

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської підготовки

Кафедра Інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Оптимізація керування бізнес-процесами в системах електронної
комерції»

Виконав студент 2 курсу групи

МІС-18 спеціальності 122

Комп'ютерні науки

Козуба Олексій Вікторович

Керівник д.т.н., проф.

Казакова Н.Ф.

Консультант

Рецензент д.т.н., проф.

Положаєнко С.А.

Одеса 2020

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	6
Вступ	8
1 Огляд та аналіз поточного стану технологій розпізнавання образів з метою їх використання у сучасних системах захисту інформації.....	9
1.1 Аналіз поточного стану технологій та перспектив їх удосконалення.	9
1.2 Визначення цільових завдань СЗІ, які використовують біометричні дані	14
1.2.1 Узагальнення проблеми обробки візуальної інформації у СЗІ .	14
1.2.2 Огляд та аналіз механізмів спостереженості, які базуються на використанні технологій аутентифікації	18
1.3 Огляд передумов застосування багатоагентних методів виділення інформативних ознак зображень у системах доступу	20
1.4 Узагальнення проблеми та вибір системи інформативних ознак для систем біометричної ідентифікації	21
1.5 Огляд та вибір критерію якості функціонування алгоритмів виділення контурів зображень	24
2 Розробка та удосконалення технологій виділення інформативних ознак зображень у засобах СЗІ	26
2.1 Вибір інформативних ознак зображень для розв’язку задачі біометричної ідентифікації особи засобами СЗІ	26
2.1.1 Вибір предмета та технології розпізнавання	26
2.1.2 Аналіз класичного алгоритму Canny щодо виділення контурів об’єктів ідентифікації у СЗІ	28
2.2 Дослідження та вибір систем контурних ознак для СЗІ. Бінаризація цифрових зображень у системах доступу	30
2.2.1 Визначення розміру ковзного вікна	30
2.2.2 Розробка алгоритму обчислення індексу якості цифрового зображення, яке є предметом ідентифікації	32

2.2.3	Формування системи контурних ознак	43
2.3	Застосування та аналіз результатів багатоагентного методу виділення інформативних ознак зображень у системах доступу	43
3	Розробка способу замкнення контурів на довільній матриці растрового зображення	49
3.1	Постановка завдання щодо замкнення контурів об'єктів та розробка способу його вирішення.....	49
3.2	Опис алгоритму роботи програмно-технічного пристрою замкнення контурів об'єктів.....	52
3.3	Аналіз результатів роботи програмно-технічного пристрою замкнення контурів об'єктів.....	54
3.4	Синтез методу виділення контурів у системах ідентифікації на основі усереднення перепадів яскравості	56
	Висновки.....	71
	Перелік джерел посилання.....	73
	Додаток А Лістинги програмного коду	78
А.1	Лістинг програми виділення контуру біоінспірованим алгоритмом	79
А. 2	Лістинг програми виділення контурів з півтонового зображення...	81
А. 3	Лістинг програми пошуку та порівняння	83
А. 4	Лістинг програмної реалізації детектора меж	85
А.5	Лістинг програми порівняння зображень та генерації файлу відмінностей.....	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- БМ – багатоагентний метод обробки зображень з використанням біоінспірованого алгоритму у поєднанні з методом замкнення контурів;
- ВПП – вірогідності помилкової прив’язки;
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
- ЗІ – захист інформації;
- ІБ – інформаційна безпека;
- ІС – інформаційна система
- ОЯР – оцінка якості роботи
- ПЗУ – постійний запам’ятовуючий пристрій;
- ПССШ – пікове співвідношення сигнал/шум;
- РД – розраховані дані;
- СЗІ – система захисту інформації;
- СКО – середньоквадратичне відхилення (для шуму);
- ТЗІ – технічний захист інформації;
- ТССП – технологічна система спеціального призначення.
- ASID – Automated Suspect Identification System, автоматична система розпізнавання обличь фірми Smith&Wesson;
- BMP – Bitmap Picture, формат зберігання растрових зображень, розроблений компанією Microsoft;
- CCITSE – Common Criteria for Information Technology Security Evaluation, єдині критерії оцінки безпеки інформаційних технологій;
- CORDIC – Coordinate Rotation Digital Computer, цифровий обчислювач повороту системи координат;
- ECITS – Evaluation Criteria for IT Security, критерії оцінки безпеки інформаційних технологій;

- ED – Edge Thinning, формування тонких меж;
- EL – Edge Linking, компенсація меж;
- FAR – False Acceptance Rate, коефіцієнт помилкового доступу;
- FRR – False Rejection Rate, коефіцієнт помилкової відмови в доступі;
- FTA – Failure to Acquire Rate, помилка збору даних;
- FTE – Failure to Enroll Rate, помилка реєстрації;
- GIF – Graphics Interchange Format, формат для обміну зображеннями: формат графічних зображень, який здатний зберігати стислі дані без втрати якості у форматі не більше 256 кольорів;
- IQI – Image Quality Index, індекс якості зображення;
- ITSEC – Information Technology Security Evaluation Criteria, критерії оцінки безпеки інформаційних технологій;
- JPEG – Joint Photographic Experts Group, графічний формат, який застосовується для зберігання фото- і подібних їм зображень, та дозволяє стискати зображення як з втратами, так і без них;
- NMS – Non-Maximum Suppression, точки, які не досягають максимального значення, але знаходяться у визначеній окрузі точок межі;
- PSD – Photoshop Document, растровий формат збереження графічної інформації, що використовує стиснення без втрат, створений для програми Adobe Photoshop;
- RGB – Red, Green, Blue, червоний, зелений, синій: адитивна кольорова модель, яка описує спосіб синтезу кольору;

ВСТУП

Технічний прогрес та розширення доступу до інформації за допомогою комп'ютерних засобів благотворно позначилися на всіх галузях виробництва та технологічних процесах. Відповідно, організаційні, технічні, правові та інші заходи стосовно захисту інформації в технологічних системах як звичайного, так і спеціального (критичного) застосування, стали річчю критично важливою, оскільки збереження інформації про технологічні таємниці є одним з основних аспектів фінансово-економічної та інформаційної безпеки. Це спонукає розробників систем захисту інформації (СЗІ) до розробки та впровадження жорстких заходів безпеки, включаючи засоби забезпечення доступу, аналітики та формування доказів причетності особи до інцидентів, пов'язаних з інцидентами інформаційної безпеки. Зважаючи на це, важливим елементом розвитку СЗІ є розробка методів ідентифікації користувачів. Однією із тез стосовно цього є те, що інформаційні системи (ІС) повинні бути стійкими до навмисного проникнення.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ З МЕТОЮ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Аналіз поточного стану технологій та перспектив їх удосконалення

На сьогоднішній день в різних галузях науки і техніки відчувається зростання потреб у переробці, аналізі та відображенні візуальної інформації. Як слідує з загальнодоступних літературних джерел, це відноситься і до СЗІ, де одним з найважливіших шляхів їх розвитку є створення пристроїв ідентифікації особи абонента з використанням біометричних даних в цілях захисту інформації від несанкціонованого використання або навмисного спотворення.

Задача відноситься до проблем, які вирішуються у рамках теорії розпізнавання образів. Загальноприйняті уявлення про теорію розпізнавання образів розуміють, що задача розпізнавання відноситься до класу задач, які вирішуються у рамках цифрової обробки сигналів. Проте, як зазначається у чисельних наукових джерелах [1]-[3]¹⁾, поняття про теорію розпізнавання образів потребує свого уточнення, і на основі цього, потребує уточнення формальна постановка задачі щодо розпізнавання образів в області СЗІ.

На момент проведення досліджень за темою дипломної роботи, загальний стан біометричних технологій у світі ще не можна визнати задовільним. Мова лише йде про біометрію, як про науково-практичний напрямок, який швидко розвивається та має достатньо велику множину областей дослідження

¹⁾ [1] Common Criteria [Електронний ресурс] / Портал : Вільна енциклопедія. – Режим доступу \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Common_Criteria#. D0.A1.D0.BF.D0.BE.D1.81.D1.82.D0.B5.D1.80.D0.B5.D0.B6.D0.B5.D0.BD.D1.96.D1.81.D1.82.D1.8C. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 14.11.2018.

[2] Bonsor, K. How Facial Recognition Systems Work [Електронний ресурс] / K. Bonsor, R. Johnson // Портал : Howstuffworks – Режим доступу \www/ URL: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/facial-recognition.htm>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 12.11.2018.

[3] Искусственный интеллект. Книга 1. Системы общения и экспертные системы: довідник / коллект. авторов ; под. ред. Э. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с

і розробки практичних додатків. Досягнення у ньому необхідних якісних показників, як показав цілий ряд перевірок, проведених останнім часом, показав недостатню надійність таких систем. Так, наприклад, поліцейське управління міста Тампа, штат Флорида (США), після двох років експлуатації, вивело з експлуатації за марністю програмне забезпечення впізнання осіб, яке працювало разом з камерами зовнішнього спостереження. Передбачалося, що технічне оснащення в комплекті з програмним забезпеченням сканування/упізнання осіб, приєднані до бази правопорушників та дітей, що знаходяться у розшуку, підвищить ефективність роботи поліції. Однак, за два роки система не дала ні єдиного успішного результату.

Відомий звіт японського криптографа Ц. Мацумото, який привів десять прикладів, де він приймав участь з метою компрометації систем ідентифікації користувачів по відбитках пальців. Аналогічне дослідження було проведене у Німеччині одним із комп'ютерних журналів. Висновки були однозначні: біометричні системи для споживчого ринку не досягли того рівня та ефективності, коли їх можна було б розглядати в якості реальної альтернативи традиційним паролем.

Що стосується систем розпізнання користувача по відбиткові пальця, то тут найпоширенішим способом обману є повторне «оживлення» уже наявного відбитка, залишеного зареєстрованим користувачем. Так, «штучний палець», відлитий у парафіновій формі з силікону, дозволив дослідникам здолати всі дактилоскопічні системи, які можна було знайти для тестування.

Систему впізнання осіб по характерним особливостях обличчя, групі експертів вдалося ввести в оману, пред'явивши фотографію зареєстрованого користувача.

Експертна група показала, що більш складно ввести в оману систему для розпізнання по райдужній оболонці ока. При такому способі інфрачервоні датчики реагують не тільки на характерний візерунок зображення райдужки, але й на глибину розташування зіниці. Однак, експерти зробили невеликий отвір на

місці зіниці у фотознімку ока, куди під час розпізнання дивилася інша людина. Як результат, системою було прийняте невірне рішення.

Однак, незважаючи на загальну негативну оцінку сучасного стану біометричних систем ідентифікації особистості, в усьому світі спостерігається тенденція до розвитку досліджень та розробок в області біометрії. При цьому однією з основних тенденцій є поступовий перенос пріоритетів з контактних на безконтактні методи біометричного розпізнавання. Причиною цього є підвищення вимог до функціональних можливостей автоматичних систем безпеки, пов'язаних з необхідністю в реальному часі виконувати необхідні дії по встановленню особистості присутніх на контрольованій території людей, причому, досить часто – потай, тобто не тільки безконтактно (дистанційно), але й без спеціального дозволу на використання біометричних ознак з боку персон, які ідентифікуються. Створенню таких біометричних систем нового покоління перешкоджають ряд проблем, які поки що ще не мають адекватного розв'язку.

Дослідженнями різних аспектів проблеми розпізнавання на сьогодні займаються тисячі зарубіжних організацій. Є потужні наукові центри в Японії, Франції, Канаді, Швеції та інших країнах: Масачусетський технологічний інститут, Каліфорнійський та Карнегі-Мелонський університети, Хаскінська та Беловська лабораторії, дослідницькі центри фірм IBM та BBN, фірми Scott Instruments Inc., Kurzweil Applied Intelligence Inc., Voice Processing Corp., Texas Instruments, NliC та дослідницькі центри Університетів міст Токіо та Кіото, Шведський Королівський Технологічний Інститут, Гельсінський Університет. До провідних зарубіжних вчених, які займалися та займаються проблемами біометричної ідентифікації, можна віднести P. Phillips, P. Grother, A. Jain, N. Ratha, P. Griffin, D. Maio, D. Maltoni, A. Masnfield, J. Wayman, K. Bowyer, M. Turk, A. Pentland, R. Bolle, A. Ross, J. Daugman, D. Zhang, Karr-Ann Toh та ін.

В Україні та країнах ближнього зарубіжжя кілька десятків організацій також працює в області цифрової обробки біометричних сигналів. Серед цих організацій є три потужних колективи, що проводять повний цикл робіт у га-

лузі розпізнавання, починаючи від комплексних досліджень проблеми та закінчуючи виготовленням дослідних і серійних зразків спеціальної апаратури. До таких колективів відносяться Інститут кібернетики та Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Інститут математики РАН та Інститут технічної кібернетики АН Білорусії.

Проблемам створення біометричних систем ідентифікації особистості також присвячена достатня кількість індивідуальних досліджень як зарубіжних, так і вітчизняних вчених. В першу чергу, необхідно відзначити дослідників Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, та серед них – дослідження Б. Русина, які присвячені розробці нових підходів до побудови біометричних систем аутентифікації та криптографічного захисту, розробці нової системи інформативних ознак зображень людини та методи їх ідентифікації. Багато праць Б. Русина присвячені розробці математичних моделей процесу захисту криптографічних ключів, які використовують біометричні ознаки людини. Ним також висвітлені питання створення моделі біометричного екстрактора випадкових величин, що надало імпульсу вченим та дослідникам щодо виділення важливих для процесу захисту параметрів: втрати ентропії криптографічного ключа, стійкості методу захисту, імовірнісних характеристик ідентифікації. Крім зазначеного, у працях Б. Русина показана можливість створення нової структурної схеми клієнт-серверної системи з криптографічним захистом інформації, яка базується на біометричних показниках.

Також слід відмітити праці В. і Ю. Глущенко (СНУ ім. В. Даля), основним науковим спрямуванням яких є дослідження концептуальних питань побудови інтелектуальних систем захисту від несанкціонованого доступу на основі забезпечення ідентифікації доступу до інформаційних ресурсів через розпізнавання образів. У статті [4]¹⁾ зазначені автори відзначають, що одним з напрямків, які забезпечують безпеку на об'єктах інформаційної діяльності, є

¹⁾ [4] Глущенко, В. Е. Концептуальные вопросы построения интеллектуальных систем защиты от несанкционированного доступа – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – 2007. – №5. – С. 45-50.

створення інтелектуальних біометричних систем розпізнавання особистості. Автори запропонували під «біометричної системою розпізнавання особистості» розуміти систему, яка забезпечує розпізнавання образу людини на основі аутентифікації та аналізу її фізичних параметрів.

Базові теоретичні та практичні питання напрямку, який зазначено вище, також знайшли відображення в наукових і практичних роботах вітчизняних та російських вчених і фахівців, включаючи М. Згуровського, Г. Осипова, В. Гладуна, В. Донського, О. Кузнецова, В. Хорошевського, В. Крилова та ін. Багато праць пов'язаних з розробкою та практичним застосуванням алгоритмів біометричного розпізнавання особи належить Т. Павлідісу, П. Харту, Е. Брібієсці, Д. Авісу, Б. Скачеру, Х. Фенгу, К. Фу та ін.

Проблеми відновлення інформації у системах розпізнавання образів та у спеціальних системах моніторингу інформаційного простору, відображені у роботах О. Агаркова та К. Ньюькіна, а теоретичні питання відновлення та оптимізації інформації в системах прийняття рішень найшли своє відображення у працях В. Баранова, М. Браїловського, А. Засядько, Н. Казаковой, В. Хорошко, А. Петрова, Ю. Яремчука та ін.

Серед російських вчених слід відзначити М. Загоруйко. Його праці з зазначених проблем мають всесвітню відомість та є основою для досліджень надзвичайно великого кола спеціалістів в області розпізнавання образів та ідентифікації – С. Айвазяна, О. Боровкова, В. Вапника, Г. Волошина, Ю. Вороніна, В. Гусєва, Е. Діде, Е. Євреїнова, Ю. Журавльова, Л. Кенала, В. Ковалевського, Ю. Косарева, Л. Мешалкіна, Д. Мікі, Р. Михальського, Ж.-К. Симона, В. Ольшевського, Л. Растрігіна, Ш. Раудіса, С. Самохвалова, Ф. Тарасенка, Е. Цветкова та багатьох інших.

Математичний апарат ідентифікації людини по зображенню обличчя у достатній мірі викладений у працях Л. Даля. Алгоритми ідентифікації людини за фотопортретом на основі геометричних перетворень висвітлені Д. Самалем.

Н. Татарченко та С. Тимошенко приводять основи біометричної ідентифікації в інтегрованих системах безпеки, а базові принципи автоматизації проектування комплексних систем захисту інформації за зазначеними принципами, відображені В. Аверченком та М. Ритовим. Високонадійні біометричні аутентифікаційні системи щодо розпізнавання користувачів інформаційних системи описані у працях О. Іванова та А. Малигіна. Розробка та дослідження алгоритмів розпізнавання зображень на основі визначення екстремальних ознак замкнених контурів висвітлені у працях О. Рюміна. Алгоритми аналізу зображення обличчя людини для побудови інтерфейсу людина-комп'ютер розглянуті у працях В. Вежнєвца.

Таким чином, вище зазначене підтверджує, що поставлені завдання є актуальними питаннями щодо подальшого їх дослідження.

Як слідує зі сказаного, з вирішенням зазначених проблем можуть бути зв'язані істотні прориви в області біометричних технологій у найближчі роки.

1.2 Визначення цільових завдань СЗІ, які використовують біометричні дані

1.2.1 Узагальнення проблеми обробки візуальної інформації у СЗІ

Завдання розпізнавання образів у СЗІ, згідно до багатьох літературних джерел, включаються у коло задач штучного інтелекту.

У напрямку загальної теорії розпізнавання образів прийнято виділяти три основних типи завдань, які ще в 1986 році виділив Т. Павлідіс [5]¹⁾ у рамках проблеми обробки візуальної інформації. З тим пір виділені ним завдання ніким уточнені та дороблені у сенсі класифікації не були. Взаємозв'язок трьох перерахованих типів завдань так, як це зроблено в [6]²⁾, приведено на рис. 1.1.

Як видно з рис. 1.1, обробка зображень у СЗІ, пов'язана з перетворенням образотворчої інформації знову в образотворчу форму. Основною метою

¹⁾ [5] Павлідіс, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений – М. : Радио и связь, 1986. – 394 с.

²⁾ [6] Искусственный интеллект. Книга 1. Системы общения и экспертные системы : довідник / коллект. авторов ; под. ред. Э. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с.

такого перетворення є, за необхідністю, усунення шумів, спотворень та інших дефектів на зображенні, що веде до поліпшення якості одержуваної візуальної інформації шляхом підвищення контрасту, підкреслення контурів об'єктів та ін. Основні напрямки обробки зображень виділені М. Горським та В. Олександровим у праці [7]¹⁾.



Рисунок 1.1 – Взаємозв'язок напрямків обробки зображень

Слідуючи логіці, з рис. 1.1 та з [6]²⁾, встановлено, що завданням аналізу зображень у СЗІ є отримання з зображення, поданого на вхід системи, необра- зотворчого опису. Як показано в [6], опис образів у СЗІ може бути різних рівнів спільності – від простого зазначення номера або імені класу, до якого належить аналізоване зображення, до докладної текстової характеристики спостережува- ної сцени із зазначенням окремих об'єктів та відносин між ними. В останньому випадку мова йде про «розуміння» зображень.

Стосовно задачі ідентифікації особи абонента інформаційної або іншої мережі з обмеженим доступом, де в цілях захисту інформації від несанкціо- ваного використання або навмисного спотворення, можуть використовуватися біометричні показники, приведені у численних літературних джерелах.

Не зважаючи на велику кількість досліджень, включаючи дослідження у СЗІ, створення штучних систем розпізнавання у сенсі ідентифікації конкретної особи залишається складною теоретичною та технічною проблемою. Необхід- ність у такому розпізнаванні виникає в самих різних областях – від військової

¹⁾ [7] Александров, В. В. Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных. – Л. : Наука, 1983. – 208 с.

²⁾ [6] Искусственный интеллект. Книга 1. Системы общения и экспертные системы : довідник / коллект. авторов; под. ред. Э. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с.

справи та систем безпеки до оцифровки всіляких аналогових сигналів. Аналіз численних наукових праць показав, що можна виділити два основних напрямки розпізнаванні образів:

- вивчення здібностей до розпізнавання, якими володіють живі істоти, пояснення, математичний опис та їх моделювання;
- розвиток теорії та методів побудови пристроїв, призначених для вирішення окремих завдань в прикладних цілях.

Стосовно задач СЗІ, які вирішуються в дипломній роботі, оберемо другий напрям та базуючись на аналізі літературних джерел, визначимо ті методи, які використовуються для автоматичного розпізнавання осіб.

Задача ідентифікації та розпізнавання осіб – це одне з перших практичних завдань, яке стимулювало становлення та розвиток теорії розпізнавання та ідентифікації об'єктів. Згідно до [8]¹⁾, існує дев'ять категорій об'єктів, які відповідають гностичним областям та впливають на прийняття рішень при розпізнаванні та ідентифікації. Кожна з них може бути розділена на менші внутрішні категорії в залежності від прикладної області використання та поставленої мети, що показано у тому ж першоджерелі.

Зосередимося на проблемі підвищення ефективності методів забезпечення спостереженості у технологічних системах спеціального призначення, тобто на задачі розпізнавання осіб. З цією метою нами було використане означення спостереженості так, як це передбачено діючими нормативними документами у сфері захисту інформації [1]²⁾. Поняття, що приведені у зазначеному джерелі, у поєднанні з керованістю, становлять предмет спостереженості.

¹⁾ [8] Распознавание лиц [Электронный ресурс] / Портал : Википедия. – Режим доступа \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_лиц. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 17.11.2018.

²⁾ [1] Common Criteria [Электронный ресурс] / Портал : Вільна енциклопедія. – Режим доступа \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Common_Criteria#. D0.A1.D0.BF.D0.BE.D1.81.D1.82.D0.B5.D1.80.D0.B5.D0.B6.D0.B5.D0.BD.D1.96.D1.81.D1.82.D1.8C. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 14.11.2018.

Інтерес до процедур, які лежать в основі процесу розпізнавання конкретних осіб, завжди був значним, особливо у зв'язку із зростаючими практичними потребами які на сьогоднішній день виникають в охоронних системах, у системах верифікації, в криміналістичній експертизі і т.д. Незважаючи на ясність того факту, що людина добре ідентифікує обличчя людей, зовсім не очевидно, як навчити ЕОМ проводити цю процедуру, в тому числі – як декодувати та зберігати цифрові зображення осіб. Ще менш ясними є оцінки схожості осіб, включаючи їх комплексну обробку. Як показано в [8]¹⁾, можна виділити такі напрямки досліджень проблеми розпізнавання осіб, як нейропсихологічні моделі; нейрофізіологічні моделі; інформаційно-процесуальні моделі; комп'ютерні моделі розпізнавання. Проблема розпізнавання осіб у цих напрямках розглядалася ще на ранніх стадіях становлення комп'ютерного зору. З того часу ряд компаній протягом більше 40 років активно розробляють автоматизовані, а зараз і автоматичні системи розпізнавання людських обличч. Втім, не зважаючи на такий період часу, у [2]²⁾ відзначено, що ефективність системи розпізнавання знаходиться на не досить належному рівні і технології, які її забезпечують, ще потребують істотних удосконалень. Так, автори [2] – К. Bonsor та R. Johnson, – на основі збору та обробки великої кількості статистичних даних та з посиланнями на Electronic Privacy Information Center, показали, що максимальна ступінь розпізнавання у найкращій системі, яка використовується для розпізнавання обличч у Бостонському аеропорту у реальному масштабі часу, досягає 61,4%. Саме цю цифру оберемо у якості опорної при порівнянні ефективності методів забезпечення спостереженості у технологічних системах спеціального призначення. Крім того, основну увагу будемо приділяти

¹⁾ [8] Распознавание лиц [Електронний ресурс] / Портал : Википедия. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_лиц. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 17.11.2018.

