

Березький О.М.,
Батько Ю.М., Березька К.М., Вербовий С.О.,
Дацко Т.В., Дубчак Л.О., Ігнатєв І.В.,
Мельник Г.М., Николюк В.Д., Піцун О.Й.

Методи, алгоритми і програмні засоби опрацювання біомедичних зображень

Монографія

Тернопіль 2017

УДК 004.932.2:616-006

М 74

Рецензенти:

Винокурова О.А., доктор технічних наук, професор

Пелешко Д.Д., доктор технічних наук, професор

Тимченко Л.І., доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до друку Вченою радою

Тернопільського економічного національного університету

(Протокол № 9 від 14 грудня 2017 р.)

Березький О. М. Методи, алгоритми і програмні засоби опрацювання біомедичних зображень [Текст]: монографія. / О. М. Березький, М 74 Ю. М. Батько, К. М. Березька [та ін.]. – Тернопіль: ВПЦ «Економічна думка ТНЕУ», 2017. – 330 с.

ISBN 978-966-654-494-3

У монографії розглянуті питання, пов'язані з опрацюванням біомедичних зображень. Проаналізовано цитологічні і гістологічні зображення диспластичних процесів і злоякісних пухлин молочної залози. Описано теоретичні основи теоретико-групового підходу до структурного аналізу зображень, методи та алгоритми перетворення зображень в афінному і топологічному просторах. Подано розроблені методи і алгоритми сегментації та контурного аналізу зображень. Представлено нечіткі бази діагностичних знань і класифікатори зображень, які використовуються для процесу діагностування. Подано прикладні системи автоматизованої мікроскопії аналізу гістологічних і цитологічних зображень.

Для студентів, аспірантів і фахівців, що займаються питаннями опрацювання зображень, розробників програмних систем аналізу зображень, а також медиків, що працюють з системами автоматизованої мікроскопії.

УДК 004.932.2:616-006

М74

ISBN 978-966-654-494-3

© Березький О.М., Батько Ю.М., Березька К.М.,
Вербовий С.О., Дацко Т.В., Дубчак Л.О., Ігнатев І.В.,
Мельник Г.М., Николук В.Д., Піцун О.Й., 2017

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналіз біомедичних зображень.....	9
1.1 Класи біомедичних зображень	9
1.2 Сучасні методи і засоби діагностування патологічних процесів	12
1.3 Цитологічне дослідження диспластичних процесів молочної залози.....	19
1.4 Гістологічне дослідження диспластичних процесів молочної залози	23
1.5 Цитологічне дослідження злоякісних пухлин молочної залози	28
1.6 Гістологічне дослідження злоякісних пухлин молочної залози	62
1.7 Висновки.....	64
2 Аналіз методів, алгоритмів і програмних засобів опрацювання зображень....	65
2.1 Аналіз методів і алгоритмів опрацювання зображень	65
2.2 Аналіз сучасних систем автоматизованої мікроскопії.....	79
2.3 Засоби захисту в телемедичних системах	83
2.4 Висновки.....	90
3 Теоретико-груповий підхід до аналізу зображень.....	92
3.1 Алгебраїчні та тополого-геометричні структури	92
3.2 Метод та алгоритми аналізу симетричних зображень	97
3.3 Аналіз асиметричних зображень.....	111
3.4 Висновки.....	117
4 Методи та алгоритми перетворення контурів і областей зображень	118
4.1 Методи і алгоритми контурного аналізу зображень	118
4.2 Методи і алгоритми перетворення контурів та областей зображень	138
4.3. Порівняння алгоритмів перетворення контурів і областей зображень в афінному та топологічному просторах.....	164
4.4 Висновки.....	173
5 Сегментація і контурний аналіз зображень.....	174
5.1 Адаптивний метод попереднього оброблення зображень.....	174
5.2 Відображення алгоритмів оброблення зображень для реалізації на графічних процесорах.....	179
5.3 Метод сегментації на основі попередніх розміток.....	189
5.4 Метод текстурної сегментації зображень.....	196

5.5	Метричний метод кількісної оцінки якості сегментації	202
5.6	Метод проходження контуром з можливістю зворотного ходу	210
5.7	Метод оцінки структурної атипії	217
5.8	Статистичний аналіз коефіцієнта структурної атипії патологічних станів молочної залози.....	221
5.9	Висновки.....	227
6	Нечіткі бази діагностичних знань і класифікатори зображень	231
6.1	Інформаційна модель опрацювання біомедичних зображень.....	231
6.2	Нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози на основі гістологічних зображень	237
6.3	Нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози на основі аналізу цитологічних зображень	242
6.4	Класифікація гістологічних і цитологічних зображень на основі згорткових нейронних мереж	249
6.5	Висновки.....	259
7	Системи автоматизованої мікроскопії	260
7.1	Система автоматизованої мікроскопії «MorphoSys»	260
7.2	Інтелектуальна система діагностування ракових станів молочної залози «IntelliD»	274
7.3	Гібридна інтелектуальна система діагностування передракових станів молочної залози «HIAMS».....	288
7.4	Реляційна база даних інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії.....	301
7.4	Висновки.....	306
	Список використаних джерел	308
	Заключення.....	329

ВСТУП

*Цю роботу керівник
колективної монографії присвячує
своїй бабці Марії Іванівні,
яка померла від раку молочної залози*

Візуальні образи відіграють важливу роль в житті людства. Більшість інформації, яку людина черпає із зовнішнього середовища, поступає через візуальні канали. Результатом перетворення у цих каналах є зображення.

