$

де $k = \sqrt{2 \ln 2} \left(\frac{2^\phi + 1}{2^\phi - 1} \right)$, – ширина смуги частот в октавах. Для октави $\phi = 1$, $\sigma \approx \frac{\pi}{\omega_0}$,

для октави $\phi = 1,5$, $\sigma \approx 2,5 / \omega_0$.

В результаті описаних обмежень, ми отримуємо наступне сімейство самоподібних фільтрів Габора, що залежать від чотирьох змінних:

$$\psi(x, y, \omega_0, \theta) = \frac{\omega_0}{\sqrt{2\pi k}} e^{-\frac{\omega_0^2}{8k^2}(4(x \cos \theta + y \sin \theta)^2 + (-x \sin \theta + y \cos \theta)^2)} \cdot e^{i(\omega_0 x \cos \theta + \omega_0 y \sin \theta)}, \quad (2.12)$$

де $\theta = \arctan \frac{\nu_0}{\zeta_0}$, і k постійно для вейвлетів Габора з однакою смугою частот.

Отримане сімейство може бути зрушене в будь-яку точку зображення (x_0, y_0) .

Далі необхідно досягти того, щоб інтеграл від фільтра дорівнював 0, оскільки в іншому випадку фільтр буде чутливий до варіацій освітлення.

Синусоїдальна частина комплексного фільтра Габора має нульове середнє значення, однак косинусоїдального компонента - немає. Відгук на постійний сигнал може бути визначений за допомогою перетворення Фур'є при $\zeta = 0$ і $\nu = 0$,

$$\hat{\psi}(\zeta = 0, \nu = 0 : \zeta_0, \nu_0) = \sqrt{8\pi\sigma} e^{-\frac{k^2}{2}}. \quad (2.13)$$

Сімейство допустимих двовимірних вейвлетів Габора може бути отримано шляхом вирахування постійної складової з фільтра Габора:

$$\psi(x, y, \omega_0, \theta) = \frac{\omega_0}{\sqrt{2\pi k}} \left[e^{-\frac{\omega_0^2}{8k^2}(4(x \cos \theta + y \sin \theta)^2 + (-x \sin \theta + y \cos \theta)^2)} \right] \cdot \left[e^{i(\omega_0 x \cos \theta + \omega_0 y \sin \theta)} - e^{-\frac{k^2}{2}} \right], \quad (2.14)$$

з результатом перетворення Фур'є:

$$\psi(x, y, \omega_0, \theta) = \frac{\sqrt{8\pi k}}{\omega_0} \left[e^{-\frac{k^2}{2\omega_0^2}[(\zeta - \zeta_0) \cos \theta + (\nu - \nu_0) \sin \theta]^2 + 4(-\zeta - \zeta_0) \sin \theta + (\nu - \nu_0) \cos \theta]^2} \right] \times \left[e^{-\frac{k^2}{2\omega_0^2}[(\zeta \cos \theta + \nu \sin \theta)^2 + 4(-\zeta \sin \theta + \nu \cos \theta)^2 + \omega_0^2]} \right], \quad (2.15)$$

де $\zeta_0 + \nu_0 = 0$ визначає лінію нулів ($\hat{\psi}(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0) = 0$) на частотній площині.

Кожне з двох сімейств вейвлетів Габора може бути отримано шляхом обертання і масштабування наступного материнського вейвлета:

$$\psi(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{8}(4x^2 + y^2)} \cdot \left[e^{ikx} - e^{-\frac{k^2}{2}} \right], \quad (2.16)$$

результат перетворення Фур'є, якого:

$$\hat{\psi}(\zeta, \nu) = \sqrt{8\pi} \left\{ e^{-\frac{1}{2}[(\zeta - k)^2 + 4\nu^2]} - e^{-\frac{1}{2}[\zeta^2 + 4\nu^2 + k^2]} \right\}, \quad (2.17)$$

Повна формула для сімейства комплексних вейвлетів Габора, таким чином, має такий вигляд:

$$\psi(x, y, \omega_0, \theta) = \frac{\omega_0}{\sqrt{2\pi k}} \left[e^{-\frac{\omega_0^2}{8k^2}(4(x \cos \theta + y \sin \theta)^2 + (-x \sin \theta + y \cos \theta)^2)} \right] \left[e^{i(\omega_0 x \cos \theta + \omega_0 y \sin \theta)} - e^{-\frac{k^2}{2}} \right], \quad (2.18)$$

де ω_0 – кругова частота, θ – орієнтація вейвлета, k – константа ($k \approx \pi$ для полоси частот в одну октаву і $k \approx 2,5$ для полоси частот в 1,5 октави). Графіки одномірного і двомірного фільтра Габора приведені на рис. 2.13.

Фільтри Габора мають властивість, завдяки якому вони широко застосовуються в аналізі зображень. Це властивість - відмінна локалізація особливостей зображення, як в частотному просторі, так і в просторі зображення [16]. На рис. 2.15 і в табл. 2.3, табл. 2.4 наведено двомірні фільтри Габора і їх смуги пропускання за рівнем 0,5.

Використання набору фільтрів Габора, що мають різні частоти і орієнтації, дозволяє отримати інформативне подання зображення райдужної оболонки ока у вигляді локальних фаз відгуків комплексних вейвлетів.

Текстурні ознаки визначаються в такий спосіб [17,27]:

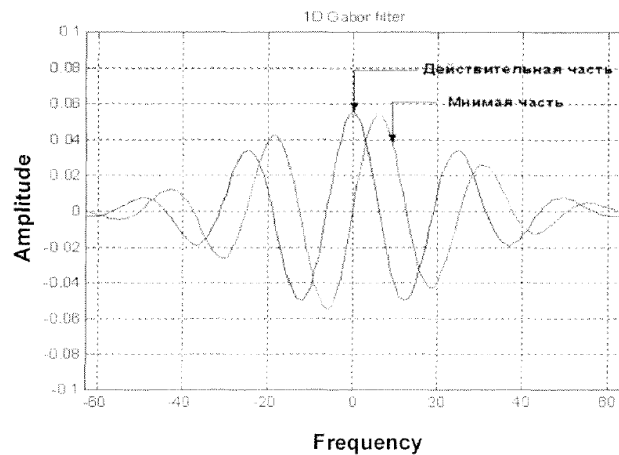
- Для базисних вейвлетів всіх використовуваних частот і орієнтації обчислити згортку з зображенням. В результаті виходять комплексні відгуки:

$$\blacksquare R(x, y) = I(x, y) * \psi(x, y, \omega_0, \theta). \quad (2.19)$$

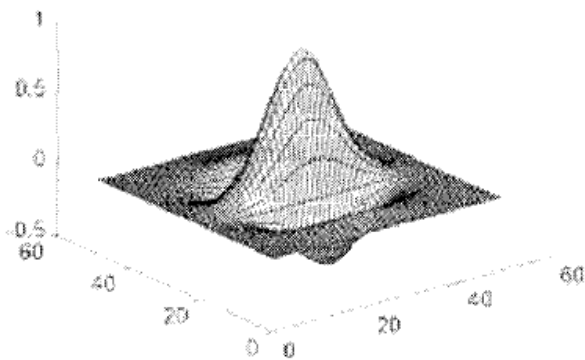
- Амплітуда всіх пікселів відгуків прирівнюється 1. При цьому зберігається тільки фазова інформація:

$$\blacksquare R(x, y) = \frac{R(x, y)}{|R(x, y)|}. \quad (2.20)$$

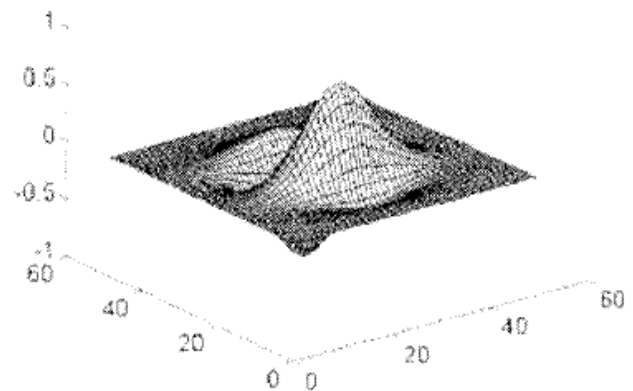
- Фаза всіх пікселів відгуків квантуються на 4 рівня з кроком $\pi/2$.
- Для кожного локального елемента зображення кожна з отриманих фаз на комплексній площині кодується номером квадранта, в якому вона знаходиться. Ця операція повторюється для всіх частин зображення райдужної оболонки при різних масштабах фільтрів.



a)



б)

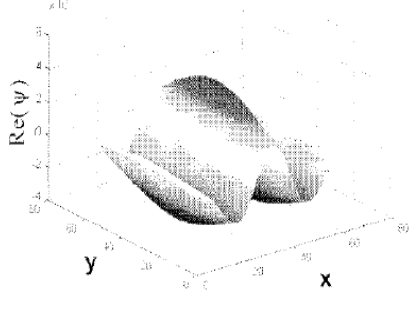
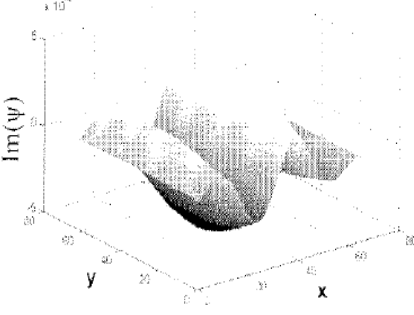
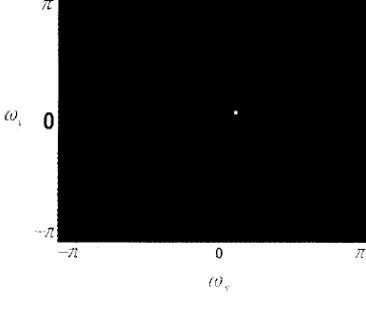
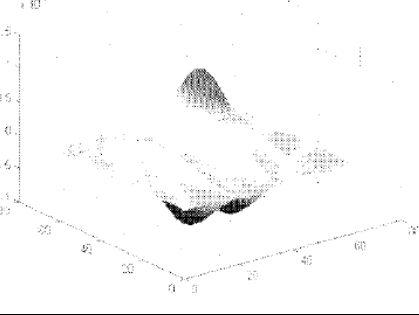
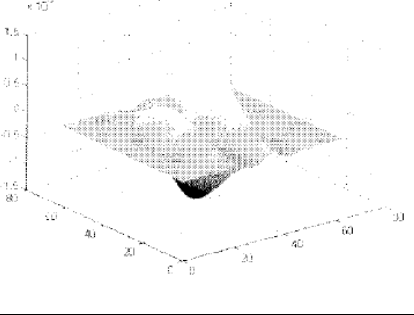
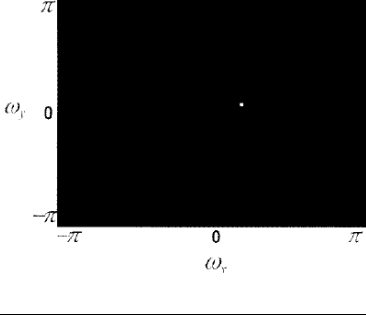
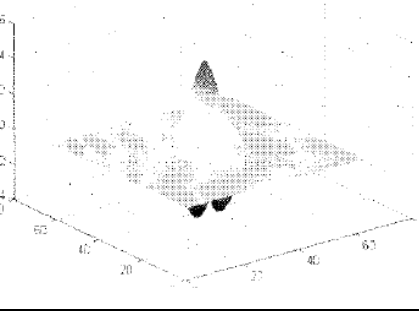
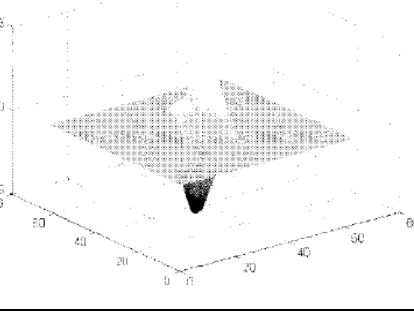
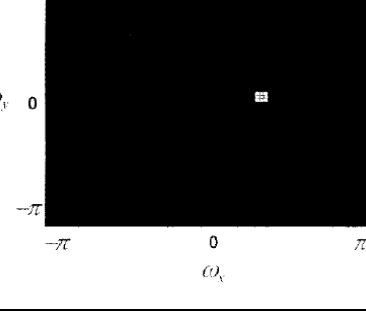
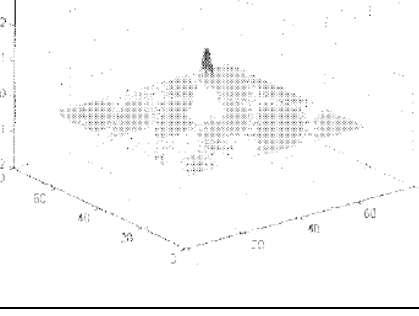
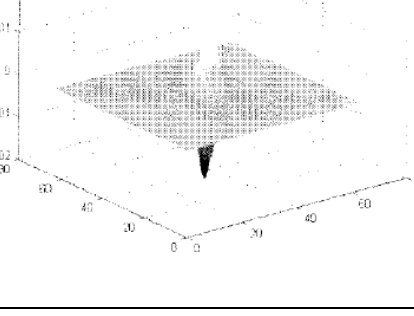
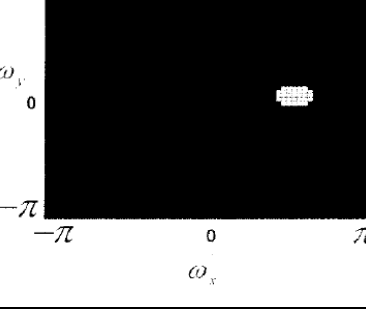


в)

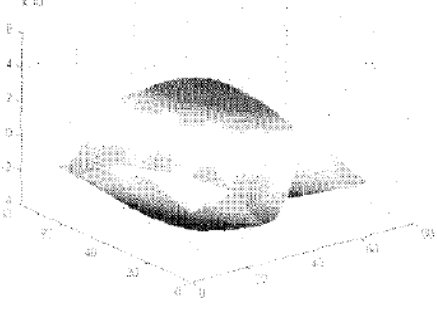
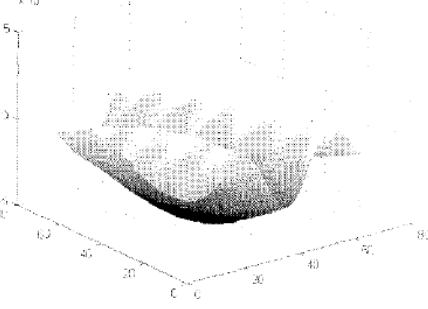

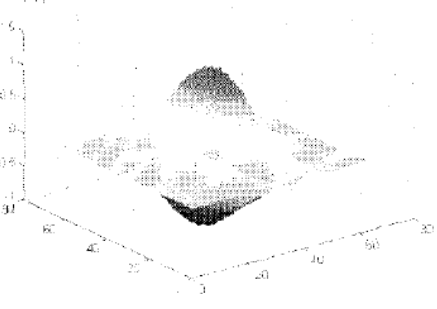
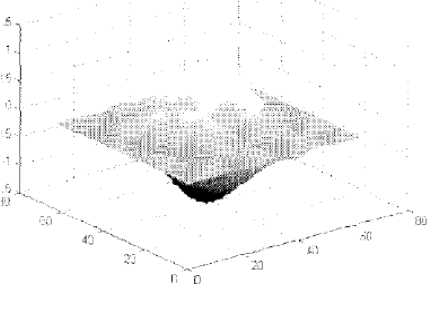
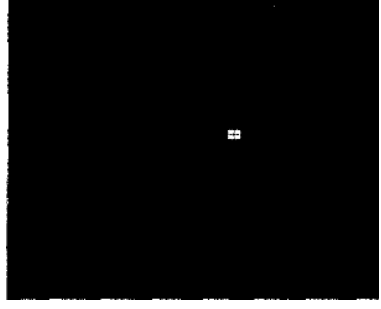
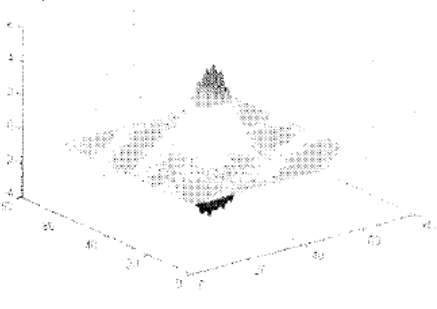
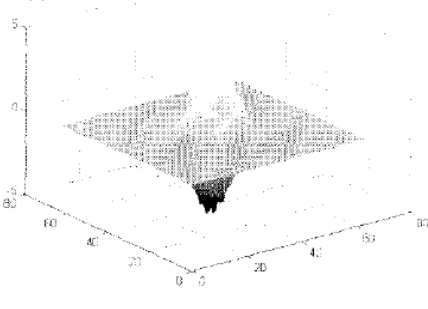
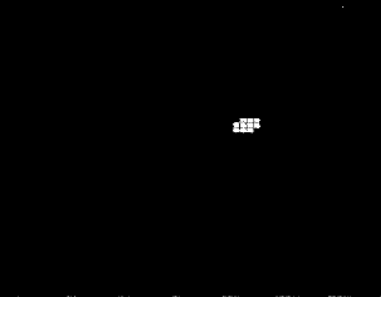
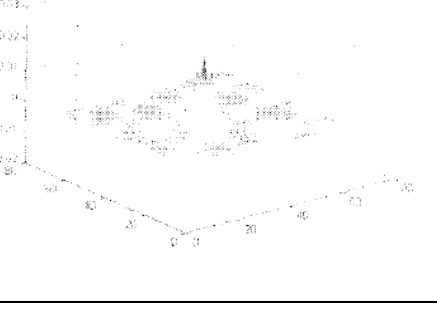
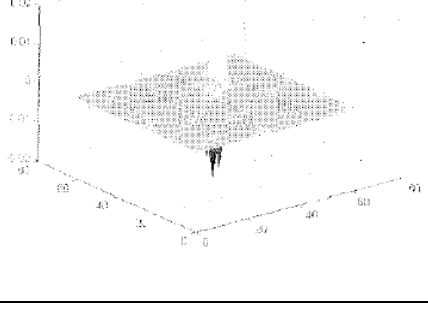

Рис. 2.15. Одновимірні характеристики фільтра Габора, дійсна частина, уявна частина (а), дійсна частина двовимірного фільтра Габора (б), уявна частина двовимірного фільтра Габора (в)

Для більшої наочності проілюструємо графіки двовимірних фільтрів Габора при різних значеннях θ . Памятаємо, що двовимірний вейвлет Габора має форму плоскої хвилі, обмеженою по амплітуді функцією Гаусса.

Графіки двовимірних характеристик фільтрів Габора при $\theta = 0$

дійсна частина	комплексна частина	смуга пропускання за рівнем 0,5
$\omega_0 = \pi/16$		
		
$\omega_0 = \pi/8$		
		
$\omega_0 = \pi/4$		
		
$\omega_0 = \pi/2$		
		

Графіки характеристик фільтрів Габора при $\theta = \pi/8$

дійсна частина	комплексна частина	смуга пропускання за рівнем 0,5
$\omega_0 = \pi/16$		
		
$\omega_0 = \pi/8$		
		
$\omega_0 = \pi/4$		
		
$\omega_0 = \pi/2$		
		

На рис. 2.16 представлені фази відгуків фільтрів Габора з різними частотами з параметром $\theta = 0$.

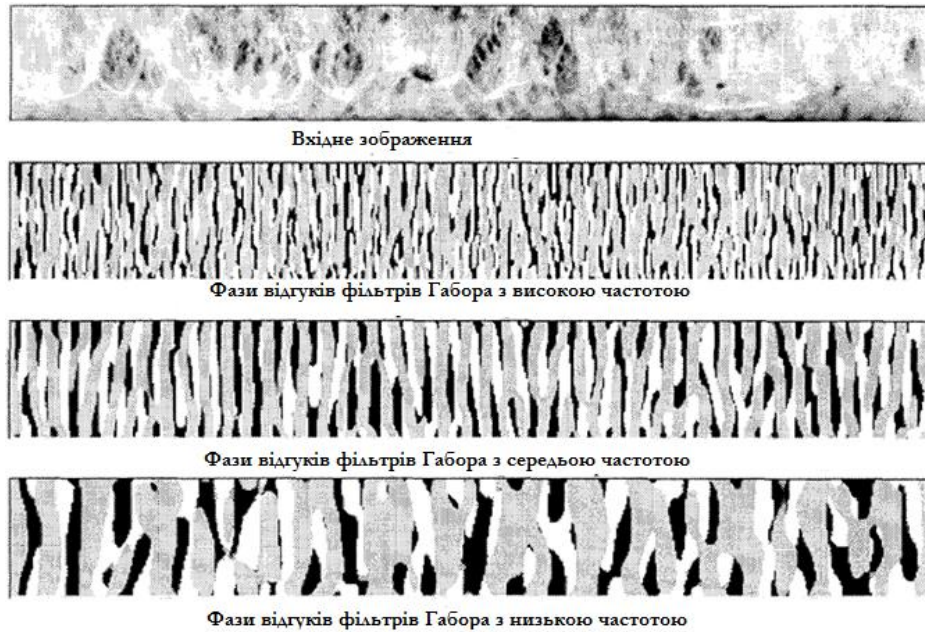


Рис. 2.16. Фази відгуків фільтрів Габора з різними частотами з параметром $\theta = 0$

На рис. 2.17 в наведено зображення райдужної оболонки відновлене за фазами вейвлетів з параметрами

$$\theta = 0, \pi/6, \pi/3, \pi/2, 2\pi/3, 4\pi/6 \text{ і } \omega_0 = \pi/8, \pi/4, \pi/2.$$

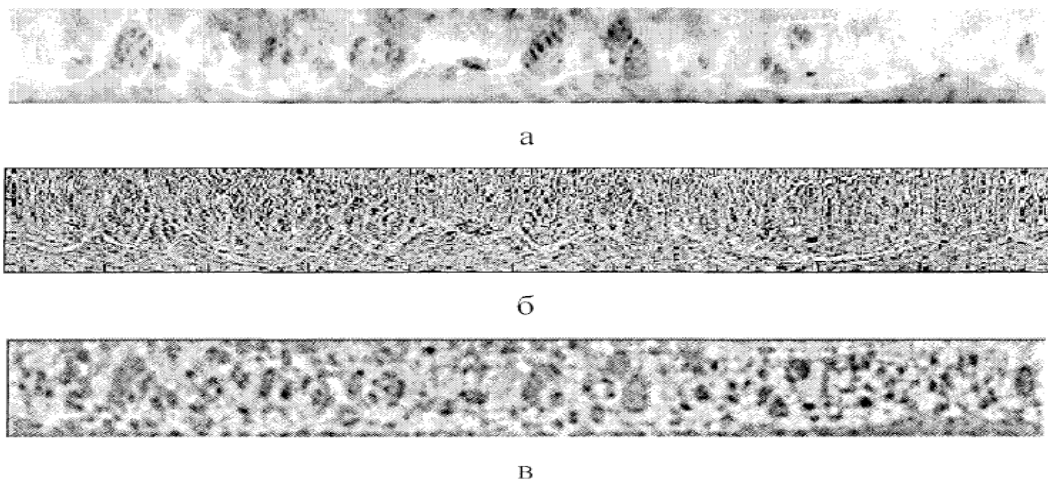


Рис.2.17. Нормалізоване зображення райдужної оболонки (а); результат видалення з спектра зображення амплітудної інформації (б); результат відновлення зображення райдужної оболонки з уявлення у вигляді фаз вейвлетів Габора (в)

Відновлення здійснювалося шляхом складання вейвлетів всіх використовуваних частот і орієнтації для кожного пікселя зображення. При цьому вейвлети склалися в фазі, визначеній на етапі розкладання зображення.