²⁾ [2] Bonsor, K. How Facial Recognition Systems Work [Електронний ресурс] / K. Bonsor, R. Johnson // Портал : Howstuffworks – Режим доступу \www/ URL: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/facial-recognition.htm>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 12.11.2018.

технологіям розпізнавання осіб в автоматичному режимі без врахування режимів автоматичного пошуку та розпізнавання осіб в графічних файлах і відеопотоці. Така постановка задачі звужує сфери застосування методів спостереженості, які розробляються, конкретизуючи їх на системах доступу до технологічних мереж спеціального, критичного та іншого використання, враховуючи інші сфери людської діяльності, що пов'язані з ідентифікацією, авторизацією та аутентифікацією.

1.2.2 Огляд та аналіз механізмів спостереженості, які базуються на використанні технологій аутентифікації

Розглянемо механізми спостереженості, які базуються на використанні технологій аутентифікації. У якості базового джерела використаємо [5]¹⁾.

Найпростіший спосіб аутентифікації полягає у попередній ідентифікації на основі користувачького ідентифікатора, тобто реєстраційного імені користувача, і пароля – певної конфіденційної інформації, знання якої передбачає володіння певним ресурсом в мережі. Отримавши введений користувачем логін та пароль, комп'ютер порівнює їх зі значенням, яке зберігається в спеціальній захищеній базі даних і, у випадку успішної аутентифікації проводить авторизацію з подальшим допуском користувача до роботи в системі.

Щодо видів аутентифікації, то є слабка (традиційна) аутентифікація та сильна.

Традиційну аутентифікацію за допомогою пароля називають ще однофакторною або слабкою. За наявності певних ресурсів, підбір пароля є справою часу.

Паралельно, за необхідності, використовується сильна або багатфакторна аутентифікація – на основі двох чи більше факторів. В цьому випадку для аутентифікації використовується не лише інформація відома користувачеві, а й додаткові фактори. Відомості про них містяться у [5].

¹⁾ [5] Павлідис, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М.: Радио и связь, 1986. – 394 с.

До способів аутентифікації відносять інформацію у вигляді паролів та біометричних даних.

Біометрична аутентифікація оснований на унікальності певних антропометричних характеристик людини. У галузі інформаційних технологій термін «біометрія» застосовується в значенні технології ідентифікації особистості. Біометричний захист є найбільш ефективний, ніж такі методи як, використання смарт-карток, паролів, PIN-кодів та ін. Найчастіше використовуються: параметри голосу; візерунок райдужної оболонки ока та карта сітківки ока; риси обличчя; форма долоні; відбитки пальців; форма та спосіб особистого підпису.

Зважаючи, що для підвищення ефективності системи спостереженості, було обрано один з біометричних показників, який базується на безконтактному принципі його отримання, визначимо основні етапи дослідження та проектування.

Так, основними етапами проектування системи біометричної аутентифікації на основі розпізнавання образів (облич) в цілому будуть:

- вибір методу обробки образів;
- розробка математичної моделі;
- реалізація алгоритму роботи модуля аутентифікації системи на основі створеної математичної моделі і методів обробки;
- реалізація системи аутентифікації у складі інформаційної системи;
- тестування системи аутентифікації;
- модифікація коду фрагментів системи у процесі функціонування системи.

Ключовим з етапів є другий – розробка математичної моделі. Він передбачає підбір підходу до побудови моделі: стохастичної чи детермінованої. На думку автора використаний у роботі підхід є стохастичним.

У роботі розробка математичної моделі передбачає:

- розробку моделі, яка враховує б ключові особливості об'єкта дослідження та вибір діагностичних ознак;

– проведення аналізу цих діагностичних ознак та розробка методів для попередньої обробки.

Викладене врахуємо далі при формальній постановці задачі.

1.3 Огляд передумов застосування багатоагентних методів виділення інформативних ознак зображень у системах доступу

Як зазначалося, одним із нових методів ідентифікації є розпізнавання особи по її біометричних показниках і, зокрема, по термограмі обличчя, зміна якої практично не залежить від віку особи, зовнішніх температурних впливів, характерних параметрів зачіски, фізичних чинників та ін.

Як показано в [9]¹⁾, розмірності завдань точної ідентифікації користувачів у системах обмеженого використання, не дозволяють знайти оптимальний розв'язок. Так, точність розпізнавання особи знаходиться в межах 63%, що може бути достатнім для пересічного користувача домашньої або корпоративної мережі (системи) загального використання, але є надзвичайно низькою для спеціальних систем.

Крім розмірності є й інша проблема – багато з завдань забезпечення інформаційної безпеки є NP -повними [10]²⁾, а значить вони не можуть бути вирішені традиційними методами класичної математики. Як наслідок, виникаючі проблеми при розв'язку завдань подібної складності дають ґрунт для розвитку евристичних алгоритмів. Дані, які приведені у [11]³⁾, свідчать про те, що вирішувана задача може бути вирішена саме на їх основі, а саме – біоінспірованими алгоритмами. Як свідчать дослідження [9], біоінспіровані алгоритми є достатньо ефективними як в змісті якості розв'язку, так і в змісті швидкодії.

¹⁾ [9] Кажаров, А. Биоинспирированные алгоритмы. Решение оптимизационных задач. – М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 80 с.

²⁾ [10] Дроздов, С. Комбинаторные задачи и элементы теории вычислительной сложности [Электронный ресурс] // Портал : НашаУчеба. – Режим доступа \www/ URL : http://nashaucheba.ru/v2594/дроздов_с._комбинатор-ные_задачи_и_элементы_теории_вычислительной_сложности?page=14. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 17.11.2018.

³⁾ [11] Кучуганов, А. В. Биоинспирированные алгоритмы выделения информативных признаков изображений. – Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №5. – с. 141-145.

Згідно до [10, 12, 13]¹⁾, їх метою є підвищення якості зображення різними способами. При цьому можуть бути вирішені задачі заміни текстур, точного виділення контурів, підвищення чіткості, зміна контрастності та ін., які, втім, не стосуються питань, що зазначені у меті дисертаційного дослідження – за виключенням шумової фільтрації.

У [11]²⁾ інформативними ознаками називають інформацію, деяким чином здобуту з вихідної інформації, та яка є корисною для рішення деякої задачі. При цьому, основним критерієм вибору системи ознак та способів їх виділення є ризик втрат. Тут же показано, що основою біоінспірованих методів для покращення якості виділення інформативних ознак на зображенні на етапі локального аналізу є: оператор-аналізатор локальних областей, який здійснює аналіз променів, що виходять з центрального пікселя околу 3×3 або 5×5 ; вибір напрямку зміщення околу; виділення особливих точок (кінець гілки, розгалуження, кут) і меж площинних об'єктів.

На етапі фрагментарного аналізу основою біоінспірованих методів є кореляційна оптимізація положення особливих точок (ОТ) шляхом рекурсивного аналізу зони артефактів.

1.4 Узагальнення проблеми та вибір системи інформативних ознак для систем біометричної ідентифікації

Системи інформативних ознак зображень описані у великій кількості літературних джерел (наприклад, [14, 15, 16]³⁾). Слід зазначити, що не всі

¹⁾ [12] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений – М.: Техносфера, 2005. – 997с.

²⁾ [11] Кучуганов, А. В. Биоинспирированные алгоритмы выделения информативных признаков изображений. – Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №5. – с. 141-145.

³⁾ [14] Колодникова, Н. В. Обзор текстурных признаков для задач распознавания образов. – Доклады ТУСУР: Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. – 2004. С. 113-124.

[15] Андреев, Г. А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур. Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3-33

[16] Напряшкин, А. А. Алгоритмическое и программное обеспечение системы интерпретации аэрокосмических изображений для решения задач картирования ландшафтных объектов. – Томск, 2002. – 183 с.

характеристики, розглянуті в них, однаково інформативні при класифікації утворень на зображеннях, які можуть бути використані в системах біометричної ідентифікації. Пояснюється це їх складною програмною реалізацією. У зв'язку з цим, для збільшення обчислювальної ефективності алгоритмів необхідно вирішити завдання аналізу інформативності та оптимізації розширеної системи ознак.

Основне питання при побудові системи ознак полягає в тому, щоб визначити, які та скільки ознак необхідно виділити для надійної класифікації об'єктів на зображенні. При цьому слід керуватися принципом обліку властивостей регулярності об'єкта: якщо об'єкт, який класифікується, має деяку регулярність, то цю регулярність необхідно покласти в основу формування системи ознак. Більш того, необхідно передбачити, щоб ця регулярність була властива всім об'єктам, які належать даному класу [16]¹⁾.

В [17]²⁾ говориться, що формальної процедури завдання вихідної системи ознак поки не існує. Ознаки, використовувані при розв'язку тих або інших завдань, задаються лише на підставі досвіду та інтуїції фахівця. У [17] зазначено, що проблемі вибору інформативних ознак слід виділити два основні моменти, а саме:

- необхідно визначити функціонал інформативності підсистеми ознак;
- необхідно визначити технологію формування послідовностей досліджуваних на інформативність підпросторів ознак.

Насамперед відмітимо, що адекватним завданню оцінювання якості (інформативності) комплексів ознак є лише середній ризик або емпірична оцінка останнього по навчальній вибірці, тобто той же критерій, мінімізацією якого отримано оптимальне правило розпізнавання образів: у нашому випадку – контурів.

¹⁾ [16] Напряшкин, А. А. Алгоритмическое и программное обеспечение системы интерпретации аэрокосмических изображений для решения задач картирования ландшафтных объектов. – Томск, 2002. – 183 с.

²⁾ [17] Загоруйко, Н. Г. Методы распознавания и их применение. – М.: Советское радио, 1972. – 208 с.

Що стосується способів вибору підпросторів ознак, то різноманітність застосовуваних на практиці способів є невеликою. Зазначимо, що розв'язок поставленого завдання є відомим та тривіальним: для одержання оптимальної підсистеми з k ознак, обраних серед n вихідних компонентів вектора спостереження, потрібно лише зробити порівняння обчислених на різних k -мірних підпросторах значень критерію інформативності та зафіксувати той набір k ознак, на якому обраний критерій досягає оптимуму. Кількість таких підрахунків критерію оптимальності дорівнює числу $\binom{n}{k}$ – комбінацій з n ознак по k . Але навіть для порівняно невеликих k та n , кількість підрахунків становить астрономічні цифри щодо витрат машинного часу.

В [18]¹⁾ показана практична реалізація комбінованого алгоритму вибору інформативних підпросторів k ознак. Він являє собою модифікований варіант усіченого перебору. Процес розширення системи ознак блоками триває доти, поки інформативна сукупність $i + j + \dots + l$ k ознак не досягнеться шуканої величини k . В окремому випадку, зважаючи на $i = j = \dots = l = 1$, можна отримати алгоритм «Б».

Аналогічне узагальнення допускає алгоритм усіченого перебору підпросторів «А», у якому скорочення вихідної розмірності n також здійснюється блоками в режимі умовно повного перебору. Тим самим пропонується алгоритм дозволяє розглядати додаткові варіанти просторів ознак та досліджувати їх на інформативність.

Найбільш доцільними та наочними ознаками для розв'язку завдання біометричної ідентифікації, є ознаки, які базуються на побудові одномірних гістограм. Саме цьому критерію відповідає приведений апарат дослідження системи інформативних ознак зображень. При цьому необхідна попередня обробка зображень з метою поліпшення якості розпізнавання та його ймовірності.

¹⁾ [18] Pushkareva, T.G. Detection of fires from satellite images using a nonparametric algorithm of pattern recognition in space of the informative parameters. Proceedings of SPIE. – 2000. С. 283-285.

1.5 Огляд та вибір критерію якості функціонування алгоритмів виділення контурів зображень

Для порівняння різних алгоритмів відновлення зображень та виділення контурів, було встановлено, що при дослідженнях доцільно використовувати наступні критерії якості:

- Середньоквадратична помилка або середній квадрат помилок (MSE):

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m;n) - \tilde{B}(m,n)]^2,$$

- Середня абсолютна помилка (MAE):

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |B(m,n) - \tilde{B}(m,n)|.$$

- Нормована середньоквадратична помилка (NMSE)

$$NMSE = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m;n) - \tilde{B}(m,n)]^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m,n)]^2}.$$

- Нормована абсолютна помилка (NAE)

$$NAE = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |B(m,n) - \tilde{B}(m,n)|}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |B(m,n)|}.$$

- Відношення сигнал/шум (SNR)

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m;n)]^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m,n) - \tilde{B}(m,n)]^2}.$$

Використання логарифмів дозволяє згладити MSE та зробити її менш чутливою до малих змін відновлюваних зображень.

- Середня різниця (AD)

$$AD = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m,n) - \tilde{B}(m,n)].$$

– Максимальна різниця (англ.: MD)

$$MD = \text{Max}(|B(m,n) - \tilde{B}(m,n)|)$$

– 8. Пікове відношення сигнал/шум (англ.: Peak Signal To Noise Ratio)

Згідно до літературних першоджерел, доцільним є подальше використання модифікованого алгоритму знайдення MSE, а саме – PSNR (англ.: Peak Of Signal-To-Noise Ratio). Це пояснюється тим, що PSNR частіше інших параметрів застосовується для оцінки подібності між вихідним і відновленим зображеннями.

У порівнянні з MSE, PSNR є кращим тому, що обчислюється в логарифмічній шкалі по амплітуді. Це важливо, тому що око сприймає сигнал у логарифмічній шкалі по амплітуді і, відповідно, посилення амплітуди сигналу у два рази не означає для людини поліпшення якості зображення в стільки ж раз

$$- PSNR = 10 \log \frac{(2^b - 1)^2}{MSE}, \text{ де } b - \text{число біт на значення пікселя зображення.}$$

Виявлено, що одним з недоліків даного способу є висока чутливість до середньої відмінності сигналів по амплітуді, що часто приводить до помилкового результату, наприклад, у випадках, коли сигнали небагато відрізнялися в середньому по амплітуді.

2 РОЗРОБКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДІЛЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ЗОБРАЖЕНЬ У ЗАСОБАХ СЗІ

2.1 Вибір інформативних ознак зображень для розв’язку задачі біометричної ідентифікації особи засобами СЗІ

2.1.1 Вибір предмета та технології розпізнавання

Складна структура біометричних показників людини не дозволяє ефективно вирішувати завдання аналізу даних по спектральних ознаках безпосередньо так, як це показано, наприклад, [19-21]¹⁾. Спектральні портрети окремих об’єктів, які можуть бути використані в якості предмета ідентифікації та аутентифікації, як правило, не є стаціонарними, тому що залежать від багатьох факторів, включаючи емоційний стан людини, температурні умови, маскуючі ознаки, положення об’єкта і т.д. Як було показано раніше, найбільш стаціонарними ідентифікаторами окремої особи можуть бути її термограми, які не змінюються у часі, від впливу зовнішнього середовища, від віку людини та ін. На основі аналізу термограм системи доступу мають можливість розрізняти навіть близнюків, що до теперішнього часу не вдавалося жодній з систем, включаючи системи аналізу ДНК. Втім, щоб підвищити достовірність щодо прийняття рішень, необхідно використати апіорну інформацію про геометрію зйомки, з одного боку, і контекстну інформацію самих зображень – з іншого.

Згідно до [19], контекстна інформація спостережень виражається у вигляді просторової організації елементів, меж та самих об’єктів. Найпростішою формою контекстної інформації для пікселя зображення є околиця цього пік-

¹⁾ [19] Колоднікова, Н. В. Обзор текстурных признаков для задач распознавания образов. Доклады ТУСУР : Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. – 2004. – С. 113-124.

[20] Спектральный анализ меридиональной системы [Електронний ресурс] / Портал : tusur.ru. – Режим доступу \www/ URL: <http://skfb.ru/p110aa1.html>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 17.11.2018.

[21] Традиционные методы биометрической аутентификации и идентификации / П. М. Азизов, Е. А. Воробей, В. М. Колешко. – Минск: БНТУ, 2009. – 107 с.

селя. У зв'язку з цим, в [22]¹⁾ доведене твердження про те, що об'єктне вирішальне правило, коли береться фрагмент цілком, ефективніше піксельного вирішального правила.

Наступною формою контекстної інформації є поняття про контур. Таке поняття є функціоналом набору пікселів фрагмента. Перевага знаходження контурних ознак полягає в потенційних можливостях агрегації контекстної інформації з певними властивостями інваріантності під конкретне завдання розпізнавання образів з наступною ідентифікацією та аутентифікацією за встановленими правилами.

На жаль, не існує загальноприйнятої теорії синтезу контурних ознак, що забезпечують, наприклад, мінімум середніх помилок розпізнавання. У зв'язку з цим контурні ознаки поки синтезуються окремо для кожного типового випадку, а якість їх перевіряється емпірично для конкретного завдання класифікації. У зв'язку з цим, виправданим може бути узагальнений підхід, який має на увазі синтез великої кількості контурних ознак з наступним дослідженням усіх підмножин створеної системи на інформативність.

Незважаючи на повсюдну присутність усіляких контурів особи на зображеннях та їх важливість для систем біометричної ідентифікації, формального підходу до їхнього опису та строгого визначення не знайдено. Методи розрізнення контурів, як і методи виявлення контурних ознак, розробляються окремо для кожного конкретного випадку.

В [15]²⁾ під поняттям «контурна структура» у контексті знаходження та виділення деякої текстури, розуміється «просторова організація елементів у межах деякої ділянки поверхні». Там же пояснюється, що ця організація обумовлена певним статистичним розподілом інтенсивності сірих тонів або тонів різного кольору. Ділянка вважається контуром, якщо кількість відмічуваних

¹⁾ [22] Протасов, К. Т. Непараметрический алгоритм распознавания объектов подстилающей поверхности Земли по данным аэрокосмической съемки. – Вестник Томского государственного университета. – 2002. – №275. – С. 41-46.

²⁾ [15] Андреев, Г. А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур. Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3-33

на ньому перепадів інтенсивності або змін кольору є досить великою. В [23]¹⁾ під таким же поняттям мається на увазі «деяким чином організована ділянка поверхні». Контур в [24]²⁾, це «матриця або фрагмент просторових властивостей ділянок зображень (в [24] – земної поверхні) з однорідними статистичними характеристиками».

Узагальнені поняття про контури, згруповано та приведено у [15]³⁾. Згідно до цього джерела, контур, це деяка ділянка зображення, але не будь-яка, а тільки та, яка має однорідні статистичні характеристики. Отже, контур можна описати деякими ознаками. Під такими ознаками розумітимемо характерні властивості, загальні для всіх контурів даного класу [15], тобто, наприклад, для класу, який умовно назвемо «клас чорно-білих фотографій».

Ознаки контурів відіграють вирішальну роль для їхньої класифікації, а також при поділі зображень на окремі області, що є важливим положенням для використання контурів у системах ідентифікації. З цією метою проведемо аналіз та складемо систему ознак для виділення контурів відповідно до раніше поставленого нами формального завдання.

2.1.2 Аналіз класичного алгоритму Canny щодо виділення контурів об'єктів ідентифікації у СЗІ

Межі на зображенні можуть бути спрямовані в різних напрямках. Відповідно, алгоритмом Canny передбачено використання чотирьох фільтрів. Метою їх застосування є виявлення горизонтальних, вертикальних та діагональних меж. Використання оператора виявлення меж (наприклад, оператора Со-

¹⁾ [23] Харалик, Р. М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур. – ТИИЭР. – 1979. – Т. 67. – №5.

²⁾ [24] Потапов, А. А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей. – Радиотехника и электроника. – 2003. – Т.48. – №9. – С. 1101-1119.

³⁾ [15] Андреев, Г. А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур. Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3-33

беля) дозволяє знайти значення для першої похідної в горизонтальному та вертикальному напрямках – G_y та G_x відповідно. З цього градієнта алгоритмом Canny отримується кут напрямку межі, тобто:

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right).$$

Далі, відповідно до алгоритму, кут округляється до одного з чотирьох кутів, що представляють вертикаль, горизонталь та дві діагоналі: 0° , 45° , 90° і 135° . За цим проводиться перевірка того, чи досягає величина градієнта локального максимуму у відповідному напрямку. Алгоритм приведено на рис. 2.1 для сітки розміром 3×3 пікселя.

Аналогічно будуються алгоритми для сіток більшого розміру. У результаті отримується двійкове зображення, що містить межі (в ідеалі – так звані «тонкі краї») зображення. Втім, тут проявляється недолік алгоритму – пропуск меж з малими перепадами яскравості та включення до числа меж деталей зображення з великими змінами яскравості.

При зашумленні зображення карту граничних точок забруднювати і просто шум, оскільки алгоритмом не враховується, що граничні точки відповідають не просто перепадам яскравості, а перепадам яскравості між відносно монотонними областями.

Для зниження впливу даного недоліку зображення спочатку необхідно піддати згладжуванню з використанням гаусівської фільтрації, що буде зроблено далі. При такій фільтрації дрібні несуттєві деталі розмиваються швидше, ніж перепади між областями, але при цьому чітко виражені межі розпливаються в жирні лінії. Результати фільтрації відображені далі у роботі на відповідних рисунках. Саме проблемі боротьби з цим явищем приділено більшу частину досліджень, проведених у роботі, та відображених у наступних підрозділах.