Джерела отримання зображень різноманітні. Формування зображень відбувається за допомогою гама-випромінювання, рентгенівських променів, ультрафіолетового випромінювання, випромінювання у видимому та інфрачервоному діапазоні, у мікрохвильовому та радіохвильовому діапазонах. Крім цього, зображення формуються на основі акустичних хвиль, електронної мікроскопії та штучного синтезу за допомогою комп'ютера.

Найширше застосування, перерахованих джерел формування зображень, знайшли у медицині. На даний час є цілий клас таких зображень – біомедичні зображення.

Біомедичні зображення – це зображення, які отримані в результаті використання технічних засобів візуалізації у медицині та біології. Завдяки візуалізації різних процесів, які відбуваються в живих організмах, вдається вивчати механізми функціонування клітин, тканин та органів людини і тварин.

У монографії розглядається підклас біомедичних зображень – гістологічні та цитологічні зображення, які отримуються від світлового мікроскопа. Цитологічні зображення несуть інформацію про окремі клітини, а гістологічні про тканини. Ці зображення використовуються при постановці діагнозу передракових і ракових станів різних органів людини.

Онкологічні захворювання посідають друге - третє місце серед смертності людей планети. Хвороба дуже складна, має велику кількість різновидів з великою кількістю мутацій і відбувається на генному рівні. Це унеможливає визначення часу виникнення та передбачення її протікання. Нобелівський лауреат Девід Балтімор сказав про ракові клітини так [1]: “Рак – це армія

клітин, яка змагається з нашими методами лікування так, що, я впевнений, ми будемо змушені вести цю битву постійно”.

У роботі здійснено дослідження передракових і ракових станів молочної залози, смертність від яких займає перше місце в структурі ракових захворювань жінок.

Єдиним дієвим методом боротьби є рання діагностика та ефективні методи лікування. Рання діагностика передбачає використання технічних засобів для автоматизації процесу визначення патологій. В якості технічних засобів використовують системи та комплекси автоматизованої мікроскопії у світловому діапазоні.

Отримані від світлового мікроскопа зображення необхідно опрацювати та інтерпретувати. Питанням опрацювання гістологічних і цитологічних зображень присвячена дана монографія.

Відмінною особливістю монографії є те, що авторами отримано та досліджено цитологічні і гістологічні зображення передракових і ракових станів молочної залози, на основі яких сформована база даних. Розроблені методи, алгоритми і програмні засоби тестувалися на розробленій базі даних. Проведений аналіз світових виробників програмного забезпечення систем автоматизованої мікроскопії дав змогу порівняти розроблені інтелектуальні системи з існуючими на ринку.

Книга складається з семи розділів.

У першому розділі проведений аналіз біомедичних зображень, подані характеристики гістологічних і цитологічних зображень, здійснено аналіз ознак патологій молочної залози, проведено синтез правил діагностування передракових і ракових станів молочної залози.

Другий розділ присвячений аналізу методів, алгоритмів і програмних засобів опрацювання зображень в системах автоматизованої мікроскопії. У роботі проаналізовані методи та алгоритми оброблення зображень, сегментації і контурного аналізу та класифікації зображень. Крім цього, проаналізовані сучасні системи автоматизованої мікроскопії та напрямки досліджень в телемедицині.

У третьому розділі розглянуті алгебраїчні і тополого-геометричні структури, які використовуються для аналізу гістологічних і цитологічних зображень. В цьому розділі розроблено метод та алгоритми аналізу симетричних і асиметричних зображень. Також проведені комп'ютерні експерименти, які підтверджують достовірність запропонованих алгоритмів.

Четвертий розділ присвячений розробці методів і алгоритмів перетворення контурів і областей зображень в афінному та топологічному просторах. У підрозділах проаналізовані контури у глобальних і локальних координатах. Okремо розглядаються перетворення контурів і областей у афінному і топологічному просторах. Крім того, здійснено порівняння алгоритмів перетворення контурів і областей зображень в афінному та топологічному просторах з проведеними комп'ютерними експериментами.

П'ятий розділ присвячений розробці методів сегментації та контурного аналізу зображень. Авторами розроблено метричний підхід до оцінки якості сегментації, а також метод оцінки структурної атипії та статистично досліджено коефіцієнт структурної атипії патологічних станів молочної залози.

У шостому розділі приведені нечіткі бази діагностичних знань, а саме: нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози на основі гістологічних зображень, нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози на основі аналізу цитологічних зображень. Додатково проведено класифікацію гістологічних та цитологічних зображень на основі згорткових нейронних мереж.