Локальне квантування фази описується наступними умовними інтегральними виразами, в яких кожен біт коду h має «дійсну» h_{Re} і «комплексну» h_{Im} частину, $h = h_{\text{Re}} + ih_{\text{Im}}$:

$$h_{(\text{Re}, \text{Im})}(i, j) = \begin{cases} 1, \text{ якщо} & \text{Re, Im} [\psi(i, j)] \geq 0, \\ 0, \text{ якщо} & \text{Re, Im} [\psi(i, j)] < 0, \end{cases} \quad (2.21)$$

де $\psi(x, y) = I(x, y) * \psi(x, y, \omega_0, \theta)$ є згортка фільтра Габора ψ з зображенням I , (i, j) – позиція в якій визначається пара бітів коду.

Процес демодуляції фази зображення райдужної оболонки показаний на рис. 2.18 [18]. Локальні області райдужки відображаються в просторі двовимірних вейвлетів Габора (2.17). При цьому виходять комплексні коефіцієнти, дійсна і уявна частини яких визначають координати точки на комплексній площині. Фазовий кут квантується по чотирьох квадрантах, визначаючи два біта фазової інформації. Для визначення коду райдужки цей процес повторюється при різних масштабах, центральних частотах і орієнтаціях вейвлетів [40].

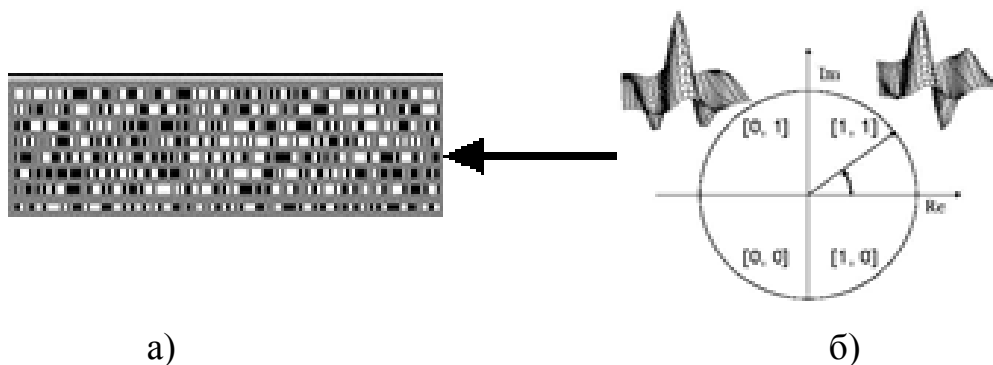


Рис. 2.18. Процес демодуляції фази зображення райдужної оболонки (б), визначення коду райдужки за допомогою вейвлетів Габора (а)

Таке представлення райдужки дозволяє виключити вплив нерівномірного освітлення, при цьому, на відміну від подання у вигляді фаз ДПФ, враховуються локальні текстурні особливості райдужної оболонки.

Грубе квантування фази дозволяє знизити чутливість ознак до повороту зображення райдужної оболонки. Вейвлети Габора містять ряд параметрів, методика вибору яких не опублікована у відкритих джерелах. У цій роботі, в експериментальній її частині запропонована методика, заснована на статистичних даних, що дозволяє оптимальним чином вибрати ці параметри.

2.6. Метод формування фазових текстурних ознак райдужної оболонки ока на базі DoG-фільтра

Фільтри Габора мають недолік, що полягає в недостатній обчислювальній ефективності. Один з найбільш обчислювально ефективних смугових фільтрів - DoG-фільтр (Difference of Gaussian) [26-29], для якого на відміну від фільтра Габора існує рекурсивний алгоритм. У дисертаційній роботі запропонована і досліджена система ознак на основі DoG-фільтра. DoG-фільтр описується наступним виразом:

$$DoG(x, y) = g(x, y, \sigma) - g(x, y, 1.6\sigma), \quad (2.22)$$

$$де \quad g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right). \quad (2.23)$$

Даний фільтр також є смуговим, але на відміну від фільтра Габора для обчислення відгуку DoG-фільтра існують ефективні рекурсивні алгоритми. Для обчислення згортки з гаусовим фільтром з параметром $\sigma > 0,5$ на якій заснована фільтрація DoG-фільтром, існує рекурсивний алгоритм [30]:

$$q = \begin{cases} 0,98711 \sigma - 0,96330, & \text{якщо } \sigma \geq 2,5; \\ 3,97156 - 4,14554 \sqrt{1 - 0,26891 \sigma^2}, & \text{якщо } 0,5 \leq \sigma \leq 2,5; \end{cases} \quad (2.24)$$

$$b_0 = 1,57825 + 2,44413 q + 1,4281 q^2 + 0,422205 q^3;$$

$$b_0 = 1,57825 + 2,44413 q + 1,4281 q^2 + 0,422205 q^3;$$

$$b_1 = 2,44413 q + 2,8561 q^2 + 1,26661 q^3;$$

$$b_2 = -1,428 q^2 - 1,26661 q^3;$$

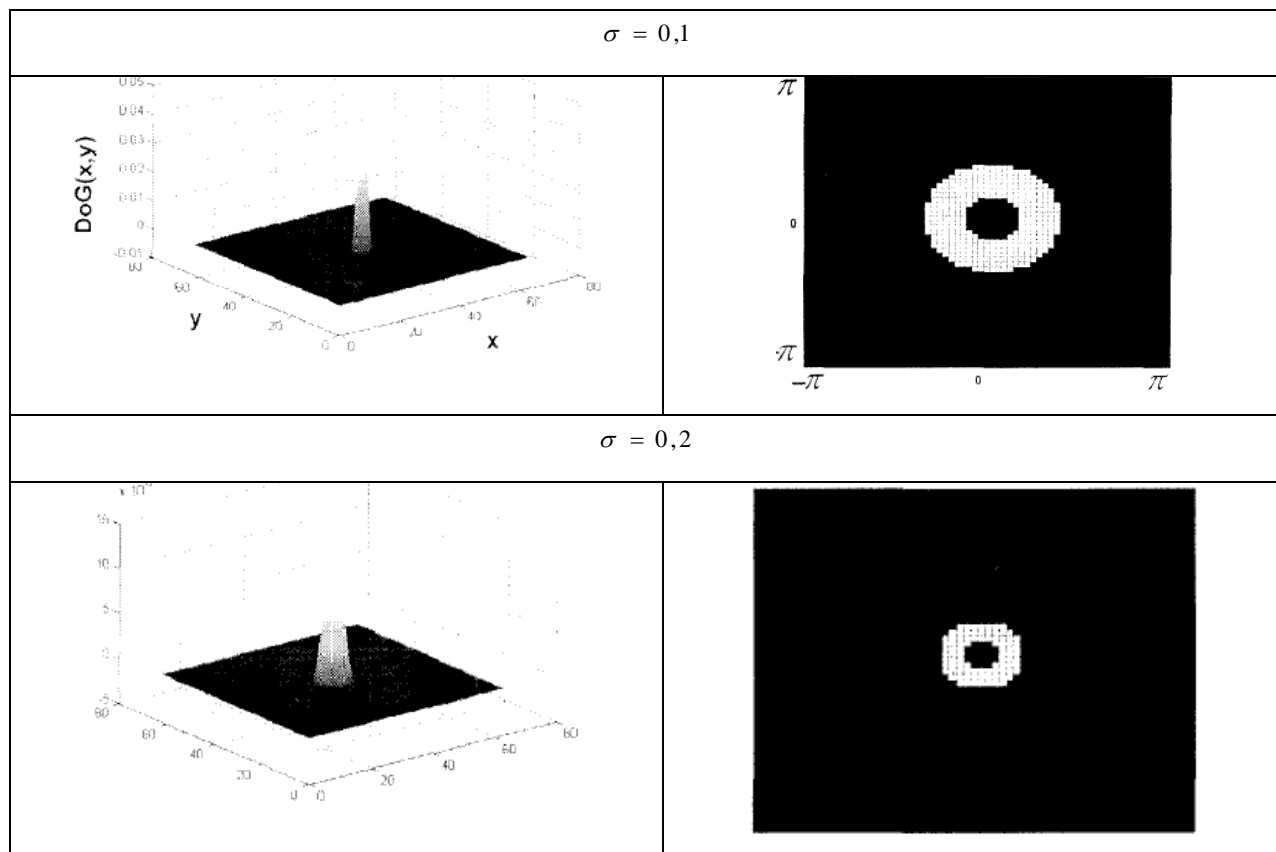
$$b_3 = 0,422205 q^3;$$

$$B = 1 - \frac{b_1 + b_2 + b_3}{b_0}; \quad (2.25)$$

Проведені статистичні дослідження, дозволяють вибрати оптимальні параметри DoG-фільтрів. Для наочності приведемо графіки DoG-фільтрів зі смугою пропускання по рівню 0,5 при різних значеннях σ .

Таблиця 2.5

Графіки характеристик DoG-фільтра і смуга пропускання по рівню 0,5 при різних значеннях σ (ширина фільтра в пікселях)



Продовження таблиці 2.5

$\sigma = 0,3$	
$\sigma = 0,5$	
$\sigma = 0,7$	
$\sigma = 0,9$	

Однією з особливостей DoG-фільтра є те, що його відгук змінює знак в тих областях зображення, де присутній перепад яскравості. На цій властивості засновано дію контурного детектора [40]. В однорідних областях зображення відгук фільтра дорівнює нулю, однак таких областей на зображенні райдужної оболонки практично не зустрічається. Структура райдужки може бути закодована знаками відгуку DoG-фільтра як зображено на рис 2.19 в вузлах ортогональної сітки:

$$I_r(x, y) = \begin{cases} 1, & D(x, y) \geq 0 \\ 0, & D(x, y) < 0 \end{cases} \quad (2.27)$$

де $D(x, y) = I(x, y) * DoG(x, y, \sigma)$, (x, y) – позиція, в якій визначається біт коду райдужки.

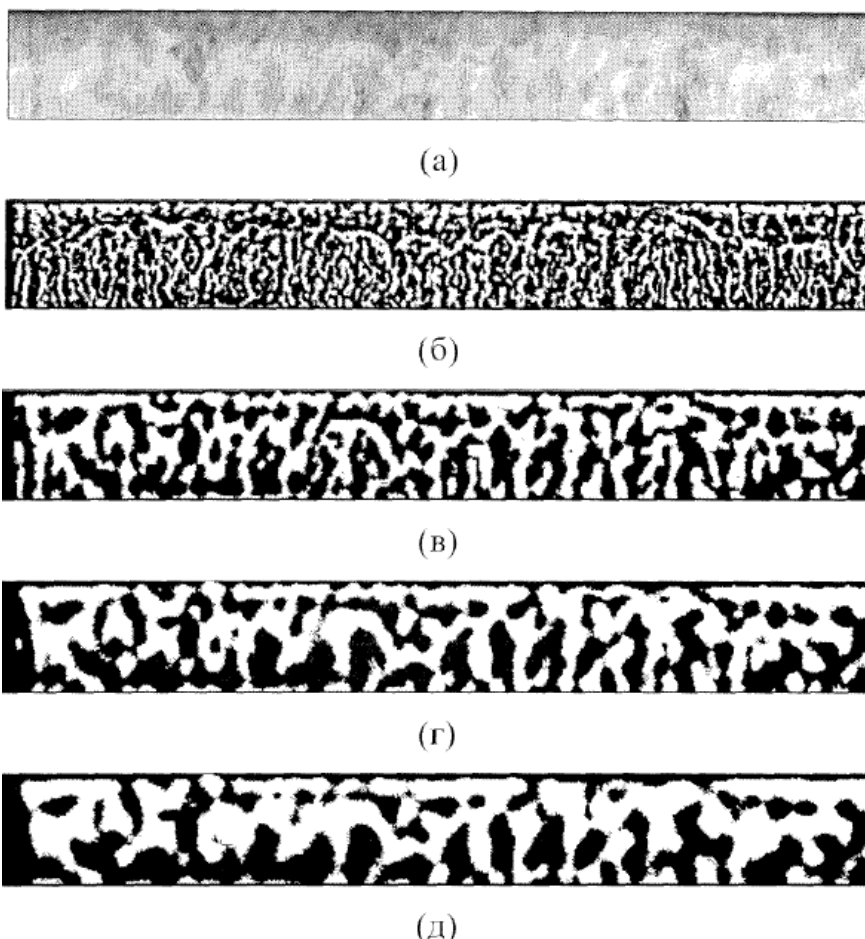


Рис. 2.19. Знаки відгуку DoG-фільтра: нормалізоване зображення райдужної оболонки (а), відгук DoG-фільтра при $\sigma = 0,2$ (б), відгук DoG -фільтра при $\sigma = 0,5$ (в), відгук DoG -фільтра при $\sigma = 0,7$ (г), відгук DoG -фільтра при $\sigma = 0,9$ (д)

Провівши кодування понад 200 зображень РОО зафіксовано, що гістограма розподілу матриці Iris-коду РОО не рівномірна (рис 2.20.)

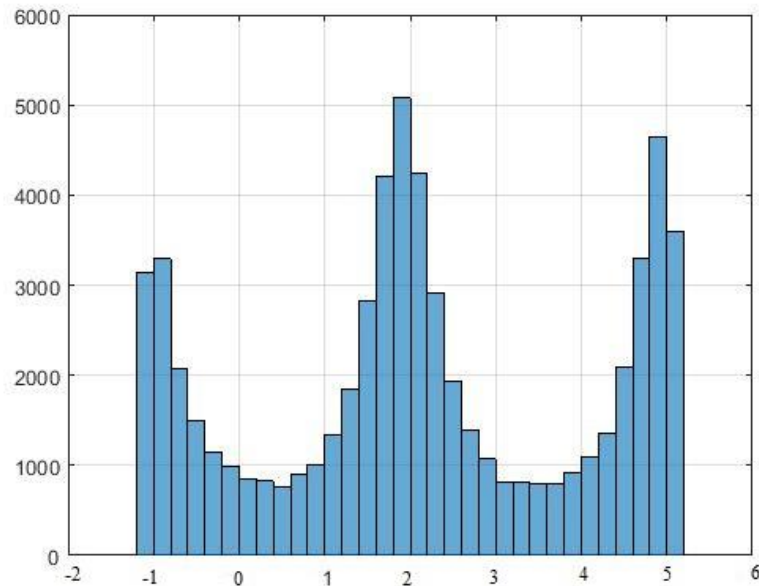


Рис 2.20 Гістограма відгуків РОО після DoG-фільтрації

Даний факт несе за собою явну перевагу кількості одиниць над нулями в бінарному коді РОО, що зменшує його інформативність[21] - тобто ентропія бінарного кода буде значно менше 1, в нашому випадку ентропія не перевищувала 0,6. Необхідно усунути цей недолік.

2.7 Удосконалення DoG-фільтра

Класичний DoG-фільтр був запропонований для отримання АЧХ які наближались до прямокутної форми, тобто мали більш крутий скат в порівнянні з фільтром Гауса і відсутністю бокових пелюсток.

В дисертаційній роботі для кодування РОО будемо застосовувати значення фаз відгуків фільтра. Але ці відгуки повинні мати постійний стрибок для їх відмінності. Виходячи з обробки сигналів ми знаємо, якщо АЧХ проходить через 0 осі частот то фази гармонік отримують постійний стрибок на π . Щоб фази вищих гармонік не стрибали при декількох переходах АЧХ через 0, потрібно щоб АЧХ

мала всього один перехід через 0, а потім поступово наближалась по своєму значенню до 0. Таким чином гармоніки фільтрованого зображення РОО будуть мати значення які знаходяться в межах від 0 до π і від π до 2π . Якщо АЧХ фільтра представити кривою яка отримується різницею двох гаусіанів рис 2.21

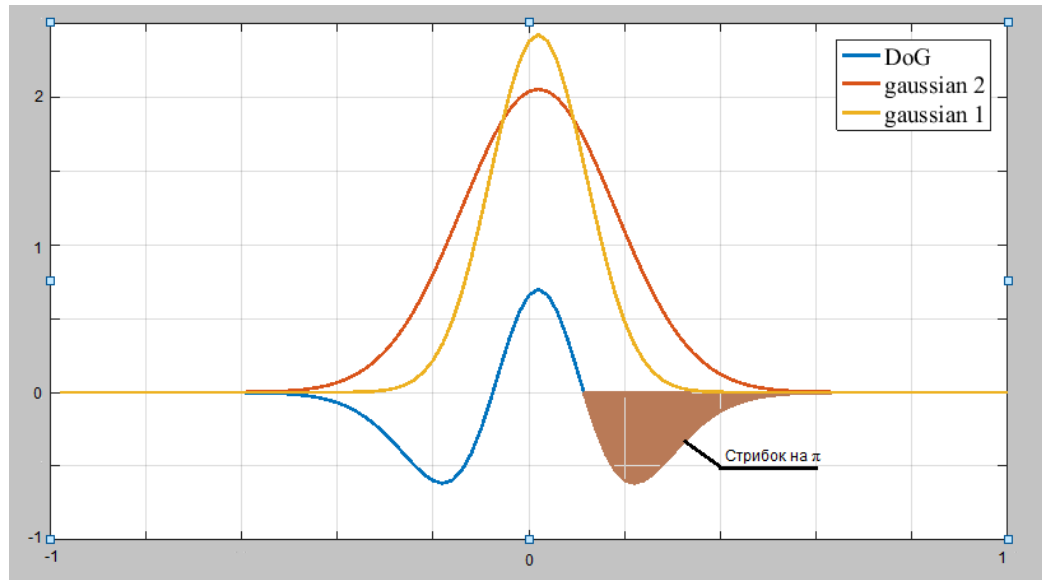


Рис.2.21 АЧХ модифікованого DoG-фільтра

Імпульсну характеристику фільтра отримуємо як двовимірне дискретне перетворення Фур'є

$$\dot{h}(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{n=1}^{n_{\max}} \{DoG\} e^{+j \frac{2\pi nk}{N}}, \quad (2.28)$$

де n, k – довжина маски фільтра в частотній області, маска квадратна $m_{\max} = k_{\max}$, x, y – просторові координати, цілі числа.

АЧХ фільтра описується наступною формулою

$$DoG = [g(n, k \sigma_1) - g(n, k \sigma_2)], \quad (2.29)$$

де $\sigma_2 > \sigma_1$, $\sigma_2 = s \sigma_1$, s - коефіцієнт розширення. $\sigma = \frac{\Delta \omega}{|\hat{\omega}|}$, де $\hat{\omega} = \pm 1$ - нормована частота, $\Delta \omega \leq |\hat{\omega}|$.

Фазовий відгук РОО отримується з виразу

$$\varphi_{Ir} = -\arctan \frac{\operatorname{Im} \left[I(x, y) * \dot{h}(x, y) \right]}{\operatorname{Re} \left[I(x, y) * \dot{h}(x, y) \right]}. \quad (2.30)$$

Операція в квадратних дужках – це згортка зображення POO з імпульсною характеристикою удосконаленого DoG-фільтра.

$$Iris = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 \leq \varphi_{Ir} < \pi \\ 0, & \text{якщо } \pi \leq \varphi_{Ir} < 2\pi \end{cases} \quad (2.31)$$

Провівши кодування понад 200 зображень POO зафіксовано, що гістограма розподілу матриці Iris-коду POO наближується до рівномірної (рис 2.22.)

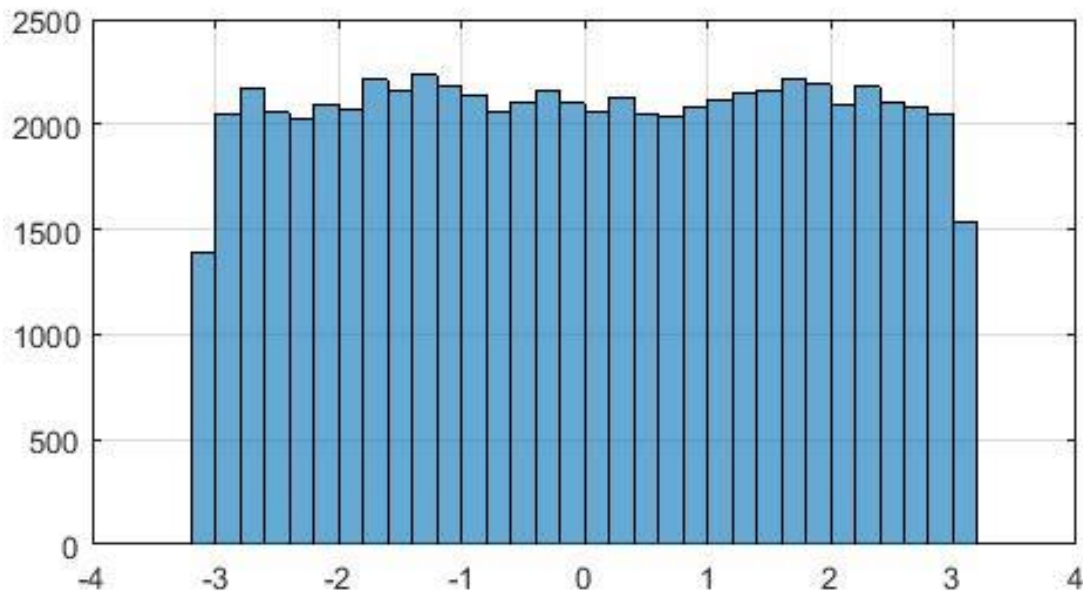


Рис2.22 Гістограма відгуків POO після модифікованого DoG-фільтра

В результаті обчислення ми отримали значення ентропії $0,99998 \pm 0,00001$.