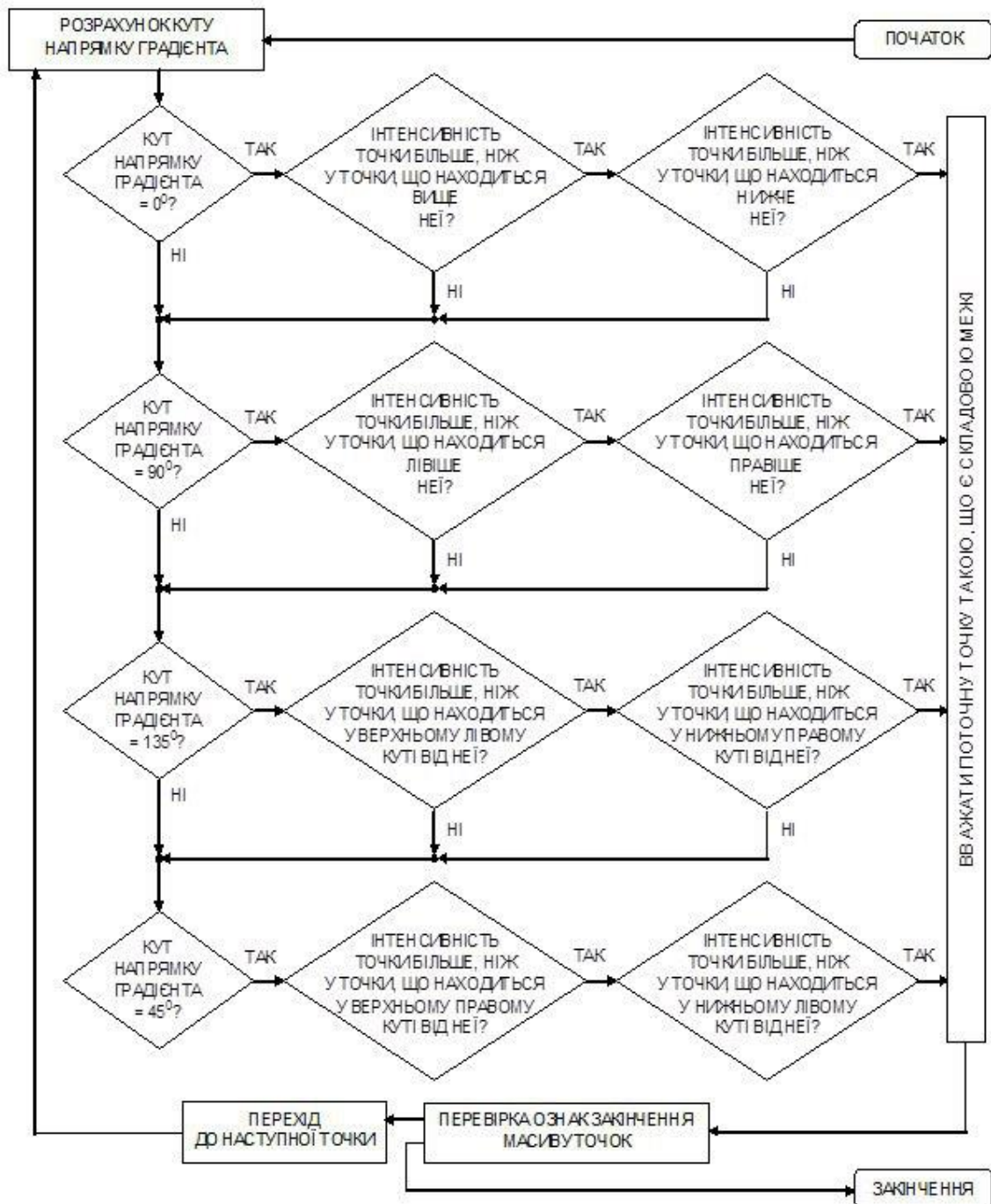


Рисунок 2.1 – Основний алгоритм виявлення належності точки до межі

2.2 Дослідження та вибір систем контурних ознак для СЗІ.

Бінаризація цифрових зображень у системах доступу

2.2.1 Визначення розміру ковзного вікна

Перед тем як розпочати процедуру розпізнавання контуру, необхідно визначити розмір ковзного вікна, за допомогою якого він буде виділятися.

Вибір розмірів вікна обумовлений тим, що контур визначається околицею точки зображення. Від розміру ковзного вікна $(2W + 1)(2W + 1)$ залежить, які властивості об'єктів характеризують обчислювальні ознаки контурів, а також їх масштаб. Так, у більшому вікні відбиваються властивості текстурної однорідності більших об'єктів. При цьому вплив окремих пікселів вікна на величину оцінки знижується, просторове розділення кінцевої класифікації помітно погіршується [25]¹⁾. З іншого боку, у занадто малому вікні може виявитися недостатньо статистичної інформації для адекватного опису властивостей контуру, а також інших об'єктів [16]²⁾.

У [14, 15]³⁾ дослідження впливу розміру вікна на правильну інтерпретацію чисельних значень контурних ознак показало, що у вікнах розміром 3×3 або 5×5 пікселів статистичні контурні виміри більше діють як детектори перепадів яскравості, а не як вимірники контурних ознак, хоча при цьому скорочується час обчислень [24]⁴⁾. Занадто великі розміри вікон можуть спотворити результати через вплив країв окремих структур і самих контурів (границь зображень), тобто у вікно можуть потрапити контури інших об'єктів та контури самого об'єкту, які на момент виділення не є предметом розпізнавання. Однак велике вікно дозволяє досягти високої статистичної ймовірності.

¹⁾ [25] Сергеев, В. В. Параллельно-рекурсивные КИХ-фильтры для обработки изображений. – Компьютерная оптика. – 1992. – №10-11. – С.186-201.

²⁾ [16] Напряушкин, А. А. Алгоритмическое и программное обеспечение системы интерпретации аэрокосмических изображений для решения задач картирования ландшафтных объектов. – Томск, 2002. – 183 с.

³⁾ [14] Колоднікова, Н. В. Обзор текстурных признаков для задач распознавания образов. Доклады ТУСУР : Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. – 2004. С. 113-124.

[15] Андреев, Г. А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур. Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3-33

⁴⁾ [24] Потапов, А. А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей. – Радиотехника и электроника. – 2003. – Т.48. – №9. – С. 1101-1119.

Як виявилось, вікна 20×20 пікселів найбільш ефективні для попередньої загальної текстурної обробки [24]¹⁾. Там же говориться, що при зміні розмірів вікна від 80×80 до 20×20 пікселів чисельні значення контурних ознак змінюються на 5...10%. Подальша зміна розміру вікна приводить до значного спотворення необхідних ознак. Крім того, у [24] зазначено, що розміри ковзного вікна повинні визначатися непарним числом. Це дозволяє досягти симетричних розмірів ковзного вікна при виконанні фільтрації.

Аналогічно до процедури попередньої загальної текстурної обробки у [24, 25]²⁾ показано, що при виділенні контурів розміри ковзного вікна доцільно змінювати від 11×11 пікселів (при обробці напівтонових зображень різної якості) до 3×3 пікселів, що при певних умовах може привести до бінаризації зображення.

Зважаючи на завдання, яке визначене у темі даної дипломної роботи, однією з проміжних цілей є виділення контуру термозображення у вигляді тонкої межі, тобто у вигляді бінаризованого зображення. Якість бінаризації для певного тестового зображення може бути оцінена величиною індексу якості зображення. Розробимо алгоритм його розрахунку.

2.2.2 Розробка алгоритму обчислення індексу якості цифрового зображення, яке є предметом ідентифікації

Алгоритм розрахунку індексу якості зображення (англ.: *Image Quality Index*) представимо у такий спосіб.

Нехай $x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ та $y = \{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ є вхідне та оброблене зображення відповідно. Тоді індекс якості зображення можна обчислити так:

¹⁾ [24] Потапов, А. А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей. – Радиотехника и электроника. – 2003. – Т.48. – №9. – С. 1101-1119.

²⁾ [25] Сергеев, В. В. Параллельно-рекурсивные КИХ-фильтры для обработки изображений. – Компьютерная оптика. – 1992. – №10-11. – С.186-201.

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x}^2) + (\bar{y}^2)} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2},$$

де:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad \sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2,$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2, \quad \sigma_{xy}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}).$$

Індекс Q може приймати всі значення на проміжку $[-1;1]$. Найкраще значення індексу якості буде досягатися тоді й тільки тоді, коли $x_i = y_i$ для всіх $i = 1, 2, \dots, N$, та набувати значення, яке дорівнює 1. Найгірший варіант – $i = -1$ – досягається тоді, коли $y_i = 2x - x_i$ для всіх $i = 1, 2, \dots, N$. Цей індекс якості включає будь-які спотворення, як сукупність трьох різних факторів:

а) втрата кореляції; б) спотворення яскравості; в) спотворення контрастності.

Перша компонента є коефіцієнтом кореляції між x та y , які належить проміжку $[-1;1]$. Найкраще його значення досягається тоді, коли $y_i = ax_i + b$ для всіх $i = 1, 2, \dots, N$, де a та b – константи, $a > 0$. Навіть якщо x та y знаходяться у лінійній залежності, можуть мати місце інші спотворення, які можуть бути викликані в другій та третій компонентах.

Друга компонента, яка приймає значення на проміжку $[0;1]$, визначає ступінь схожості яскравісних складових двох зображень x та y . Вона приймає значення, яке рівне 1 тоді й тільки тоді, коли $\bar{x} = \bar{y}$, а σ_x та σ_y розглядаються як оцінка різниці контрасту між x та y . Вона приймає значення на проміжку $[0;1]$ та досягає найкращого результату при $\sigma_x = \sigma_y$.

Приклад отриманих результатів, які були виконані з використанням приведеного алгоритму, представлені у вигляді табл. 2.1 та рис. 2.2. Попередньо, до проведення розрахунків, тестове зображення було конвертовано у існуючі

стандарти камер спостереження відповідно до [26]¹⁾, а складні формати GIF, JPEG та PSD – у BMP. При розрахунках часу обробки враховано час на конвертацію.

Таблиця 2.1 – Залежність ІЯЗ від формату графічного файлу, розміру зображення та стандарту камери відеонагляду для ковзного вікна $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$

Формат	Розмір зображення, піксели	Тип файлу	Індекс якості зображення, %				
			Розмір ковзного вікна, пікселів				
			3×3	5×5	7×7	9×9	11×11
1	2	3	4	5	6	7	8
SQCIF	128×96	GIF→BMP	4,240	5,385	6,013	7,957	8,201
16CIF	128×96	GIF→BMP	4,339	5,431	6,286	7,897	8,277
2 CIF (Half D1)	176×144	GIF→BMP	4,379	5,786	6,787	7,716	8,921
QCIF	128×96	GIF→BMP	4,416	5,910	6,223	7,227	8,328
16CIF	176×144	GIF→BMP	4,481	5,791	6,717	7,942	8,754
SQCIF	176×144	GIF→BMP	4,588	5,702	6,077	7,997	8,853
QCIF	176×144	GIF→BMP	4,740	5,988	6,680	7,499	8,512
CIF	128×96	GIF→BMP	4,831	5,634	6,218	7,989	8,254
QCIF	352×288	GIF→BMP	4,855	5,997	6,949	7,605	8,741
4 CIF (D1)	128×96	GIF→BMP	4,857	5,355	6,584	7,406	8,615
16CIF	352×288	GIF→BMP	4,886	5,864	6,783	7,981	8,775
16CIF	704×288	GIF→BMP	4,890	5,956	6,900	7,996	8,780
2 CIF (Half D1)	352×288	GIF→BMP	4,897	5,916	6,850	7,907	8,989
SQCIF	352×288	GIF→BMP	4,938	5,787	6,137	7,997	8,913
QCIF	704×288	GIF→BMP	4,956	5,998	6,987	7,624	8,875
CIF	176×144	GIF→BMP	4,957	5,792	6,277	7,991	8,853
4 CIF (D1)	176×144	GIF→BMP	4,959	5,438	6,791	7,963	8,908
QCIF	704×576	GIF→BMP	4,959	5,999	6,992	7,700	8,885
QCIF	1408×1152	GIF→BMP	4,964	6,000	6,994	7,968	8,894
CIF	352×288	GIF→BMP	4,967	5,877	6,986	7,999	8,942
SQCIF	704×288	GIF→BMP	4,973	5,905	6,240	7,999	8,931
2 CIF (Half D1)	704×288	GIF→BMP	4,973	5,964	6,888	7,943	8,998
16CIF	704×576	GIF→BMP	4,974	5,977	6,915	7,999	8,833
16CIF	1408×1152	GIF→BMP	4,983	5,996	6,944	7,999	8,965
CIF	704×288	GIF→BMP	4,988	5,914	6,991	8,000	8,942
2 CIF (Half D1)	704×576	GIF→BMP	4,993	5,966	6,965	7,999	9,000
2 CIF (Half D1)	1408×1152	GIF→BMP	4,995	5,996	6,965	7,999	9,000
SQCIF	704×576	GIF→BMP	4,998	5,906	6,923	8,000	8,970
CIF	704×576	GIF→BMP	4,999	5,920	6,993	8,000	8,968

¹⁾ [26] Камери відеонаблюдения: тенденции развития и перспективы [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.video-group.ru/kameri-videonabludeniya>.

Продовження таблиці 2.1							
1	2	3	4	5	6	7	8
SQCIF	1408×1152	GIF→BMP	5,000	5,972	6,946	8,000	8,986
CIF	1408×1152	GIF→BMP	5,000	5,987	6,998	8,000	8,977
4 CIF (D1)	352×288	GIF→BMP	5,000	5,459	6,859	7,994	8,985
4 CIF (D1)	704×288	GIF→BMP	5,000	5,663	6,952	7,994	8,997
4 CIF (D1)	704×576	GIF→BMP	5,000	5,714	6,969	7,996	8,997
4 CIF (D1)	1408×1152	GIF→BMP	5,000	5,894	6,993	7,998	8,999
CIF	128×96	BMP	5,006	6,741	7,599	8,740	9,081
4 CIF (D1)	128×96	BMP	5,146	6,369	7,826	8,969	9,520
2 CIF (Half D1)	128×96	BMP	5,238	6,023	7,895	8,704	9,013
QCIF	128×96	BMP	5,347	6,072	7,944	8,248	9,158
CIF	176×144	BMP	5,371	6,948	7,907	8,760	9,924
16CIF	128×96	BMP	5,398	6,071	7,085	8,862	9,369
4 CIF (D1)	176×144	BMP	5,505	6,754	7,899	8,996	9,989
16CIF	176×144	BMP	5,546	6,612	7,099	8,904	9,404
2 CIF (Half D1)	176×144	BMP	5,567	6,224	7,964	8,835	9,034
4 CIF (D1)	352×288	BMP	5,578	6,822	7,912	8,996	9,995
SQCIF	128×96	BMP	5,607	6,987	7,221	8,676	9,189
16CIF	352×288	BMP	5,670	6,834	7,115	8,943	9,445
QCIF	176×144	BMP	5,717	6,674	7,987	8,280	9,887
16CIF	704×288	BMP	5,754	6,920	7,306	8,996	9,885
SQCIF	176×144	BMP	5,805	6,998	7,818	8,851	9,918
4 CIF (D1)	704×288	BMP	5,867	6,823	7,961	8,996	9,997
CIF	352×288	BMP	5,868	6,955	7,964	8,772	9,961
CIF	704×288	BMP	5,898	6,994	7,987	8,946	9,979
SQCIF	352×288	BMP	5,915	6,999	7,859	8,899	9,932
16CIF	704×576	BMP	5,920	6,923	7,953	8,998	9,953
16CIF	1408×1152	BMP	5,926	6,947	7,990	8,998	9,997
CIF	704×576	BMP	5,974	6,994	7,987	8,981	9,989
SQCIF	704×288	BMP	5,978	6,999	7,911	8,920	9,961
4 CIF (D1)	704×576	BMP	5,983	6,911	7,972	8,998	9,998
QCIF	352×288	BMP	5,985	6,773	7,996	8,468	9,934
CIF	1408×1152	BMP	5,987	6,999	7,999	8,996	9,998
QCIF	704×288	BMP	5,989	6,850	7,998	8,516	9,967
QCIF	704×576	BMP	5,990	6,972	8,000	8,758	9,982
QCIF	1408×1152	BMP	5,991	6,973	8,000	8,932	9,984
SQCIF	704×576	BMP	5,996	6,999	7,967	8,930	9,990
2 CIF (Half D1)	352×288	BMP	5,996	6,273	7,999	8,940	9,916
2 CIF (Half D1)	704×288	BMP	5,997	6,989	8,000	8,944	9,998
2 CIF (Half D1)	704×576	BMP	5,999	6,992	8,000	8,955	10,000
4 CIF (D1)	1408×1152	BMP	5,999	6,964	7,992	8,999	9,999
SQCIF	1408×1152	BMP	6,000	7,000	7,971	8,998	9,994
2 CIF (Half D1)	1408×1152	BMP	6,000	6,994	8,000	8,988	10,000
4 CIF (D1)	128×96	JPEG→BMP	6,236	7,996	8,173	9,865	10,440
2 CIF (Half D1)	128×96	JPEG→BMP	6,410	7,322	8,894	9,929	10,289
CIF	128×96	JPEG→BMP	6,410	7,807	8,366	9,669	10,002
SQCIF	128×96	JPEG→BMP	6,463	7,157	8,449	9,129	10,625
2 CIF (Half D1)	176×144	JPEG→BMP	6,527	7,989	8,948	9,952	10,958
QCIF	128×96	JPEG→BMP	6,695	7,364	8,017	9,790	10,082

Продовження таблиці 2.1							
1	2	3	4	5	6	7	8
2 CIF (Half D1)	352×288	JPEG→BMP	6,726	7,998	8,985	9,976	10,991
CIF	176×144	JPEG→BMP	6,857	7,999	8,554	9,786	10,790
16CIF	128×96	JPEG→BMP	6,883	7,375	8,107	9,254	10,488
QCIF	176×144	JPEG→BMP	6,886	7,517	8,349	9,870	10,660
16CIF	176×144	JPEG→BMP	6,917	7,951	8,379	9,378	10,865
SQCIF	176×144	JPEG→BMP	6,934	7,702	8,634	9,819	10,879
QCIF	352×288	JPEG→BMP	6,936	7,741	8,752	9,879	10,835
SQCIF	352×288	JPEG→BMP	6,945	7,945	8,782	9,992	10,911
4 CIF (D1)	176×144	JPEG→BMP	6,956	7,999	8,795	9,933	10,854
SQCIF	704×288	JPEG→BMP	6,963	7,952	8,854	9,995	10,947
2 CIF (Half D1)	704×288	JPEG→BMP	6,965	7,999	8,993	9,999	10,998
SQCIF	704×576	JPEG→BMP	6,966	7,981	8,920	9,997	10,947
CIF	352×288	JPEG→BMP	6,967	7,999	8,803	9,991	10,986
SQCIF	1408×1152	JPEG→BMP	6,974	7,985	8,958	9,999	10,984
CIF	704×288	JPEG→BMP	6,975	8,000	8,862	9,993	10,989
QCIF	704×288	JPEG→BMP	6,980	7,843	8,816	9,880	10,928
16CIF	352×288	JPEG→BMP	6,983	7,965	8,681	9,774	10,872
2 CIF (Half D1)	704×576	JPEG→BMP	6,994	7,999	8,999	9,999	11,000
QCIF	704×576	JPEG→BMP	6,994	7,879	8,910	9,907	10,973
4 CIF (D1)	352×288	JPEG→BMP	6,994	7,999	8,850	9,948	10,858
4 CIF (D1)	704×288	JPEG→BMP	6,995	7,999	8,987	9,991	10,980
QCIF	1408×1152	JPEG→BMP	6,996	7,925	8,977	9,948	10,988
4 CIF (D1)	704×576	JPEG→BMP	6,998	8,000	9,000	9,995	10,984
CIF	704×576	JPEG→BMP	6,998	8,000	8,942	9,996	11,000
4 CIF (D1)	1408×1152	JPEG→BMP	6,999	8,000	9,000	9,996	10,989
2 CIF (Half D1)	1408×1152	JPEG→BMP	6,999	8,000	9,000	10,000	11,000
16CIF	704×288	JPEG→BMP	6,999	7,989	8,866	9,928	10,944
CIF	1408×1152	JPEG→BMP	6,999	8,000	8,956	9,999	11,000
16CIF	704×576	JPEG→BMP	7,000	7,990	8,993	9,961	10,992
16CIF	1408×1152	JPEG→BMP	7,000	7,997	8,997	9,998	10,998
4 CIF (D1)	128×96	PSD→BMP	7,017	8,669	9,558	10,795	11,789
QCIF	128×96	PSD→BMP	7,094	8,377	9,335	10,261	11,678
SQCIF	128×96	PSD→BMP	7,331	8,806	9,914	10,282	11,746
SQCIF	176×144	PSD→BMP	7,334	8,960	9,943	10,574	11,998
4 CIF (D1)	176×144	PSD→BMP	7,432	8,861	9,927	10,921	11,927
4 CIF (D1)	352×288	PSD→BMP	7,624	8,925	9,994	10,990	11,954
CIF	128×96	PSD→BMP	7,636	8,772	9,992	10,211	11,753
2 CIF (Half D1)	128×96	PSD→BMP	7,820	8,156	9,270	10,788	11,699
CIF	176×144	PSD→BMP	7,879	8,987	9,999	10,814	11,920
CIF	352×288	PSD→BMP	7,923	8,995	10,000	10,899	11,992
CIF	704×288	PSD→BMP	7,933	8,996	10,000	10,990	11,999
16CIF	128×96	PSD→BMP	7,935	8,266	9,375	10,460	11,161
4 CIF (D1)	704×288	PSD→BMP	7,938	8,946	9,995	10,996	11,975
CIF	704×576	PSD→BMP	7,956	8,999	10,000	10,996	12,000
2 CIF (Half D1)	176×144	PSD→BMP	7,961	8,498	9,988	10,939	11,947
2 CIF (Half D1)	352×288	PSD→BMP	7,964	8,782	9,999	10,982	11,959
16CIF	176×144	PSD→BMP	7,969	8,367	9,793	10,632	11,440
SQCIF	352×288	PSD→BMP	7,972	8,974	9,966	10,861	11,999

Закінчення таблиці 2.1							
1	2	3	4	5	6	7	8
16CIF	352×288	PSD→BMP	7,975	8,544	9,949	10,687	11,878
16CIF	704×288	PSD→BMP	7,977	8,716	9,971	10,942	11,938
SQCIF	704×288	PSD→BMP	7,980	8,981	9,982	10,913	12,000
CIF	1408×1152	PSD→BMP	7,981	9,000	10,000	10,997	12,000
QCIF	352×288	PSD→BMP	7,990	8,623	9,845	10,997	11,887
4 CIF (D1)	704×576	PSD→BMP	7,990	8,974	9,997	10,997	11,977
2 CIF (Half D1)	704×288	PSD→BMP	7,992	8,898	9,999	10,999	11,981
QCIF	704×288	PSD→BMP	7,994	8,807	9,875	10,997	11,918
SQCIF	1408×1152	PSD→BMP	7,996	8,992	9,989	10,997	12,000
QCIF	704×576	PSD→BMP	7,997	8,823	9,911	10,999	11,989
16CIF	1408×1152	PSD→BMP	7,997	8,937	10,000	10,990	11,998
2 CIF (Half D1)	704×576	PSD→BMP	7,998	8,921	9,999	11,000	11,991
4 CIF (D1)	1408×1152	PSD→BMP	7,998	8,991	9,999	10,999	11,999
2 CIF (Half D1)	1408×1152	PSD→BMP	7,998	8,964	9,999	11,000	11,993
QCIF	1408×1152	PSD→BMP	7,999	8,987	9,998	10,999	12,000

У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що доцільним буде використання ковзного вікна розміром 3×3 пікселя, про що свідчить величина індексу якості зображення, яка дорівнює 4,078% для файлів типу GIF, сформованих на основі використання стандарту 2 CIF (Half D1). Крім того, якість бінаризації не залежить від стандарту камер спостереження, але залежить від типу графічного файлу. Усереднені значення індексу якості зображення для різних типів файлів та розміру ковзного вікна (рис. 2.3), а також точно розраховані значення показали, що найбільша якість обробки досягається при використанні файлів у такій послідовності: GIF→BMP, BMP, JPEG→BMP, PSD→BMP.