Сьомий розділ присвячений опису розроблених програмних систем аналізу гістологічних і цитологічних зображень. У розділі описано систему автоматизованої мікроскопії "MorphoSys", інтелектуальну систему діагностування ракових станів молочної залози "IntelliD" і гібридну інтелектуальну систему діагностування передракових станів молочної залози "HIAMS".

Монографія містить додатки, де приведені цитологічні і гістологічні зображення, UML діаграми класів, даталогічна модель бази даних гістологічних і цитологічних зображень.

Робота над монографією розподілилася наступним чином: вступ написаний Березьким О.М., перший розділ: 1.1 – Березьким О.М. і Піцуном О.Й., 1.2 – 1.6 – Дацко Т.В. і Николюком В.Д., другий розділ: 2.1 – Березьким О.М., Батьком Ю.М., Мельником Г.М., Піцуном О.Й., 2.2 – Березьким О.М., Піцуном О.Й., 2.3 – Дубчак Л.О., третій та четвертий – Березьким О.М. і Березькою К.М., п'ятий: 5.1 – Піцуном О.Й., 5.2 – Ігнатєвим І.В., 5.3 – Батьком Ю.М., 5.4 – Мельником Г.М., 5.5 – Березьким О.М. і Піцуном О.Й., 5.6 – Батьком Ю.М., 5.7 – Мельником Г.М., 5.8 – Березьким О.М., Березькою К.М. і Мельником Г.М., шостий: 6.1 – Вербовим С.О., 6.2 і 6.3 – Березьким О.М., Вербовим С.О., Дацко Т.В. і

Дубчак Л.О., 6.4 – Березьким О.М. і Піцуном О.Й., сьомий: – 7.1 – Березьким О.М., Батьком Ю.М., Мельником Г.М., 7.2 – Березьким О.М., Батьком Ю.М., Мельником Г.М., 7.3 – Березьким О.М. і Піцуном О.Й., заключення – Березьким О.М.

Керівник колективної монографії висловлює вдячність рецензентам роботи доктору технічних наук, професору Винокуровій О.В., доктору технічних наук, професору Пелешку Д.Д. і доктору технічних наук, професору Тимченку Л.І.

Також авторський колектив вдячний магістрові Вальківу Володимирі Дмитровичу, бакалаврам Ляцинському Петру Борисовичу і Ляцинському Павлу Борисовичу, які приймали активну участь в розробці програмного забезпечення систем автоматизованої мікроскопії.

Всі основні результати, які приведені в монографії, були отримані в дослідженнях, що виконані в рамках науково-дослідних робіт: «Інформаційно-аналітична система для дослідження і діагностування пухлинних (ракових) клітин людини на основі аналізу їх зображень», № ДР 0108U002109; «Розробка та дослідження методів аналізу зображень біомедичної природи», № ДР 0107U012222; «Інтелектуальна система для діагностування різних форм раку молочної залози на основі аналізу гістологічних та цитологічних зображень», № ДР 0112U000736; «Гібридна інтелектуальна інформаційна технологія діагностування передракових станів молочної залози на основі аналізу зображень», № ДР 0116U002500; «Інформаційно-аналітична система опрацювання ауто- та ксеногенних тканин», № ДР 0117U000418; «Характеристика ауто- та ксеногенних тканин на основі аналізу гістологічних та цитологічних зображень», № ДР 0113U007676.

1 АНАЛІЗ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У даному розділі проаналізовані основні класи біомедичних зображень, а також проаналізовані сучасні методи та засоби діагностування патологічних процесів. Детально розглянуто цитологічне і гістологічне дослідження диспластичних процесів молочної залози.

1.1 Класи біомедичних зображень

Сучасна медична діагностика нерозривно пов'язана з візуалізацією внутрішніх структур біомедичних об'єктів.

Медична візуалізація (медична інтроскопія) – це методика і процес створення візуальних зображень внутрішніх органів з метою проведення клінічного аналізу і медичного втручання.

У наукових дослідженнях медична візуалізація є субдисципліною в області біомедичної інженерії, медичної фізики або медицини в залежності від контексту: отримання зображень (наприклад, рентгенографія), біомедична інженерія, медична фізика та інформатика тощо.

Зображення служать для подання інформації у візуальному вигляді. Вони є однією з найзручніших форм представлення інформації при діагностуванні органів людини в медицині.

Медичне зображення – це структурно-функціональний образ органів людини, призначений для діагностики захворювань і вивчення анатомофізіологічної картини організму.

Біомедичне зображення – це структурно-функціональний образ органів людини і тварин, призначений для діагностики захворювань і вивчення анатомофізіологічної картини організму.

Біомедичні зображення не завжди забезпечують необхідну інформацію для однозначної ідентифікації захворювань [2]. Поділ біомедичних зображень за критеріями є умовним [3].