На рис. 2.23 наведено приклад зображення райдужної оболонки і відповідні йому ознаки, отримані за формулою (2.30, 2.31):

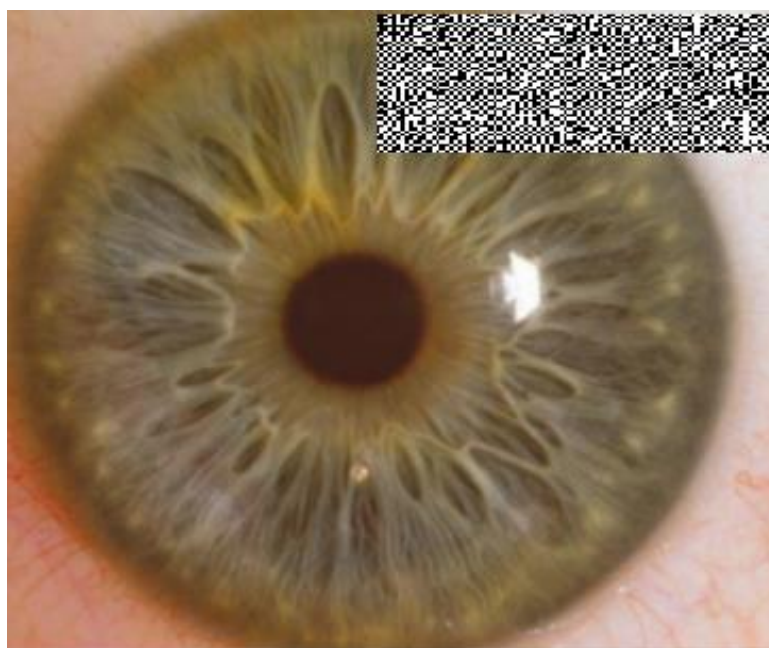


Рис. 2.23. Визначення коду райдужки за допомогою DoG- фільтра

Запропоновані ознаки, також як і ознаки на основі фаз вейвлетів Габора, що не залежать від зміни яскравості і контрасту зображення, а визначаються тільки його структурою. У той же час, вони мають більшу обчислювальну ефективність.

Вибір параметрів DoG-фільтра, а також дослідження розділяє здатності ознак і чутливості до перешкод будуть розглянуті в експериментальній частині роботи.

2.7. Висновки до другого розділу роботи

Розглянуто основи та алгоритми попередньої обробки зображення райдужної оболонки ока. Вона складається з чотирьох етапів: локалізація райдужки, геометрична нормалізація зображення райдужної оболонки, нормалізація яскравості і подавлення шумів.

1. Існуючі алгоритми локалізації райдужної оболонки мають ряд недоліків, що знижує експлуатаційні характеристики біометричних систем.

2. Пропонується новий інтегрально-диференціальний алгоритм визначення меж райдужної оболонки з послідовним уточненням і визначенням області пошуку центру зіниці шляхом порогового обмеження. Розроблений алгоритм вимагає менших обчислювальних витрат при збереженні високої точності.

3. До методу виділення текстурних ознак зображення райдужної оболонки ставляться такі вимоги: 1) нечутливість до змін яскравості і контрасту; 2) нечутливість до зсуву зображення (до повороту в полярній системі координат); 3) хороша розділяюча здатність.

4. Фазове подання зображення дозволяє позбутися від впливу нерівномірного освітлення при ідентифікації особистості по райдужці ока.

5. Локальні фази вейвлетів Габора несуть більше інформації про структуру зображенні, ніж фаза ДПФ. Тому використання локальних фаз вейвлетів Габора в якості ознак для розпізнавання є кращим.

6. Фільтр Габора поступається в обчислювальній ефективності DoG-фільтру. Тому система ознак на основі DoG-фільтра може виявитися більш ефективною.

7. Фазові відгуки DoG-фільтра несуть інформацію про локальну структуру зображення і не чутливі до змін яскравості і контрасту. Перераховані властивості дозволяють зробити висновок, що використання знаків відгуку DoG-фільтра в якості ознак текстури райдужки є перспективним.

8. Усі розглянуті в цьому розділі фільтри і запропоновані методи досліджені експериментально.

Список використаних джерел у другому розділі

1. Daugman J and Downing C (2001), Epigenetic randomness, complexity, and singularity, Proceedings of the Royal Society, B, 268, pp 1737 - 1740.
2. Byung-Gyu Kim, Hong-Seup and Dong-Jo Park, Development of Iris Recognition System for Intelligent Security System, Dept. Electrical Engineering & BSRC, KAIST.
3. J. Asmuth, G. Green, S. Hsu, R. Kolczynski, J. Matey and S. McBride, A machine vision system for iris recognition, Machine Vision and Applications 9, 1-8, 1996.
4. Larry Bliss, User Identification and Verification Iris Recognition, DCS860B - Security, Prof. Bel Raggad, April 15, 2002.
5. ISO/IEC 19794-6:2011 Preview Information technology -- Biometric data interchange formats -- Part 6: Iris image data.
6. Daniel Sieberg, "Iris Recognition at Airports Uses Eye-Catching Technology, July 24, 2000
7. Katie Collins, Iris Identification, October 16, 2000,35 <http://www.nei.nih.gov/>
8. Michael Geruso, Virginia Tech, An Analysis of the Use of Iris Recognition Systems in U.S. Travel Document Applications, July 29, 2002
9. John Daugman, The importance of being random: statistical principles of iris recognition. The Computer Laboratory, University of Cambridge, Cambridge CB3 0FD, UK, 21 December 2001.
10. J. Asmuth, G. Green, S. Hsu, R. Kolczynski, J. Matey and S. McBride, A system for automated iris recognition, Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 121-128, 1994.
11. Bryan K. Marcia, Phd., Constitutional Classification Via the Eye, March 1
12. Helen Pearson, Iris patterns prove their unique credentials. 8 August 2001, <http://www.nature.com/news/2001/010808/full/news010809-8.html>
13. <https://purehealth.com/i4book>
14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с.
15. www.iridiantech.com

16. John Daugman, Neural Image processing strategies applied in real-time pattern recognition, the computer laboratory, university of Cambridge, Cambridge CB2 3QG, UK, 1997
17. John Daugman, Biometric Decision Landscapes, University of Cambridge, The Computer Laboratory
18. Денисов ДА. Компьютерные методы анализа видеоинформации: Монография. Изд-во Краснояр. ун-та, 1993. - 192 с.
19. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1988
20. Марр Д. Зрение: информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов.-М.: Радио и связь, 1987
21. Садыков С.С., Кан В.Н., Самандаров И.Р. Методы выделения структурных признаков изображений, - Ташкент: Фан, 1990. - 104с.
22. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов/ Пер. с англ.; Под. ред. Ю.И. Журавлева. -М.: Мир, 1980
23. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. Т. 1, 2. – 791 с
24. Марр Д. Зрение: информационный подход к изучению представления и i обработки зрительных образов.-М.: Радио и связь, 1987
25. Грузман И.С, Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. - 168.
26. Витгих В.А., Сергеев В.В., Сойфер В.А. Обработка изображений в системах научных исследований. - М,: Наука, 1982. - 212 с.
27. Бутаков Е.А. и др. Обработка изображений на ЭВМ/ Е. А. Бутаков, В. И. Островский, И. Л. Фадеев. - М.: Радио и связь, 1987. - 240 с.
28. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов, - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1989. - 232 с
29. Tai Sing Lee, Image representation using 2D Gabor wavelets, IEEE Transactions of pattern analysis and machine intelligence. Vol., No. 10 October 1996.

30. Thomas P, William E, Dennis F_ Dunnyy, Gabor filter design for multiple texture segmentation. Department of Electrical' Engineering, University of North III Carolina, October 1996, SPIE.
31. Vincent Levesque, Texture Segmentation Using Gabor Filters, Center For Intelligent Machines, McGill University, December 6, 2000
32. Jain A.K. Fundamentals of digital image processing. - Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1989. - 569 p.
33. Jensen B. The science and practice of iridology. - 21st Printing, 1995. - 372 p.
34. Karunakar Y. Prodigious Utilization of Genetic Algorithm in Tuning Gabor lter parameters in the Application of Iris Recognition // Int. J. Information and Electronics Engineering. 2011. V.1. N.1. P.5258.
35. Kashima H., Hongo H., Kato K., Yamamoto K. Robust Iris Detection Method of Facial and Eye Movement // Vision Interface Annual Conference, Ottawa, Canada, 2001.
36. Klette R., Rosenfeld A. Digital geometry: Geometric methods for digital picture analysis. - Elseview, 2004. - 656 p.
37. Lee Y., Micheals R.J., Filliben J.J., Phillips P.J. VASIR: An Open-Source Research Platform for Advanced Iris Recognition Technologies // Journal of Research. 2013. - 118.011.
38. Mehrabian H., Hashemi-Tari P. Pupil Boundary Detection for Iris Recognition Using Graph Cuts // Proc. Image and Vision Computing New Zealand. 2007.P.77-82.
39. Daugman J. How iris recognition works // Proc. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol. 2004. V.14. N.1. P.21-30.

РОЗДІЛ 3

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ ПО ЗОБРАЖЕННЮ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

3.1 Основні критерії для систем ідентифікації та аутентифікації по райдужній оболонці ока.

Захист будь-якого об'єкта включає кілька рубежів, число яких залежить від рівня режимності об'єкта. При цьому у всіх випадках важливою складовою буде система управління контролю доступом (СКУД) на об'єкті[1].

При реалізації конкретних СКУД використовують різні способи і реалізують їх за допомогою різних пристроїв для ідентифікації і аутентифікації особистості. Будь-яка СКУД призначена для того, щоб автоматично пропускати тих, кому цей вхід дозволений, і не пропускати тих, кому вхід заборонений. Всі її інші функції (збереження матеріальних цінностей, контроль і облік робочого часу і ін.) є результатом основного призначення.

У загальному випадку під СКУД зазвичай розуміють сукупність програмно-технічних і організаційно-методичних засобів, за допомогою яких вирішується завдання контролю і управління приміщенням підприємства і окремими приміщеннями, а також оперативний контроль за пересуванням персоналу і часу його перебування на території підприємства.

Інтерес до систем контролю і управління доступом зростає ще й тому, що наявність такої системи важлива для ефективної роботи підприємства. Контроль не тільки істотно підвищує рівень безпеки, але і дозволяє оперативно реагувати на поведінку персоналу і відвідувачів. Також важливим завданням для багатьох підприємств є необхідність контролювати графік і вести облік робочого часу. Особлива увага приділяється системам, що дозволяє вибудовувати необхідні конфігурації, враховуючи всі особливості підприємства.

Системи контролю і управління доступом являють собою системи, які призначені для автоматизації контрольно-пропускнуго режиму на об'єкті.

Контроль і управління доступом це основна функція системи. За допомогою даної функції проводиться поділ прав доступу співробітників в певні приміщення

Роботу системи контролю та управління доступом можна в спрощеному вигляді описати наступним чином. Кожен співробітник або постійний відвідувач (пасажир в аеропорту) організації отримує ідентифікатор. Ідентифікатор присвоюється в результаті реєстрації осіб за допомогою засобів системи. Паспортні дані, фото (відеозображення) та інші відомості про власника заносяться в персональну електронну картку. Персональна електронна картка власника і код його електронного ключа зв'язуються один з одним і заносяться в спеціально організовані комп'ютерні бази даних.

Біля входу в будівлю або в зоні, що підлягає контролю, встановлюються зчитувачі, які зчитують ідентифікатор їх код і передають цю інформацію в контролер системи.

У системі кожному коду поставлена у відповідність інформація про права власника. На основі зіставлення цієї інформації, система приймає рішення: відкриває або блокує двері (замки, турнікети), переводить рубіж в режим охорони, включає сигнал тривоги і т. д. Всі факти пред'явлення ідентифікатора і пов'язані з ними дії (проходи, тривоги і т. д.) фіксуються і зберігаються в комп'ютері. Інформація про події, викликаних пред'явленням карток, може бути використана далі для отримання звітів по обліку робочого часу, порушень трудової дисципліни та ін.

СКУД, на сьогоднішній день – невід'ємна частина повсякденного життя практично кожної людини. Це простий і дієвий механізм забезпечення безпеки офісів, банків, навчальних закладів, громадських місць (стадіони, метрополітен і т.д.).

Інформаційні системи (ІС) удосконалюються по-особливому, так як підрозділяється на програмну частину платформу і інформаційні бази (ІБ). Платформа забезпечується типовий інтерфейс, стандартні методи взаємодії з зовнішніми технічними пристроями, прийоми формування, систематизації даних, відповідні загальним сформованим призначенням для користувача традицій в

предметній області. Стандартизація (в тому числі і по впровадженню) результатом конкуренції між виробниками. Внаслідок конкуренції розробники періодично вбудовують нові методи обробки даних в загальноприйнятому стилі створюють нові версії- «релізи» (доповнюючи раніше створені розробки). В ІС обліку і управління прийнято виділяти інтегральні (загальні) підсистеми відповідно до вузької спеціалізації, багато в чому визначають умови компонування конфігурації ІБ і, відповідно, її подальшої експлуатації наступні загальні підсистеми.

Існує велика кількість зарекомендованих позитивно на ринку розробником ІС обліку і управління. Всі існуючі на ринку ІС влаштовані в певному сенсі приблизно однаково. Програмна частина платформа конкретно взятої ІС забезпечує на різних підприємствах стандартними інформаційними методами експлуатацію різних ІБ і оновлюється рідко. У той же час, що відображають специфіку типових обліково-аналітичних, управлінських завдань конфігурації ІБ, взаємодія користувача з якими забезпечує платформа, оновлюються часто.

До недавніх пір основними споживачами біометричних методів ідентифікації були всілякі правоохоронні структури і спецслужби. Однак в останні півтора десятка років власники різних ІС активніше стали цікавитися біометричними методами ідентифікації. Міжнародна Біометрична Група (International Biometric Group, IBG) відзначає значне збільшення доходів в індустрії біометрії[2].

Власне біометрична ідентифікація особи виглядає приблизно так як показано на рис. 2.1.

Основною проблемою біометрії є питання її надійності. Оскільки умови сканування кожен раз дещо відрізняються, можна говорити про неточний збіг вимірювання з шаблоном (як це відбувається, наприклад, при порівнянні з еталоном, що вводиться в комп'ютер пароля), а лише про величину ймовірнісної міри правильного ототожнення.

Тому всі біометричні пристрої характеризуються параметрами: FRR «ймовірність невизнання свого» (тобто вірогідність не ідентифікувати

zareєстрованого користувача системи) і FAR «вірогідність визнання своїм чужого» (тобто ймовірність невірної ототожнення стороннього з кимось із легальних). Описані параметри використовуються як показники ефективності біометричних систем, але це не всі параметри біометричних систем також є декілька коефіцієнтів рівня помилок (коефіцієнт EER) або коефіцієнт перехідних помилок (CER) - це коефіцієнти, при яких обидві помилки (помилка прийому і помилка відхилення) еквівалентні. Значення EER може бути з легкістю отримано з кривою ROC, зазначимо, що графік ROC - це візуалізація компромісу між характеристиками FAR і FRR. У загальному випадку алгоритм що порівнює приймає рішення на підставі порога, який визначає, наскільки близько повинен бути вхідний зразок до шаблону, щоб вважати це збігом. EER - це швидкий спосіб порівняти точність приладів з різними кривими ROC. Здебільшого, пристрої з низьким EER найбільш точні. Чим менше EER, тим точнішою буде система.

В основу роботи біометричних систем покладена математична статистика (а саме, перевірка гіпотез), алгоритми якої інтенсивно використовуються в ряді сучасних технічних систем (зв'язок, радіолокація і т.д.)

Для пояснення вводяться ймовірнісні характеристики біометричних систем, по аналогії з радіолокацією, розглянемо дві щільності ймовірності, які характеризують шаблон користувача і шаблон порушника. Припустимо, що ці шаблони можуть бути задані у вигляді нормальних розподілів. Тоді введемо і третю величину P , яка може визначати рішення, що приймаються. В результаті аналізу отриманих біометричних характеристик і шаблонів, що зберігаються в базі системи, приймається рішення про допуск поточного користувача: віднести його до користувачів системи або користувачів порушників, які не допущені до ресурсів системи. У найпростішому випадку рішення приймається при двох взаємно виключаючих умовах:

- G - біометричні характеристики належать користувачу системи;
- B - біометричні характеристики не належать користувачу системи.

При автоматичному прийнятті рішення в системі ці умови невідомі. У процесі аналізу біометричних характеристик поточного користувача і шаблону кожному умові можуть відповідати два види рішень:

- Перше \hat{G} біометрична характеристики відповідає шаблону, який зберігається в базі системи;
- Друге \hat{B} біометрична характеристики не відповідає шаблону, який зберігається в базі системи.

При цьому можливі чотири ситуації суміщення випадкових подій :

- $\hat{G}G$ - правильний допуск користувача до ресурсів системи;
- $\hat{B}G$ - заборона на допуск користувачеві (користувач сприйнятий системою як порушник, помилка 1-го роду (помилковий відмова, False Rejection Rate, FRR);
- $\hat{G}B$ - допуск до ресурсів системи користувача порушника, помилка 2-го роду (помилкове розпізнавання, False Acceptance Rate, FAR);
- $\hat{B}B$ - заборона доступу до ресурсів користувачеві порушнику.

Зазначеним ситуаціям відповідають чотири ймовірності суміщення подій, сума яких дорівнює одиниці.

Як правило, кожному помилковому рішенню ставлять у відповідність деяку плату - вартість помилки. Для безпомилкових рішень цю вартість можна вважати рівною нулю, тобто $\hat{G}G = \hat{B}B = 0$. Тоді систему допуску можна характеризувати середньою вартістю (математичним очікуванням вартості) помилкових рішень.

Кращою з порівнюваних систем допуску слід вважати ту систему, яка задовольняє мінімуму вартості втрат.

У зв'язку з тим, що, як правило, відсутня інформація про апріорні ймовірності $P(G), P(B)$, складний і розрахунок ймовірностей суміщення. Тому

переходять до умовних ймовірностей, що дозволяє отримати якісні показники досліджуваних систем.

Якісними показниками в умовах аутентифікації користувача системою є умовні ймовірності: правильного допуску до ресурсів $Q = P(\hat{G} / G)$, і помилкової відмови $\hat{Q} = P(\hat{B} / G)$.

Тобто для однієї умови G є два взаємовиключаючі рішення \hat{G}, \hat{B} сума умовних ймовірностей яких буде дорівнювати одиниці.

Рівність $P(G) = P(B)$ свідчить про те, що апріорні ймовірності появи користувача і порушника на вході біометричної системи однакові і рівні 0,5. В дійсності $P(G) \gg P(B)$. Більш того, не рівні і вартості помилкових рішень. Природно припустити, що вартість помилкового недопуску зареєстрованому користувачу значно менше вартості, яка характеризує умовну ймовірність помилкового розпізнавання (допуск порушника на об'єкт КІ). Зауважимо, що помилки 1-го роду (помилковий відмова, False Rejection Rate, FRR) мають менш важкі наслідки (вимагають повторної реєстрації користувача), на відміну від помилок 2-го роду (помилкове розпізнавання, False Acceptance Rate, FAR), які призводять до допуску порушника до ресурсів і послуг, наприклад, об'єкта КІ.

Вчені які займаються розв'язанням задачі прийняття рішень в СКУД по РОО розглядають різні способи їх порівняння між собою.

В якості міри схожості бінарних кодів можливо використовувати відстань Левенштейна – міра різниці двох рядків символів, визначається як мінімальна кількість операцій вставка, видалення, заміна символу необхідним для перетворення одного рядка в інший. Недоліком данної міри схожості буде довгий час визначення відстані, залежить від розміру порівнюваних кодів.

Також можливою мірою схожості може бути схожість Джаро-Вінклера – міра схожості двох рядків для вимірювання відстані між двома послідовностями символів. Це мінімальне кількість одно символних перетворень, які необхідні для того, щоб змінити один рядок в інший. Недоліком даної міри схожості також буде довгий час визначення відстані.

В якості міри подібності двох райдужок зручніше всього використовувати нормовану відстань Хеммінга між N-розрядними бінарними кодами ідентифікованої (I) райдужки і зареєстрованими (R) значеннями кодів.

Код райдужки формується після нормалізації зображення РОО, а саме роль модуля нормалізації полягає в перетворенні локалізованої області райдужки особи до прямокутного об'єкту[3]. Процес, часто називають розгортанням райдужки і має такі переваги:

- пояснює варіації розміру зіниці в зв'язку зі зміною зовнішнього освітлення які можуть вплинути на розмір діафрагми;
- гарантує, що райдужки різних індивідів відображаються на однаково, незважаючи на варіації розміру зіниці;
- дозволяє при реєстрації нівелювати повороти голови.

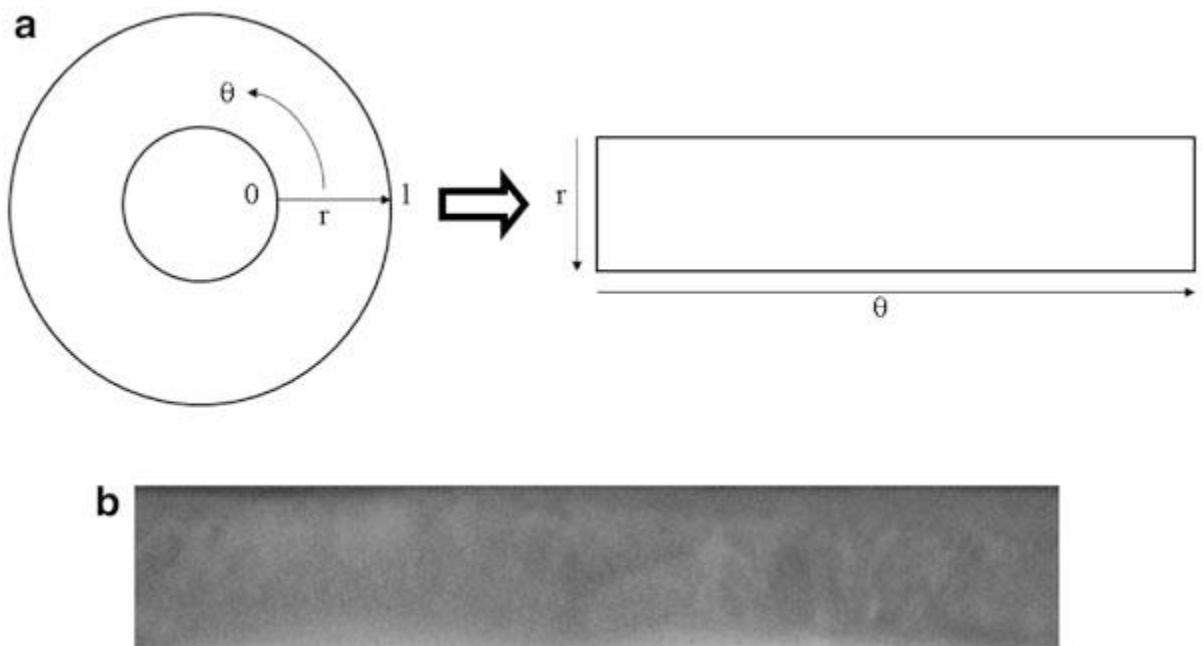


Рис. 3.1 Нормалізація зображення. (а) Процедура нормалізації перетворює координати пікселів з кільцевої області між межами РОО до псевдо-полярних координат. (б) Приклад нормалізованих райдужної оболонки.