Швидкодія обробки зображень також відповідає послідовності GIF, JPEG, PSD з врахуванням часу конвертації складних форматів до точкового формату. Результати розрахунку швидкодії приведені у табл. 2.2 та рис. 2.4. Усереднені значення по кожному з типів файлів графічно відображено на рис. 2.5.

Додатковий аналіз виявив, що стосовно швидкодії обробки зображень (навіть з врахуванням його часу його конвертації у точковий формат, перевагу мають файли типу GIF, розмір яких складає 128×96 пікселів, та які сформовані на основі використання стандарту SQCIF – 8,568 мс.

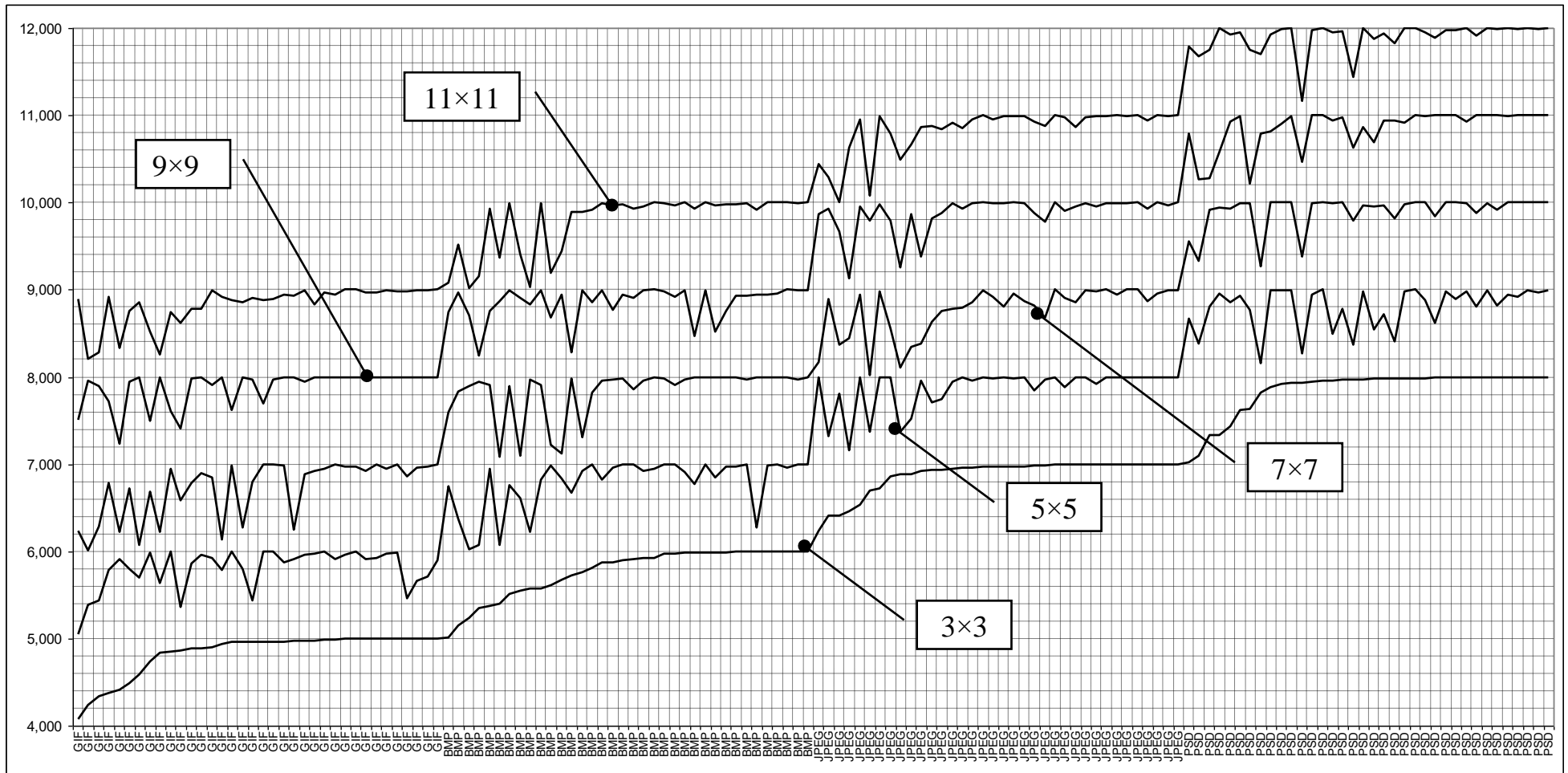
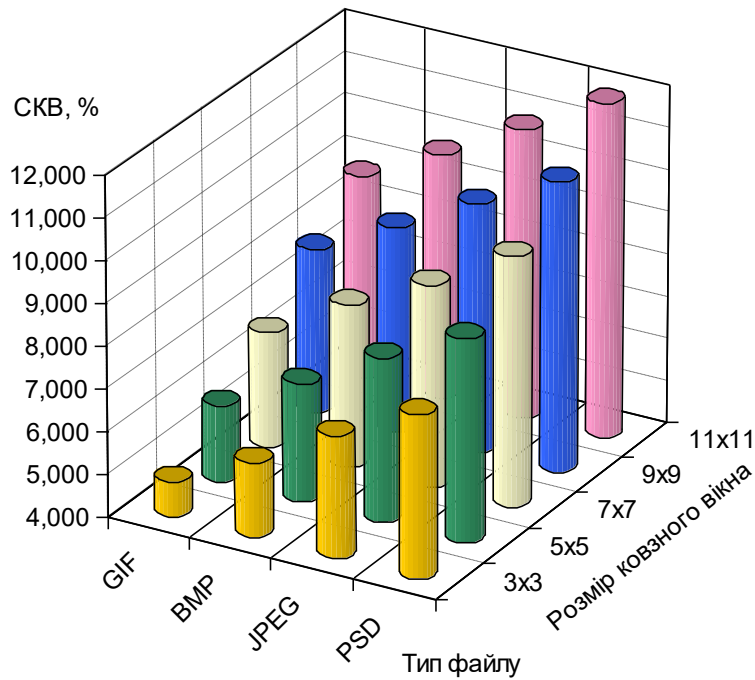


Рисунок 2.2 – Залежність ІАЗ (див. табл. 2.1, відсортовано за показниками: а – «Розмір ковзного вікна 3×3»; б – «Тип файлу»; с – «Розмір зображення») від типу графічного файлу, розміру зображення та стандарту камери відеонагляду

для ковзного вікна $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$, %



	GIF	BMP	JPEG	PSD
■ 3x3	4,835	5,764	6,875	7,848
■ 5x5	5,802	6,788	7,871	8,799
■ 7x7	6,722	7,836	8,765	9,899
■ 9x9	7,883	8,853	9,875	10,854
■ 11x11	8,825	9,787	10,834	11,896

Рисунок 2.3 – Усереднені значення індексу якості зображення для різних типів файлів та розміру ковзного вікна

Приведені висновки можуть бути сформульовані для ковзних вікон будь-якого іншого розміру для $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$. При цьому, використовуючи таблиці та графічне представлення отриманих результатів, є можливість отримати якісну оцінку процедури бінаризації без додаткових кропітких розрахунків.

Крім вище зазначеного, представлені масиви даних якісних показників надають можливості для формування різних запитів щодо отримання різноманітних оцінок. Так, наприклад, якщо сформовано запит стосовно швидкодії обробки зображень різних типів ковзним вікном, розміри якого $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$, то отриманий результат може бути представлений у графічному вигляді так, як це показано на рис. 2.6.

Таблиця 2.2 – Залежність часу обробки від формату графічного файлу, розміру зображення та стандарту камери відеонагляду для ковшного вікна $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$.

Формат	Розмір зображення, піксели	Тип файлу	Індекс якості зображення, %				
			Розмір ковшного вікна, пікселів				
			3×3	5×5	7×7	9×9	11×11
1	2	3	4	5	6	7	8
SQCIF	128×96	GIF→BMP	8,568	11,745	12,287	15,006	16,908
2 CIF (Half D1)	128×96	GIF→BMP	8,585	11,113	12,547	15,315	16,978
4 CIF (D1)	128×96	GIF→BMP	8,623	11,175	13,381	14,858	16,653
CIF	352×288	GIF→BMP	8,740	11,568	13,377	15,583	17,289
4 CIF (D1)	176×144	GIF→BMP	8,812	11,115	13,352	14,901	17,361
CIF	176×144	GIF→BMP	8,893	10,704	12,507	15,157	17,220
QCIF	128×96	GIF→BMP	8,910	10,198	13,018	15,347	17,593
CIF	1408×1152	GIF→BMP	8,954	11,013	13,758	15,642	17,437
16CIF	128×96	GIF→BMP	8,984	10,225	12,427	15,154	17,091
SQCIF	176×144	GIF→BMP	8,991	11,507	13,124	14,988	17,271
2 CIF (Half D1)	1408×1152	GIF→BMP	8,997	11,945	13,431	15,763	17,839
CIF	128×96	GIF→BMP	9,076	10,600	12,567	15,105	17,188
CIF	704×576	GIF→BMP	9,116	11,435	13,421	15,903	17,643
16CIF	176×144	GIF→BMP	9,149	10,559	12,482	15,054	17,416
2 CIF (Half D1)	704×576	GIF→BMP	9,218	11,609	13,615	15,372	17,747
4 CIF (D1)	704×288	GIF→BMP	9,298	11,306	13,292	14,999	17,037
SQCIF	704×576	GIF→BMP	9,302	11,880	13,779	15,131	17,018
QCIF	176×144	GIF→BMP	9,312	11,062	12,477	15,663	17,614
16CIF	352×288	GIF→BMP	9,313	11,051	12,971	15,521	16,938
QCIF	1408×1152	GIF→BMP	9,360	11,337	13,396	15,935	17,016
4 CIF (D1)	352×288	GIF→BMP	9,459	11,424	13,075	15,195	16,980
SQCIF	704×288	GIF→BMP	9,486	11,839	13,489	15,307	17,210
2 CIF (Half D1)	176×144	GIF→BMP	9,507	11,349	13,069	15,630	17,381
4 CIF (D1)	1408×1152	GIF→BMP	9,541	11,707	13,482	15,230	17,622
4 CIF (D1)	704×576	GIF→BMP	9,557	11,445	13,398	15,913	17,092
CIF	704×288	GIF→BMP	9,583	11,309	13,526	15,078	17,399
16CIF	1408×1152	GIF→BMP	9,587	11,905	13,790	15,013	17,068
QCIF	704×576	GIF→BMP	9,653	11,276	13,447	15,927	17,543
16CIF	704×288	GIF→BMP	9,690	10,992	13,919	15,639	17,457
2 CIF (Half D1)	704×288	GIF→BMP	9,734	11,545	12,852	15,236	17,837
SQCIF	352×288	GIF→BMP	9,780	11,214	12,936	15,351	17,076
2 CIF (Half D1)	352×288	GIF→BMP	9,843	11,784	13,099	15,307	17,078
QCIF	704×288	GIF→BMP	9,850	11,315	13,440	14,983	17,691
16CIF	704×576	GIF→BMP	9,925	11,474	13,847	14,996	17,590
QCIF	352×288	GIF→BMP	9,929	11,756	13,310	14,930	17,085
SQCIF	1408×1152	GIF	9,957	11,561	13,246	15,318	17,949

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
16CIF	128×96	BMP	10,135	12,364	14,852	16,475	19,186
2 CIF (Half D1)	176×144	BMP	10,264	13,553	15,575	17,380	19,800
4 CIF (D1)	128×96	BMP	10,294	13,256	15,050	16,921	18,273
2 CIF (Half D1)	128×96	BMP	10,500	12,584	14,580	17,525	18,966
QCIF	176×144	BMP	10,959	13,621	15,315	17,630	18,872
4 CIF (D1)	704×288	BMP	10,989	13,102	15,517	17,396	19,562
2 CIF (Half D1)	352×288	BMP	11,019	13,680	15,342	17,182	19,103
SQCIF	352×288	BMP	11,048	13,490	15,102	16,883	19,076
QCIF	704×288	BMP	11,089	13,444	15,406	17,609	19,465
16CIF	1408×1152	BMP	11,150	13,609	15,059	17,653	19,376
CIF	176×144	BMP	11,177	12,939	15,544	17,018	19,412
16CIF	704×288	BMP	11,256	13,925	15,482	17,220	19,001
16CIF	176×144	BMP	11,273	13,650	15,240	16,965	19,055
SQCIF	704×576	BMP	11,286	13,393	15,162	17,215	19,932
4 CIF (D1)	176×144	BMP	11,299	12,810	15,345	17,410	18,894
16CIF	352×288	BMP	11,361	13,162	15,908	17,311	19,024
QCIF	704×576	BMP	11,373	13,656	15,203	17,086	19,419
16CIF	704×576	BMP	11,421	13,524	15,458	17,703	19,303
CIF	128×96	BMP	11,433	13,168	14,566	17,004	19,044
SQCIF	128×96	BMP	11,450	13,633	14,585	16,460	19,088
CIF	1408×1152	BMP	11,497	13,280	15,234	17,745	19,601
CIF	704×576	BMP	11,528	13,330	15,304	17,441	19,921
2 CIF (Half D1)	704×288	BMP	11,568	13,947	15,437	17,586	19,812
QCIF	128×96	BMP	11,585	13,212	15,256	17,816	18,567
QCIF	352×288	BMP	11,615	13,213	15,573	17,314	19,500
2 CIF (Half D1)	704×576	BMP	11,631	13,246	15,254	17,979	19,343
SQCIF	704×288	BMP	11,663	13,135	15,628	17,094	19,956
4 CIF (D1)	1408×1152	BMP	11,666	13,578	15,733	17,318	19,047
CIF	352×288	BMP	11,734	13,469	15,365	17,552	19,764
4 CIF (D1)	352×288	BMP	11,807	13,111	15,840	17,485	19,635
SQCIF	176×144	BMP	11,827	12,936	15,560	17,597	19,456
CIF	704×288	BMP	11,860	13,557	15,790	17,041	19,410
2 CIF (Half D1)	1408×1152	BMP	11,879	13,201	15,097	17,338	19,149
4 CIF (D1)	704×576	BMP	11,911	12,908	15,675	17,905	19,124
QCIF	1408×1152	BMP	11,942	13,699	15,883	17,136	19,337
SQCIF	1408×1152	BMP	11,949	13,705	15,224	17,493	19,006
16CIF	128×96	JPEG→BMP	12,220	14,984	17,584	18,896	21,473
4 CIF (D1)	352×288	JPEG→BMP	12,744	15,700	17,506	18,989	21,674
4 CIF (D1)	128×96	JPEG→BMP	12,797	15,756	16,804	18,830	20,533
SQCIF	128×96	JPEG→BMP	12,813	14,261	17,668	19,108	20,675
4 CIF (D1)	176×144	JPEG→BMP	12,884	15,562	16,620	18,918	21,005
SQCIF	176×144	JPEG→BMP	12,893	15,185	17,846	19,825	21,241
QCIF	176×144	JPEG→BMP	12,916	15,306	16,531	19,337	21,017
2 CIF (Half D1)	176×144	JPEG→BMP	12,921	15,158	17,081	19,307	20,847
QCIF	1408×1152	JPEG→BMP	13,071	15,363	17,062	19,298	21,223
4 CIF (D1)	704×576	JPEG→BMP	13,124	15,552	17,208	19,901	21,751
QCIF	352×288	JPEG→BMP	13,183	15,359	17,809	19,444	21,790

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
QCIF	128×96	JPEG→BMP	13,201	15,220	17,218	18,982	21,202
16CIF	704×576	JPEG→BMP	13,211	15,628	17,951	19,019	21,340
2 CIF (Half D1)	704×576	JPEG→BMP	13,238	15,492	17,286	19,439	21,128
16CIF	1408×1152	JPEG→BMP	13,255	15,591	17,446	19,916	21,243
2 CIF (Half D1)	1408×1152	JPEG→BMP	13,281	15,037	17,708	19,469	21,034
4 CIF (D1)	1408×1152	JPEG→BMP	13,304	15,942	17,260	19,469	21,164
CIF	128×96	JPEG→BMP	13,323	14,782	17,522	19,203	20,758
SQCIF	352×288	JPEG→BMP	13,343	15,084	17,510	19,109	21,315
16CIF	352×288	JPEG→BMP	13,355	15,876	17,658	19,114	21,234
CIF	176×144	JPEG→BMP	13,361	14,819	17,116	19,425	21,777
4 CIF (D1)	704×288	JPEG→BMP	13,385	15,740	17,545	19,687	21,726
16CIF	704×288	JPEG→BMP	13,389	15,664	17,187	19,727	21,250
QCIF	704×288	JPEG→BMP	13,401	15,315	17,213	19,695	21,878
SQCIF	704×288	JPEG→BMP	13,402	15,779	17,161	19,035	21,014
2 CIF (Half D1)	128×96	JPEG→BMP	13,458	15,020	16,899	19,266	21,113
16CIF	176×144	JPEG→BMP	13,495	15,233	17,350	19,283	21,069
CIF	704×576	JPEG→BMP	13,616	14,962	17,799	19,803	21,070
2 CIF (Half D1)	352×288	JPEG→BMP	13,639	15,564	17,563	19,663	21,091
CIF	704×288	JPEG→BMP	13,767	15,899	17,066	19,184	21,167
QCIF	704×576	JPEG→BMP	13,797	15,289	17,981	19,421	21,165
2 CIF (Half D1)	704×288	JPEG→BMP	13,821	15,311	17,984	19,566	21,133
SQCIF	704×576	JPEG→BMP	13,899	15,597	17,196	19,315	21,565
SQCIF	1408×1152	JPEG→BMP	13,905	15,303	17,960	19,370	21,822
CIF	352×288	JPEG→BMP	13,932	15,148	17,865	19,150	21,743
CIF	1408×1152	JPEG→BMP	13,962	15,489	17,262	19,173	21,615
CIF	128×96	PSD→BMP	14,518	17,187	18,612	21,285	22,545
4 CIF (D1)	128×96	PSD→BMP	14,806	16,491	18,383	20,769	22,591
16CIF	128×96	PSD→BMP	14,978	16,760	19,276	20,667	22,701
2 CIF (Half D1)	352×288	PSD→BMP	15,016	17,066	19,329	21,223	23,575
QCIF	176×144	PSD→BMP	15,044	17,160	19,167	21,393	22,965
16CIF	176×144	PSD→BMP	15,051	16,984	19,381	21,954	22,825
4 CIF (D1)	1408×1152	PSD→BMP	15,109	17,149	19,394	21,337	23,567
QCIF	128×96	PSD→BMP	15,140	17,393	18,705	21,029	22,883
QCIF	1408×1152	PSD→BMP	15,178	17,606	19,143	21,329	23,331
CIF	352×288	PSD→BMP	15,223	17,439	19,020	21,053	23,885
SQCIF	128×96	PSD→BMP	15,284	16,358	19,647	21,314	23,655
CIF	704×288	PSD→BMP	15,288	17,996	19,460	21,292	23,879
CIF	176×144	PSD→BMP	15,333	17,494	19,010	21,437	23,002
4 CIF (D1)	352×288	PSD→BMP	15,350	16,942	18,792	21,763	23,031
SQCIF	176×144	PSD→BMP	15,353	17,711	19,837	21,093	23,180
4 CIF (D1)	704×288	PSD→BMP	15,356	17,700	18,904	21,382	22,709
2 CIF (Half D1)	176×144	PSD→BMP	15,394	17,643	18,945	21,063	23,803
16CIF	352×288	PSD→BMP	15,436	17,898	19,275	21,463	23,581
QCIF	704×288	PSD→BMP	15,459	17,355	19,561	21,523	23,651
16CIF	704×288	PSD→BMP	15,473	17,315	19,811	21,833	23,464
2 CIF (Half D1)	704×576	PSD→BMP	15,566	17,545	19,113	21,943	23,591
2 CIF (Half D1)	128×96	PSD→BMP	15,573	16,576	18,843	21,193	23,992
QCIF	352×288	PSD→BMP	15,577	17,388	19,735	21,015	23,801

Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
2 CIF (Half D1)	704×288	PSD→BMP	15,597	17,775	19,154	21,317	23,889
QCIF	704×576	PSD→BMP	15,601	17,094	19,624	20,913	23,363
SQCIF	704×576	PSD→BMP	15,613	17,302	19,054	21,741	23,735
CIF	1408×1152	PSD→BMP	15,641	17,138	19,607	21,872	23,743
SQCIF	352×288	PSD→BMP	15,672	17,712	19,796	21,103	23,441
4 CIF (D1)	704×576	PSD→BMP	15,676	17,753	19,448	21,499	22,609
16CIF	704×576	PSD→BMP	15,782	17,370	19,431	21,340	23,292
CIF	704×576	PSD→BMP	15,815	17,020	19,579	21,434	23,144
4 CIF (D1)	176×144	PSD→BMP	15,849	16,506	18,611	21,229	22,539
SQCIF	1408×1152	PSD→BMP	15,855	17,763	19,876	21,366	23,332
16CIF	1408×1152	PSD→BMP	15,887	17,527	19,055	21,831	23,090
2 CIF (Half D1)	1408×1152	PSD→BMP	15,923	17,135	19,551	21,338	23,491
SQCIF	704×288	PSD→BMP	15,948	17,912	19,659	21,728	23,531

2.2.3 Формування системи контурних ознак

Визначившись з розміром вікна, виконаємо формування системи ознак.

В [15]¹⁾ показано, що ознаки їх можна розділити на групи:

- ознаки, засновані на вимірі просторових частот;
- ознаки, засновані на статистичних характеристиках рівнів інтенсивності елементів розкладання;
- ознаки, засновані на описі структурних елементів;

Надалі в роботі будемо дотримуватися наведеного поділу ознак.