За критерії класифікації біомедичних зображень візьмемо такі: 1) спосіб отримання зображень, 2) тип зображення, 3) розмірність зображення. Тоді

класифікацію біомедичних зображень подамо у такому вигляді (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація біомедичних зображень

Критерій класифікації		
За способом отримання зображення	За типом зображення	За розмірністю
Цифрова радіологія. Комп'ютерна томографія. Ядерно–магнітний резонанс. Ультразвук. Мікроскопія.	RGB зображення (мікроскопія, еластографія, термографія). Зображення в градаціях сірого (рентгенографія, томографія). Чорно – біле (ультразвукове дослідження)	2D (всі зображення незалежно від способу отримання). 3D (послідовність радіологічних зображень, томографічне зображення динамічного об'єкта)

Рентгенографічні зображення – це 2D зображення в форматі градацій сірого і за способом отримання відносяться до класу цифрової радіології (рисунок 1.1,а, с. 29). Такий механізм візуалізації використовує широкий промінь рентгенівського випромінювання для отримання зображення. Рентгеноскопія зображує внутрішні структури організму подібно радіографії, але використовує рентгенівські промені меншої потужності дози опромінення [4].

Результатом **магнітно - резонансної томографії (МРТ)** є 2D або 3D зображення в градаціях сірого (**МРТ зображення**). Перевагою використання 2D МРТ зображень (рисунок 1.1,б, с. 29) є вища швидкість формування зображень у порівнянні з 3D. Також 2D зображення краще підходять для дослідження довгих судин. Перевагою використання 3D зображень є висока просторова роздільна здатність у порівнянні з 2D і відображення об'єкту у

тривимірному просторі. Принцип роботи пристрою такий: машина МРТ випромінює радіочастотний (РЧ) імпульс на резонансній частоті атомів водню молекул води. Радіочастотні антени ("РЧ-котушки") відправляють імпульс в область дослідження тіла. РЧ-імпульс поглинається протонами, в результаті чого їх напрямок змінюється відносно напрямку основного магнітного поля. Коли радіочастотний імпульс вимикається, протони "розслабляються" і назад вирівнюються первинним магнітом і випромінюють при цьому радіохвилі. Це радіовипромінювання від атомів водню виявляється і реконструюється в зображення [5]).

Позитронно-емісійна томографія (ПЕТ) використовує розпізнавання збігів для зображень функціональних процесів. Короткоживучий позитрон, який випромінює ізотоп, об'єднаний з органічною речовиною (глюкозою) створює F18-фтордезоксиглюкозу, що може бути використана в якості маркера метаболічної утилізації. **Позитронно-емісійно-томографічне зображення** розподілу активності по всьому тілу може швидко показати пухлину або інфекцію. Приклад зображення позитронно-емісійної томографії наведено на рисунку 1.1,в, с. 29.

Результатом **ультразвукового дослідження є 2D або 3D ультразвукове зображення**. 2D зображення – це двовимірне чорно-біле зображення (рисунок 1.1,г, с. 29), а 3D зображення є об'ємним RGB зображенням. Ультразвукове дослідження (УЗД) використовує високочастотні звукові хвилі, які по-різному відбиваються від тканини і утворюють зображення. Звукові хвилі високої частоти надсилаються в тканини і в залежності від складу різних тканин сигнал буде ослаблений і повернеться через певні проміжки часу. Даний підхід є безпечним і не викликає побічних ефектів.

Ехокардіографія – метод УЗД, спрямований на дослідження морфологічних і функціональних змін серця і його клапанного апарату. Результатом ехокардіографії є чорно-біле зображення (рисунок 1.1,д, с. 29). Метод базується на реєстрації відбитих від структур серця ультразвукових сигналів. Принцип дії методу ґрунтується на здатності ультразвуку відбиватися при взаємодії із середовищами різної акустичної щільності. Даний метод дозволяє встановити стан м'яких тканин, визначити товщину стінок серця, стан клапанного апарату та обсяг порожнин серця [6].

Цитологічними називають RGB мікроскопічні зображення, в яких клітини знаходяться поза межами тканини (рисунок 1.1,е, с. 29). Виділяють такі два типи розташування клітин на зображенні: з окремо розташованими

клітинами та з клітинами, об'єднаними в конгломерати. Цитологічний метод дозволяє виявляти різні патології в розвитку клітин.

Гістологічні зображення (ГЗ) – це RGB зображення, що формуються в результаті мікроскопічного дослідження. Біоматеріалом для гістологічного дослідження можуть бути зразки різних тканин: шкіри, слизових оболонок, м'язів (рисунок 1.1,є, с. 29). Іноді для гістологічного дослідження надається мазок – клітини епітелію, які зняті за допомогою спеціальної м'якої щітки [7]. В основі дослідження цитологічного і гістологічного досліджень лежить морфологічний принцип аналізу.