Модуль нормалізації, позначимо через $I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \longrightarrow I(r, \theta)$, задається наступне перетворення:

$$x(r, \theta) = (1 - r)x_p(\theta) + rx_l(\theta) \quad 3.1$$

$$y(r, \theta) = (1 - r)y_p(\theta) + ry_l(\theta),$$

де (x_p, y_p) і (x_l, y_l) відповідають декартовим координатам внутрішньої і зовнішньої межі, відповідно. Рисунок 3.1 визначає процес нормалізації.

Сучасні комерційні системи використовують алгоритми Даугмана, який продемонстрував високу точність на великих наборах даних.

3.2 Методи отримання коду райдужної оболонки ока

Якщо кодувати РОО по послідовності рядків, то в результаті інструментальних помилок визначення центра зіниці $x_0 \pm \Delta_1; y_0 \pm \Delta_2$, радіус сегмента РОО $r \pm \Delta_3$, код Iris однієї і тієїж РОО може мати різне значення, що приведе до того, що ймовірність збігу КР одного і тогож зображення буде достатньо низькою для цього пропонується для отримання КР використовувати блоковий підхід до отримання КР[5]. Гістограма розподілу нормованої відстанні Хеммінга при використанні цих двох підходів приведена на рис.3.1.

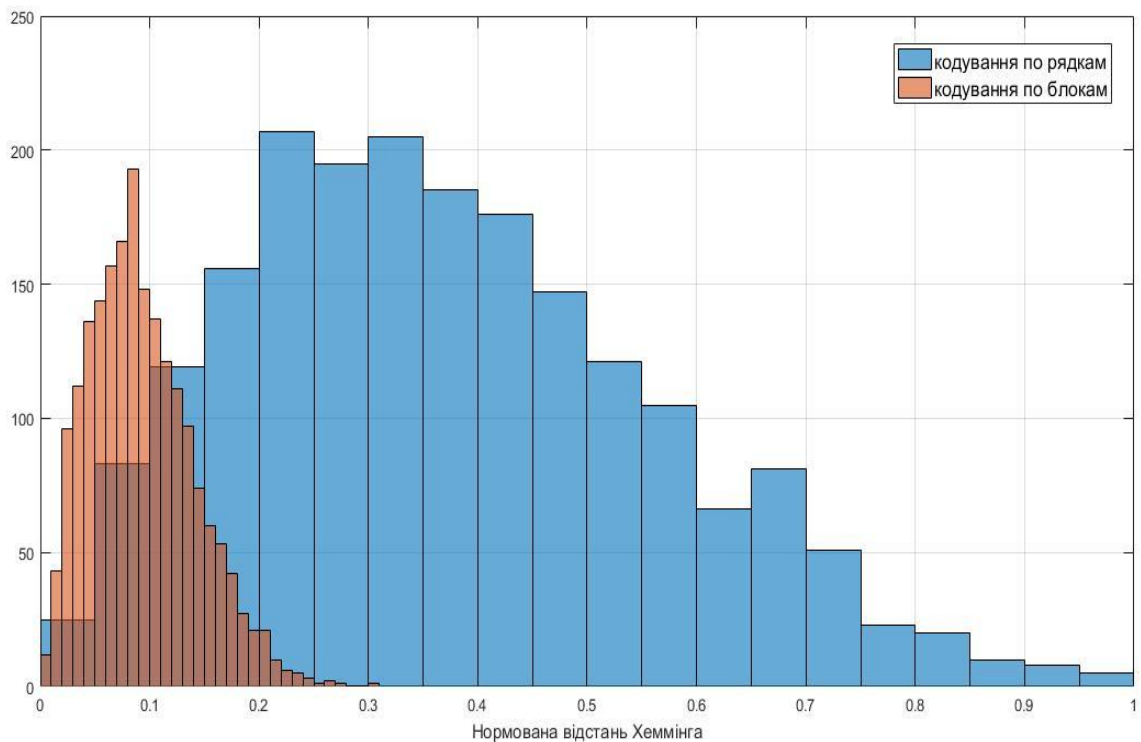


Рис. 3.2 Гістограма розподілу нормованої відстанні Хеммінга

Даугман в своїй роботі довів, що нормована відстань Хемінга при достатньо невеликій кількості випробувань має біноміальну щільність розподілу, яка описується наступним виразом[3]:

$$f(x) = \frac{N!}{m!(N-m)!} p^m q^{(N-m)} \quad 3.2$$

де біноміальний розподіл для N випробувань Бернуллі з вірогідністю результатів p і q (ймовірність 0 і 1 в КР) пророкує, що ймовірність спостереження з частки $x = m / N$ подій серед N випробувань. Ймовірність розподілу є суцільна крива зображена на рис 3.3.

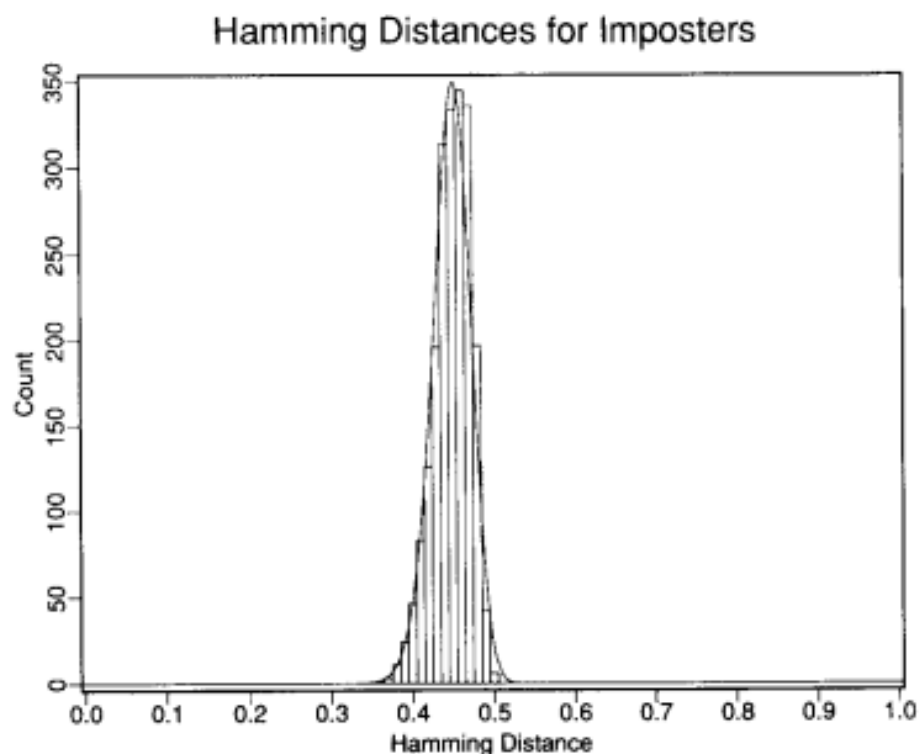


Рис. 3.3 Розподіл відстаней Хеммінга між непов'язаними кодами райдужної оболонки.

3.3 Коди райдужок і їх порівняння

Для прийняття рішень в усіх СКУД повинен бути розроблений чіткий алгоритм дій, а також всі індивідуальні індифікатори повинні мати свої права. В данній роботі як критерій міри схожості двох бінарних кодів райдужок пропонується нормована відстань Хеммінга.

Код райдужки складається з значень текстурних ознак у вузлах ортогональної сітки. Якщо використовуються фази відгуку вейвлета Габора, то на кожен вузол доводиться два біти інформації. Для ознак на основі відгуку DoG-фільтра на один вузол доводиться один біт. В системі ідентифікації КР обробляється наступним чином:

- У процесі реєстрації код райдужки зберігається в базі даних для подальшого порівняння.
- При спробі розпізнавання, коли в систему надходить зображення райдужної оболонки, для неї обчислюється код райдужки, який порівнюється з кожним кодом в базі даних.

Як вже зазначалось вище в якості міри подібності двох райдужок зручніше встало використовувати нормовану відстань Хеммінга між N-розрядними бінарними кодами ідентифікованої (I) райдужки і зареєстрованими (R) значеннями кодів, що зберігаються в базі даних [3, 29]:

$$HD (IC_I, IC_R) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N IC_{Ii} \oplus IC_{Ri}, \quad (3.1)$$

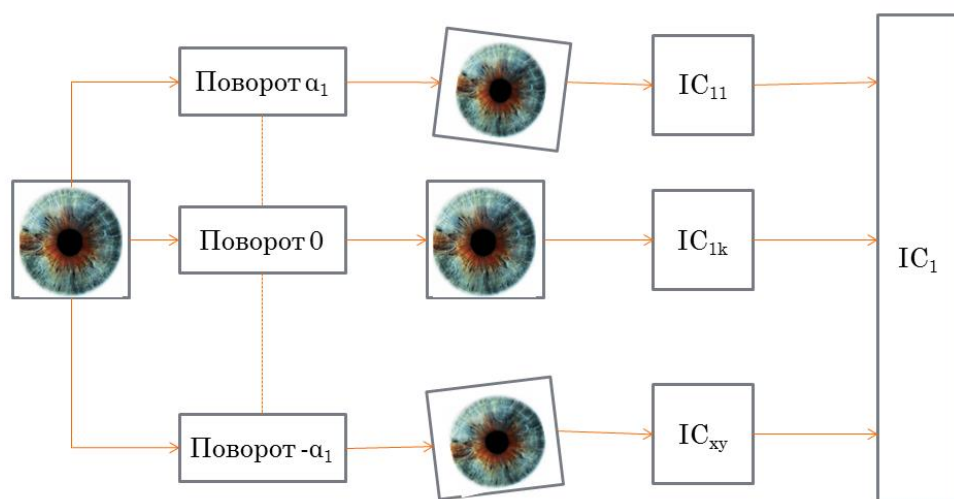
де IC_I, IC_R – коди райдужок, IC_{Ii}, IC_{Ri} – i-ий біт кода IC_A .

Для повністю співпадаючих КР відстань Хеммінга дорівнюватиме 0. Максимальне значення HD – 1.

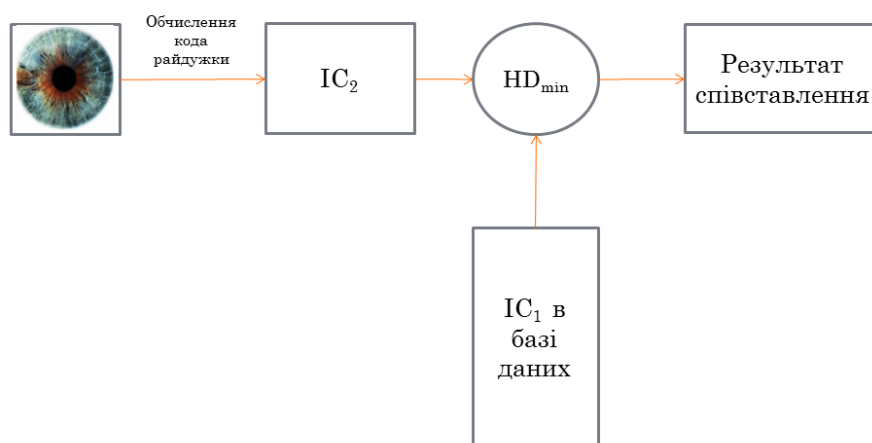
При введенні ідентифікуємого зображення райдужної оболонки неминуче виникають спотворення, викликані зміною умов освітлення (зміни яскравості і контрасту), поворотом голови, що супроводжується поворотом отриманого зображення і його деформацією уздовж осей координат, зміною відстані до камери. Алгоритми прийняття рішень повинні бути стійкими до цих спотворень, зрозуміло, в певних межах. Вибором системи ознак і нормалізацією зображення райдужної оболонки вдалося компенсувати можливі спотворення, крім спотворень повороту. Існуючі алгоритми зіставлення інформації про структуру райдужної оболонки з еталоном чутливі до бічного нахилу голови в процесі зйомки.

Пропонується методика, що дозволяє домогтися стійкості до повороту вхідного зображення. Вона передбачає зміну процедури реєстрації та новий алгоритм ідентифікації.

При реєстрації нового користувача методика передбачає створення з отриманого вхідного зображення декількох копій, повернутих в обидві сторони на різні фіксовані кути. Для кожного такого зображення обчислюється код, і всі вони містяться в базу даних. При ідентифікації код вхідного зображення буде порівнюватися з кодами всіх копій еталонів, а рішення про збіг двох райдужок приймається по мінімальному відстані між ними (рис. 3.4).



а)



б)

Рис. 3.4. Зіставлення кодів райдужок: створення ідентифікаційної записи (а), зіставлення з еталоном (б)

В якості запобіжного схожості двох райдужок пропонується наступна величина:

$$HD_{\min}(IC_1, IC_2) = \min_i HD_i(IC_1, IC_2) \quad (3.2)$$

де IC_1 – багатосекційний код в базі даних, i – номер секції, IC_2 – код розпізнаваної райдужки, HD_i – відстань Хеммінга між IC_2 і i -ою секцією IC_1 .

Важливим параметром запропонованого алгоритму є кут, на який послідовно повертається зображення райдужної оболонки. Визначення цього кута може бути виконано на основі статистичного аналізу чутливості відстані Хеммінга до повороту.

На рис. 3.5 представлена залежність відстані Хеммінга для КР від кута нахилу голови, отримана за допомогою розробленої системи підтримки експериментальних досліджень.

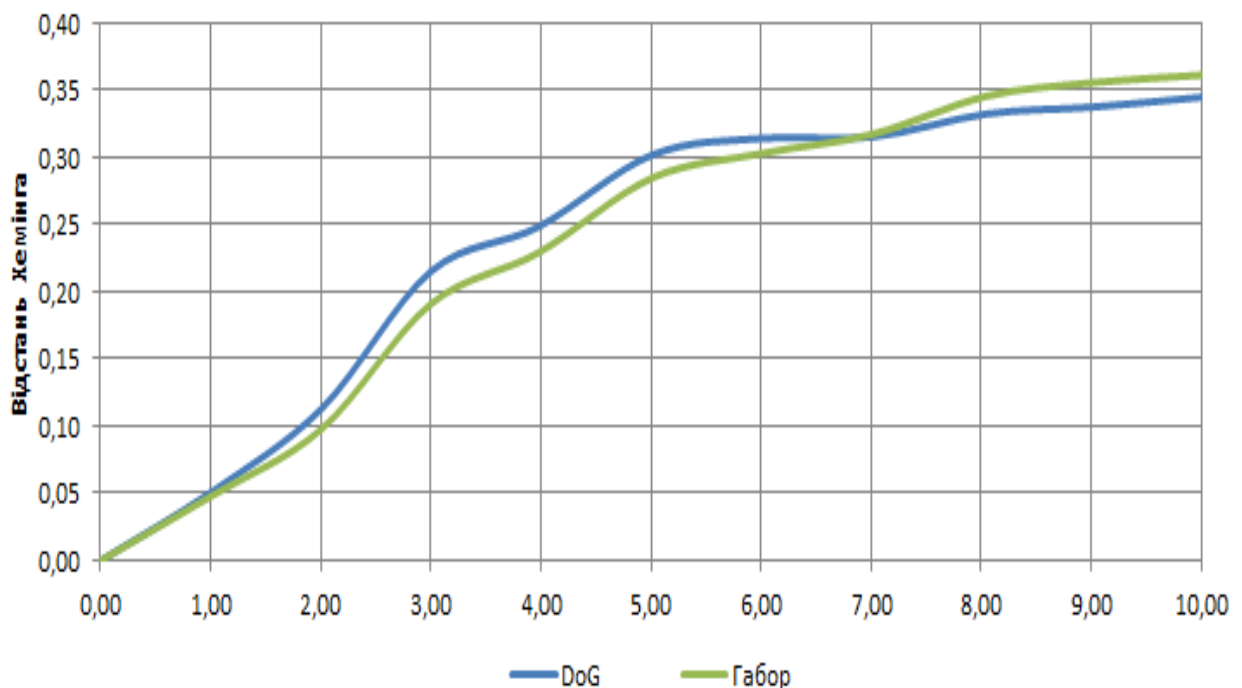


Рис. 3.5 Чутливість відстані Хеммінга до нахилу голови для фільтрів Габора ($\omega_0 = \pi/8, \theta = 0$), і DoG-фільтра ($\sigma = 0,1$). Кут (Angle) показаний в градусах

Якщо припустити, що біти ознак статистично незалежні, то математичне очікування відстані Хеммінга для різних райджок має бути рівним 0,5. Для однакових райджок за відсутності перешкод математичне очікування відстані Хеммінга рівні 0. Під впливом перешкод математичне очікування відстані Хеммінга для однакових райджок збільшується до межі і досягає 0,5.

Вибір кутового кроку при формуванні шаблону райджки є компромісом. З одного боку, за рахунок зниження впливу повороту зображення при зменшенні кутового кроку зменшується ймовірність прийняття хибного рішення, оскільки збільшується різниця математичних очікувань відстаней Хеммінга для однакових і різних райджок. З іншого боку, це веде до збільшення розміру коду райджки, і, як наслідок, до збільшення часу ідентифікації.

Пропонується наступна методика вибору кутового кроку. Вибір кутового кроку $\Delta\alpha$ розглядатимемо як оптимізаційних задач, що має на меті мінімізацію наступної функції:

$$G(\Delta\alpha) = c_{AR} P_{AR}(\Delta\alpha) + c_{IA} P_{IA}(\Delta\alpha) + c_{ICC} V_{DB} \frac{2\alpha_{\max}}{\Delta\alpha}, \quad (3.3)$$

де $P_{AR}(\Delta\alpha)$ – ймовірність заборони доступу зареєстрованому користувачу, $P_{IA}(\Delta\alpha)$ – ймовірність дозволу доступу незареєстрованому користувачеві, c_{AR} – вартість втрат при заборону доступу зареєстрованому користувачу, c_{IA} – вартість втрат при доступі незареєстрованого користувача, c_{ICC} – вартість одноразового обчислення відстані Хеммінга, V_{DB} – кількість користувачів, зареєстрованих в БД.

Залежності $P_{AR}(\Delta\alpha)$ і $P_{IA}(\Delta\alpha)$ можуть бути визначені наступним чином. Щільність ймовірностей відстані Хеммінга для КР незареєстрованих осіб залишається незмінною, що впливає з припущення про статистичну незалежності бітів КР. Щільність ймовірностей для відстані Хеммінга залежить від $\Delta\alpha$. При цьому до випадкової величини HD – відстані Хеммінга, для зареєстрованих райджок, додається величина $\Delta HD(\Delta\alpha)$, розподіл якої визначається наведеними вище графіком чутливості. Закон розподілу

результуючої випадкової величини $HD + \Delta HD (\Delta \alpha)$ виходить зсувом початкового закону на величину $\Delta HD (\Delta \alpha)$.

Знаючи закони розподілу ймовірностей відстані Хеммінга для зареєстрованих і незареєстрованих користувачів, можна визначити $P_{AR} (\Delta \alpha)$ і $P_{IA} (\Delta \alpha)$

3.4 Прийняття рішень в системі

Прийняття рішення засноване на статистичній теорії, ілюстрація якої рис. 3.6, де ліва крива відповідає зареєстрованим райдужкам, права - порушникам. Кожна з них відображає дані, усереднені по всіх експериментах. В існуючих системах поріг C вибирається однаковим для всіх райдужок. Якщо $HD < C$, фіксується збіг, інакше - неспівпадання. Ймовірність прийняття помилкового рішення складається з двох ймовірностей:

$$P_{Error} = P_{AR} + P_{IA}, \quad (3.4)$$

де $P_{AR} = \int_C^1 P_{Au} (HD_{min}) dHD_{min}$ - ймовірність заборони доступу зареєстрованому користувачу, $P_{IA} = \int_0^C P_{Im} (HD_{min}) dHD_{min}$ - ймовірність дозволу доступу незареєстрованому користувачеві, C - значення порога, P_{Au} - ймовірність поява на вході системи автентичної райдужки, P_{Im} - ймовірність появи на вході системи неавтентичної райдужки, $P_{Au} (HD)$ - умовна щільність розподілу відстані Хеммінга для автентичних райдужок, $P_{Im} (HD)$ - умовна щільність розподілу відстані Хеммінга для неавтентичних райдужок.

3.4.1 Прийняття рішень при ідентифікації легітимних користувачів

При прийнятті рішення про збіг двох кодів можливі чотири результату. У двох випадках відповідь вірна, в двох - ні. Два правильних рішення - це дозвіл доступу авторизованій людині і відмова в доступі неавторизованій. Неправильні рішення - це дозвіл доступу неавторизованій людині і відмова авторизованій. Рис. 3.6 є ілюстрацією того, як різні рішення пов'язані між собою. Існують

області, в яких розподілу ймовірностей VX для співпадаючих та неспівпадаючих КР перекриваються. У цій області при розпізнаванні можуть відбуватися помилки [8,9].

З рисунка видно, що якість прийняття рішення визначається величиною перекриття розподілів ймовірностей. Якість розпізнавання збільшується, якщо відстань між середніми значеннями VX збільшується, або дисперсії VX зменшуються.

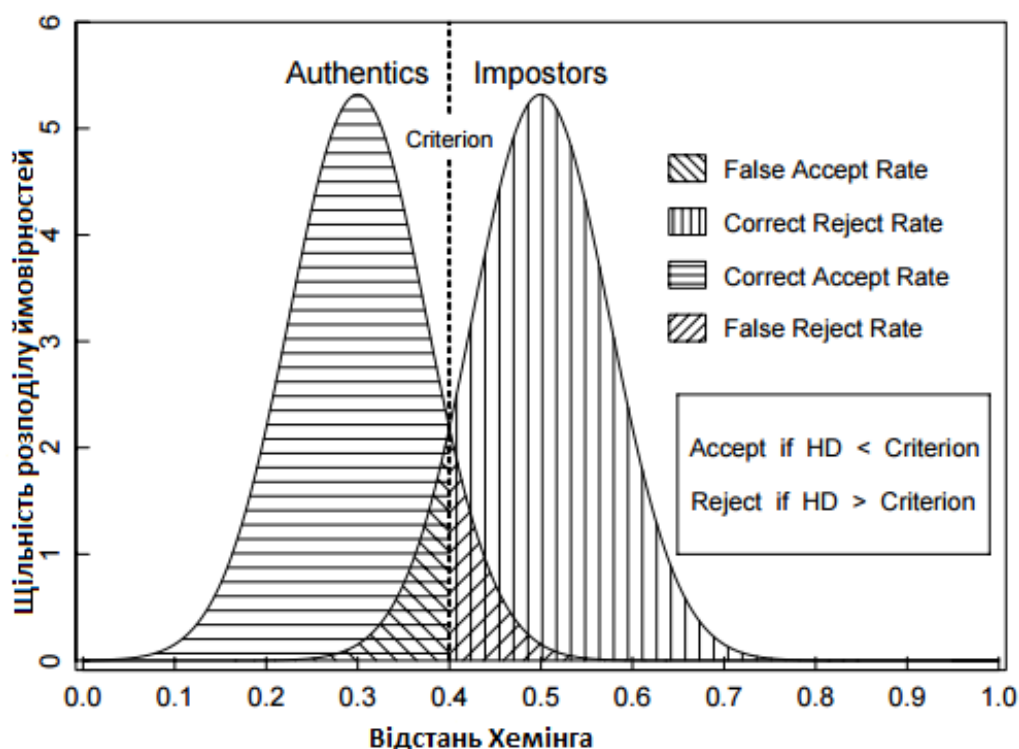


Рис. 3.6. Умовні щільності розподілу ймовірностей значень VX

Для того щоб кількісно охарактеризувати роздільність двох класів може бути використаний Критерій розделимости d . Якщо μ_1 і μ_2 – математичні очікування, а ξ_1 і ξ_2 середньоквадратичні відхилення, то:

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{(\xi_1^2 + \xi_2^2) / 2}}. \quad (3.5)$$

Критерій d може використовуватися для оцінки якості ознак. Чим краще розділяюча здатність ознаки, тим більше значення приймає d .