2.3 Застосування та аналіз результатів багатоагентного методу виділення інформативних ознак зображень у системах доступу

Передумови щодо застосування багатоагентного методу виділення інформативних ознак зображень у системах доступу, наведені у розділі 1. Базуючись на них, постановкою проблеми для вирішення у поточному підрозділі, є розгляд можливості удосконалення та використання багатоагентного методу, що базується на біоінспірованому алгоритмі, який розроблений А. Кучугановим, для виділення інформативних ознак про особу у системах доступу,

¹⁾ [15] Андреев, Г. А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур. Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3-33

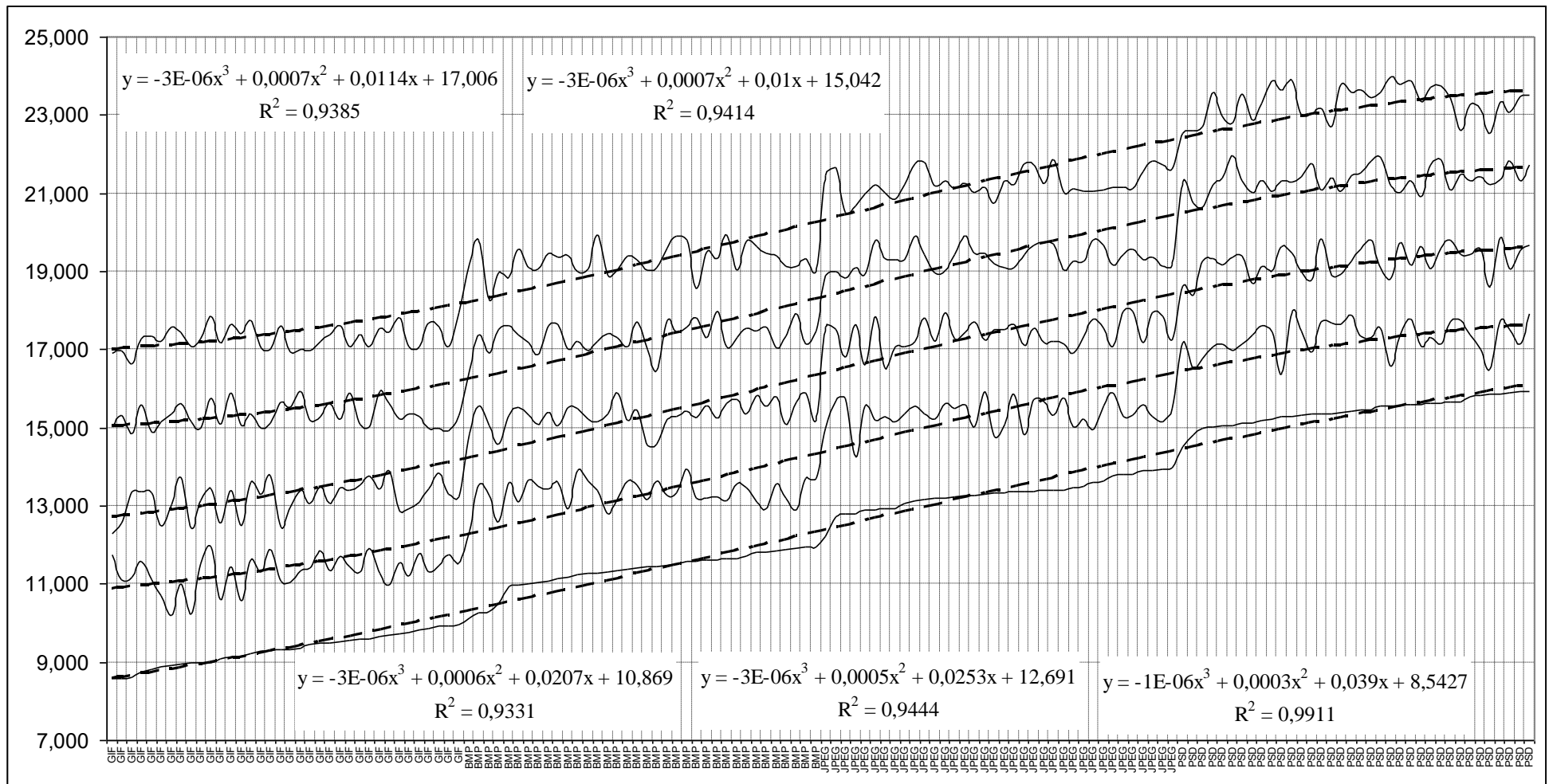


Рисунок 2.4 – Залежність часу обробки (див. табл. 2.2; відсортовано за показниками: а – «Розмір ковзного вікна 3x3»; б – «Тип файлу»; с – «Розмір зображення») від типу графічного файлу, розміру зображення та стандарту камери відеонагляду для ковзного вікна $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$, мс

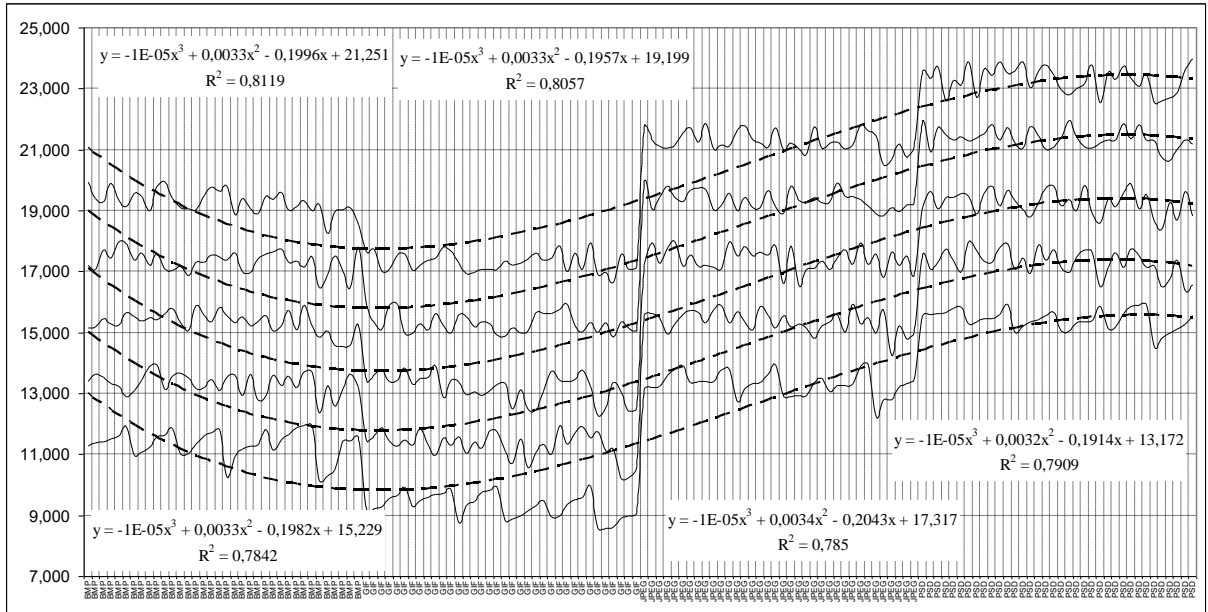
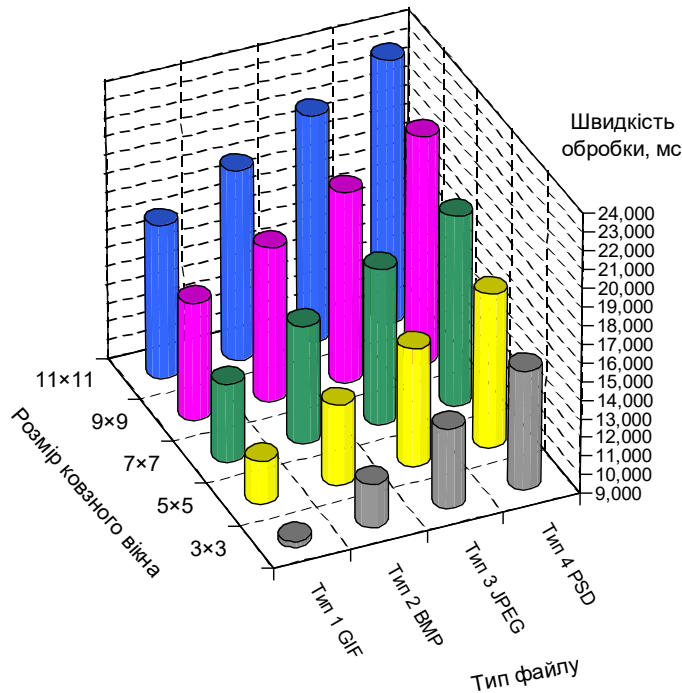


Рисунок 2.5 – Результат запиту стосовно швидкодії обробки ковзним вікном розміру $n \times n$ ($n \in [3, 5, 7, 9, 11]$) зображень різних типів та стандартів



	Тип 1 GIF	Тип 2 BMP	Тип 3 JPEG	Тип 4 PSD
3x3	9,313	11,345	13,314	15,427
5x5	11,307	13,336	15,360	17,310
7x7	13,198	15,337	17,401	19,272
9x9	15,318	17,330	19,343	21,363
11x11	17,314	19,291	21,273	23,317

Рисунок 2.6 – Усереднені значення показників швидкості обробки зображення для різних типів файлів та розміру ковзного вікна

які засновані на ідентифікації зображень. При цьому враховано, що удосконалений метод повинен бути вільним від недоліків, які притаманні класичному алгоритму Canny, аналіз якого приведено у розділі 2, та відрізнятися більш ефективною швидкістю у порівнянні з прототипом. Метою є відображення та адаптація вище зазначеного методу до потреб систем забезпечення інформаційної безпеки, виклад результатів його роботи при рішенні задачі виділення зовнішнього контуру термограми окремо виділеної особи та порівняння з результатами, які приведені в [11]¹⁾. Як показано там же, їх практичне застосування дозволило отримати результати, один зі зразків яких щодо виділення контурних ліній на напівтоновому зображенні, приведено на рис. 2.7.

Завданням до розпізнавання, результат якого демонструє рис. 2.7, було виділення контуру зображення, що показано пунктирною лінією (рис. 2.7-а).

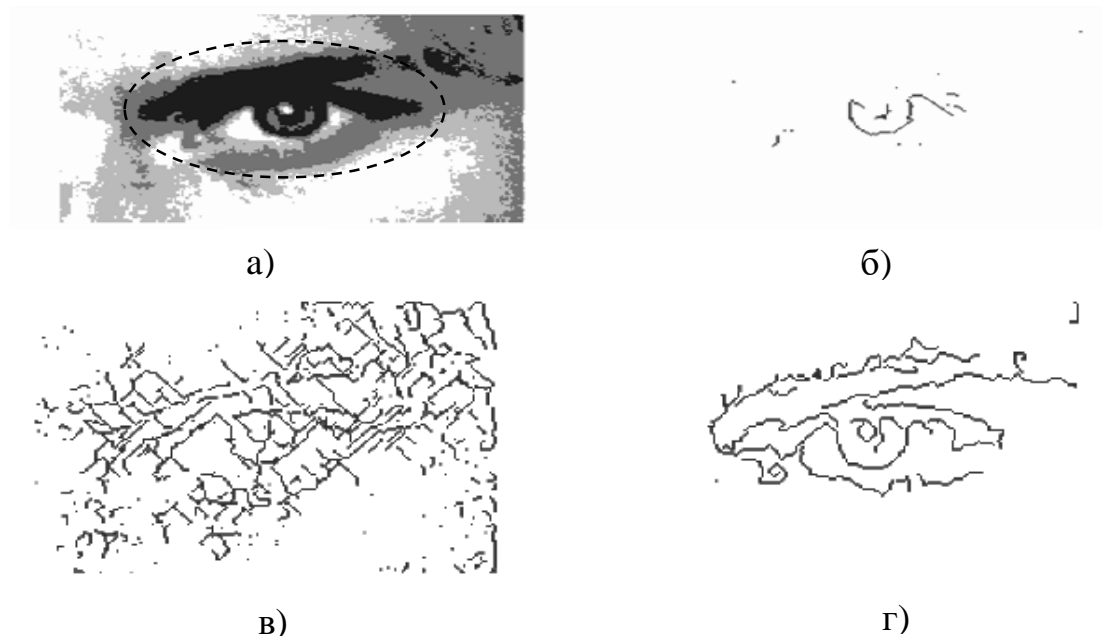


Рисунок 2.7 – Відстежування контурних ліній [11]²⁾:

- а) вихідне зображення; б) високий поріг на перепад яскравості;
в) низький поріг; г) адаптивний поріг

¹⁾ [11] Кучуганов, А. В. Биоинспирированные алгоритмы выделения информативных признаков изображений. Известия Томского политехнического университета. – 2012. – №5. – с. 141-145.

²⁾ там же.

Як видно, робота методу з [11]¹⁾ є достатньо ефективною, однак отримати замкнутий контур пропонованим методом не вдалося.

З метою застосування та перевірки його у методиці виділення контуру термозображення для СЗІ, було розроблено відповідне програмне забезпечення з використанням елементів OpenCV [27] (Додаток А). Використовуючи його, були повторені дослідження з [11] та отримані практично ті ж самі результати. Це відображено на рис. 2.8 з виділенням певних відмінностей.

Т.ч., зроблено висновок про те, що розроблене програмне забезпечення можна використовувати для відстежування контурних ліній, але сам метод не є вільним від недоліків, які притаманні класичному алгоритму Canny. Перевірка його на тестовому зображенні призвела до результатів, які відображені на рис. 2.9.

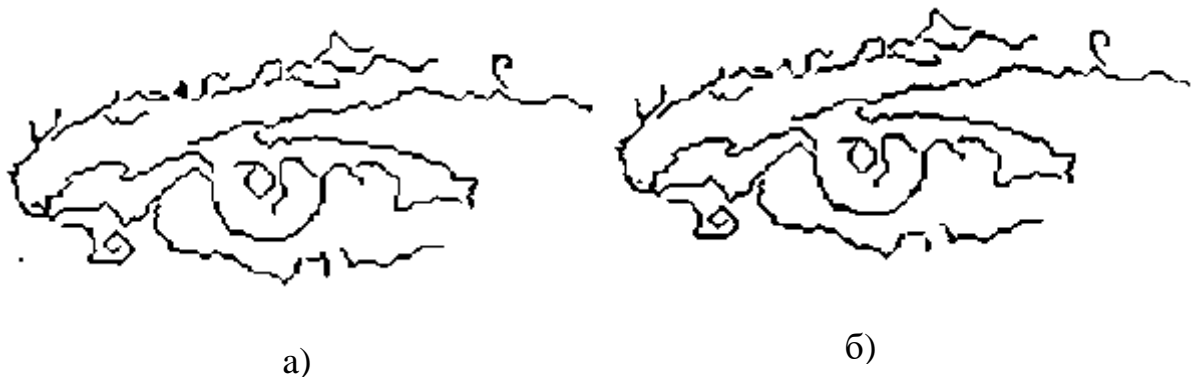


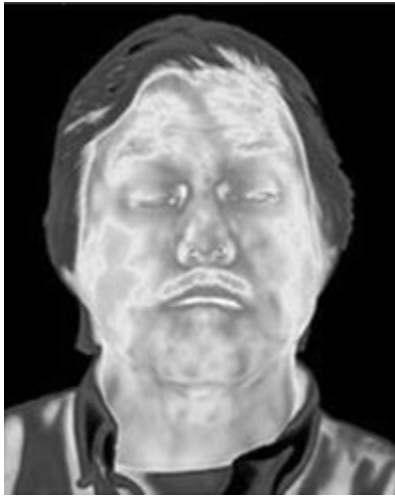
Рисунок 2.8 – Відстежування контурних ліній: а) вихідне зображення, яке отримане у [11]²⁾; б) вихідне зображення, яке отримане за допомогою розробленого програмного забезпечення

Зважаючи на викладене, є доцільним доповнення багатоагентного методу, що базується на біоінспірованому алгоритмі, процедурою замкнення ко-

¹⁾ [11] Кучуганов, А. В. Биоинспирированные алгоритмы выделения информативных признаков изображений. Известия Томского политехнического университета. – 2012. – №5. – с. 141-145

²⁾ там же.

нтурів, яка наводиться у наступному підрозділі у вигляді розробленого способу замкнення контурів на довільній матриці растрового зображення.



а)



б)

Рисунок 2.9 – Відстежування контурних ліній на тестовому зображенні:
а) вхідне зображення; б) вихідне зображення, яке отримане при перевірці
розробленого програмного забезпечення

3 РОЗРОБКА СПОСОБУ ЗАМКНЕННЯ КОНТУРІВ НА ДОВІЛЬНІЙ МАТРИЦІ РАСТРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

3.1 Постановка завдання щодо замкнення контурів об'єктів та розробка способу його вирішення

Завданням на розробку є усунення розривів контурів на матриці півтонового або бінарного растрового зображення. Попередніми умовами є:

- а) розмір структуроутворюючого елемента, відповідно до результатів, що отримано в підрозділі 2.2.1, необхідно обрати рівним одному елементу матриці півтонового растрового зображення;
- б) у кінцевих точках фрагментів вихідного контуру розмір структуроутворюючого елемента, отриманий відповідно до попереднього пункту, необхідно збільшувати так, поки його область не захопить кінцеву точку прилеглого фрагмента вихідного контуру;
- в) за результатами п. б) кінцеві точки необхідно з'єднати прямою лінією;
- г) розмір структуроутворюючого елемента знову необхідно встановити рівним одному елементу матриці півтонового растрового зображення та перемістити в кінцеву точку чергового фрагмента вихідного контуру.

Аналіз відомих способів усунення розривів контурів зображення показав, що на сьогоднішній день використовується прийом замикання контурів, заснований на дилатації. При цьому в якості структуроутворюючого елемента використовується коло такого розміру, який є зіставним з розмірами розривів [12, 27]¹⁾. Основним недоліком способу є недостатня точність, що пояснюється розширенням границь об'єкта. У результаті обробки контур замикається не по вихідній лінії, а по контуру стовщеної границі, що не відповідає дійсності.

Для усунення зазначеного недоліку використовується сукупність послідовного застосування до зображення прийому дилатації та ерозії. Такий спосіб

¹⁾ [12] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1007 с.
[27] Поиск контуров [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://locv.ru/wiki/8.3_Поиск_контуров.

складається з послідовного переміщення заздалегідь заданого структуроутворюючого елемента по вихідному контуру, що усуває основний недолік способу, заснованого на дилатації. Він виявляє тенденцію до згладжування ділянок контурів стосовно до матриці півтонового растрового зображення та ліквідує невеликі розриви [12, 27]¹⁾.

При послідовному застосуванні приймів дилатації та ерозії, у якості структуроутворюючого елемента використовуються геометричні фігури довільного розміру та форми. Послідовне переміщення елемента по вихідному контуру зображення із застосуванням дилатації має своєю метою первісне ковзання для усунення розривів контуру зображення. При наявності ознак розширення границь контуру, на наступному етапі ковзання того ж структуроутворюючого елемента в тому ж або зворотному напрямку, але вже із застосуванням ерозії, виконується звуження границь контуру зображення, що дозволяє повернути положення його границь на первісне місце. У результаті застосування способу створюється згладжений замкнений контур зображення об'єкта.

Однак, як показали дослідження, використання прийомів дилатації та ерозії при практичному виділенні границь, швидкодія процесу замикання контурів зображення об'єктів є недостатнім через тривалість часу обробки. Це пояснено у [12, 27].

Спосіб, що пропонується далі до використання, вирішує завдання підвищення швидкодії процесу замикання контурів зображення об'єктів шляхом забезпечення можливості усунення розривів довільних розмірів у контурах зображення при мінімальних витратах часу обробки, забезпечуючи схоронність деталізації та місця розташування вихідних фрагментів контурів зображення

¹⁾ [12] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1007 с.
[27] 27. Поиск контуров [Електронний ресурс] // Портал : OpenCV. – Режим доступу \www/ URL : http://locv.ru/wiki/8.3_Поиск_контуров. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 20.11.2018.

без повторення замикання контуру з використанням структуроутворюючих елементів різних розмірів.

Розв'язок завдання полягає в наступному.

В основі рішення, як і в способі з використанням дилатації та ерозії, для замикання контурів використовується послідовне переміщення заздалегідь заданого структуроутворюючого елемента по вихідному контуру. Але при цьому розмір структуроутворюючого елемента обирається рівним одному елементу матриці півтонового растрового зображення, а в кінцевих точках фрагментів вихідного контуру цей розмір збільшується доти, поки область структуроутворюючого елемента не захопить кінцеву точку прилеглого фрагмента вихідного контуру. Після цього виявлені кінцеві точки з'єднуються між собою прямою лінією. Потім розмір структуроутворюючого елемента знову встановлюється рівним одному елементу матриці півтонового растрового зображення та переміщується у кінцеву точку чергового фрагмента вихідного контуру з подальшим продовженням процесу до тих пір, поки не будуть оброблені всі фрагменти вихідного контуру.

При виконанні вище описаної процедури:

- усунення розривів довільних розмірів у контурах зображення обумовлено тим, що розмір структуроутворюючого елемента збільшується до потрібної величини під час здійснення процесу замикання;
- схоронність деталізації та місця розташування вихідних фрагментів контурів зображення обумовлено тим, що розмір структуроутворюючого елемента при його переміщенні уздовж безперервних ділянок контуру є мінімальним і рівним одному елементу зображення на матриці зображення, що не вимагає послідовного застосування ресурсномістких прийомів дилатації та ерозії.

3.2 Опис алгоритму роботи програмно-технічного пристрою замкнення контурів об'єктів

Алгоритм роботи програмно-технічного обладнання, яке реалізує спосіб замикання контурів об'єктів, полягає у наступному.

- а) Спочатку на матриці зображення на множині розірваних фрагментів вихідного контуру (при дослідженнях у якості тестового зображення використовувався рис. 3.1-д), необхідно вибирати довільну точку. Оскільки початкова довільна точка може виявитися не кінцевою, то в якості стартової точки примусово вибираємо точку, яка лежить у верхньому лівому куті матриці зображення.
- б) Якщо обрана стартова точка не є кінцевою, то переміщуємо вказівник, який характеризує положення точки, на наступний елемент матриці зображення. Процедуру виконуємо доти, поки обрана точка виявиться кінцевою.
- в) Вважаємо, що переміщення структуроутворюючого елемента виконується за годинниковою стрілкою.
- г) Розмір структуроутворюючого елемента задаємо рівним одному елементу матриці півтонового растрового зображення, тобто одному пікселю.
- д) По вихідному контуру здійснюємо послідовне переміщення заздалегідь заданого структуроутворюючого елемента, який, на відміну від прототипу, з самого початку зведено в одну точку.
- е) У процесі переміщення (п. д)) відзначаємо всі пройдені точки, продовжуючи процес доти, поки структуроутворюючий елемент не досягне кінцевої точки.
- ж) У результаті виконання п. е), якщо ширина розриву контуру становить один елемент зображення, то цей розрив усуваємо шляхом переміщення структуроутворюючого елемента в таку точку щодо поточної, у якій вона буде одночасно відноситися до кінцевих точок уже пройденого та чергового фрагментів контуру. Потім цей елемент

переміщаємо в кінцеву точку чергового фрагмента контуру і процес замикання продовжуємо. Т.ч., поки розриви контуру не перевищують по ширині одного елемента зображення, лінія замкненого контуру в точності буде повторювати лінії вихідних фрагментів, зберігаючи всі їх деталі. При цьому час замикання є мінімальним, оскільки для замикання малих розривів та переміщення по контуру досить на кожному кроці тестувати на зображенні контуру не більш семи точок, суміжних з поточною, що визначено в підрозділі 2.2.1.

- з) Якщо положення п. ж) у результаті виконання п. е) не виконуються, тобто якщо структуроутворюючий елемент переміщено до розриву, розмір якого перевищує один елемент зображення, те запам'ятовуємо значення координати кінцевої точки початку такого розриву. Далі із цієї точки контуру проводимо процедуру локації. Зміст її полягає в збільшенні розміру структуроутворюючого елемента доти, поки не виявимо попадання в його область кінцевої точки прилеглого чергового фрагмента вихідного контуру. Форму структуроутворюючого елемента, що збільшується в розмірах, встановлюємо в загальному випадку довільно, а зокрема – у вигляді сектору із центром у кінцевій точці, центральний кут якого визначаємо передбачуваною формою контуру. Якщо інформація про форму контуру відсутня, то структуроутворюючий елемент, що збільшується в розмірах, може мати вигляд кола із центром у кінцевій точці. Після попадання у область локації кінцевої точки іншого фрагмента контуру, кінцеву точку фрагмента вихідного контуру з'єднуємо зі знайденою кінцевою точкою прилеглого чергового фрагмента вихідного контуру прямою лінією.
- и) Далі структуроутворюючий елемент переносимо в знайдену кінцеву точку чергового фрагмента вихідного контуру зображення. Його розмір знову задаємо рівним одному пікселю та продовжуємо операцію

переміщення уздовж контуру, починаючи зі знайденої кінцевої точки чергового фрагмента.