Імуногістохімія (ІГХ) – це аналітичний метод визначення протеїнів (антигенів) у клітинах біологічних тканин на основі реакції антиген – антитіло. Результатом імуногістохімічного дослідження є **двовимірне імуногістохімічне RGB зображення** (рисунок 1.1,ж, с. 29). ІГХ можна проводити на свіжозаморожених зразках або, найчастіше, на фіксованих в формаліні та залитих у парафінові блоки тканинах. Залиту в парафіні тканину мікротом нарізають у тонкий шар (4-5 мкм), який зафіксують на скельці для проведення подальших етапів ІГХ. Даний метод широко застосовують у базовій науково-дослідній роботі для визначення протеїнів або для підтвердження результатів інших методів дослідження білків.

1.2 Сучасні методи і засоби діагностування патологічних процесів

Проблема вдосконалення діагностики та вибору оптимальної тактики лікування пухлин молочної залози залишається однією з найбільш актуальних для сучасної хірургічної практики [8]. Зважаючи на тісну кореляцію між загальною поширеністю новоутворень молочної залози та смертністю від раку молочної залози (РМЗ), ця проблема має не лише суто фаховий аспект, але і є значущим медико-соціальним та соціально-економічним явищем [9]. Рак молочної залози в Україні, так само, як і в більшості країн світу, є одним з найпоширеніших пухлинних процесів у жінок і посідає перше місце в структурі захворюваності та смертності від злоякісних новоутворень (25% від всіх випадків раку). Кількість жінок, які хворіють на РМЗ в Україні в абсолютних цифрах зростає. Кожна жінка, яка захворіла на РМЗ, у середньому втрачає 17 - 18 років життя, що становить 53% від всіх втрат жіночої популяції в Україні

[10]. Різноманітні доброякісні новоутворення молочної залози, як правило, не несуть загрози малігнізації. Втім, нерідко на етапі первинного контакту хворої із закладами охорони здоров'я, або навіть на етапі надання кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги, фахівці стикаються з суттєвими труднощами диференційної діагностики доброякісних та злоякісних новоутворень молочної залози. За даними авторів найбільш часто труднощі при верифікації діагнозу доброякісних пухлин молочної залози виникають у відношенні таких нозологічних форм, як склерозуючий аденоз, хвороба Мінца, склерозуючі папілярні пухлини [11, 15]. Вже багато років загальноновизнаною точкою зору є така, що єдиним реальним шляхом успішного зниження захворюваності та смертності від РМЗ є покращення якості ранньої діагностики [11]. Поряд з клінічним оглядом, УЗД та мамографією (МГ), в діагностиці захворювань молочної залози широко використовується цитологічне дослідження виділень з соска молочної залози чи пунктату пухлини. Відрізняючись простотою одержання матеріалу й специфікою картин різних патологічних процесів, цитологічне дослідження є повноцінним методом морфологічної верифікації діагнозу. Тонкоголчаста аспіраційна пункційна біопсія стоїть на першому місці серед методів, що дозволяють встановити правильний морфологічний діагноз до операції та при динамічному спостереженні [9, 12]. Разом з тим цитологічне дослідження, як і інші діагностичні методи, має певні обмеження, які можуть залежати від способу отримання матеріалу, локалізації патологічного вогнища, особливостей його гістологічної будови, а також кваліфікації лікаря-цитолога [13, 14]. Найбільш точну інформацію щодо структури тканини та ступеня проліферації можна отримати за допомогою проведення трепан-біопсії доброякісного новоутворення молочної залози. Однак, прогноз подальшого розвитку захворювання та рекомендації щодо тактики лікування ускладнені при незначному або помірному ступені проліферації доброякісного новоутворення молочної залози.

Зараз використовуються різні методи диференційної діагностики доброякісних новоутворень та раку молочної залози. Найбільшого поширення набули морфометричні методики, при яких визначають кількість паренхіматозних клітин, фібробластів і фіброцитів, локалізованих периартеріюлярно [15]. Відомий спосіб скринінгової діагностики захворювань молочної залози, що супроводжуються синдромом галактореї, який включає фізикальний огляд, пальпацію, дослідження біохімічних показників і рівня

пухлинного маркера СА-15.3 в ексудаті. У якості критеріїв проліферативного захворювання розглядають підвищення активності ферментів: аспаратамінотрансферази, аланінамінотрансферази, амілази, лактатдегідрогенази, підвищення рівня альбуміну, загального білку, сечової кислоти, пухлинного маркера СА-15.3 і зниження активності γ -глутамілтранспептидази [14]. Втім, незважаючи на все різноманіття методичних підходів до діагностики і прогнозування розвитку РМЗ, нерідко після проведених оперативних втручань і лікування з приводу верифікованих доброякісних процесів в подальшому у даних пацієнток відбувається розвиток раку. Таким чином, пошук нових ефективних схем профілактики несприятливих клінічних виходів у хворих з доброякісною патологією молочних залоз є надзвичайно актуальним.