Методика вибору порогу детально розроблена в статистичній теорії прийняття рішень. В [3,7-12] описані три критерії вибору порога:

- критерій Байеса;
- мінімаксний;
- критерій Неймана-Пірсона.

Критерій Байеса забезпечує мінімум середнього ризику при прийнятті рішення. Застосування критерія Байеса доцільно, коли система розпізнавання багаторазово здійснює розпізнавання в умовах незмінного простору ознак, при стабільному описі класів і незмінній платіжній матриці. Рішення про ідентичність райдужок при використанні байесівської стратегії приймається, якщо

$$c_{IA} P_{lm} P_{lm} [HD_{\min}(IC_1, IC_2)] > c_{AR} P_{Au} P_{Au} [HD_{\min}(IC_1, IC_2)], \quad (3.6)$$

де $P_{lm} [HD_{\min}(IC_1, IC_2)]$ – умовна щільність ймовірностей відстані Хеммінга для різних райдужок, $P_{Au} [HD_{\min}(IC_1, IC_2)]$ – умовна щільність ймовірностей відстані Хеммінга для однакових райдужок, c_{AR} – вартість втрат при заборону доступу зареєстрованому користувачу, c_{IA} – вартість втрат при доступі незареєстрованого користувача, P_{Au} – ймовірність того, що райдужки ідентичні, P_{lm} – ймовірність того, що райдужки різні.

Для застосування критерія Неймана-Пірсона потрібно тільки визначення максимальної ймовірності дозволу системою доступу для незареєстрованого особи – $P_{IA \max}$. Застосовуючи критерій Неймана-Пірсона, значення порогу C може бути визначено з рівняння:

$$\int_0^d P_{lm}(HD_{\min}) dHD_{\min} = P_{IA \max} \quad (3.7)$$

Якщо апіорні ймовірності подій, які полягають в зіставленні ідентичних і різних райдужок оцінити неможливо, то може бути застосований мінімаксний критерій. Мінімаксний критерій забезпечує мінімум максимальних втрат. Порогове значення відстані Хеммінга при використанні мінімаксного критерій знаходиться з рівняння

$$c_{AR} \int_c^1 p_{Au} (HD_{\min}) dHD_{\min} = c_{IA} \int_0^c p_{Im} (HD_{\min}) dHD_{\min}. \quad (3.8)$$

Всі три критерії в залежності від ситуації можуть бути використані в системі ідентифікації особистості. Дослідження законів розподілу відстаней Хеммінга в присутності випадкових спотворень показали, що для різних райдужок закони розподілу можуть відрізнятися. На рис. 3.5 наведені полігони частот для різних райдужок. Полігони побудовані наступним чином. З вихідного зображення за допомогою моделі випадкових спотворень формувалося безліч спотворених зображень. Визначення відстаней Хеммінга для кожної пари спотворених зображень однієї і тієї ж райдужки дає оцінку закону розподілу відстаней Хеммінга для райдужок однієї людини. Порівняння кожного з спотворених зображень з безліччю зображень інших райдужок дає оцінку закону розподілу відстаней для райдужок порушників.

При цьому використовувалася наступна модель спотворень рис. 3.4:

$$I(x, y) = C(S(R(I(x, y))) + N(x, y) \quad (3.9)$$

де S – перетворення масштабування, R – поворот, $I(x, y)$ – зображення, N – гаусів шум, C – перетворення яскравості і контрасту.

Параметри α, k_x, k_y , коефіцієнти контрастування, зміни яскравості визначаються псевдовипадковими величинами з нормальним законом розподілу. Як видно з рис. 3.6 розподілу ймовірностей для різних райдужок істотно відрізняються. Причина цього у властивостях структури зображення райдужної оболонки (наявність яскраво виражених особливостей, їх кількість і т.д.). Підвищення ефективності може бути досягнуто шляхом визначення індивідуального порогу для кожної райдужки з бази еталонів. Визначення індивідуального порогу відбувається в змінній процедурі реєстрації. Машинними методами моделюється введення великого числа змінених райдужок, а оброблені дані можуть бути представлені на графіку, аналогічному рис. 3.3, але обидві криві відповідають не всім, а єдиному класу. Отримане за

результатами моделювання значення порогу зберігається в базі даних разом з кодом і використовується в процедурі ідентифікації.

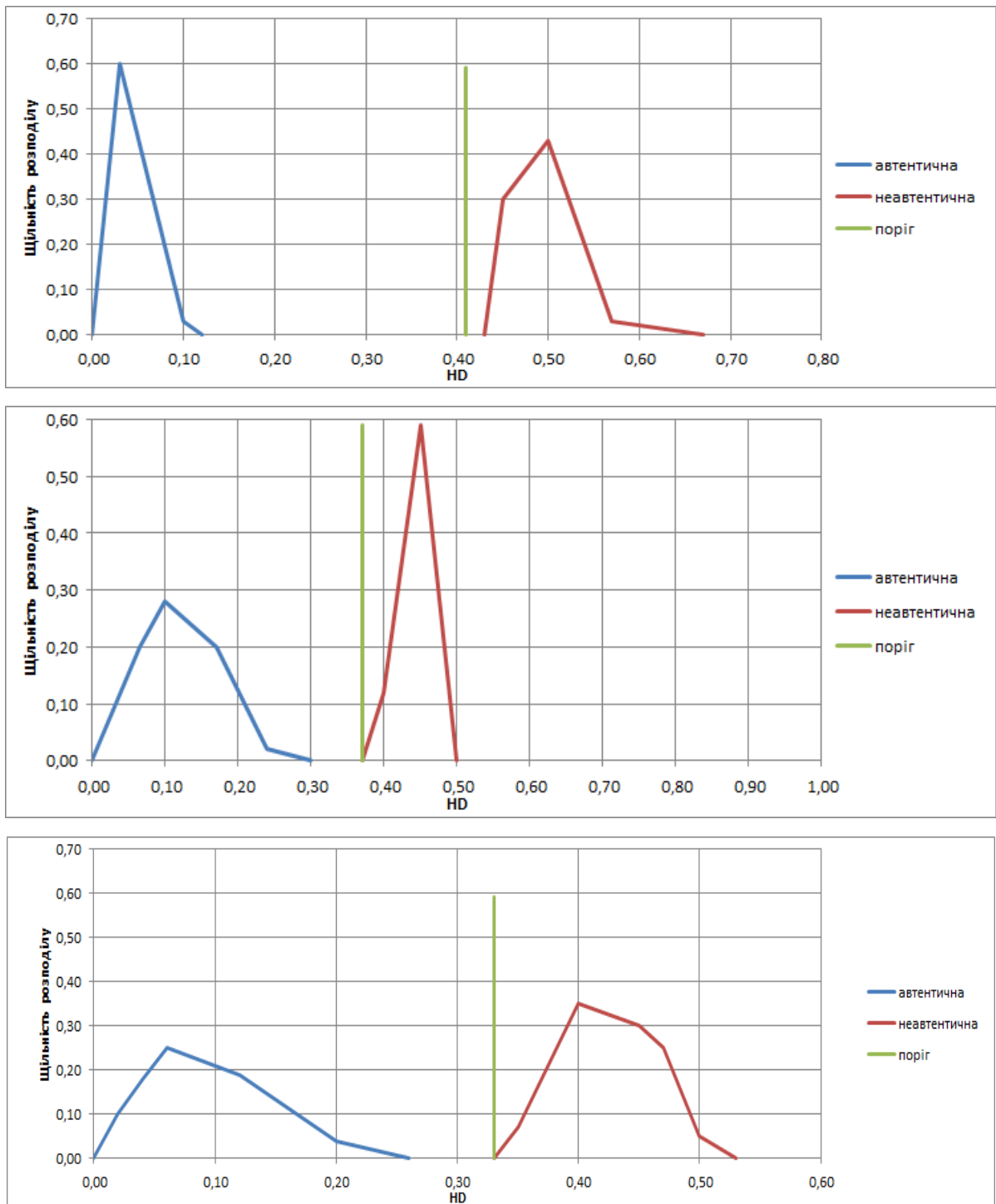


Рис. 3.7 Полігони частот для райдужок, що належать різним людям.
Значення порогів, визначені за критерієм Неймана-Пірсона показані чорної
суцільною лінією

Подальше зменшення ймовірності помилки досягається шляхом оптимізації параметрів фільтрів, використовуваних для отримання ознак райдужки. Оптимальні параметри фільтрів отримують, зберігають і використовують в процедурах реєстрації та ідентифікації аналогічно індивідуальним порогам.

3.4.2. Прийняття рішень при аутентифікації користувачів

Перевірка користувача є більш простим завданням. Для цього захоплюється зображення райдужної оболонки і обчислюється код. У базі даних знаходиться запис на перевіряється користувача і визначається відстань Хеммінга. Якщо відстань Хеммінга нижче порога, перевірка вважається пройденою. Перевірка ідентичності може розглядатися як більш обмежена завдання, ніж ідентифікація, оскільки необхідно порівняння тільки з ознаками для однієї особи.

При перевірці автентичності навіть при великому обсязі бази даних ймовірність P_{Au} повинна бути більше, або, принаймні, близькою до ймовірності P_{im} . У цьому випадку застосування критерія Байеса може виявитися кращим.

3.5. Висновки до третього розділу

1. У цій частині роботи розглянуто комплекс питань пов'язаних з прийняттям рішень при ідентифікації особистості по райдужці ока.

2. Експериментально встановлено чутливість результатів порівняння райдужних оболонок до повороту зображення (нахилу голови при зйомці). У роботі пропонується методика, яка б знизила таку залежність і зменшує, таким чином, вірогідність можливої помилки. У процедуру реєстрації додано моделювання повороту вхідного зображення на певні кути і обчисленні кодів для кожного з них зі збереженням результатів в базі даних. Значення кутів повороту можуть бути визначені на основі аналізу чутливості відстані Хеммінга до повороту зображення. У зміненій процедурі ідентифікації рішення приймається по найменшій відстані з однієї з копій еталона.

3. Розглянуто статистичні критерії вибору порога для прийняття рішення. Показано, що в задачі ідентифікації особистості можуть бути застосовані критерії

Байєса, мінімаксний і Неймана-Пірсона. Вибір критерія залежить від вимог, встановлених в конкретному випадку.

4. Отримані в статистичному експерименті дані можуть бути використані для вибору параметрів алгоритму виділення ознак і алгоритму ідентифікації з метою підвищення ефективності системи ідентифікації. Пропонуються методика вибору порогу для прийняття рішення при ідентифікації, яка базується на визначенні оптимального індивідуального порога для кожного суб'єкта з бази даних, і методика вибору оптимальних параметрів фільтрів, відповідних найкращими умовами розделимости.

Список використаних джерел в третьому розділі

1. Ворона В. А., Тихонов В. А. В83. Системы контроля и управления доступом. - М.: Горячая линия-. Телеком, 2010. - 272 е.: ил. ISBN 978-5-9912-0059-2.
2. [Электронный ресурс] [https://ru.scribd.com/doc/316791717/Special-Report-Biometrics-and-Border-Security\(13.10.2016\)](https://ru.scribd.com/doc/316791717/Special-Report-Biometrics-and-Border-Security(13.10.2016))
3. Daugman J. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence// IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Inteligence, 15(11);: 1148-1161 November, 1993.
4. Jacquin A. // Visual Comm. and Image Processing, vol. SPIE-1360, 1990.
5. Keissarian F.; Daem M.F. Block pattern coding of HVS-based on wavelets for image compression // SPEE volume 4472.
6. Методы и алгоритмы цифровой обработки изображений / С.С. Садыков, М.Н. Маликов и др.; Под ред. С.С. Садыкова. Ташкент: НПО "Кибернетика" АН Руз, 1992.-296 с.
7. Морозов А. М., Кононов И. В. Оптические приборы - М.: Высш. шк., 1987.- 111 с.
8. Тихонов В. И. Оптимальный приём сигналов. — М.: Радио и связь, 1983. — 320 с.
9. Радиолокационные системы [Электронный ресурс] : учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин (и др.); под общ. ред. В. П. Бердышева; разраб. : Центр обучающих систем ИнТК СФУ. — Красноярск : СФУ, 2012. — 402 с.(13.10.2016)
10. Лезин, Ю.С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов / Ю. С. Лезин. – М. : Сов. радио, 1969. – 448 с.
11. Денисов, В.П., Радиотехнические системы : учеб. пособие / В. П. денисов, Б. П. Дудко. – Томск : ТГУСУР, 2006. – 253 с.
12. Пространственно-временная обработка сигналов / И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В.М. Петров и др. ; под ред. И.Я Кремера. – М. : Радио и связь, 1984. – 224 с.

13. Flom L., Sar A. Iris recognition system // United States Patent 4641349. Filed February 20, 1985.
14. Фисенко В.Т. Компьютерная обработки и распознавание изображений: учеб. пособие. / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.– 192 с
15. Toth B., von Seelen U.C. Liveness Detection for Iris Recognition // Proc. NIST Workshop Biometrics and E-Authentication over Open Networks. 30-31 March 2005, Gaithersburg, MD, USA.
16. Pennebaker W.B., Mitchell J.L., Langdon G.G., Arps R.B., // IBM Journal of research and development, Vol.32, No.6, November 1988, pp. 771-726.
17. Prokhorov V.G. Using Kohonen maps to accelerate fractal image compression // Applied Software, № 2, 2009 — S. 7.
18. Shannon C.E. Prediction and entropy of printed English”. Bell System Technical Journal, 1951, pp.50-64
19. Smith B., Rowe L. // Computer Graphics and applications. September 1993.
20. Suzanne Bunton On-Line Stochastic Processes in Data Compression // University of Washington; 1996
21. Sven Ole Aase "Image subband coding artifacts:analysis and remedies"// The department of electrical and computer engineering of the norwegian institute of technology; March 1993
22. Terry A. Welch. A Technique for High-Performance Data Compression, Computer, 17, N° 6, 1984, pp. 8-19.
23. Trac Duy Tran "Linear phase perfect reconstruction filter banks: theory, structure, design, and application in image compression " // university of Wisconsin — madison 2009
24. Umnyashkin S. V. Mathematical methods and algorithms for digital image compression using orthogonal transformation, Abstract, 2001 — 569 pp.
25. Venkata Rama Prasad VADDELLA, Ramesh Babu INAMPUDI [Электронный ресурс]//Journal of Applied Computer Science & Mathematics, no. 9 (4), 2010, Suceava, [http://jacs.usv.ro/getpdf.php?paperid=9_3\(30.10.2016\)](http://jacs.usv.ro/getpdf.php?paperid=9_3(30.10.2016))

26. Vivek K Goyal "Beyond Traditional Transform Coding"// Engineering|Electrical Engineering and Computer Sciences in the graduate division of the university of California, berkeley, 1999.
27. Wallace G.K. // Communication of ACM. Volume 34. Number 4 April 1991.
28. Y.Fisher Fractal image compression // SigGraph-92
29. Barnsley, Michael F., Sloan, Alan D., Iterated Systems, Inc. Methods and apparatus for image compression by iterated function system. United States Patent 4941193, July 10, 1990

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ ПО ЗОБРАЖЕННЮ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

4.1. Методика і програмно-апаратне забезпечення проведення експериментального дослідження системи

Програмне забезпечення експериментальної системи складається з двох модулів.

Модуль реєстрації виконує наступні функції:

- отримання зображення райдужної оболонки ока;
- локалізація райдужки ока;
- нормалізація зображення райдужної оболонки;
- виділення ознак, перетворення їх в формат шаблону, збереження в базі даних.

Модуль ідентифікації виконує наступні функції:

- отримання зображення райдужної оболонки ока;
- локалізація райдужки ока;
- нормалізація зображення райдужної оболонки;
- виділення ознак, перетворення їх в формат шаблону і порівняння з шаблонами, збереженими в базі даних;
- прийняття рішення.

Розроблена модель в програмному середовищі matlab.

Система складається з наступних основних модулів:

- модуля обробки зображень;
- модуля аналізу властивостей зображення райдужної оболонки;
- модуля управління базою даних системи ідентифікації;
- модуля ідентифікації;
- модуля верифікації.

Умови проведення експерименту : в базі зберігається 3000 зображень очей різних людей, з яких по 32 зображення відносяться до однієї людини. Таким чином загальна кількість зображень $32 \times 3000 = 96000$ зображень.

Отримуємо код РОО 32 зображень однієї людини без спотворень, де буде враховуватися тільки інструментальна помилка. Отримаємо код РОО з урахуванням спотворень при повороті зображення ока на ± 10 з кроком 2 і урахуванням спотворень по зменшенню яскравості зображення на 80%, таким чином маємо 640 зображень аутентичних РОО.

Загальна кількість зображень аутентичних РОО для експерименту буде складати 672.

Визначимо статистичну характеристику $FAR = 10^{-3}$ яку використовував Дж.Даугман в своїх роботах[1].

За методикою наведеною в звіті професора Дж.Даугмана [1] розрахуємо вірогідність достовірної ідентифікації P_N в залежності від кількості користувачів

$$P_N = (1 - FAR)^N, \quad (4.1)$$

де N - кількість зареєстрованих користувачів в базі.

Взяли 672 зображення користувачів і із виразу (4.1) отримуємо $P_N = 0,9934$. Таким чином з 672 експериментів ми повинні отримати 667 позитивних рішень.

4.2. Вибір параметрів фільтрів

Вибір параметрів фільтрів проводився таким чином, щоб досягти найкращої розділяючої здатності ознак d . Для цього було взято 672 зображень райдужок. З кожного зображення отримані 32 спотворених зображень. При цьому використовувалася модель спотворень, описана в п. 2.5 цієї роботи.

Результати визначення розділяючої здатності ознак d на основі фаз відгуків вейвлетів Габора при різних параметрах фільтрів наведені на рис 4.1. Як видно з рис. 4.1 найкраща розділяюча здатність d для ознак на основі фільтрів Габора досягається при коді, що складається з 56×360 блоків, на частоті зрізу $\omega_0 = \frac{\pi}{32}$.

Для ознак на основі модифікованого DoG-фільтра найкраща розділяюча здатність

досягається при кодї, з 56×360 блоків, при $\sigma=0,1$. Полїгони частот нормованих відстаней Хеммінга при різних параметрах фільтрів наведені на рис. 4.2-4.3 наведені результати експериментів з фільтрами Габора різної орієнтації. Як видно з експерименту, найкращі результати виходять при $\theta=0$.

На рис. 4.4 представлені полігони частот відстаней Хеммінга для кодів, побудованих на основі різних фільтрів. Ці графіки отримані тільки для зображень райдужної оболонки однієї людини, а не шляхом усереднення результатів за всіма райдужки з бази даних. Синій графік отриманий шляхом попарного порівняння спотворених зображень однієї і тієї ж райдужки. Червоний графік отриманий шляхом порівняння спотворених зображень однієї і тієї ж райдужки з зображеннями інших райдужок. Як видно з рисунків, для райдужної оболонки даної людини досягається висока роздільність.

4.3 Оцінка інформативності кода райдужки в залежності від параметрів фільтра

Оцінимо інформативність коду POO після фільтрації модифікованим DoG-фільтром де в якості міри інформативності приймемо ентропію бінарного коду.

Параметр який впливає на якість фільтрації модифікованим DoG-фільтром, це значення σ в виразі (2.29). Яке може приймати значення від 10^{-3} до 0,99. В результаті кодування понад 500 зображень POO були отримані результати які приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Інформативність кода Irish

σ	P_1	P_0	H
0,1	0,4974	0,5026	0,99998
0,2	0,4831	0,5169	0,999976
0,4	0,4787	0,5213	0,999691
0,55	0,5009	0,4991	0,9993

Ймовірність появи 1 і 0 в кодї позначаємо як P_1, P_0 , а ентропію H.

В зв'язку з тим що максимальне значення ентропії двійового коду наближається до 1, обираємо параметр $B=0,1$ в характеристики модифікованого DoG-фільтрі, для подальшого проведення експерименту.

4.4. Вибір розрядності коду райдужної оболонки ока

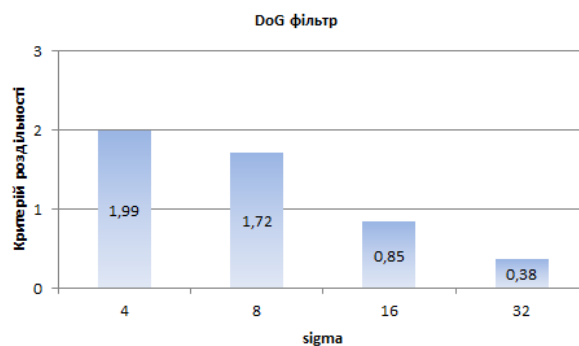
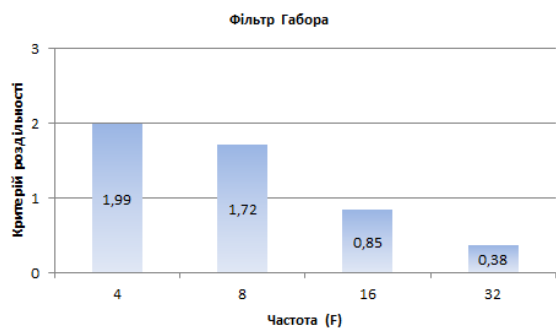
Так як зараз населення землі 7.3×10^9 людей, то ймовірність співпадіння POO буде $1,369 \times 10^{-10}$. Для впевненості, що код райдужки не буде повторюватися його розрядність повинна бути більша як 33 розряди. Тоді використовуємо, те що сучасні процесори мають 64 розряди і для виключення помилки переповнення розрядної сітки будемо використовувати 56 розрядів в одному стовпчику коду POO, кількість стовпців буде відповідати кутовому дозволу 1° , тобто 360 стовпців. Загальна вірогідність повторення коду POO буде визначатися як умовна ймовірність 56-ти розрядного кода з можливістю повторення в одному із 360 стовпчиків $P(2^{-56}|360)=4,996 \times 10^{-15}$.