Виконуючи наведений алгоритм, програмно-технічне обладнання усуває усі виявлені розриви на кожному фрагменті вихідного контуру об'єкта на матриці півтонового растрового зображення.

Використання пропонованого методу дозволяє забезпечити якісне усунення розривів контурів на матриці зображення при найменшій трудомісткості та без втрати деталізації на наявних фрагментах контуру вихідного об'єкта. Очевидно, як випливає з вищенаведеного опису, контури повинні являти собою «безгілкові» структури, відповідати опуклим об'єктам і мати товщину лінії в один піксель, що досягається попередньою шумовою фільтрацією, технології якої розглянуті у розділі 2, та іншими методами, які досліджуються в роботі.

3.3 Аналіз результатів роботи програмно-технічного пристрою замкнення контурів об'єктів

На рис. 3.10 наведені результати роботи програмно-технічного комплексу, який послідовно реалізував: інвертування тестового (рис. 3.1-а) зображення («позитив-негатив») – рис. 3.1-б; процедуру попередньої обробки зображення методом усунення мультиплікативних шумів з використанням дифузійного фільтра – рис. 3.1-в; компенсацію крайових шумових спотворень (бінаризація) – рис. 3.1-г; виконання біоінспірованого алгоритму – рис. 3.1-д; усунення розривів контурів на матриці зображення – рис. 3.1-е.

Як випливає з рис. 3.1, послідовне застосування приведених операцій з використанням розробленого способу усунення розривів контурів на матриці зображення, дозволяє усунути недоліки, які властиві класичному алгоритму виділення контурів, який запропонований Canny. Спосіб дозволяє при досить гарній якості вихідного растрового зображення отримати однозначний контур зображення. Однак, слід зазначити, що при проведенні досліджень також були виявлені недоліки:

- застосування способу можливе тільки до растрових зображень, що вимагає попередньої конвертації векторних зображень;
- є необхідним багатократне застосування процедури компенсації крайових викривлень з метою усунення явища «багатогілковості», що веде до непередбачуваних спотворень вихідного контуру;

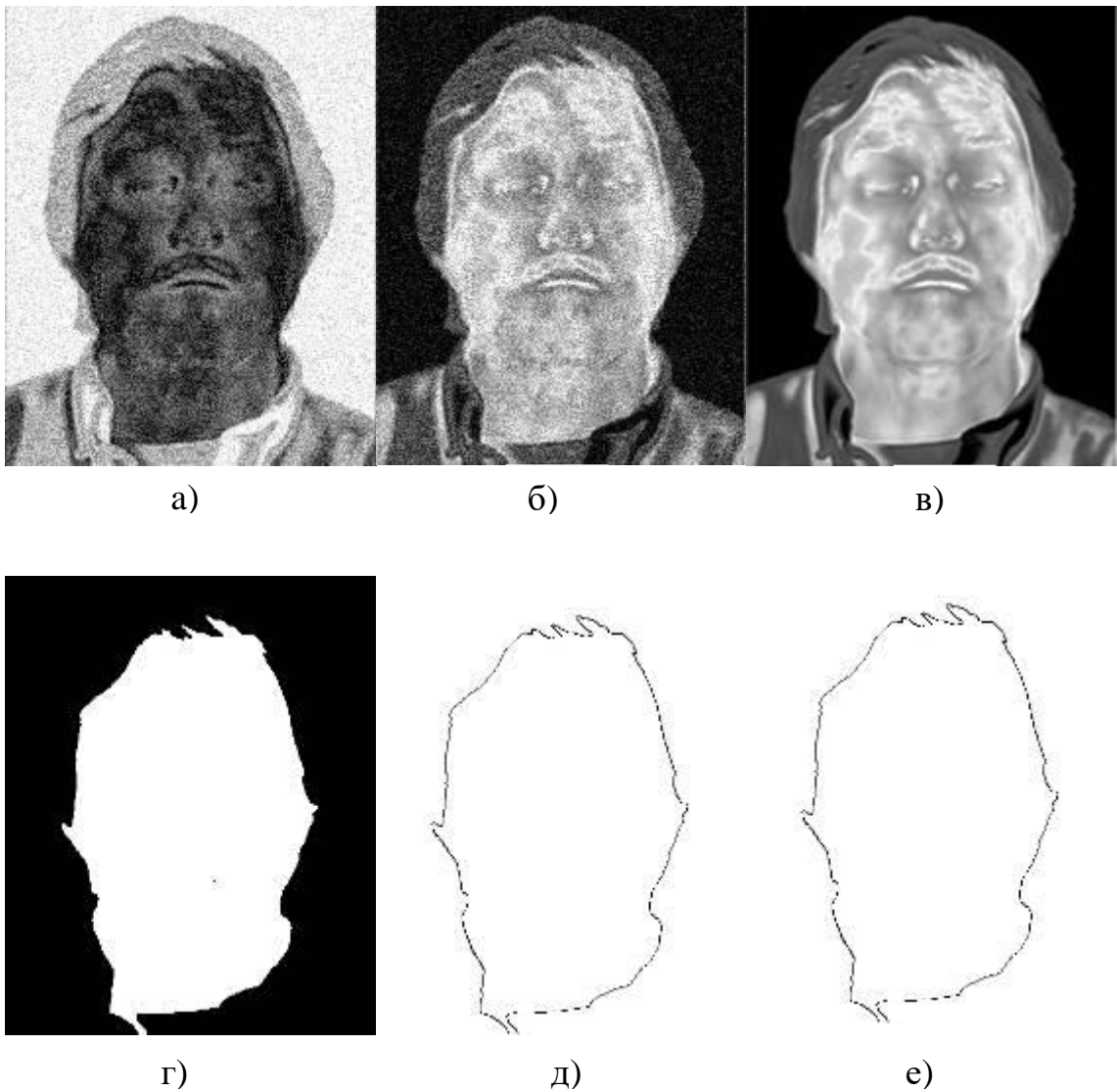


Рисунок 3.1 – Послідовне перетворення зашумленого термозображення у замкнутий контур: а) вхідне зображення з шумами; б) інверсія вхідного зображення; в) зображення після шумової фільтрації; г) бінарзоване зображення; д) контур зображення після роботи біоінспірованого алгоритму; е) зображення після компенсації розривів у контурі

– спосіб вимагає попереднього застосування процедури компенсації крайових викривлень, що робить його нечутливим до «плавних» змін яскравості вихідного зображення. Приклади помилок, які при цьому виникають, наведені на рис. 3.2.

Усунення недоліків розробленого комбінованого методу виділення контурів у системах ідентифікації, пропонується здійснювати нижче пропонованим методом виділення, який базується на усередненні перепадів яскравості об'єктів на півтоновому зображенні. Розробка передбачає в подальшому порівняння якісних характеристик з вище розглянутим методом.

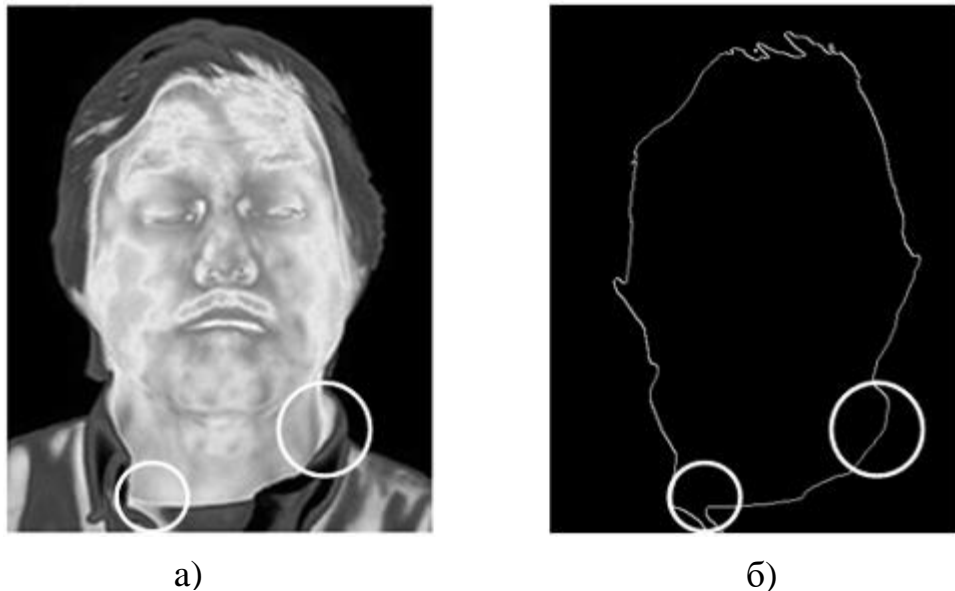


Рисунок 3.2 – Приклад обробки зображення біоінспірованим алгоритмом та програмою замкнення контурів: а) вхідне термозображення; б) результат роботи програми виділення контуру з позначенням помилок розпізнавання контуру

3.4 Синтез методу виділення контурів у системах ідентифікації на основі усереднення перепадів яскравості

Для систем ідентифікації у СЗІ, метою функціонування яких є розпізнавання об'єктів на цифровому зображенні, найбільш корисна інформація може бути представлена у відомостях про контури, тобто про лінії, що проходять на

границях однорідних областей. Зважаючи на результати, які отримані у попередніх підрозділах, поточною метою є синтез методу виділення контурів на основі процедури усереднення перепадів яскравості, який може бути використано у системах ідентифікації, що розпізнають об'єкти на цифровому зображенні. Передбачається, що метод повинен бути вільним від недоліків, які притаманні багатоагентному методу з використанням біоінспірованого алгоритму та методу замкнення контурів, який викладено у попередньому підрозділі. При цьому однією з додаткових задач є демонстрація переваг методу у порівнянні з традиційно використовуваними технологіями виділення контурів, тобто операторами Робертса, Прюїтт, Собеля та Шарра, а також показ точності обчислення градієнта та виявлення здатності пропонованого методу до придушення шумів зображення.

Синтез методу виділення контурів зображення базується на обчисленні градієнта зображення із застосуванням матриць згортки з наступним порівнянням значень градієнта в кожній точці зображення з певним порогом [28, 29]¹⁾. Для рішення поставленого завдання, а також з метою порівняння ефективності отриманого методу з відомими, використаємо достатньо поширені методи, які у своїй основі містять процедури обчислення градієнта зображення. До них, згідно [12, 30]²⁾, відносяться методи, з використанням операторів Робертса, Прюїтта, Собеля, Шарра. Ці методи, згідно зазначених першоджерел, вважаються стандартними. Метод, який в подальшому пропонується, не зважаючи на те, що використовує з них окремі елементи, є альтернативним та більш ефективним.

¹⁾ [28] Хрящев, Д. А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях / Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань: АГТУ. – 2010.

[29] Попов, Г. А. Об одном методе низкочастотной фильтрации гидроролокационных изображений / Г. А. Попов, Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. – 2010. – №1. – С. 63-68.

²⁾ [12] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1007 с.

[30] Анисимов, Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений : навчальний посібник для студентів ВНЗ. – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.

Більшість алгоритмів, що виділяють контури на цифрових зображеннях, засновані на обчисленні градієнта зображення. для функції f , згідно, з [28]¹⁾, градієнт має вигляд:

$$\nabla = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f \\ \frac{\partial}{\partial y} f \end{bmatrix},$$

Найбільш раннім алгоритмом з виявлення контурів зображення є алгоритм Л. Робертса.

Алгоритм Робертса [31]²⁾ заснований на диференціюванні амплітуди сигналу. Така процедура є рівносильною до обчислення дискретних різниць амплітуд відліків. Це може бути відображено так:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} &= Dif \langle f_x(x,y) \rangle = f(x,y) - f(x-1,y); \quad \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \\ &= Dif \langle f_y(x,y) \rangle = f(x,y) - f(x,y-1). \end{aligned}$$

Приведене означає, що градієнт зображення може бути обчислений за допомогою матриць згортки, а саме:

$$G_x \begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} * A, \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} * A, \quad G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2},$$

де A – вихідне зображення; $*$ – оператор згортки; G – градієнт зображення.

¹⁾ [28] Хрящев, Д. А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях / Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. – Астра-хань: АГТУ. – 2010.

²⁾ [31] Хусаинов А.А., Михайлова Н.Н. Программирование алгоритмов машинной графики в VC++ Builder [Електронний ресурс] // Портал : lib.gendocs. – Режим доступу \www/ URL : <http://lib.gendocs.ru/download/docs-2637/138500-2637.doc>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 19.11.2018.

Перехресний оператор Робертса [32]¹⁾ є найбільш простим та швидким методом виділення контурів. З метою значного збільшення швидкості обчислення градієнта, але, як показано далі – при значному зниженні точності, оператор Робертса може бути записаний у спрощеній формі:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}; A' = |a_{11} - a_{22}| + |a_{12} - a_{21}|,$$

де A' – оброблене зображення.

Оператор Дж. Прюїтт ґрунтується на понятті центральної різниці [33]²⁾:

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \frac{(f(x+1,y) - f(x-1,y))}{2}; \quad \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = \frac{(f(x,y+1) - f(x,y-1))}{2}.$$

Завдяки оператору Прюїтт градієнт зображення може бути обчислений по матрицях згортки, тобто:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A; \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} * A; \quad G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

Втім, суттєвим недоліком оператора Прюїтт є його чутливість до шуму на зображенні [28]³⁾.

¹⁾ [32] Мартыненко, Т. В. Модификация методики оценки качества контурной сегментации изображений рентгенограмм [Текст] / Т. В. Мартыненко, Д. Е. Лабинская // Збірник наукових праць Дон-НТУ. Серія : Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк : ДонНТУ. – 2012. – №171(19). – [Електронний ресурс] // Портал : Портал магістрів ДонНТУ. – Режим доступу \www/ URL : http://masters.donntu.edu.ua/2012/fknt/shevchenko_d/library/article2.htm. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 21.11.2018.

²⁾ [33] Фисенко, В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений : навчальний посібник. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

³⁾ [28] Хрящев, Д. А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях / Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серія : Управление, вычислительная техника и информатика. – Астра-хань: АГТУ. – 2010.

Аналогічно оператору Прюїтт, оператор Собеля (див., наприклад, [34]¹⁾), який найбільш часто використовується при розпізнаванні зображень, також в своїй основі спирається на поняття центральної різниці. Відмінністю є той факт, що вага центральних пікселів збільшується вдвічі:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A; G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A; G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

В різних програмних продуктах для підвищення продуктивності шляхом зниження кількості арифметичних операцій, матриці згортки Собеля можуть представлятися у вигляді добутків:

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} * ([+1 \ 0 \ -1] * A); G_y = \begin{bmatrix} +1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} * ([1 \ 2 \ 1] * A).$$

Головним недоліком оператора Собеля є те, що він не має повної оберальної симетрії. З метою зменшення цього негативного ефекту Г. Шарром був розроблений метод, який базується на тому, що в отриманих ним матрицях згортки ваги центральних пікселів перевершують ваги крайніх пікселів в 3,3 рази [35]²⁾. Це записується у вигляді:

$$G_x = \begin{bmatrix} -3 & 0 & +3 \\ -10 & 0 & +10 \\ -3 & 0 & +3 \end{bmatrix} * A, G_y = \begin{bmatrix} -3 & -10 & -3 \\ 0 & 0 & 0 \\ +3 & +10 & +3 \end{bmatrix} * A, G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

¹⁾ Ватутін, Е. І. Програмна оптимізація оператора Собеля з використанням SIMD-розширень процесорів сімейства x86 [Текст] / Е. І. Ватутін, С. Ю. Мірошніченко, В. С. Титов // Телекомунікації. – 2006. – №6. – С.12-16. – [Електронний ресурс] // Портал : Znaimo. – Режим доступу \www/ URL : http://www.evautin.narod.ru/evautin_opt_02_simdsobel.pdf. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 21.11.2018.

²⁾ [35] Двойной И. Р. Использование полярной цветовой модели для выделения лица на изображении / И. Р. Двойной, И. И. Сальников // «Студенческий научный форум» : IV Междунар. студ. электр. научн. конф., 15 февр. – 31 марта 2012 г. : тезисы докл. – М. : Российская академия естествознания. – С. 1-3.

Аналогічно розглянутим методам, в практичному використанні широко використовуються методи, засновані на лапласіані зображення [36]¹⁾, тобто:

$\nabla^2 f = \frac{\partial^2}{\partial x^2} f + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f$. Його особливістю, на відміну від оператора Собеля, є ін-

варіантність до обертання [37]²⁾, що дозволяє його легке використання у системах розпізнавання. Для обчислення лапласіана використовуються часткові похідні другого порядку:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = ((f(x+1, y) - f(x, y)) - (f(x, y) - f(x-1, y))) = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y),$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = ((f(x, y+1) - f(x, y)) - (f(x, y) - f(x, y-1))) = f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1),$$

сума яких дорівнює:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 4f(x, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1).$$

Приведене означає, що для обчислення лапласіана зображення може бути застосована матриця згортки, тобто:

$$\nabla^2 = \begin{bmatrix} 0 & +1 & 0 \\ +1 & -4 & +1 \\ 0 & +1 & 0 \end{bmatrix} * A$$

¹⁾ [36] Сойфер, В. А. Методы компьютерной обработки изображений : монография – М. : Физматлит, 2003. – 784 с.

²⁾ [37] Шалагинов, М. Ю. Задачи с оператором Лапласа на топологических поверхностях / М. Ю. Шалагинов, М. Г. Иванов, М. В. Долгополов // Вестник СГТУ : Серия : Физико-математические науки. – Самара : СГТУ. – 2011. – №2(23). – С. 243-250.

Як альтернатива методам, що обчислюють градієнт або лапласіан зображень, досить часто застосовуються статистичні методи [28]¹⁾. Такі методи містять у собі два етапи. На першому етапі обчислюється середнє арифметичне значення яскравості поточного робочого вікна [31]²⁾ – $\bar{r} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A(i, j)$, де m, n – кількість пікселів по вертикалі та горизонталі в робочому вікні.

На другому етапі обчислюється середньоквадратичне відхилення яскравості елементів робочого вікна від середнього арифметичного їхньої яскравості:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A(i, j) - \bar{r})^2}.$$

Заключний етап – значення всіх елементів робочого вікна множаться на отримане середньоквадратичне відхилення, тобто – $A'(i, j) = \sigma \cdot A(i, j)$.

Аналогічно методам, що засновані на обчисленні градієнта зображення та розглянуті вище, запропонований метод виділяє контури зображення, розраховуючи для кожного пікселя зображення перепади яскравості його сусідніх пікселів по двох напрямках, усереднюючи отримане значення. Для цього у якості бази використана функція [29]³⁾:

$$F(x) = \frac{e^{\cos(x^2)-2}}{a \cdot x^2 + 1}. \quad (3.1)$$

По (3.1) розраховуються матриці згортки. Матриці являють собою поля з розмірами 5×5 . Елементами матриць є значення функції (3.1). Вага пікселів

¹⁾ [28] Хрящев, Д. А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях / Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. – Астра-хань: АГТУ. – 2010.

²⁾ [31] Хусаинов А.А., Михайлова Н.Н. Программирование алгоритмов машинной графики в VC++ Builder [Електронний ресурс] // Портал : lib.gendocs. – Режим доступу \www/ URL : <http://lib.gendocs.ru/download/docs-2637/138500-2637.doc>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 19.11.2018.

³⁾ [29] Попов, Г. А. Об одном методе низкочастотной фильтрации гидролокационных изображений / Г. А. Попов, Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. – 2010. – №1. – С. 63-68.

залежить від відстані до центрального пікселя. Відстань до центрального пікселя використовується як аргумент x функції (3.1). Для зручності значення функції (3.1) округляються. Параметр a , згідно статистичних даних [29]¹⁾, приймається рівним 0,09 та, при необхідності, може бути змінений в будь-яку сторону з довільним кроком. Матриця згортки обчислюється у такий спосіб:

– для першої складової:

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0 & +F(x=2) & +F(x=\sqrt{2}) & +F(x=2) & 0 \\ +F(x=2) & +F(x=1) & +F(x=0) & 0 & -F(x=2) \\ +F(x=\sqrt{2}) & +F(x=0) & 0 & -F(x=0) & -F(x=\sqrt{2}) \\ +F(x=2) & 0 & -F(x=0) & -F(x=1) & -F(x=2) \\ 0 & -F(x=2) & -F(x=\sqrt{2}) & -F(x=2) & 0 \end{bmatrix};$$

– для другої складової:

$$D_2 = \begin{bmatrix} 0 & +F(x=2) & +F(x=\sqrt{2}) & +F(x=2) & 0 \\ -F(x=2) & 0 & +F(x=0) & +F(x=1) & +F(x=2) \\ -F(x=\sqrt{2}) & -F(x=0) & 0 & +F(x=0) & +F(x=\sqrt{2}) \\ -F(x=2) & -F(x=1) & -F(x=0) & 0 & +F(x=2) \\ 0 & -F(x=2) & -F(x=\sqrt{2}) & -F(x=2) & 0 \end{bmatrix}.$$

Після округлення:

$$D_1 = \frac{1}{38} \begin{bmatrix} 0 & +2 & +3 & +2 & 0 \\ +2 & +8 & +14 & 0 & -2 \\ +3 & +14 & 0 & -14 & -3 \\ +2 & 0 & -14 & -8 & -2 \\ 0 & -2 & -3 & -2 & 0 \end{bmatrix} * A; D_2 = \frac{1}{38} \begin{bmatrix} 0 & +2 & +3 & +2 & 0 \\ -2 & 0 & +14 & +8 & +2 \\ -3 & -14 & 0 & +14 & +3 \\ -2 & -8 & -14 & 0 & +2 \\ 0 & -2 & -3 & -2 & 0 \end{bmatrix} * A;$$

¹⁾ [29] Попов, Г. А. Об одном методе низкочастотной фильтрации гидролокационных изображений / Г. А. Попов, Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. – 2010. – №1. – С. 63-68.

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2}$$

Після обчислення D для отримання бінарного масиву контурів зображення кожний елемент D порівнюється зі встановленим статичним або динамічним порогом.

Завдяки тому, що в основі пропонованого методу лежить функція (3.1), що використовується для побудови фільтра низьких частот [29]¹⁾, пропонований метод має додаткову позитивну характеристику – придушує шуми.

Порівняємо запропонований альтернативний метод виділення контурів зі стандартними, які були розглянуті вище.