Характеристика гістологічних зображень

Патоморфологічне (гістологічне) дослідження – це метод детального вивчення організму людини з метою виявлення патологічного процесу на тканинному рівні. Воно має велике значення для верифікації та визначення стадії захворювання, проведення диференціальної діагностики, динамічного нагляду у ході медикаментозного, радіаційного, хірургічного, цитостатичного лікування. Матеріал для гістологічного аналізу отримують за допомогою біопсії при візуальному контролі (ендоскопії, УЗД, КТ, МРТ) або в ході виконання оперативного втручання. Під час проведення ендоскопічного дослідження шлунково-кишкового тракту біопсія є стандартною діагностичною маніпуляцією.

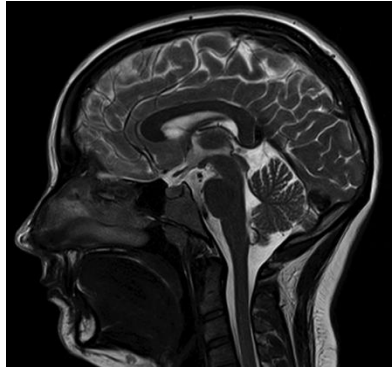
Для отримання достовірних результатів дуже важливо взяти невеликий шматочок тканини з потрібного місця. З метою мінімізації діагностичної помилки біопсію виконують на межі здорової та зміненої тканини, а також з декількох точок макроскопічно «підозрілої» області. Другим етапом успішного проведення маніпуляції буде якісна фіксація матеріалу і швидка його доставка в лабораторію.

Перед тим як приступити до мікроскопії біологічного матеріалу, необхідно правильно приготувати препарат. Ця процедура має свою чітку наступну послідовність і правильне виконання кожного етапу впливає на остаточний результат дослідження:

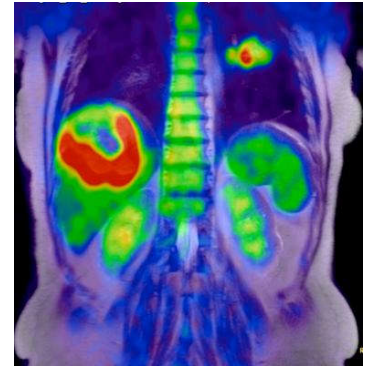
1. Фіксація. Для попередження руйнування структури тканини її обробляють спеціальною фіксуючою речовиною, роль якої виконує переважно формалін.



а) Рентгенографічне зображення



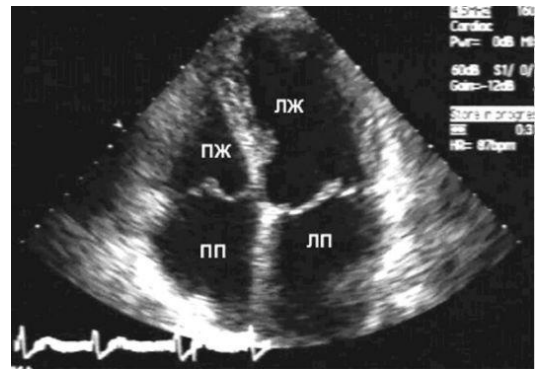
б) МРТ зображення



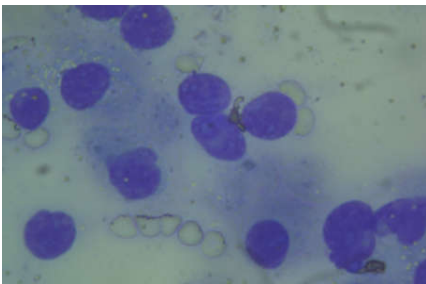
в) ПЕТ зображення



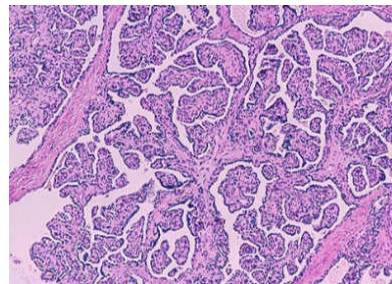
г) УЗД зображення



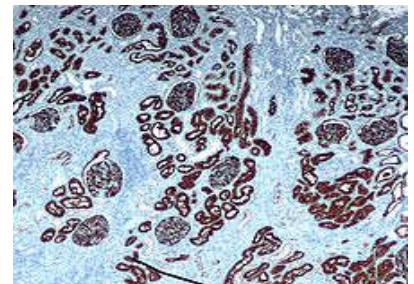
д) ехокардіографічне зображення



е) цитологічне зображення



є) гістологічне зображення



ж) імуногістохімічне зображення

Рисунок 1.1 – Приклади біомедичних зображень

[134]. Існують такі геометричні породжуючі перетворення T_1, T_2, \dots, T_n (паралельний перенос, центральна симетрія, осьова симетрія, ковзне відображення, поворот, їх комбінації). Кожне геометричне перетворення в

афінному просторі задається в матричному вигляді так: $T = \begin{pmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ m & n & 1 \end{pmatrix}$, де $a, b,$

c і d здійснюють відповідно зсув, поворот, відображення, локальне масштабування; m і n виконують зміщення.

Несиметричним називають зображення, яке побудоване без використання геометричних перетворень T_1, T_2, \dots, T_n .