4.5. Результати експериментальних досліджень

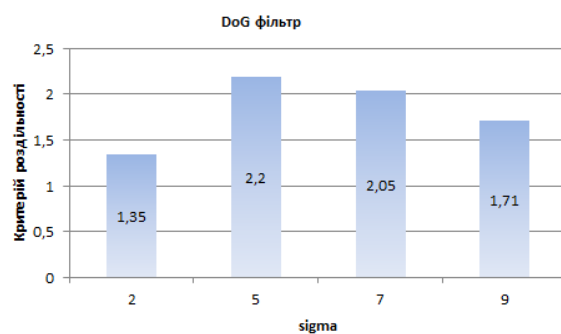
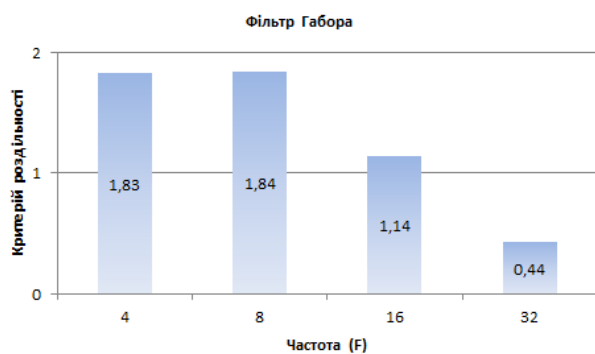
В ході експериментів було визначено середня чутливість ознак райдужок до різних видів перешкод. Результати експериментальних досліджень чутливості до повороту зображення (нахилу голови). На низьких і середніх частотах розбіжності несуттєві. На високій частоті фільтр Габора показує меншу чутливість. Але як показали експерименти, робота на високій частоті неефективна.

Результати експериментальних досліджень чутливості до адитивному гаусову шуму для фільтрів з близькими частотними. На всіх частотах фільтри Габора забезпечують меншу чутливість системи ідентифікації до шуму. Однак при реальному рівні шуму (середньоквадратичне відхилення від 1 до 3) на середніх частотах, які оптимальні для ідентифікації, впливом шуму можна знехтувати.

Розмір коду 56x360



Розмір коду 48x360



Розмір коду 32x360

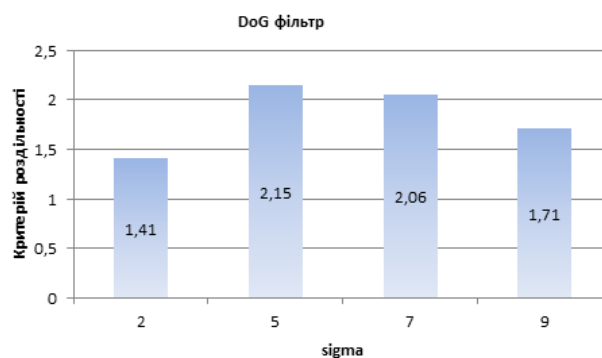
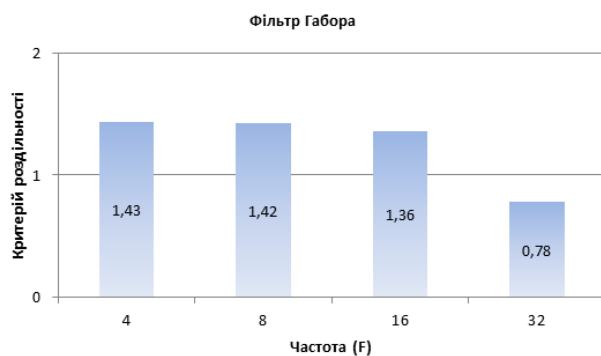


Рис. 4.1. Критерій розділяючої здатності систем ознак при різних значеннях частоти фільтрів Габора $\omega_0 = \frac{\pi}{32}$, значеннях $\sigma=0,1$ для DoG-фільтра і різній кількості блоків коду

Ознаки на основі фільтра Габора

Ознаки на основі DoG фільтра

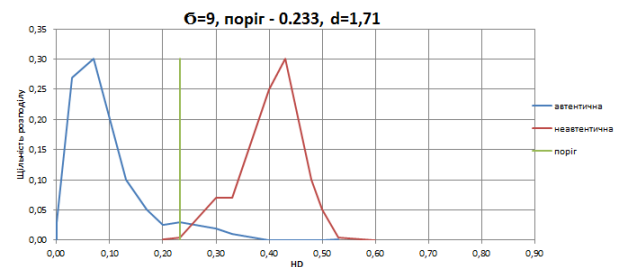
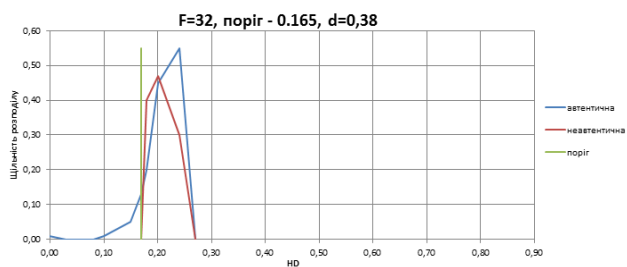
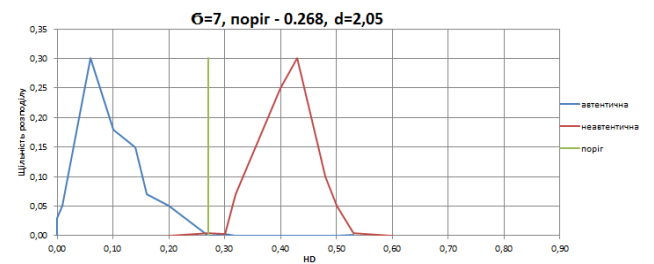
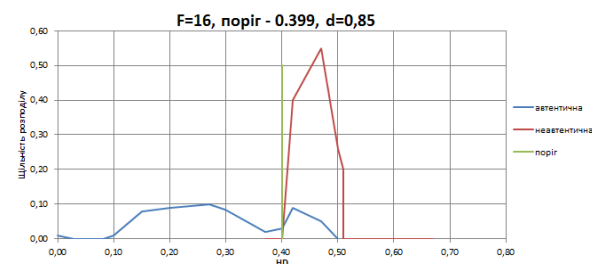
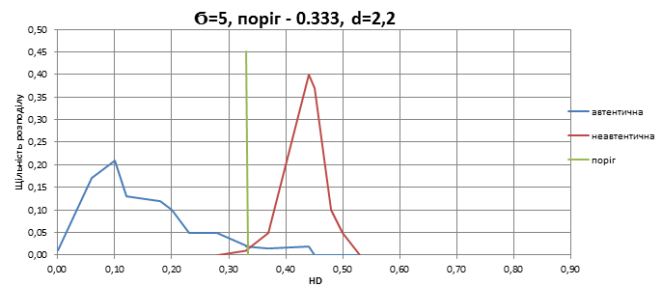
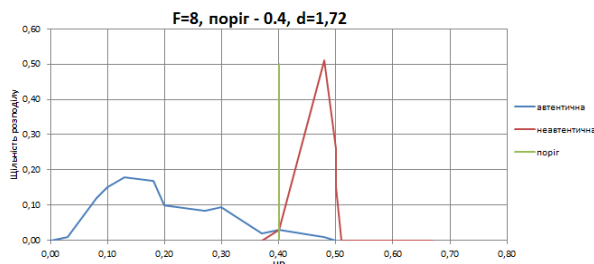
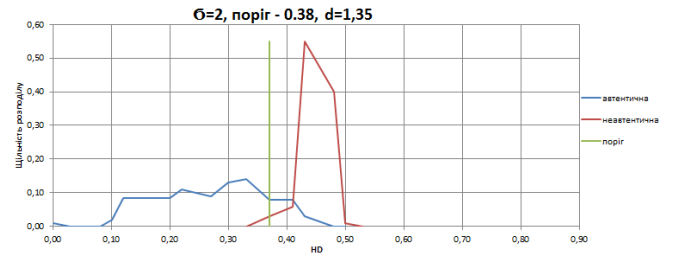
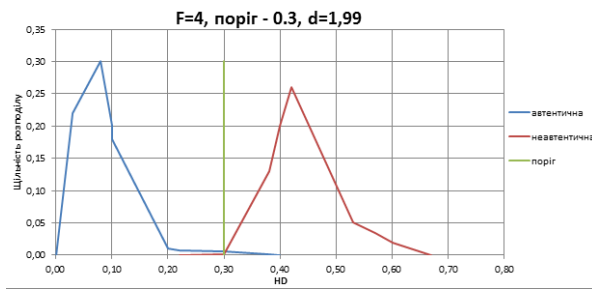


Рис. 4.2. Полігони частот відстаней Хеммінга для різних фільтрів

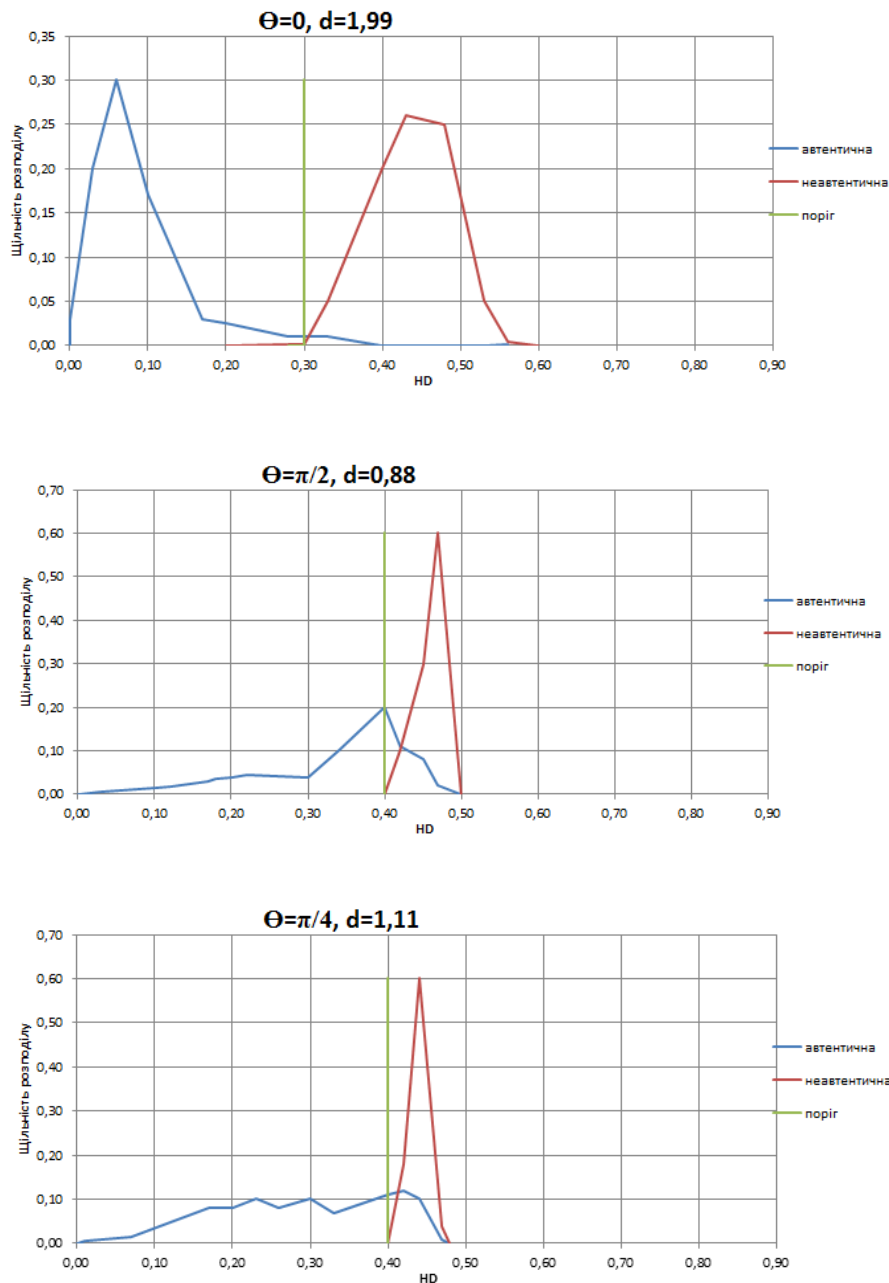


Рис. 4.3. Полігони частот відстаней Хеммінга для фільтрів Габора які мають різну орієнтацію

Експерименти, в ході яких досліджувалася чутливість системи до змін яскравості і контрасту зображення, показали, що як при використанні фільтрів Габора, так і при використанні DoG-фільтра чутливістю до лінійних яскравісних змін можна знехтувати.

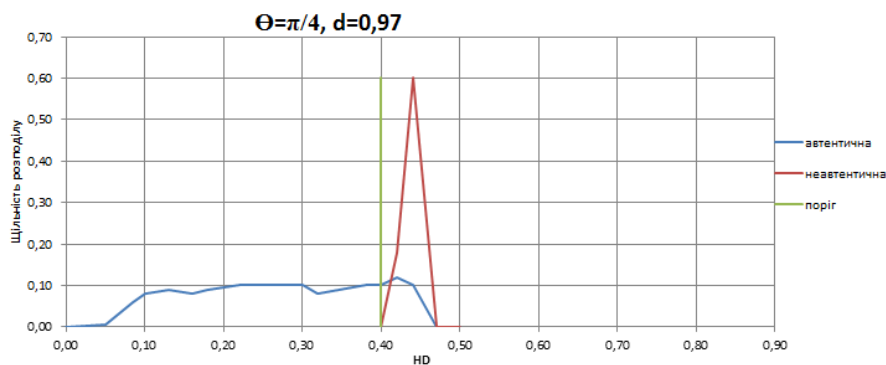
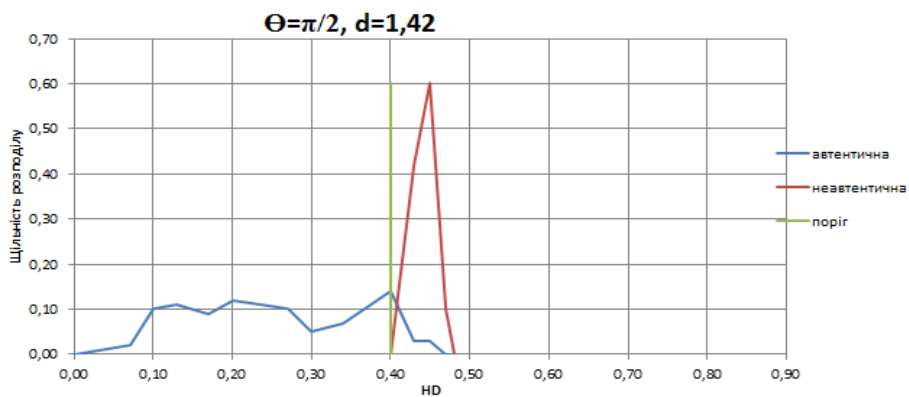
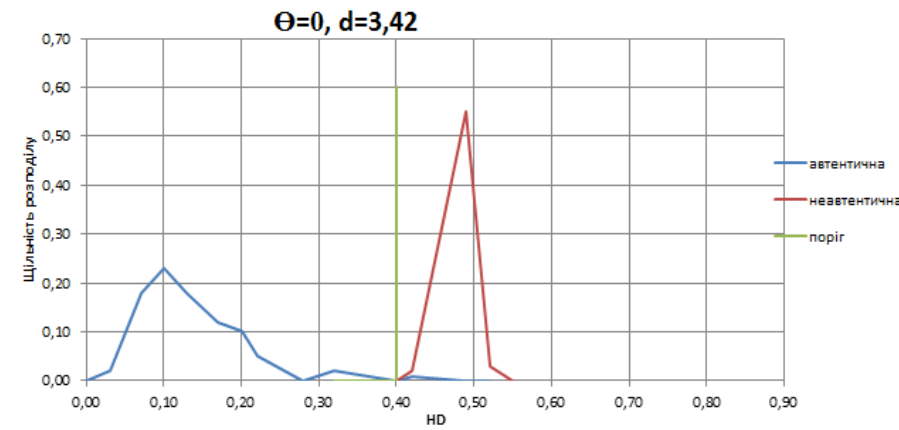


Рис. 4.4. Полігони частот відстаней Хеммінга для фільтрів Габора які мають різну орієнтацію, побудовані для зображень райдужної оболонки однієї людини

На основі експериментальних оцінок розподілу щільності ймовірності відстані Хеммінга для однакових і різних райдужок були визначені пороги, що дозволяють приймати рішення про автентичність пред'явленої райдужки.

4.6. Верифікація отриманих результатів

Оцінимо достовірність, з якої визначена розділяюча здатність систем ознак (4.6) розглянутих в роботі. У формулу (4.6) входять математичні очікування і середньоквадратичні відхилення нормалізованих відстаней Хеммінга для однакових і різних райдужок. В [12] викладено методику оцінки достовірності для оцінок дисперсії і математичного очікування. Оцінка математичного очікування $\tilde{\mu}$ розподілена за нормальним законом, має параметри:

$$M(\tilde{\mu}) \approx \tilde{\mu}; D(\tilde{\mu}) \approx \frac{\tilde{\sigma}^2}{n}, \quad (4.2)$$

де n – кількість реалізації випадкової величини.

Оцінка дисперсії $\tilde{\sigma}^2$ розподілена за нормальним законом, має параметри:

$$M(\tilde{\sigma}^2) \approx \tilde{\sigma}^2; D(\tilde{\sigma}^2) \approx \frac{2}{n-1} \tilde{\sigma}^4. \quad (4.3)$$

Випадків порівняння ідентичних райдужок в ході кожного експерименту було 672. Випадків порівняння різних райдужок – 672. Випадків порівняння різних райдужок досить, щоб знехтувати похибкою оцінки математичного очікування і середньоквадратичного відхилення для відстані Хеммінга.

Для експерименту з ознаками на основі DoG-фільтра найкращими параметрами використовуючи (4.2) отримуємо абсолютну помилку для математичного очікування 10^{-4} . Однак оскільки значення визначалися з точністю до другого знака після коми $\tilde{\mu} = 0,17 \pm 0,005$ з ймовірністю близькою до 1. За формулами (4.3) отримуємо помилку для дисперсії 10^{-7} . З урахуванням того, що результати були отримані з точністю до другого знака після коми $\tilde{\sigma}^2 \approx 0,05 \pm 0,005$. Згідно з правилами наближених обчислень можна зробити висновок, що два знака після коми критерію d можна вважати вірними. Для значень d в інших експериментах, можна зробити такий же висновок.

Провівши експеримент порівняння швидкодії роботи інтегрально – диференціальний методу і удосконаленого методу, можемо констатувати той факт що удосконалений метод в 13,5 раз швидше виділяє межі (рис 4.6),

зауважимо що порівняння проводилося в середовищі Matlab 2016, на Fujitsu lifebook sh531 RAM 4 Gb.

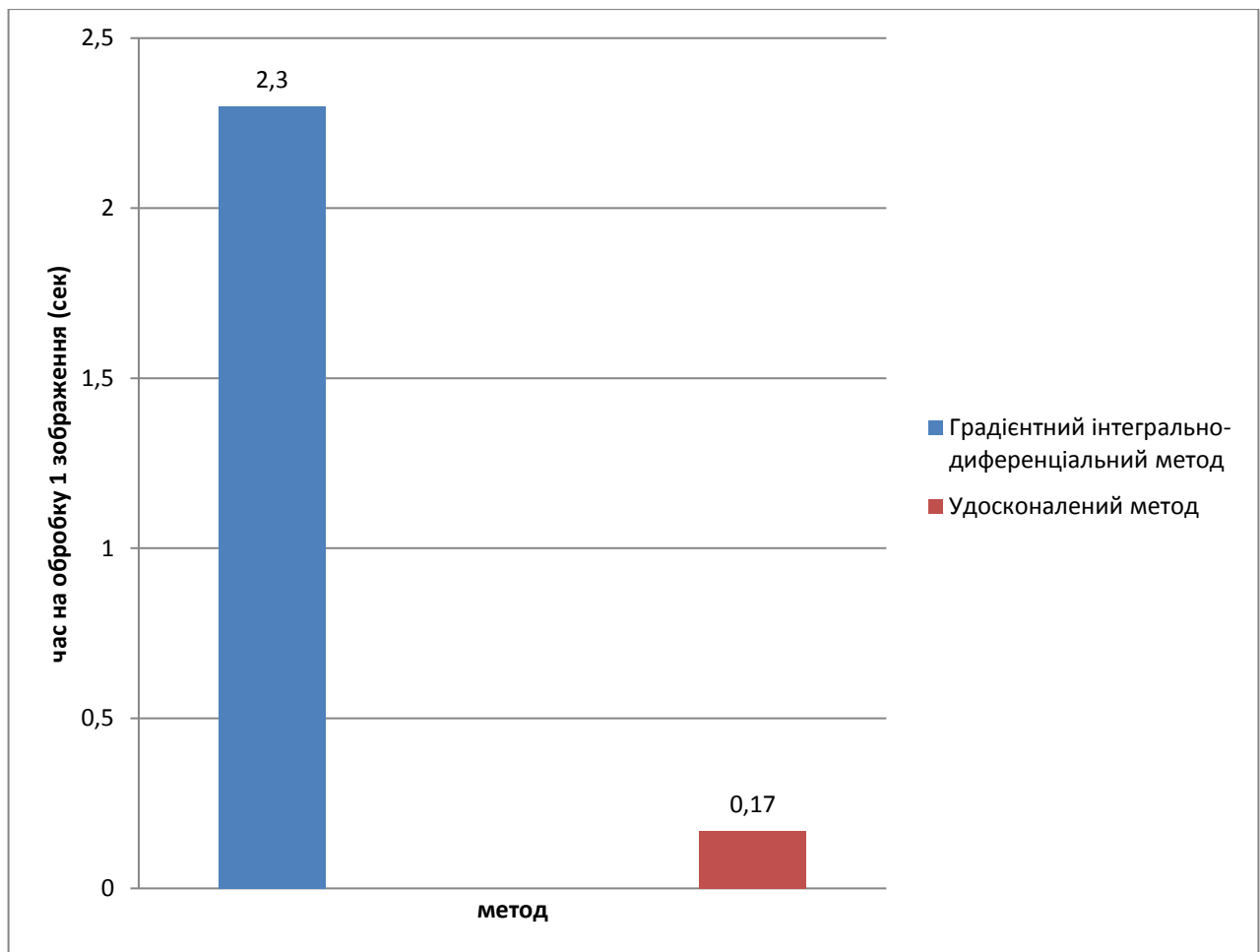


Рис 4.5 Порівняння швидкодії інтегрально – диференціального методу і удосконаленого методу

Використання DoG-фільтра в запропонованому методі не тільки дає змогу чітко бінаризувати зображення POO за допомогою АЧХ-апроксимації даного фільтра, а і дає вигреш в часі. Провівши експериментальне порівняння швидкодії фільтра Габора і АЧХ-апроксимації DoG-фільтра можемо констатувати, що використання запропонованого фільтра дає вигреш в часі трішки більше ніж 20 разів, ілюстрація даного факту приведена на рис 4.6, зазначимо що порівняння проводилося в середовищі Matlab 2016, на Fujitsu lifebook sh531 RAM 4 Gb.