Для тестового порівняння стандартних методів, які виділяють контури на цифрових зображеннях, із пропонованим методом, використовувалося зображення вкладених овалів (рис. 3.3). Кожен овал заповнений півтоною заливкою з певним кроком зміни тону. Як слідує з [29], така методика є зручною та доцільною для тестування методів, які виділяють границі. Це пояснюється

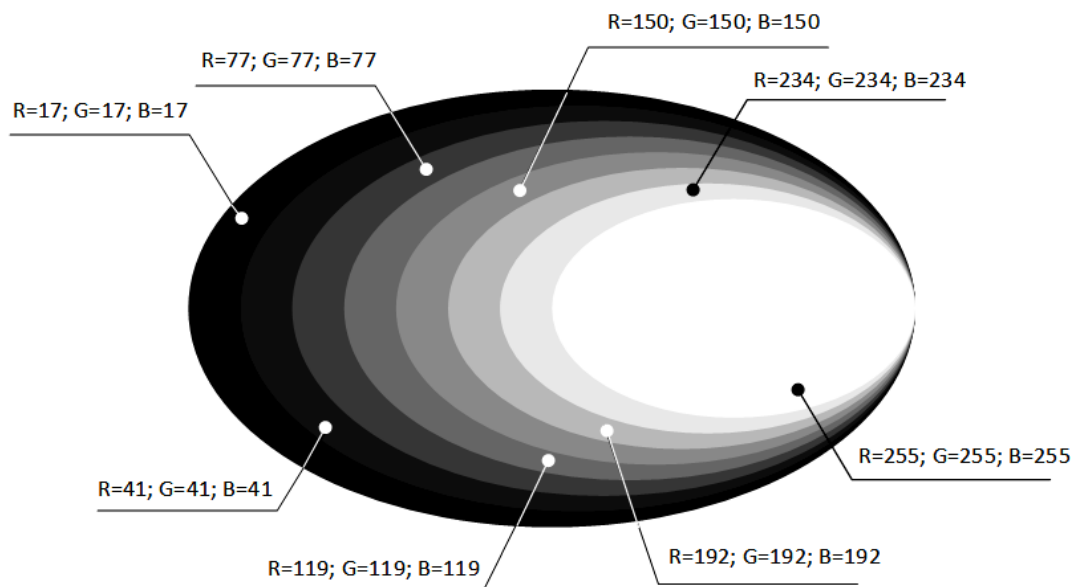


Рисунок 3.3 – Тестове зображення

¹ [29] Попов, Г. А. Об одном методе низкочастотной фильтрации гидролокационных изображений / Г. А. Попов, Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. – 2010. – №1. – С. 63-68.

тим, що використовується множина однорідних областей, які можуть чергуватися з доволіно встановленим кроком, і множина границь між ними.

Характеристики зображення (рис. 3.3): 8 градацій синтезованого сірого кольору з каналів R, G та B: крок зміни кольорів RGB – довольний (значення каналів R, G та B вказані на рисунку); розміри: *422 пікселів по вертикалі; 255 пікселів по горизонталі*; роздільна здатність: *360 dpi*; колірний режим: *RGB, 8 bit*; фон: *білий*.

Обробка та аналіз зображення полягали у наступному: обробка початкового зображення відповідним оператором та отримання контурів; побудова гістограми градієнтів; аналіз гістограми градієнтів; підрахунок часу, витраченого на обробку зображення відповідним оператором.

На рис. 3.4-а ... рис. 3.4-г показані результат застосування приведених операторів, які виділяють границі. З метою більш наглядного відображення, на рисунках відтінки, близькі до «білого» кольору, штучно інвертовані в колір, близький до «чорного» навпаки.

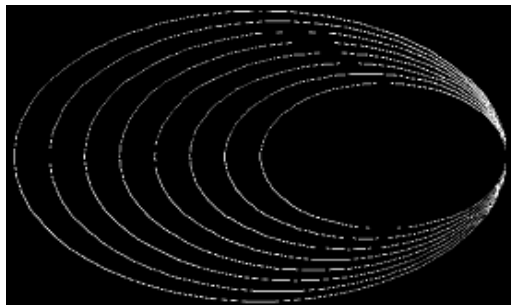
Для оцінки порівняльної точності обчислення градієнта були побудовані гістограми градієнтів (рис. 3.4-а ... рис. 3.4-г).

Як видно, найгіршу якість при розпізнаванні контурів показав найпростіший, але найшвидший оператор – оператор Робертса.

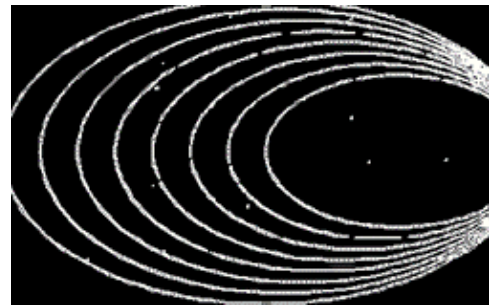
Градієнт, обчислений для оператора Робертса, у багатьох точках зображення має значно менші значення (на рис. 3.4-д лінії контурів більш тонкі) в порівнянні зі значеннями, обчисленими іншими операторами. Крім того, виявився суттєвий недолік оператора: частина контурів переривається, чого, як видно з рис. 3.4-б ... рис. 3.4-д, не спостерігається при застосуванні інших операторів. Як наслідок, це може привести до того, що для контурів зображення, які подібні один до одного, такий градієнт приймає однакові значення. Можна також відзначити, що на гістограмі, побудованій для оператора Робертса (рис. 3.5-а), практично відсутні малі значення. Це означає, що зазначений оператор недостатньо точно виділяє слабкі контури зображення.

По гістограмам градієнтів, обчислених з використанням операторів Прюїтт, Собеля та Шарра, видно, що по точності виділення контурів оператор Прюїтт поступається операторам Собеля та Шарра.

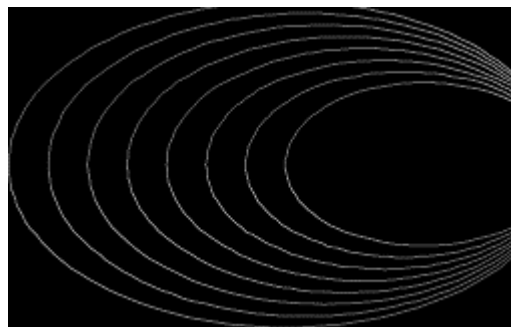
Такий висновок слідує з того, що в гістограмах Собеля та Шарра градієнт приймає значення з усього допустимого діапазону, а в гістограмі Прюїтт є «пробіли».



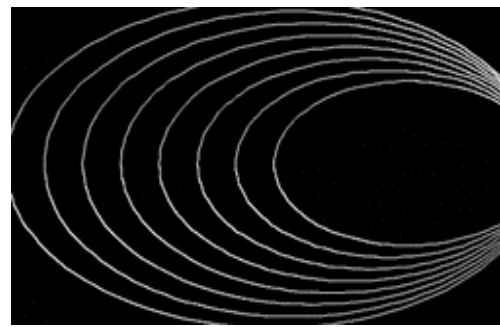
а)



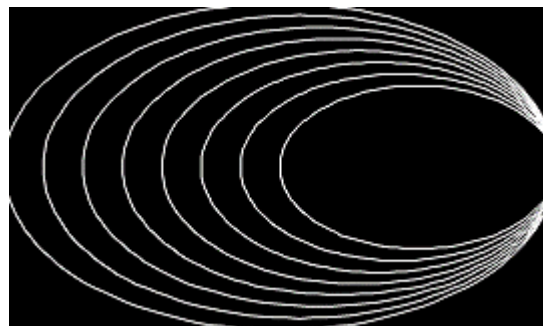
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3.4 – Зображення контурів, отримане у результаті застосування операторів: а) Робертса; б) Прюїтт; в) Собеля; г) Шарра; д) пропонуваного оператора

Аналіз гістограм градієнтів Собеля та Шарра свідчить про еквівалентну точність роботи обох операторів. Лише уважний аналіз як зображень, приведених на рис. 3.4-в та рис. 3.4-г, так і гістограм на рис. 3.5-в та рис. 3.5-г, свідчить про більш точне розпізнавання на основі використання оператора Шарра.

Гістограма градієнта (рис. 3.5-д), обчисленого пропонованим методом, містить весь діапазон значень градієнта. Аналіз гістограми показує, що градієнт, розрахований пропонованим методом, приймає більші значення частіше, ніж градієнти, які використовуються у широкому вжитку. Як наслідок, це означає, що пропонований метод виявив більше границь перепадів яскравості пікселів зображення, яке аналізується, ніж стандартні методи.

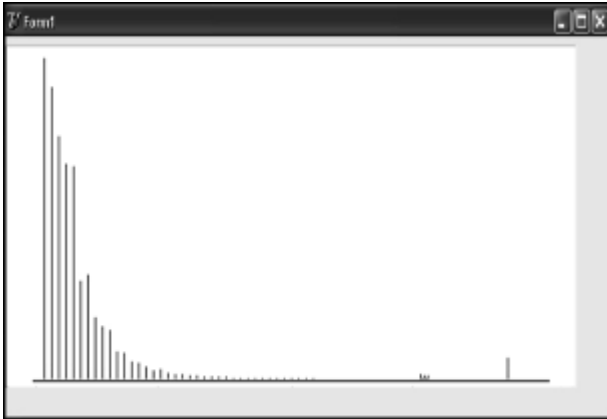
Крім зазначеного, відзначимо наявність ефекту придушення шумів на зображенні, оскільки гістограма градієнта пропонованого методу має більш «гладку» форму, ніж гістограми стандартних методів. Очевидність цього факту також підтверджується візуальним аналізом якості побудованих контурних ліній: на рис. 3.4-д (пропонований метод) вони набагато гладкіші, ніж на рис. 3.4-а ... рис. 3.4-г (методи Робертса, Прюїтт, Собеля та Шарра відповідно).

Для тестування вище приведених методів та пропонованого методу розпізнавання контурів зображення, використовувався комп'ютер з процесором, який має чотири ядра та тактову частоту 2,5 ГГц. Ємність оперативної пам'яті – 4 Гбайт. У табл. 3.1 відображений час обробки зображення загальноприйнятими методами та пропонованим. Тут же, для порівняння, приведені результати, отримані у [28]¹⁾.

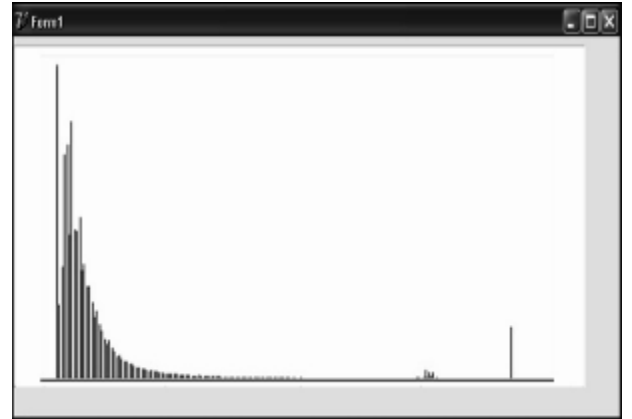
Як видно з табл. 3.1, найшвидшим є оператор Робертса. Оператори Прюїтт, Собеля та Шарра мають практично однаковий час виконання. Пропо-

¹⁾ [28] Хрящев, Д. А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях / Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань: АГТУ. – 2010.

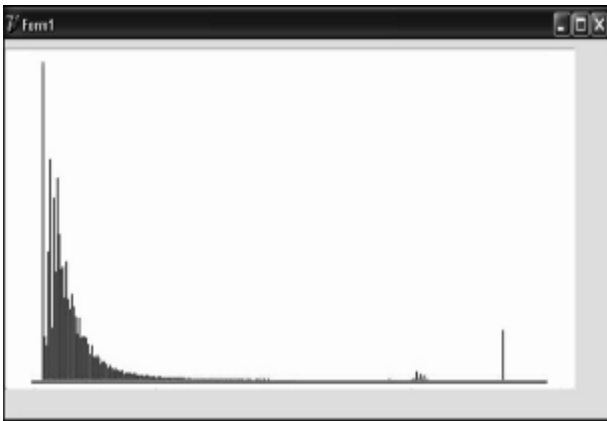
нований метод дещо програє загально прийнятим методам. Розрахована різниця між отриманими результатами та результатами з [28] свідчить про їх то-



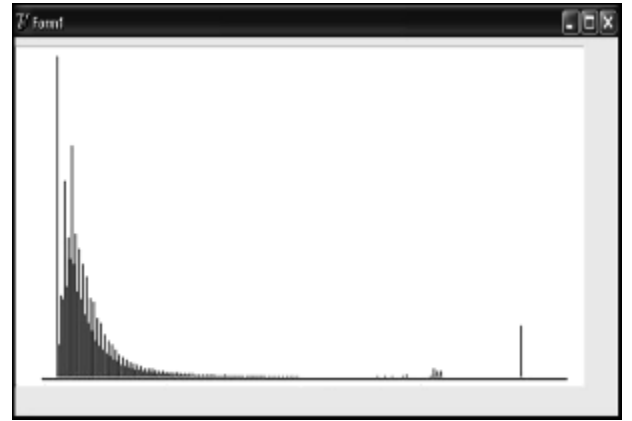
а)



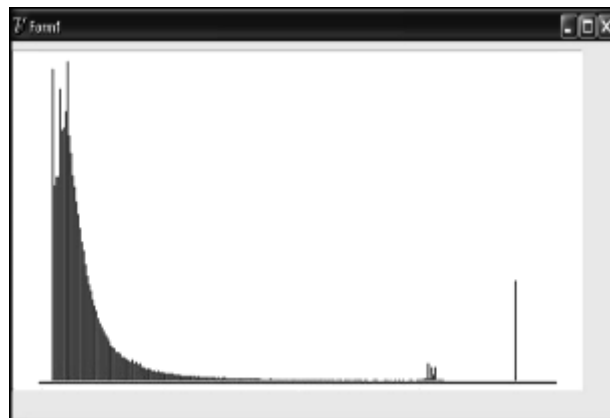
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3.5 – Гістограми градієнтів при застосуванні операторів:
 а) Робертса; б) Прюїтт; в) Собеля; г) Шарра; д) запропонованого
 оператора

тожність і, т.ч., про достовірність.

Таблиця 3.1 – Час обробки зображення

Оператор (метод) →		БМ+ЗК**	Роберт- тса	Прюїтт	Собеля	Шарра	Пропоно- ваний
Час, мс	РД*	24	204	220	219	224	242
	[28]	–	281	295	295	297	312
Δ		–	77	75	76	73	70

* – розраховані дані

** – багатоагентний метод з використанням біоінспірованого алгоритму у поєднанні з методом замкнення контурів

Застосування програмного забезпечення (Додаток А) до тестового зображення (рис. 3.6), дало змогу встановити, що за допомогою пропонованого методу з'явилася можливість достовірного виділення контурів об'єктів на піктоновому зображенні. При цьому контур достатньо точно відповідає вхідному зображенню, має товщину в 1 піксель та не має розривів.

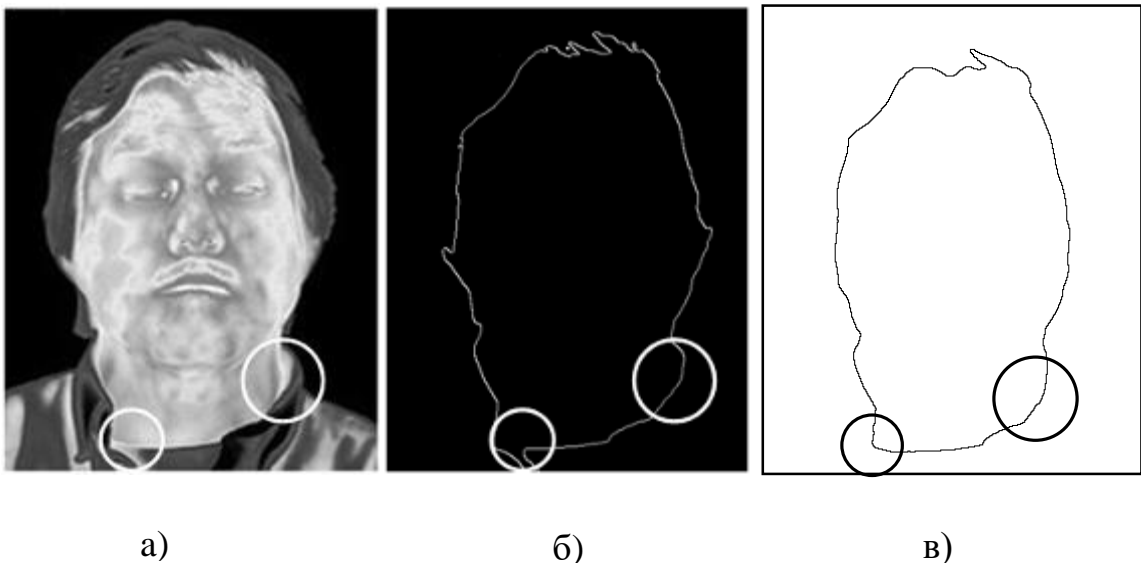
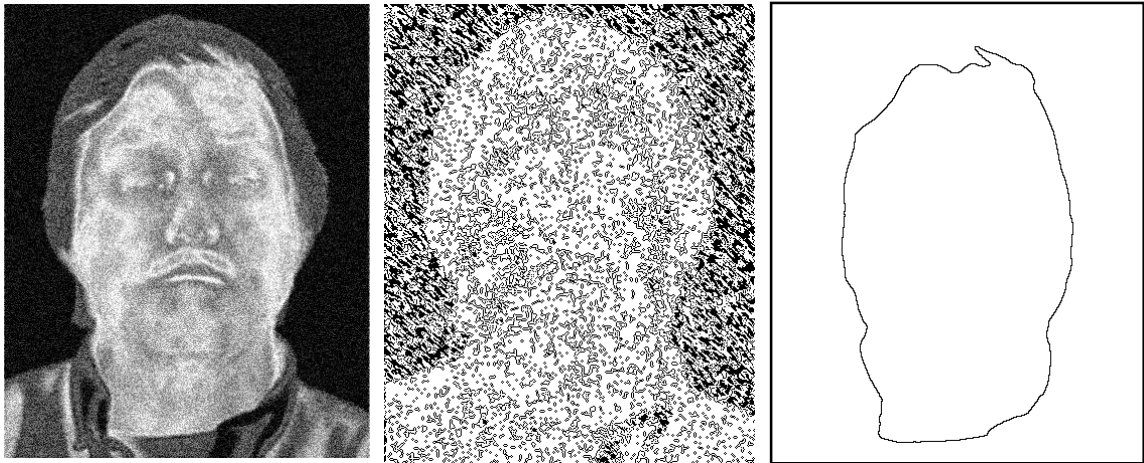


Рисунок 3.6 – Результати виділення контуру зображення без шумів: а) вхідне зображення без шумів; б) результат обробки незашумленого зображення біоінспірованим алгоритмом та програмою замкнення контурів з позначенням помилок розпізнавання контуру; в) результат обробки незашумленого зображення методом виділення контурів на основі усереднення перепадів яскравості з позначенням виправлених помилок розпізнавання контуру

Метод також відзначається наявністю ефекту придушення шумів, що ілюструє рис. 3.7. Як видно, при виділенні контурів на зашумленому зображенні результати є аналогічними тим, які отримані при виділенні контурів на незашумленому зображенні.

Рис. 3.7-б відображає той факт, що цього неможливо досягти біоінспірованим алгоритмом та способом замкнення контурів.



а)

б)

в)

Рисунок 3.7 – Результати виділення контуру зображення з мультиплікативними шумами: а) вхідне зашумлене зображення; б) результат обробки зашумленого зображення біоінспірованим алгоритмом та програмою замкнення контурів; в) результат обробки зашумленого зображення методом виділення контурів на основі усереднення перепадів яскравості

ВИСНОВКИ

Вирішення нагального питання з розробки та удосконалення технологій виділення інформативних ознак зображень, які використовуються для організації процедур ідентифікації та аутентифікації у СЗІ, дозволило отримати наступні результати:

- а) Запропоновано модифікувати класичний алгоритм виділення контурів Canny методом згладжування з використанням гаусівської фільтрації так, як це зроблено у розділі 2. Одночасно відмічено недолік фільтрації: дрібні деталі будуть розмиваються швидше, ніж перепади між областями, але при цьому чітко виражені межі розпливаються в жирні лінії. Зроблено висновок про те, що проблемі боротьби з цим явищем необхідно приділити увагу при дослідженнях.
- б) Показано, що однією з проміжних цілей дослідження є виділення контуру термозображення у вигляді тонкої межі, тобто у вигляді бінаризованого зображення. Встановлено, що якість бінаризації для певного тестового зображення може бути оцінена величиною індексу якості зображення. Розроблено алгоритм його розрахунку. На основі розробленого алгоритму обчислення індексу якості зображення сформовано масиви даних якісних показників, які надають можливостей щодо формування різних запитів при отриманні різноманітних оцінок стосовно обробки зображень різних типів ковзним вікном, розміри якого $n \times n$, де $n \in [3, 5, 7, 9, 11]$.
- в) Розглянуто можливості використання багатоагентного методу, що базується на біоінспірованому алгоритмі, для виділення інформативних ознак про особу у системах доступу, які засновані на ідентифікації зображень. Доказано, що метод не є вільним від недоліків, які притаманні класичному алгоритму Canny. Запропоновано адаптувати багатоагентний метод до потреб систем забезпечення інформаційної безпеки, доповнивши його розробленим способом замкнення контурів на

довільній матриці растрового зображення. Доведено, що такий комбінований метод відрізняється більш ефективною швидкістю у порівнянні з прототипом.

- г) Розроблено, обґрунтовано та запропоновано до використання метод виділення контурів на півтоновому зображенні на основі усереднення перепадів яскравості, що використовує альтернативну функцію, яка застосовується для побудови низькочастотних фільтрів. Показано, що метод може бути використаний в системах ідентифікації, які розпізнають об'єкти на цифровому зображенні. Встановлено, що розроблений метод є найбільш повільним серед відомих методів виділення контурів щодо його виконання на ЕОМ, але він має найбільш високу точність обчислення градієнта та, одночасно, здатність придушувати шуми. Наявність ефекту придушення шумів на зображенні пояснено тим, що гістограма градієнта пропонованого методу має більш «гладку» форму, ніж гістограми стандартних методів. Відмічено, що пропонований метод виявив більше границь перепадів яскравості пікселів зображення, яке аналізується, ніж стандартні методи. Розроблений метод виділення контурів на півтоновому зображенні реалізовано у вигляді програмно-апаратного комплексу та з його допомогою проведено достовірне виділення контуру тестового об'єкту на півтоновому зображенні. При цьому контур достатньо точно відповідав вхідному зображенню, мав товщину в 1 піксель та не мав розривів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Common Criteria [Електронний ресурс] / Портал : Вільна енциклопедія. – Режим доступу \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Common_Criteria#.D0.A1.D0.BF.D0.BE.D1.81.D1.82.D0.B5.D1.80.D0.B5.D0.B6.D0.B5.D0.BD.D1.96.D1.81.D1.82.D1.8C. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 14.11.2018.
2. Bonsor, K. How Facial Recognition Systems Work [Електронний ресурс] / К. Bonsor, R. Johnson // Портал : Howstuffworks – Режим доступу \www/ URL: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/facial-recognition.htm>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 12.11.2018.
3. Искусственный интеллект. Книга 1. Системы общения и экспертные системы: довідник / коллект. авторов ; под. ред. Э. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с
4. Глущенко, В. Е. Концептуальные вопросы построения интеллектуальных систем защиты от несанкционированного доступа – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – 2007. – №5. – С. 45-50.
5. Павлидис, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М.: Радио и связь, 1986. – 394 с.
6. Искусственный интеллект. Книга 1. Системы общения и экспертные системы : довідник / коллект. авторов; под. ред. Э. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с.
7. Александров, В. В. Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных : монография / В. В. Александров, Н. Д. Горский. – Л. : Наука, 1983. – 208 с.
8. Распознавание лиц [Електронний ресурс] / Портал : Википедія. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_лиц. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 17.11.2018.