Позначимо множину цих геометричних породжуючих перетворень через $S = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$. Дані перетворення відповідають аксіомам абстрактної групи.

Елементарним зображенням Ime назвемо несиметричну частину поля зору.

На полі зору P задане елементарне зображення $Ime, Ime \subset P$.

Над заданим елементарним зображенням Ime виконаємо геометричні перетворення і отримаємо рапорт, тобто $Rp = S(Ime) = \bigcup_{s \in S} s(Ime)$;

$S(Ime) = \{s(x, y) \mid x, y \in Ime\}$.

Отже, *рапорт* Rp – це зображення, яке отримане в результаті виконання геометричних перетворень над елементарним зображенням. При цьому виконується умова $S(Ime) \cap Ime = \emptyset$, тобто при перетвореннях в утворенні рапорту відсутнє накладання елементарних зображень, тобто $s_1(Ime) \cap s_2(Ime) = \emptyset, s_2 \in S, s_1 \in S, s_1 \neq s_2$.

Якщо здійснити паралельні переноси L вздовж однієї або двох осей, то отримаємо, відповідно, симетричне зображення Im_s на смугі або площині, тобто

$$l(Rp) = \{l(x, y) \mid x, y \in Rp\};$$

$$Im_s = \bigcup_{l \in L} l(Rp) = \bigcup_{l \in L} \left(\bigcup_{s \in S} s(Ime) \right);$$

$$Rp = \bigcup_{s \in S} s(Ime).$$

Отже, *симетричне зображення* – це зображення, яке побудоване на основі виконання паралельних переносів рапорту вздовж однієї або двох осей.

Позначимо через $A = \{G_1, G_2, \dots, G_7\}$ – множину груп смуги, а через

$B = \{H_1, H_2, \dots, H_{17}\}$ – множину груп площини (надалі будемо розглядати тільки множину B).

Існує множина, яка складається із 17 симетричних $ImS_1^e, ImS_2^e, \dots, ImS_{17}^e$ еталонних зображень M_o , побудованих на основі множини B :

$$M_o = \{ImS_1^e, ImS_2^e, \dots, ImS_{17}^e\}.$$

Кожне симетричне зображення побудоване на основі певної плоскої групи H_i , тобто

$$ImS_i^e = \{h(Ime) | h \in H_i\}.$$

Рівняння еталонного (ідеального) зображення в матричній формі можна представити у вигляді $ImS^e = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)\dots)))$, де $T_1^e, \dots, T_{n-1}^e, T_n^e$ – матриці ідеальних породжуючих перетворень рапорту, T_L^e – матриця ідеальної трансляції [135].

Задане реальне (спотворене) симетричне зображення ImS^x , рівняння якого наступне: $ImS^x = T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)\dots)))$, де T_1, \dots, T_{n-1}, T_n – матриці реальних породжуючих перетворень рапорту, T_L – матриця реальної трансляції. Крім цього, задана максимальна похибка спотворення реального симетричного зображення $ImS^x - \Delta_m$.

Необхідно знайти:

1) групу H^* , на основі якої побудоване зображення ImS^x , для якої

$$H^* = \arg \min_{T_1^e, T_2^e, \dots, T_n^e} \rho(ImS^x, T_n^e(T_{n-1}^e(T_{n-2}^e(\dots(T_1^e(Ime))\dots))),$$

де ρ – задана метрика;

2) похибки породжуючих перетворень $T_1, \dots, T_{n-1}, T_n: \Delta_1, \dots, \Delta_{n-1}, \Delta_n$ ($\Delta_1 = |T_1 - T_1^e|, \dots, \Delta_{n-1} = |T_{n-1} - T_{n-1}^e|, \Delta_n = |T_n - T_n^e|$);

3) сумарну похибку спотворення реального симетричного зображення $ImS^x: \Delta$, причому $\Delta \leq \Delta_m$.

Метод аналізу симетричних зображень.

Метод аналізу симетричних зображень базується на узагальненому алгоритмі аналізу (рисунок 3.2). Спочатку розглянемо рівняння еталонного і реального симетричних зображень та еталонні перетворення для груп смуги та площини.

Рівняння еталонного симетричного зображення в матричній формі має вигляд:

$$Im_s^e = T_L^e (T_n^e (T_{n-1}^e (\dots T_1^e (Im_e) \dots))) .$$

Породжуючі перетворення, які використовуються в даному рівнянні, є еталонними (ідеальними). Тому і симетричне зображення, яке отримується в результаті застосування даних перетворень є також еталонним.