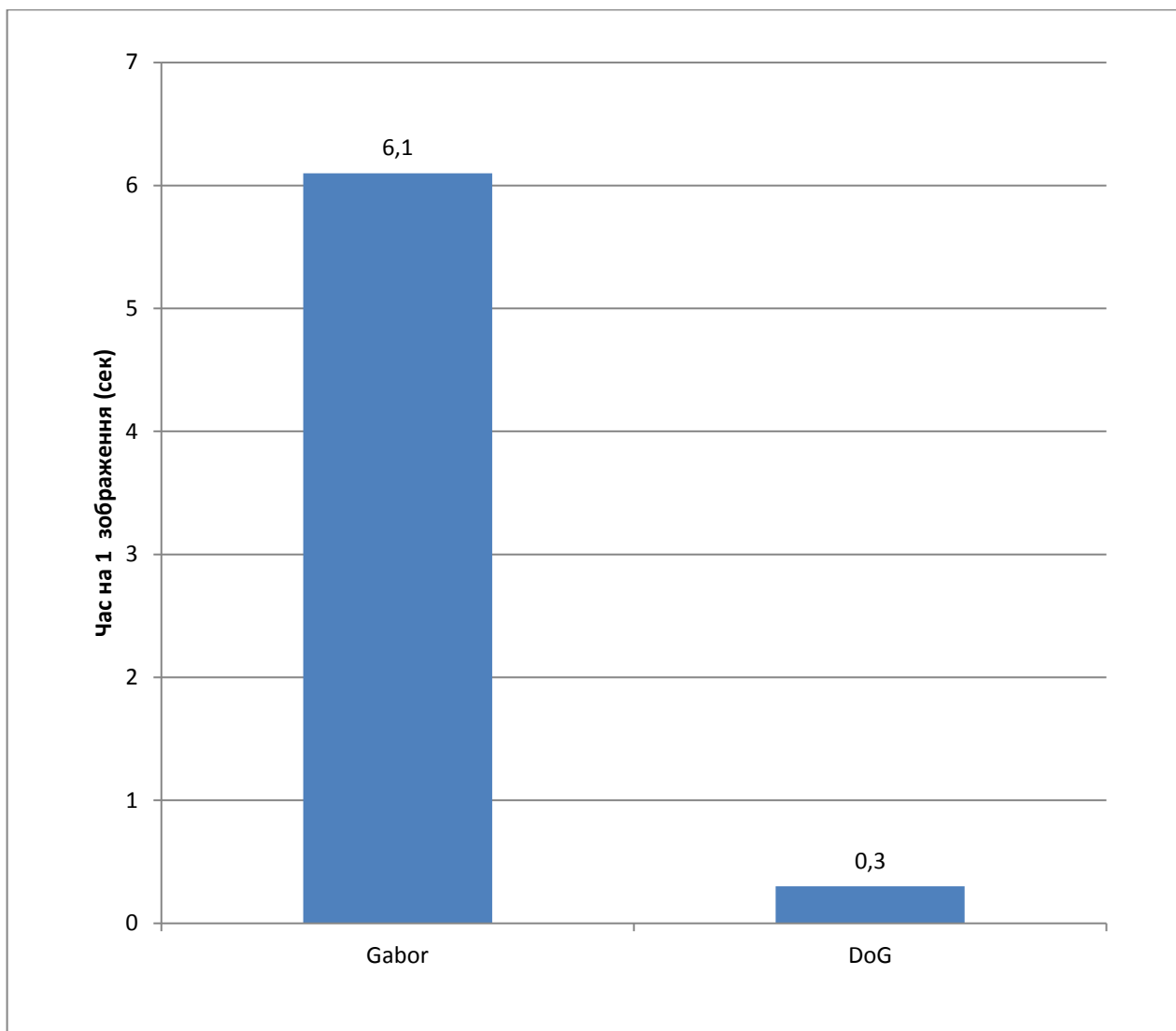


Рис. 4.6 Порівняння швидкодії фільтрів

Так як уже згадувалося вище в ході виконання данної роботи вдалося зменшити об'єм БД еталонів (рис 4.7), такого результату вдалося досягти завдяки реалізації методу ідентифікації без еталонного зображення.

В таблиці 4.2(а) приведено порівняння об'єму БД еталонів згідно міжнародного стандарту ISO/IEC 19794-6:2011 і об'єму БД еталонів, якщо використовувати підхід який пропонується в даній роботі, тобто з використанням DoG-фільтра і запису КР і порогу в БД і не зберігати еталонне зображення РОО, тобто використання запропонованого підходу зменшить об'єм БД в 25 раз, даний факт несе за собою і зменшення матеріальних витрат на дороге

обладнання для зберігання інформації (зображень РОО) і зменшення часу пошуку по самій БД.

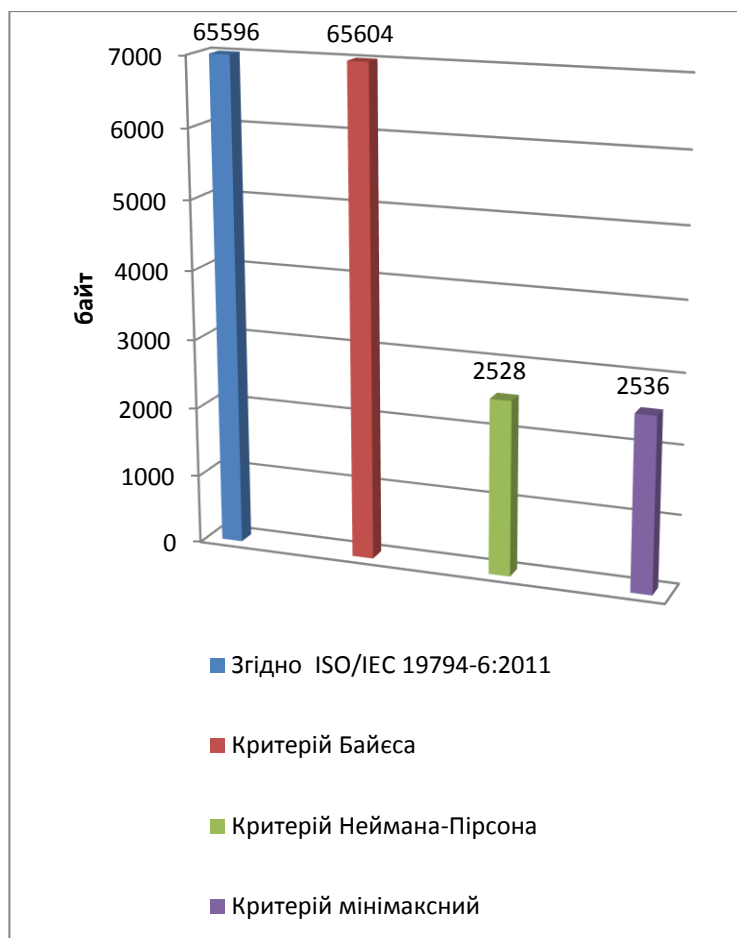


Рис 4.7 Порівняння об'єму БД згідно ISO/IEC 19794-6:2011 і при використанні статистичних критеріїв

Таблиця 4.2(а)

Залежність обсягу бази даних від статистичного критерію

Об'єм бази даних на одного користувача				
Згідно ISO/IEC 19794-6:2011		65596 байт	Зменшення об'єму	
Критерій	Байєса	65604 байт		немає
	Неймана-Пірсона	2528 байт		В 25 раз
	Мінімаксний	2536 байт		В 25 раз

Також був проведений експеримент для оцінки якості роботи запропонованого методу, результати приведені в таблиці 4.2(б).

Детальний опис розрахунку наведений у технічному звіті Дж.Даугмана за 2010р.[15].

Таблиця 4.2(б)

Результат експериментальних досліджень
 $FAR=10^{-3}, P_N=0,9934, N=672$

Параметр	Метод Дж.Даугмана	Запропонований метод
FRR	0,008±0,0014	0,008±0,0014
FAR	0,0012	0,0012
Виміряне P_N	0,99553±0,006	0,99702±0,0446

Отже, можна зробити висновок, що запропонований метод і існуючий метод Дж.Даугмана по якісним показникам майже однакові.

4.7. Висновки до четвертого розділу

В експериментальній частині роботи були отримані наступні результати:

1. При експериментах з фільтрами Габора з постійними параметрами були отримані наступні оптимальні параметри фільтру: $\omega_0 = \pi/8; \theta = 0$; кількість блоків коду 56×360 . При цьому досягається значення критерію якості ознак $d=1.99$.

2. При експериментах з DoG-фільтрами з постійними параметрами були отримані наступні оптимальні параметри фільтру: $\sigma = 0,1$; кількість блоків коду 56×360 . При цьому досягається значення критерію якості ознак $d=2.20$.

3. Ознаки на основі DoG-фільтра забезпечують декілька кращий поділ класів, ніж ознаки на основі фільтрів Габора.

4. Нормалізована відстань Хеммінга для кодів райдужок на основі DoG-фільтра при використовуваних на практиці значеннях параметрів мають чутливість до повороту зображення (нахилу голови) близьку до чутливості відстані Хеммінга для кодів райдужок на основі фільтрів Габора.

5. Нормалізована відстань Хеммінга для кодів райдужок на основі DoG-фільтра при використовуваних на практиці значеннях параметрів мають дещо

більшу чутливість до Гаусового шуму, ніж відстані Хеммінга для кодів райдужок на основі фільтрів Габора. Однак, при реальних значеннях шуму він не впливає суттєво на якість розпізнавання.

6. Нормалізована відстань Хеммінга для кодів райдужок на основі DoG-фільтра і фільтрів Габора практично нечутливі до лінійних перетворенням яскравості і контрасту.

7. В результаті експериментальних досліджень отримані наступні результати:

- при застосуванні удосконаленого інтегрально-диференціального методу локалізації ока на зображенні, швидкодія підвищилась в 13,5 раз.
- при кодуванні POO удосконаленим DoG-фільтром швидкодія підвищилась в в 20 разів.

Список використаних джерел у четвертому розділі

1. Daugman J.G. Biometric decision landscapes Technical Report, Number 482, Computer Laboratory, UCAM-CL-TR-482, ISSN 1476-2986
2. Daugman J.G. Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles. // Vision research, vol. 20, no. 10, pp. 847-856, 1980.
3. Daugman J.G. Uncertainly relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters. // J. Opt. Soc. Am. A, vol. 2, no. 7, pp. 1160-1169, 1985.
4. Image Processing Toolbox, Users Guide, Version 4 [2003], The MathWorks, Inc., Natick, MA.
5. Daugman J. High condence personal identification by rapid video analysis of iris texture // Proc. IEEE Internat. Carnahan conf. on security technology, 1992. P. 50-60.
6. Daugman J. High condence visual recognition of persons by a test of statistical independence // IEEE TPAMI. 1993. V.15. N.11. P.11481161.
7. Daugman J. How iris recognition works // Proc. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol. 2004. V.14. N.1. P.21-30.
8. Daugman J., Malhas I. Iris recognition border crossing system in UAE // Biometrics. 2004. V.44. N.2. P.49-53.
9. Daugman J. New methods in iris recognition // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. Part B: Cybernetics. 2007. V.37. P.1167-1175.
10. Iridian Technologies, Panasonic Authenticam Iris Recognition Camera, September 20, 2001
11. Web-enabled image processing operators. <http://matlabserver.cs.rug.nl/> [электронный ресурс]. URL: [http://matlabserver.cs.rug.nl/edgedetectionweb /web/edgedetection_params.html](http://matlabserver.cs.rug.nl/edgedetectionweb/web/edgedetection_params.html).(13.10.2016)
12. Вентцель В.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. - М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит. – 1988

13. Shamsi M., Rasouli A. An Innovative Trapezium Normalization for Iris Recognition Systems // Proc. Int. Conf. Computer and Software Modeling. 2011. V.14. P.118-122.
14. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 14, NO. 1, JANUARY 2004
15. Daugman J (2000) "Biometric decision landscapes." Technical Report No. TR482, University of Cambridge Computer Laboratory.
16. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005г. – 1070с.
17. <http://www.cg.info.hiroshima-cu.ac.jp/~miyazaki/knowledge/teche01.html>
18. http://software.intel.com/sites/products/documentation/hpc/ipp/ippi/ippi_ch6/ch6_color_models.html
19. Anuj B., Rashid A. Image compression using modified fast Haar wavelet transform // World Applied Sciences Journal. – 2009. – V. 7. – № 5. – P. 647–653.
20. Демьянович Ю.К, Ходаковский В.А. Введение в теорию вейвлетов. – Санкт-Петербург, 2007. – 49с.
21. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. М. – И, 2004. – 464с.
22. Шокуров А.В., Михалёв А.В. Оптимальное использование вейвлет-компонент // Успехи математических наук. – 2007. – Т. 62. – № 4. – С. 171–172.
23. Senthilkumaran N. A. Study on Edge Detection Methods for Image Segmentation // N. Senthilkumaran, R. Rajesh // Proceedings of the International Conference on Mathematics and Computer Science (ICMCS-2009). – 2009. – Vol. 1. – P. 255–259.
24. Huang C.P. An Integrated Edge Detection Method Using Mathematical Morphology / C.P. Huang, R.Z. Wang // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2006. – Vol. 16. – No. 3. –P. 406–412.
25. Dayan P. Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematica Modeling of Neural Systems / P. Dayan, L.F. Abbot. – Cambridge: MIT Press, 2001. – 576 p.
26. Болотова. Ю. Применение текстурного подхода в сегментации изображений // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и

молодых ученых – Томск, 3-5 марта 2010. – Томск: СПБ Графика, 2010 – т. 1. – с. 73-74.

27. Журавель И. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/index.php> (13.10.2016)

28. Вежневек А. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация / А. Вежневек, О. Барина // Сетевой журнал Компьютерная графика и мультимедия. 2006. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/147> (13.10.2016)

29. Bowyer K.W., Hollingsworth K., Flynn P.J. A Survey of Iris Biometrics Research: 2008-2010, in Handbook of Iris Recognition, Mark Burge and Kevin W. Bowyer, editors, Springer, 2012.

30. Boyd M., Carmaciu D., Giannaros F., et al. MSc Computing Science Group Project Iris Recognition. Imperial College, London. 2010.

31. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. - М.: Советское радио, 1979. - 312 с.

32. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. - 560 с

33. Чуи Ч. Введение в вейвлеты: Пер. с англ. - М.: Мир, 2001. - 412 с.

34. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. - М.: Техносфера, 2008. - 312 с.

35. Фурсов В.А., Бибииков С.А. Локализация контуров объектов на изображениях при вариациях масштаба с использованием преобразования Хафа // Компьютерная оптика. 2013. N4. Т37. с.496-502.

36. Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафизов Р.Г., Егошина И.Л., Леухин А.Н. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов. - 2-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2003. - 592 с.

37. Титов В.С., Труфанов М.И. Направления развития методов, алгоритмов и аппаратных средств повышения качества изображений оптико-электронных

систем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2013. V.56. N.6. P.7-10.

38. Abhyankar A., Hornak L.A., Schuckers S. Biorthogonal wavelets based Iris Recognition // Proc. SPIE Conf. Biometric Technology for Human Identification. 2005. V.5779.

39. Abiyev R.H., Altunkaya K. Neural Network Based Biometric Personal Identification // Lecture Notes in Computer Science Volume 4669, 2007, pp 554-563

40. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE TPAMI. 1986.V.8. N.6. P.679-698.

41. Chen Y., Adjouadi M., Han C., Wang J., Barreto A., Rische N., Andrian J. A highly accurate and computationally efficient approach for unconstrained iris segmentation // Image and Vision Computing. 2010. V.28. P.261-269.

42. Czajka A., Piech K. Secure Biometric Verification Station Based on Iris Recognition // J. Telecommunications and Information Technology. 2012. N.3. P.40-49.

43. Czajka A., Pacut A. Iris Recognition System Based on Zak-Gabor Wavelet Packets // J. Telecommunications and Information Technology. 2010. N.4.P.10-18.

44. Fenker S.P., Ortiz E., Bowyer K.W. Template Aging Phenomenon in Iris Recognition // Access, IEEE, V.1, Biometrics Compendium. 2013. P.266274.

45. Feddaoui N., Mahersia H., Hamrouni K. Improving Iris Recognition Performance Using Quality Measures // Advanced Biometric Technologies: Chapter 12. Edited by Girija Chetty and Jucheng Yang. 2011. 382 p.

46. Fernandez C., Perez D., Segura C., Hernando J. A Novel Method for Low-constrained Iris Boundary Localization // Proc. 5th IAPR Int. Conf. Biometrics. 2012. P.291-296.

47. Galbally J., Ortiz-Lopez J., Fierrez J., Ortega-Garcia J. Iris liveness detection based on quality related features // Proc. 5th IAPR Int. Conf. Biometrics, March 29 2012-April 1, 2012. P.271.

48. Guang-zhu X., Zai-feng Z., Yi-de M. A novel and efficient method for iris automatic location // J. China University of Mining and Technology. 2007. V.17. P.441-446.

ВИСНОВКИ

Результатом виконаної роботи є розв'язання актуальної наукової задачі розробки й дослідження методів обробки даних (зокрема, процедур попередньої обробки) для систем ідентифікації та аутентифікації користувачів на основі біометричних характеристик людського ока, які використовуються на об'єктах критичної інфраструктури.

У процесі виконання дисертації отримані такі вагомі результати:

1. На основі проведеного аналізу сучасних підходів, методів і систем біометричної ідентифікації користувачів обрано один з найбільш надійних методів ідентифікації та аутентифікації, а саме ідентифікація по райдужній оболонці ока, який по сукупності якостей має вагомі переваги перед іншими, а також має великі перспективи застосування в СКУД.

2. Удосконалено інтегрально–диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока, який за рахунок удосконаленого алгоритму локалізації ока на зображенні, дозволяє зменшити область пошуку меж райдужної оболонки та знизити обчислювальні витрати при збереженні високої точності методу та підвищує швидкодію в 13,5 раз.

3. На основі запропонованого алгоритмічного рішення розроблено метод кодування РОО при застосуванні модифікованого DoG–фільтра, що дало можливість підвищити швидкодію в 20 разів для попередньої обробки зображень РОО завдяки отриманню однозначного бінарного кода, що в свою чергу дало можливість зменшити об'єм БД в 25 разів.

4. Розроблено метод прийняття рішень для систем біометричної ідентифікації і аутентифікації з використанням статистичного критерію Неймана–Пірсона на основі КР без еталонного зображення РОО з використанням нормованої відстані Хеммінга.

5. У роботі запропонована система ідентифікації та аутентифікації користувача без еталонного зображення райдужки (складається з двох програмних модулів), за допомогою застосування бінарного коду райдужки (фазові відгуки

DoG-фільтра) і нормованої відстані Хеммінга з використанням статистичного критерію Неймана-Пірсона, що дало змогу зменшити об'єм бази даних систем контролю і управління доступом, що в свою чергу зменшує час доступу до неї.

Розроблені програмні засоби і проведено експериментальне дослідження програмних модулів з ціллю оцінки швидкодії та оцінки об'єму БД СКУД, що підтвердило придатність розроблених методів для захисту таких процедур та об'єктів критичної інфраструктури, як захист входу в комп'ютерну систему; прикордонний контроль; контроль доступу; протидія тероризму; Інтернет-безпека тощо.