9. Кажаров, А. Биоинспирированные алгоритмы. Решение оптимизационных задач – М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 80с.
10. Дроздов, С. Комбинаторные задачи и элементы теории вычислительной сложности [Электронный ресурс] // Портал : НашаУчеба. – Режим доступа \www/ URL : http://nashaucheba.ru/v2594/дроздов_с.комбинатор-ные_задачи_и_элементы_теории_вычислительной_сложности?page=14. – Заголовок з экрана. – Дата звернення 17.11.2018.
11. Кучуганов, А. В. Биоинспирированные алгоритмы выделения информативных признаков изображений. Известия Томского политехнического университета. – 2012. – №5. – с. 141-145.
12. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1007 с.
13. Шапиро, Л. Компьютерное. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2006. – 752 с.
14. Колодникова, Н. В. Обзор текстурных признаков для задач распознавания образов. Доклады ТУСУР : Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. – 2004. С. 113-124.
15. Андреев, Г. А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур. Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3-33
16. Напрюшкин, А. А. Алгоритмическое и программное обеспечение системы интерпретации аэрокосмических изображений для решения задач картирования ландшафтных объектов. – Томск, 2002. – 183 с.
17. Загоруйко, Н. Г. Методы распознавания и их применение. М. : Советское радио. – 1972. – 208 с.
18. Pushkareva, T.G. Detection of fires from satellite images using a nonparametric algorithm of pattern recognition in space of the informative parameters. Proceedings of SPIE. – 2000. – С. 283-285.

19. Колодникова, Н. В. Обзор текстурных признаков для задач распознавания образов. Доклады ТУСУР : Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. – 2004. – С. 113-124.
20. Спектральный анализ меридиональной системы [Электронный ресурс] / Портал : tusur.ru. – Режим доступа \www/ URL: <http://skfb.ru/r110aa1.html>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 17.11.2018.
21. Традиционные методы биометрической аутентификации и идентификации / П. М. Азизов, Е. А. Воробей, В. М. Колешко. – Минск: БНТУ, 2009. – 107 с.
22. Протасов, К. Т. Непараметрический алгоритм распознавания объектов подстилающей поверхности Земли по данным аэрокосмической съемки. – Вестник Томского государственного университета. – 2002. – №275. – С. 41-46.
23. Харалик, Р. М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур. – ТИИЭР. – 1979. – Т. 67. – №5.
24. Потапов, А. А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей. – Радиотехника и электроника. – 2003. – Т.48. – №9. – С. 1101-1119.
25. Сергеев, В. В. Параллельно-рекурсивные КИХ-фильтры для обработки изображений . – Компьютерная оптика. – 1992. – №10-11. – С.186-201.
26. Камеры видеонаблюдения: тенденции развития и перспективы [Электронный ресурс] – Режим доступа: \www/ URL : <http://www.videogroup.ru/kameri-videonabliudeniya>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 19.11.2018.
27. Поиск контуров [Электронный ресурс] // Портал : OpenCV. – Режим доступа \www/ URL : http://locv.ru/wiki/8.3_Поиск_контуров. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 20.11.2018.

28. Хрящев, Д. А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях / Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань: АГТУ. – 2010.
29. Попов, Г. А. Об одном методе низкочастотной фильтрации гидролокационных изображений / Г. А. Попов, Д. А. Хрящев // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. – 2010. – №1. – С. 63-68.
30. Анисимов, Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений : навчальний посібник для студентів ВНЗ. – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.
31. Хусаинов А.А., Михайлова Н.Н. Программирование алгоритмов машинной графики в VC++ Builder [Электронный ресурс] // Портал : lib. gen-docs. – Режим доступа \www/ URL : <http://lib.gendocs.ru/download/docs-2637/138500-2637.doc>. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 19.11.2018.
32. Мартыненко, Т. В. Модификация методики оценки качества контурной сегментации изображений рентгенограмм [Текст] / Т. В. Мартыненко, Д. Е. Лабинская // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія : Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк : ДонНТУ. – 2012. – №171(19). – [Электронный ресурс] // Портал : Портал магистров ДонНТУ. – Режим доступа \www/ URL : http://masters.donntu.edu.ua/2012/fknt/shevchenko_d/library/article2.htm. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 21.11.2018.
33. Фисенко, В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений : навчальний посібник. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
34. Ватутін, Е. І. Програма оптимізація оператора Собеля з використанням SIMD-розширень процесорів сімейства x86 [Текст] / Е. І. Ватутін, С. Ю. Мірошниченко, В. С. Титов // Телекомунікації. – 2006. – №6. – С.12-16. – [Электронный ресурс] // Портал : Znaймо. – Режим

- доступу \www/ URL : http://www.evatutin.narod.ru/evatutin_opt_02_simdsobel.pdf. – Заголовок з екрану. – Дата звернення 21.11.2018.
35. Двойной И. Р. Использование полярной цветовой модели для выделения лица на изображении / И. Р. Двойной, И. И. Сальников // «Студенческий научный форум» : IV Междунар. студ. электр. научн. конф., 15 февр. – 31 марта 2012 г. : тезисы докл. – М. : Российская академия естествознания. – С. 1-3.
36. Сойфер, В. А. Методы компьютерной обработки изображений : монография. – М. : Физматлит, 2003. – 784 с.
37. Шалагинов, М. Ю. Задачи с оператором Лапласа на топологических поверхностях [Текст] / М. Ю. Шалагинов, М. Г. Иванов, М. В. Долгополов // Вестник СГТУ : Серия : Физико-математические науки. – Самара : СГТУ. – 2011. – №2(23). – С. 243-250.

ДОДАТОК А

Лістинги програмного коду

Завдання для вирішення: знаходження точок, які будуть використовуватися для відображення контуру заданого об'єкта на зображенні.

Тестове зображення:

- а) око людини;
- б) тестовий термознімок обличчя;
- в) тестове зображення набору геометричних фігур.

Тип файлу: GIF.

Розмір зображення: 320×240 dpi.

Принцип навчання програми:

- а) використання нейротехнології навчання програми на прикладах «це око» (1024 зображення) та «це не око» (1024 зображення);
- б) використання нейротехнології навчання програми на прикладах «це лице» (16 зображень) та «це не лице» (1024 зображення);
- в) використання нейротехнології навчання програми на прикладах «це овал» (1024 зображення) та «це не овал» (1024 зображення).

Обмеження:

- тестове зображення знаходиться в центрі області аналізу;
- межі зображення не виходять за певні границі.

Алгоритм роботи:

- г) знайдення ока (обличчя, еліпсу);
- д) сканування передбачуваних областей місцезнаходження факторів фону, які не можуть бути предметом розпізнавання;
- е) видалення факторів фону, які не можуть бути предметом розпізнавання;
- ж) розпізнавання геометрії (обличчя, еліпсу);
- з) бінаризація;
- і) виділення контурів.

Розробка додатку

- Середовище розробки Visual Studio 9.0;
- використана бібліотека – OpenCV.

A.1 Лістинг програми виділення контуру біоінспірованим алгоритмом

```

#include "cv.h"
#include "highgui.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <assert.h>
#include <math.h>
#include <float.h>
#include <limits.h>
#include <time.h>
#include <ctype.h>
#ifdef _EiC #define WIN32 #endif
static CvMemStorage* storage = 0;
static CvHaarClassifierCascade* cascade = 0;
void detect_and_draw(IplImage* image);
const char* cascade_name = "haarcascade_frontalface_alt.xml";
int main(int argc, char** argv)
{
    CvCapture* capture = 0;
    IplImage* frame, *frame_copy = 0;
    int optlen = strlen("--cascade=");
    const char* input_name;
    if (argc > 1 && strcmp(argv[1], "--cascade=") == 0)
    {
        cascade_name = argv[1] + optlen;
        input_name = argc > 2 ? argv[2] : 0;
    }
    else
    {
        cascade_name = ../data/haarcascades/haarcascade_frontalface_alt2.xml";
        input_name = argc > 1 ? argv[1] : 0;
    }
    cascade = (CvHaarClassifierCascade*)cvLoad(cascade_name, 0, 0, 0);
    if (!cascade)
    {
        fprintf(stderr, "ERROR: Could not load classifier cascade\n");
        fprintf(stderr, "Usage: facedetect --cascade=\"cascade_path>\"
            [filename | camera_index]\n");
        return -1;
    }
    storage = cvCreateMemStorage(0);

```

```

if (!input_name || (isdigit(input_name[0]) && input_name[1] == '\0'))
    capture = cvCaptureFromCAM(!input_name ? 0 : input_name[0] - '0');
else
    capture = cvCaptureFromAVI(input_name);
cvNamedWindow("result", 1);
if (capture)
{
    for (;) {
        if (IcvGrabFrame(capture)) break;
        frame = cvRetrieveFrame(capture);
        if (!frame) break;
        if (!frame_copy)
            frame_copy = cvCreateImage(cvSize(frame->width, frame->height), IPL_DEPTH_8U,
f frame->nChannels); if (frame->origin == IPL_ORIGIN_TL) cvCopy(frame, frame_copy, 0);
        else
            cvFlip(frame, frame_copy, 0); detect_and_draw(frame_copy); if (cvWaitKey(10) >=
0) break;
    }
    cvReleaseImage(&frame_copy); cvReleaseCapture(&capture);
}
else
{
    const char* filename = input_name ? input_name : (char*)"lena.jpg";
    IplImage* image = cvLoadImage(filename, 1);
    if (image)
    {
        detect_and_draw(image);
        cvWaitKey(0);
        cvReleaseImage(&image);
    }
    else
    {
        // Текстовий файл із списком оброблюваних образів
        FILE* f = fopen(filename, "rt");
        if (f)
        {
            char buf[1000 + 1];
            while (fgets(buf, 1000, f))
            {
                int len = (int)strlen(buf);
                while (len > 0 && isspace(buf[len - 1])) len--;
                buf[len] = '\0';
                image = cvLoadImage(buf, 1);
                if (image)
                {
                    detect_and_draw(image);
                    cvWaitKey(0);
                    cvReleaseImage(&image);
                }
            }
            fclose(f); } } }
cvDestroyWindow("result");

```

```

    return 0;
}
void detect_and_draw(IplImage* img)
{
    static CvScalar colors[] =
    {
        {{0, 0, 255}},
        {{0, 128, 255}},
        {{0, 255, 255}},
        {{0, 255, 0}},
        {{255, 128, 0}},
        {{255, 255, 0}},
        {{255, 0, 0}},
        {{255, 0, 255}}
    }
    double scale = 1.3;
    IplImage* gray = cvCreateImage(cvSize(img->width, img->height), 8, 1);
    IplImage* small_img = cvCreateImage(cvSize(cvRound(img->width / scale), cvRound(img->
height / scale)), 8, 1); int i;
    cvCvtColor(img, gray, CV_BGR2GRAY); cvResize(gray, small_img,
CV_INTER_LINEAR); cvEqualizeHist(small_img, small_img); cvClearMemStorage(storage);
if (cascade)
    {
        double t = (double)cvGetTickCount();
        CvSeq* faces = cvHaarDetectObjects(small_img, cascade, storage,
1.1, 2, 0 /*CV_HAAR_DO_CANNY_PRUNING*/, cvSize(30, 30)); t = (double)cvGet-
TickCount() - t;
        printf("Detection time = %gms\n", t / ((double)cvGetTickFrequency() * 1000.); for (i = 0; i
< (faces ? faces->total : 0); i++)
        {
            CvRect* r = (CvRect*)cvGetSeqElem(faces, i);
            CvPoint center; int radius;
            center.x = cvRound((r->x + r->width * 0.5) * scale); center.y = cvRound((r->y + r-
height * 0.5) * scale); radius = cvRound((r->width + r->height) * 0.25 * scale); cvCircle(img,
center, radius, colors[i % 8], 3, 8, 0);
        } } }
}

```

А. 2 Лістинг програми виділення контурів з півтонового зображення

```

// Пошук контурів на напівтоновому зображенні
#include <cv.h>
#include <highgui.h>

IplImage* g_image = NULL;
IplImage* g_gray = NULL;
int g_thresh = 100;
CvMemStorage* g_storage = NULL;
void on_trackbar(int)
{

```

```

if (g_storage == NULL)
{
    g_gray = cvCreateImage(cvGetSize(g_image), 8, 1);
    g_storage = cvCreateMemStorage(0);
}
else
{
    cvClearMemStorage(g_storage);
}
CvSeq* contours = 0;
cvCvtColor(g_image, g_gray, CV_BGR2GRAY);
cvThreshold(g_gray, g_gray, g_thresh, 255, CV_THRESH_BINARY)
cvFindContours(g_gray, g_storage, Scontours);
cvZero(g_gray);
if (contours)
    cvDrawContours(
        g_gray,
        contours,
        cvScalarAll(255),
        cvScalarAll(255),
        100
    );
cvShowImage("Contours", g_gray);
}
int main(int argc, char** argv)
{
    if (argc != 2 || !(g_image = cvLoadImage(argv[1])))
        return -1;
    cvNamedWindow("Contours", 1);
    cvCreateTrackbar(
        "Threshold",
        "Contours",
        &g_thresh, 255,
        on_trackbar
    );
    on_trackbar(0);
    cvWaitKey();
    return 0;
}

// Послідовний пошук контурів на зображенні
int main(int argc, char* argv[])
{
    cvNamedWindow(argv[0], 1);

    IplImage* img_8ucl = cvLoadImage(argv[1], CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE);
    IplImage* img_edge = cvCvtColor(cvCreateImage(cvGetSize(img_8ucl), 8, 1);
    IplImage* img_8uc3 = cvCvtColor(cvCreateImage(cvGetSize(img_8ucl), 8, 3);
    cvThreshold(img_8ucl, img_edge, 128, 255, CV_THRESH_BINARY);
    CvMemStorage* storage = cvCreateMemStorage();
    CvSeq* first_contour = NULL;
    int Nc = cvFindContours(

```



```

    img_edge,
    storage,
    &first_contour,
    sizeof(CvContour),
    CV_RETR_LIST
);
int n = 0;
printf("Total Contours Detected: %d\n", Nc);
for (CvSeq* c = first_contour; c != NULL; c = c->h_next)
{
    cvCvtColor(img_8ucl, img_8uc3, CV_GRAY2BGR);
    cvDrawContours(
        img_8uc3, c,
        CVX_RED,
        CVX_BLUE, 0, 2, 8
    );
    printf("Contour #%d\n", n);
    cvShowImage(argv[0], img_8uc3);
    printf(" %d elements:\n", c->total);
    for (int i = 0; i < c->total; ++i)
    {
        CvPoint* p = CV_GET_SEQ_ELEM(CvPoint, c, i);
        printf(" (%d,%d)\n", p->x, p->y);
    }
    cvWaitKey(0);
    n++;
}
printf("Finished all contours.\n");
cvCvtColor(img_8ucl, img_8uc3, CV_GRAY2BGR);
cvShowImage(argv[0], img_8uc3);
cvWaitKey(0);
cvDestroyWindow(argv[0]);
cvReleaseImage(&img_8ucl);
cvReleaseImage(&img_8uc3);
cvReleaseImage(&img_edge);
return 0;
}

```

A. 3 Лістинг програми пошуку та порівняння

```

private void ProcessFrame()
{
    try
    {
        if (captureFromCam)
            frame = _capture.Query Frame();
        frameCount &#43;&#43;
        processor.ProcessImage(frame);
        if (cbShowBinarized.Checked)
            ibMain.Image = processor.binarizedFrame;
        else

```

```

        ibMain.Image = frame;
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Console.WriteLine(ex.Message);
    }
}

public void ProcessImage(Image< Gray, byte> grayFrame)
{
    if (equalizeHist)
        grayFrame._EqualizeHist();//autocontrast
//smoothed
    Image < Gray, byte>;
    smoothedGrayFrame = grayFrame.PyrDown();
    smoothedGrayFrame = smoothedGrayFrame.PyrUp();
//canny
    Image < Gray, byte>;
    cannyFrame = null;
    if (noiseFilter)
        cannyFrame = smoothedGrayFrame.Canny(new Gray(cannyThreshold), new Gray(canny-
Threshold));
//smoothing
    if (blur)
        grayFrame = smoothedGrayFrame;
//binarize
    CvInvoke.cvAdaptiveThreshold(grayFrame, grayFrame, 255,
    Emgu.CV.CvEnum.ADAPTIVE_THRESHOLD_T
YPE.CV_ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C,
    Emgu.CV.CvEnum.THRESH.CV_T HRE S H_B I NARY, adapt i veThresholdBlockS i ze
&#43; adaptiveThresholdBlockSize % 2 &#43; 1, adaptiveThresholdParameter);
    grayFrame._Not() ;
//
    if (addCanny)
    if (cannyFrame != null)
        grayFrame._Or(cannyFrame);
    this.binarizedFrame = grayFrame;
//dilate canny contours for filtering if (cannyFrame != null)
    cannyFrame = cannyFrame.Dilate(3);
//find contours var sourceContours =
    grayFrame.FindContours(Emgu.CV.CvEnum.CHAIN_APPROX_METHOD.CV_CHAIN
APPROX_NONE, Emgu.CV.CvEnum.RETR_TYPE.CV_RETR_LIST);
//filter contours
    contours = FiIterContours(sourceContours, cannyFrame, grayFrame.Width, grayFrame.Height);
//find templates lock (foundTemplates)
    foundTemplates.Clear(); samples.Clear();
    lock (templates)
        Parallel.ForEach < Contour < Point > >> (contours, (contour) = >>
        {
            var arr = contour.ToArray();
            Template sample = new Template(arr, contour.Area, samples.templateSize);
            lock (samples)

```

```

    samples.Add(sample);
if (!onlyFindContours)
{
    FoundTemplateDesc desc = finder.FindTemplate(templates, sample)
    if (desc != null)
        lock (foundTemplates)
            foundTemplates.Add(desc);
}
}
);
FilterfyIntersection(ref foundTemplates);
}

```

А. 4 Лістинг програмної реалізації детектора меж

```

#include <cv.h>
#include Chighgui. h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

IplImage* image = 0;
IplImage* gray = 0;
IplImage* dst = 0;
int main(int argc, char* argv[])
{
    // Перший параметр - імя графічного файлу
    char* filename = argc == 2 ? argv[1] : "Image0.jpg";
    // Отримуємо рисунок
    image = cvLoadImage(filename, 1);

    printf("[i] image: %s\n", filename); assert(image != 0);
    // Створюємо одноканальні рисунки
    gray = cvCreateImage(cvGetSize(image), IPL_DEPTH_8U, 1);
    dst = cvCreateImage(cvGetSize(image), IPL_DEPTH_8U, 1);
    // Виводимо вікно для відображення рисунка
    cvNamedWindow("original", CV_WINDOW_AUTOSIZE);
    cvNamedWindow("gray", CV_WINDOW_AUTOSIZE);
    cvNamedWindow("cvCanny", CV_WINDOW_AUTOSIZE);
    // Конвертуємо у градації сірого
    cvCvtColor(image, gray, CV_RGB2GRAY);
    // Отримуємо межі
    cvCanny(gray, dst, 10, 100, 3);

    // Виводимо рисунок на пристрій відображення
    cvShowImage("original", image);
    cvShowImage("gray", gray);
    cvShowImage("cvCanny", dst);
    // Чекаємо команду (натискання будь-якої клавіші)
    cvWaitKey(0);
    // Обнуляємо ресурси
    cvReleaseImage(& image);
}

```

```

cvReleaseImage(&gray) ;
cvReleaseImage(&dst);
// Видаляємо вікна
cvDestroyAllWindows();
return 0;
}

```

A.5 Лістинг програми порівняння зображень та генерації файлу відмінностей

// При розробці програми використано бібліотеку OpenCV
// При порівнянні аналізується кожен піксель кожного з двох зображень
// та розраховується чисельна різниця між каналами RGB

```

#include <cv.h>
#include <highgui.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#ifndef min
#define min(a,b)      (((a) < (b)) ? (a) : (b))
#endif
int main(int argc, char* argv[])
{
    IplImage* img1 = 0, *img2 = 0, *diff = 0, *sub = 0;
    // Назви графічних файлів, записуємо вручну
    char file1[] = "tup.png";
    char file2[] = "tup2.png";
    // Імя зображення задається першим параметром
    char* filename1 = argc >= 2 ? argv[1] : file1;
    // Отримуємо зображення
    img1 = cvLoadImage(filename1);
    printf("[i] first image: %s\n", filename1);
    // Імя зображення задається першим параметром
    char* filename2 = argc >= 3 ? argv[2] : file2;
    // Отримуємо зображення
    img2 = cvLoadImage(filename2);
    printf("[i] second image: %s\n", filename2);
    if (!img1)
    {
        printf("[!J cant load image: %s\n", filename1);
        return -1;
    }
    if (!img2)
    {
        printf("[!] cant load image: %s\n", filename2);
        return -1;
    }
    if (img1->width != img2->width || img1->height != img2->height)
    {
        printf("[!] different image size!\n");
        return -2;
    }
    // Виводимо зображення

```

```

cvNamedWindow("image1");
cvShowImage("image1", img1);
cvNamedWindow("image2");
cvShowImage("image2", img2);
// створюємо зображення для розміщення різниці
diff = cvCloneImage(img1);
sub = cvCloneImage(img1);
cvZero(diff);

// Аналізуємо пікселі зображення
for (int y = 0; y < diff->height; y++) {
    uchar* ptr1 = (uchar*)(img1->imageData + y * img1->widthStep);
    uchar* ptr2 = (uchar*)(img2->imageData + y * img2->widthStep);
    uchar* ptr = (uchar*)(diff->imageData + y * diff->widthStep);
    for (int x = 0; x < diff->width; x++)
    {
        // 3 канала:
        // B
        ptr[3 * x] = ptr1[3 * x] + ptr2[3 * x] - 2 * min(ptr1[3 * x], ptr2[3 * x]);
        // G
        ptr[3 * x + 1] = ptr1[3 * x + 1] + ptr2[3 * x + 1] - 2 * min(ptr1[3 * x + 1], ptr2[3 * x + 1]);
        // R
        ptr[3 * x + 2] = ptr1[3 * x + 2] + ptr2[3 * x + 2] - 2 * min(ptr1[3 * x + 2], ptr2[3 * x + 2]);
    }
}
// Віднімаємо одне з одного
cvSub(img2, img1, sub);
// Виводимо результат
cvNamedWindow("diff");
cvShowImage("diff", diff);
cvNamedWindow("sub");
cvShowImage("sub", sub);
// Чекаємо команди на продовження
cvWaitKey(0);
// Звільняємо ресурси
cvReleaseImage(&img1);
cvReleaseImage(&img2);
cvReleaseImage(&diff);
cvReleaseImage(&sub);
}
// Видаляємо вікна
cvDestroyAllWindows();
return 0;

```