Додаток А. Лістинги (коди) програмних модулів

```
% Виділення меж РОО і фільтрація і кодування
clear all; clc;
sigma=0.1;
[filename,PathName] = uigetfile('*.','Select the file
iris');file=fullfile(PathName,filename);
RGB=imread(file); s=size(size(RGB));

% дізнаємося палітру зображення
if s(1,2)==3 I=rgb2gray(RGB);
else I=RGB;
end

figure; imshow(I);
[n,m]=size(I);
% [X, Y] = meshgrid(1:m,1:n);
% figure;mesh(X, Y, I); colormap(gray);
% clock
% размытие изображения
len = 20; % порядок фільтра
band = 0.000025; % полоса пропускання діапазон от 0 до 1
b=fir1(len,band); h=ftrans2(b); I=im2double(I);
If=filter2(h,I); figure; imshow(If);
tic; disp(' ');
for r=1:n
    for c=uint16(m/2):-1:3
        dI(r,c)=((-3*If(r,c)+4*If(r,c-1)-If(r,c-2))/2);
        if dI(r,c)<0 diI(r,c)=0; %dI(r,c)-55;
        else diI(r,c)=dI(r,c);
        end
    end
end
for r=1:n
    for c=uint16((m/2)-1):m-2
        dI(r,c)=((-3*If(r,c)+4*If(r,c+1)-If(r,c+2))/2);
        if dI(r,c)<0 diI(r,c)=0; %dI(r,c)-55;
        else diI(r,c)=dI(r,c);
        end
    end
end
end
% toc; disp(' ');
diI=(diI./max(max(diI))).*25;
toc; disp(' ');
```

```

level = graythresh(diI); diI1 =
255*uint8(im2bw(diI,level));
% figure; imshow(diI);
figure; imshow(diI1);
% отримання області РОО і виділення меж РОО
[x,y] = ginput(3); x=fix(x); y=fix(y);

dx1=x(2)-x(1); dy1=y(2)-y(1); r1=fix(sqrt(dx1^2+dy1^2));
dx2=x(3)-x(1); dy2=y(3)-y(1); r2=fix(sqrt(dx2^2+dy2^2));
% r2=r1+56;
f=1:360; z1=x(1)+y(1)*j+r1*exp(j*f*pi/180);
z2=x(1)+y(1)*j+r2*exp(j*f*pi/180);
figure; imshow(I);
hold on; hPlot=plot(z1); set(hPlot, 'LineWidth', 3);
set(hPlot, 'Color', 'blue');
hold on; hPlot=plot(z2); set(hPlot, 'LineWidth', 3);
set(hPlot, 'Color', 'blue');
% перетворення РОО із полярної системи в декартову
dr=1;
for r=r2:-1:r1
    [X, Y] = pol2cart(0:pi/180:2*pi,r);
    X=X+x(1); Y=Y+y(1); X=fix(X); Y=fix(Y);
    for y1=1:361
        Z(dr,y1)=I(Y(y1),X(y1));
    end
    dr=dr+1;
end
figure; imshow(Z);
% фільтрація DoG фільтром і бінарне кодування РОО
d=1; k=1.6; delta=0.25; % delta=0.25 - маска 9x9;
delta=0.45 - маска 5x5
sigma1=k*sigma;
X2= -d:delta:d; Y2= -d:delta:d;
[X2, Y2] = meshgrid(-d:delta:d, -d:delta:d);
Z2=exp(-(X2.^2+Y2.^2)/(2*sigma^2))*1/(2.506*sigma);
Z3=exp(-(X2.^2+Y2.^2)/(2*sigma1^2))*1/(2.506*sigma1);
Z4=Z2-Z3; fZ=fft2(Z4);
figure;subplot(1,2,1);mesh(X2, Y2, Z4); title('Амплитудно-
частотна характеристика');
subplot(1,2,2); mesh(X2,
Y2,abs(fftshift(fZ)));title('Імпульсна характеристика');
DoG=conv2(Z,fZ); fiDoG=angle(DoG); [n,m]=size(fiDoG);
for a=1:n
    for b=1:m
        if fiDoG(a,b)<0

```

```

        fi(a,b)=1;
    else
        fi(a,b)=0;
    end
end
end

[n,m]=size(fi); %fi=fi(1:56,1:360);
kol_1=0; kol_0=0; vsego=n*m; %vsego=56*360;
for a=1:n
    for b=1:m
        if fi(a,b)==1
            kol_1=kol_1+1;
        else
            kol_0=kol_0+1;
        end
    end
end
end
p1=kol_1/vsego; p0=kol_0/vsego;
format long; H=(-p1*log2(p1))+(-p0*log2(p0));
figure; imshow(fi);

```

```

function varargout = GaborFilterDesign
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GaborFilterDesignn_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @GaborFilterDesignn_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before GaborFilterDesignn is made
visible.
function GaborFilterDesignn_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GaborFilterDesignn
(see VARARGIN)
% Choose default command line output for GaborFilterDesignn
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% This sets up the initial plot - only do when we are
invisible
% so window can get raised using GaborFilterDesignn.
if strcmp(get(hObject,'Visible'),'off')
    imagesc(peaks(200));
    text(100,20,'Gabor filter visual
GUI','FontSize',28,'FontName','Castellar','HorizontalAlignm
ent','center','FontWeight','Bold');
    Str_array={'1) Define the filter, by changing the
Mother Gabor parameters' or, by loading a previoly saved

```

```

filter',' (you can view your filter in both time and
frequency domains)',...
    '2) Load an image','3) Finally, apply the
filter','4) Using the "Show" and "Filtered Image" ',...
    ' button combination you can see the resulting
image... '};
    text(10,80,Str_array,'FontSize',20,'FontName','Kartika');
    text(20,180,'\copyright olay
S.','FontSize',14,'HorizontalAlignment','center');
end
% UIWAIT makes GaborFilterDesignn wait for user response
(see UIRESUME)
% uiwait(handles.GaborFiltGUI);
% --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = GaborFilterDesignn_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% -----
-----function FileMenu_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to FileMenu (see GCBO)
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% -----
-----
function OpenMenuItem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to OpenMenuItem (see GCBO)
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
file = uigetfile('*.fig');
if ~isequal(file, 0)
    open(file);
end
% -----
-----function PrintMenuItem_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to PrintMenuItem (see GCBO)

```

```

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
prindlg(handles.GaborFiltGUI)
% -----
-----
function CloseMenuItem_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to CloseMenuItem (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
selection = questdlg(['Close '
get(handles.GaborFiltGUI, 'Name') '?'], ...
                    ['Close '
get(handles.GaborFiltGUI, 'Name') '...'], ...
                    'Yes', 'No', 'Yes');
if strcmp(selection, 'No')
    return;
end
delete(handles.GaborFiltGUI)
% --- Executes on selection change in Graph_type_popup.
function Graph_type_popup_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Graph_type_popup (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = get(hObject, 'String') returns
Graph_type_popup contents as cell array
%           contents{get(hObject, 'Value')} returns selected
item from Graph_type_popup

n=get(handles.N_edit, 'Value') ;
x=linspace(get(handles.X_min_edit, 'Value'), get(handles.X_max_
edit, 'Value'), n);
y=linspace(get(handles.Y_min_edit, 'Value'), get(handles.Y_max_
edit, 'Value'), n);
G=real(handles.FilterData);
%real(get(hObject, 'UserData'));
if (get(handles.Frequency_radiobutton, 'Value'))
    G=abs(fftshift(fft2(G)));
end

if (get(handles.Hold_on_checkbox, 'Value'))

```

```

        hold on;
else
    hold off;
end

switch (get(handles.Graph_type_popup, 'Value'))
    case (1)
        imagesc(x,y,G);
    case (2)
        mesh(x,y,G);
    case (3)
        surf(x,y,G);
end
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Graph_type_popup_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to Graph_type_popup (see GCBO)
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
set(hObject, 'String', {'imagesc', 'mesh', 'surf'});
function N_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to N_edit (see GCBO)
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject, 'String') returns contents of N_edit
as text
%         str2double(get(hObject, 'String')) returns contents
of N_edit as a double

parameter_changed(hObject)
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function N_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to N_edit (see GCBO)

% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function X_min_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to X_min_edit (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
X_min_edit as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of X_min_edit as a double
parameter_changed(hObject)
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function X_min_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to X_min_edit (see GCBO)
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function X_max_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to X_max_edit (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
X_max_edit as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of X_max_edit as a double
parameter_changed(hObject)
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function X_max_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to X_max_edit (see GCBO)

```



```

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function Y_min_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Y_min_edit (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Y_min_edit as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Y_min_edit as a double
parameter_changed(hObject)
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Y_min_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Y_min_edit (see GCBO)
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function Y_max_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Y_max_edit (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Y_max_edit as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Y_max_edit as a double
parameter_changed(hObject)
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Y_max_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Y_max_edit (see GCBO)

```

```

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function Frequency_edit_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Frequency_edit (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Frequency_edit as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Frequency_edit as a double
parameter_changed(hObject)
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Frequency_edit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Frequency_edit (see GCBO)
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function Rotation_Angle_edit_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Rotation_Angle_edit (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Rotation_Angle_edit as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Rotation_Angle_edit as a double
parameter_changed(hObject)

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Rotation_Angle_edit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Rotation_Angle_edit (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function Sigma_x_edit_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Sigma_x_edit (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Sigma_x_edit as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Sigma_x_edit as a double

parameter_changed(hObject)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Sigma_x_edit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Sigma_x_edit (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end
function Sigma_y_edit_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Sigma_y_edit (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Sigma_y_edit as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Sigma_y_edit as a double

parameter_changed(hObject)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Sigma_y_edit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Sigma_y_edit (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to axes1 (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1
set(hObject,'FontSize',1e-3);

```

```

function Phase_shift_edit_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Phase_shift_edit (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
Phase_shift_edit as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of Phase_shift_edit as a double
parameter_changed(hObject)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function Phase_shift_edit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Phase_shift_edit (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in Time_radiobutton.
function Time_radiobutton_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Time_radiobutton (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of
Time_radiobutton
eventdata='datachanged';
Graph_type_popup_Callback(handles.Graph_type_popup,
eventdata, handles)

```

```

% --- Executes on button press in Frequency_radiobutton.
function Frequency_radiobutton_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Frequency_radiobutton (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of
Frequency_radiobutton
eventdata='datachanged';
Graph_type_popup_Callback(handles.Graph_type_popup,
eventdata, handles)
function parameter_changed(hObject)
set(hObject,'Value',str2double(get(hObject,'String'))); %
"edit" object value, is the numeric value of the string.
handles=guidata(hObject);

n=get(handles.N_edit,'Value') ;
Sigma_x=get(handles.Sigma_x_edit,'Value') ;
Sigma_y=get(handles.Sigma_y_edit,'Value') ;
x=linspace(get(handles.X_min_edit,'Value'),get(handles.X_max_
edit,'Value'),n);
y=linspace(get(handles.Y_min_edit,'Value'),get(handles.Y_max_
edit,'Value'),n);
% set(handles.axes1,'XLim',[x(1), x(end)]);
% set(handles.axes1,'YLim',[y(1), y(end)]);
axis([x(1), x(end), y(1), y(end)]);

F=get(handles.Frequency_edit,'Value') ; % modulation freq

Theta= get(handles.Rotation_Angle_edit,'Value')*pi/180;

Phase_shift=get(handles.Phase_shift_edit,'Value');
% [x_rot,y_rot]=my_rotate(x,y,Theta);
[X,Y]=meshgrid(x,y);
X_rot=X*cos(Theta)+Y*sin(Theta);
Y_rot=-X*sin(Theta)+Y*cos(Theta);
GaussianMat=1/(2*pi*Sigma_x*Sigma_y)*exp((-
((X_rot)/Sigma_x).^2-((Y_rot)/Sigma_y).^2)/2);%exp((-
(X_rot)/(Sigma_x)^2-(Y_rot)/(Sigma_y)^2)/2);
% GaussianMat=myGaussian(x_rot, Sigma_x)*myGaussian(y_rot,
Sigma_y);

% FreqModulation=zeros(size(GaussianMat));

```

```

%
% for n=1:length(y)
%     for m=1:length(x)
%
FreqModulation(n,m)=exp(j*F*2*pi*(x(m)*cos(Theta)+y(n)*sin(
Theta)));
%     end
% end
FreqModulation=exp(j*(F*2*pi*X_rot+Phase_shift));
%
FreqModulation=exp(2*pi*i*F*repmat(x_rot,length(y_rot),1));
%'*ones(size(x_rot));
%
FreqModulation=exp(2*pi*i*F*x_rot)'*exp(2*pi*i*F*y_rot+Phase_
shift); %repmat(exp(2*i*pi*F*x),m,1);
GaborFilter=GaussianMat.*FreqModulation;

handles.FilterData=GaborFilter; % Save the resulting Gabor
filter
%set(handles.Graph_type_popup,'UserData',GaborFilter);
guidata(hObject,handles);
eventdata='datachanged';
Graph_type_popup_Callback(handles.Graph_type_popup,
eventdata, handles)

function G=myGaussian(x, sigma,mean)
if nargin<3
    mean=0;
    if nargin<2
        sigma=1;
    end
end
end

G=1/(2*pi)*exp(-(x-mean)/sigma).^2/2);

function [x_rot,y_rot]=my_rotate(x,y,Theta)
%function [x_rot,y_rot]=my_rotate(x,y,Theta)
% Rotates X and Y by aple Theta (Theta is given in rad)
x_rot=x*cos(Theta)+y*sin(Theta);
y_rot=-x*sin(Theta)+y*cos(Theta);

function error_accured(handles, error_String)
% function error_accured(handles, error_String)
% the function displays an error string on the GUI screen,
once an error

```

```

% accrues.
set (handles.ErrorText, 'String', error_String);
set (handles.ErrorPanel, 'Visible', 'On'); %set
([handles.ErrorText,
handles.ErrorOffButton], 'Visible', 'On');
% --- Executes on button press in Hold_on_checkbox.
function Hold_on_checkbox_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Hold_on_checkbox (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of
Hold_on_checkbox

% --- Executes on button press in LoadButton.
function LoadButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to LoadButton (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

handles=guidata(hObject);

switch (get(handles.FileTypeMenu, 'Value'))
    case(1)
        %('Image')

FilterSpec={'*.jpg;*.jpeg;*.gif;*.bmp;*.png;*.tiff', 'Image
Files (*.jpg;*.jpeg;*.gif;*.bmp;*.png;*.tiff)'};
        DialogTitle='Select an Image file';
    case(2)
        %('Filter')
        FilterSpec='*.mat';
        DialogTitle='Select a previolsy saved  Filter
file';
    case(3)
        %('Filtered Image')
        FilterSpec='*.mat';
        DialogTitle='Select a previolsy saved  Filtered
Image file';
end

[FileName, PathName, FilterIndex] =
uigetfile(FilterSpec, DialogTitle);
if isequal(FileName, 0)

```



```

        error_accured(handles, 'No such file exists. Choose a
file.')
```

```

    if
strcmpr (get(handles.ApplyFilterButton, 'Enable'), 'On')
        set(handles.ApplyFilterButton, 'Enable', 'Off');
    end

else
    set(handles.FilePathEdit, 'String', PathName);
    set(handles.FileNameEdit, 'String', FileName);
    if
strcmpr (get(handles.ApplyFilterButton, 'Enable'), 'Off')
        set(handles.ApplyFilterButton, 'Enable', 'On');
    end
end

switch (get(handles.FileTypeMenu, 'Value'))
    case (1) %('Image')
        ImageDataTmp=imread([PathName, FileName]);
        if (size(ImageDataTmp, 3)==3) %work with
Gray iamges only!!!
            ImageDataTmp=rgb2gray(ImageDataTmp);
        end
        handles.ImageData=double(ImageDataTmp);
    case (2) %('Filter')
        FilterDataTmp=load([PathName, FileName]);
        handles.FilterData=FilterDataTmp.tmp;
    case {3,4} %('Filtered Image')
        FilteredImageDataTmp=load([PathName, FileName]);
        handles.FilteredImageData=FilteredImageDataTmp.tmp;
end

guidata(hObject, handles);
% --- Executes on button press in SaveButton.
function SaveButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to SaveButton (see GCBO)

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
FileName=get(handles.FileNameEdit, 'String');
PathName=get(handles.FilePathEdit, 'String');

if isempty(strfind(FileName, '.mat'))
    % Error, trying to save .mat output in a non *.mat
file!!!

```

```

        error_accured(handles, 'Attempt to save .mat output in
a non *.mat file!!!')
end
tmp=[];
switch (get(handles.FileTypeMenu, 'Value'))
    case(1)                %('Image')
        %Do nothing here. Saving the image is obsolete at this
point
    case(2)                %('Filter')
        tmp=handles.FilterData;
    case{3,4}              %('Filtered Image')
        tmp=handles.FilteredImageData;
end
if ~isempty(tmp)    save([PathName,FileName], 'tmp'); end;

function FilePathEdit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to FilePathEdit (see GCBO)

% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject, 'String') returns contents of
FilePathEdit as text
%          str2double(get(hObject, 'String')) returns contents
of FilePathEdit as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function FilePathEdit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to FilePathEdit (see GCBO)

% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
function FileNameEdit_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to FileNameEdit (see GCBO)

```

```

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
FileNameEdit as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents
of FileNameEdit as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function FileNameEdit_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to FileNameEdit (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on selection change in FileTypeMenu.
function FileTypeMenu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to FileTypeMenu (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: contents = get(hObject,'String') returns
FileTypeMenu contents as cell array
%          contents{get(hObject,'Value')} returns selected
itm from FileTypeMenu

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function FileTypeMenu_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to FileTypeMenu (see GCBO)

```

```

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background
on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in ShowButton.
function ShowButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ShowButton (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
if (get(handles.NewFigCheckBox,'Value'))
    figure; % if checkbox is on, plot graph in a new window
%    title(['Image of ',
get(handles.FileTypeMenu,'String')]);
%    hold on;
end

switch (get(handles.FileTypeMenu,'Value'))
    case(1) %('Image')
        imshow(uint8(handles.ImageData));
%         if (get(handles.Frequency_radiobutton,'Value'))
%             image(abs(fft2(handles.ImageData)));
%         else
%             imshow(uint8(handles.ImageData));
%         end
    case(2) %('Filter')
        eventdata='Show Button was pressed';
        Graph_type_popup_Callback(hObject, eventdata,
handles)
    case(3) %('Filtered ImageAmplitude')
        if isempty(handles.FilteredImageData)
            eventdata='Filtered Image data is needed';
            ApplyFilterButton_Callback(hObject, eventdata,
handles);
%             guidata(hObject,handles);
%             handles=guidata(hObject); % update handle
structure
        end

```

```

%         if (get(handles.Frequency_radiobutton,'Value'))
%             image(abs(fft2(handles.FilteredImageData)));
%         else
%
imshow(uint8(real(handles.FilteredImageData))); % Showing
only real part of filtered image
%         end

imshow(Scale2Uint(abs(handles.FilteredImageData))); %
Showing only absolute value of the filtered image
    case(4)    %('Filtered Image Phaze')
        if isempty(handles.FilteredImageData)
            eventdata='Filtered Image data is needed';
            ApplyFilterButton_Callback(hObject, eventdata,
handles);
        end
%         imshow(uint8(angle(handles.FilteredImageData))); %
Showing only real part of filtered image

scaled_amp=Scale2Uint(abs(handles.FilteredImageData));

scaled_phase=Scale2Uint(angle(handles.FilteredImageData));
%         ind=scaled_amp==0;
%         scaled_phase(ind)=0;%set phase for low
amplitudes to zero
        scaled_phase(scaled_amp<1)=0;%set phase for low
amplitudes to zero

        imshow(scaled_phase); % Showing the angle value of
the filtered image
    case(5)    %('Laplasina(Filtered Image Phaze)')
        if isempty(handles.FilteredImageData)
            eventdata='Filtered Image data is needed';
            ApplyFilterButton_Callback(hObject, eventdata,
handles);
        end
%         imshow(uint8(angle(handles.FilteredImageData))); %
Showing only real part of filtered image

imshow(Scale2Uint(del2(angle(handles.FilteredImageData))));
% Showing the angle value of the filtered image
    case(6)    %('Gaussian(Filtered Image Phaze)')
        if isempty(handles.FilteredImageData)
            eventdata='Filtered Image data is needed';

```

```

        ApplyFilterButton_Callback(hObject, eventdata,
handles);
        end
%       imshow(uint8(angle(handles.FilteredImageData))); %
Showing only real part of filtered image

imshow(Scale2Uint(gradient(angle(handles.FilteredImageData)
))); % Showing the angle value of the filtered image
end
if (get(handles.NewFigCheckBox, 'Value'))
    temp_str_arr=get(handles.FileTypeMenu, 'String');

temp_str=temp_str_arr(get(handles.FileTypeMenu, 'Value'));
    title(temp_str, 'FontSize', 18);
end
% --- Executes on button press in ApplyFilterButton.
function ApplyFilterButton_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to ApplyFilterButton (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
handles=guidata(hObject);
if isempty(handles.ImageData)
    error_accured(handles, 'No Image file loaded');
end
set(handles.GaborFiltGUI, 'Pointer', 'watch'); drawnow;
% uiwait(handles.GaborFiltGUI);

if size(handles.ImageData, 3) == 3
    handles.FilteredImageData = [];
    for i = 1:3

handles.FilteredImageData(:, :, i) = filter2(handles.FilterData
, handles.ImageData(:, :, i), 'same');
        end
    else

handles.FilteredImageData = filter2(handles.FilterData, handle
s.ImageData, 'same'); %conv2(handles.FilterData, handles.Image
Data);
    end
set(handles.GaborFiltGUI, 'Pointer', 'arrow'); drawnow;
guidata(hObject, handles);

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function GaborFiltGUI_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to GaborFiltGUI (see GCBO)

% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called
handles=guidata(hObject);
home; % scrole screen up
fprintf('\n\n %s \n\n', '(olayS) Gabor Filter generation and
application GUI started ');
handles.ImageData=[];          % Init vriables, so isempty
function can be applied to them.
handles.FilterData=[];
handles.FilteredImageData=[];
guidata(hObject,handles);
% --- Executes on button press in ErrorOffButton.
function ErrorOffButton_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to ErrorOffButton (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
%set ([handles.ErrorText,
handles.ErrorOffButton], 'Visible', 'Off');
set (handles.ErrorPanel, 'Visible', 'Off');
% --- Executes on button press in NewFigCheckBox.
function NewFigCheckBox_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to NewFigCheckBox (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of
NewFigCheckBox
% -----
-----
function AboutMenu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to AboutMenu (see GCBO)

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
web('GaborFilterDesighnAbout.htm');
% -----
-----

```

```

function HelpMenu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to HelpMenu (see GCBO)
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
web('GaborFilterDesighnHelp.htm');
%% Servise sub functions
function scaled_mat=Scale2Uint(temp) % rescale data to be
in margins of UINT8[0-255]
temp=double(temp);
temp_min=min(temp(:));
temp_max=max(temp(:));
temp=temp-temp_min;
temp=255*temp/(temp_max-temp_min);
scaled_mat=uint8(temp);

```


Додаток Б. Документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації



АКТ

про впровадження у навчально-науковий процес
Національного авіаційного університету

результатів дисертаційної роботи Фесенка Андрія Олексійовича на тему «Методи обробки даних для систем ідентифікації та автентифікації на основі біометричних характеристик ока».

Комісія у складі:

Голова комісії: Павленко П.М., д.т.н., професор, відповідальний з навчально-методичної роботи та міжнародної діяльності ННІДС

Членів комісії: Гумен М.Б., к.т.н., доцент, відповідальний за навчальну роботу ННІДС
Квасніков В. П., д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій ННІДС
Козловський В.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри засобів захисту інформації ННІДС

яка діє на підставі розпорядження Філоненка С.Ф. директора навчально-наукового інституту інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету від «20» жовтня 2015р. №70, засвідчує, що результати дисертаційної роботи Фесенка А.О. на тему «Методи обробки даних для систем ідентифікації та автентифікації на основі біометричних характеристик ока» впроваджені у навчально-науковий процес навчально-наукового інституту інформаційно-діагностичних систем, а саме:

- впроваджено статистичний метод прийняття рішень в системах контролю і управління доступом на основі статистичних критеріїв, який за рахунок використання нормованої відстані Хеммінга – як міри схожості в біометричних системах ідентифікації, в лабораторний практикум з дисципліни “Автоматизовані системи сигналізації, відеоспостереження і контролю доступом” спеціальності 125 “Кібербезпека”;


- впроваджено результати дослідження особливостей кодування зображення, який за рахунок фазових відгуків при обробці модифікованим DoG-фільтром, дозволяє кодувати один піксель зображення, одним бітом інформації, в курс лабораторних робіт з дисципліни “Автоматизовані системи сигналізації, відеоспостереження і контролю доступом” спеціальності 125 “Кібербезпека”;


- впроваджено інтегрально-диференціальний метод локалізації зображення райдужної оболонки ока на зображенні обличчя людини, який за рахунок попередньої НЧ-фільтрації (інтегрування) дозволяє зменшити локальні зміни інтенсивності пікселів, а наступна ВЧ-фільтрація (диференціювання) дозволяє виділити межі райдужної оболонки ока, в лабораторний практикум з дисципліни “Цифрова обробка сигналів”, напряму підготовки 6.170102 «Системи технічного захисту інформації»;

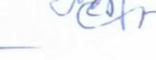
- розроблені в дисертаційній роботі методи та програмні модулі застосовуються аспірантами кафедри засобів захисту інформації в науковій роботі та підготовці дисертаційних робіт.


Голова комісії:

Члени комісії:

 П.М. Павленко

 М.Б. Гумен

 В. П. Квасніков

 В.В. Козловський