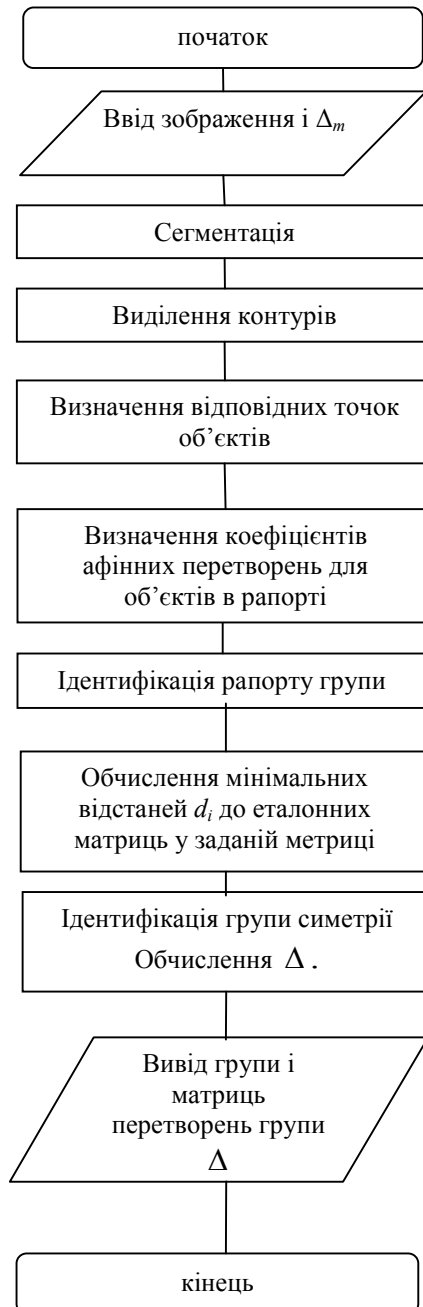


Рисунок 3.2 – Блок-схема узагальненого алгоритму аналізу симетричних зображень

Оскільки кожен кристалографічний групу можна представити у вигляді напівпрямого добутку $G = L \times H$, де H – рапорт, L – підгрупа трансляцій, то виділимо рапорти для груп смуги і площини [127].

Аналогічно еталонний рапорт можна представити в матричній формі $Rp^e = T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)\dots))$, де $T_1^e, \dots, T_{n-1}^e, T_n^e$ – матриці еталонних породжуючих перетворень рапорту. Матриці еталонних породжуючих перетворень для груп смуги та площини представлені в таблицях 3.1, 3.2.

Рівняння реального (спотвореного) симетричного зображення наступне:

$$Im s^x = T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)\dots))) ,$$

де T_1, \dots, T_{n-1}, T_n – матриці реальних породжуючих перетворень, коефіцієнти яких близькі або рівні еталонним.

Таблиця 3.1 – Групи смуги

Назва групи	Породжуючі перетворення груп смуги в матричному вигляді	
	I	II
$p1$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	
pg	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, m \neq 0^1$	
$p1m$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	
$p2$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	
pmg	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, m \neq 0$
pt	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	
ptm	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$

¹ Елемент m – це коефіцієнт, що задає зсув по Ox для породжуючого перетворення

Таблиця 3.2 – Групи площини

Назва групи	Породжуючі перетворення груп площини в матричному вигляді			
	I	II	III	IV
$p1$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$			
$p2$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$			
pm	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$			
pg	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ $m_1 = -n_2^2$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ $m_2 = -n_1$		
cm	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$			
pmm	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$		
pmg	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$		
pgg	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$		
cmm	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$		
$p4$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$		
$p4m$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	
$p4g$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	

² Елементи m_1 , n_1 , m_2 , n_2 – це коефіцієнти, що задають зсув по OX та OY відповідно для першого та другого породжуючого перетворення.

Продовження табл. 3.2

	I	II	III	IV
$p3$	$\begin{pmatrix} -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$		
$p31m$	$\begin{pmatrix} -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1/2 & \sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	
$p3m1$	$\begin{pmatrix} -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	
$p6$	$\begin{pmatrix} -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	
$p6m$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1/2 & \sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Алгоритми аналізу симетричних зображень.

Симетричне векторне зображення Im_s^x , яке поступає на вхід блоку аналізу, сегментується з метою ідентифікації окремих об'єктів і фону. Після цього проходить виділення контурів окремих об'єктів і ідентифікація координат відповідних трьох точок на контурах, на основі яких обчислюються коефіцієнти афінних перетворень (матриць породжуючих перетворень) між аналізованими об'єктами. Наступний крок – це обчислення мінімальних відстаней d_i до еталонних матриць у заданій метриці із заданою максимальною похибкою перетворень Δ_m . На основі визначених еталонних породжуючих перетворень ідентифікується певна група симетрії та обчислюється похибка перетворень Δ .

Деталізуємо деякі алгоритми.

Алгоритм визначення координат відповідних точок на контурі. Координати ключових точок на контурі обчислюються наступним чином:

1. Для i -го об'єкту обчислюються координати центру мас об'єкта $M(x_c, y_c)$.

2. Будується пряма m , яка проходить через центр мас і перетинає контур об'єкта в двох точках. Точки $A(x_1, y_1)$ і $B(x_2, y_2)$ визначаються таким чином, щоб виконувалась умова $|AM| \geq |MB|$ (рисунок 3.3) і обчислюється кут нахилу θ прямої m до осі Ox .

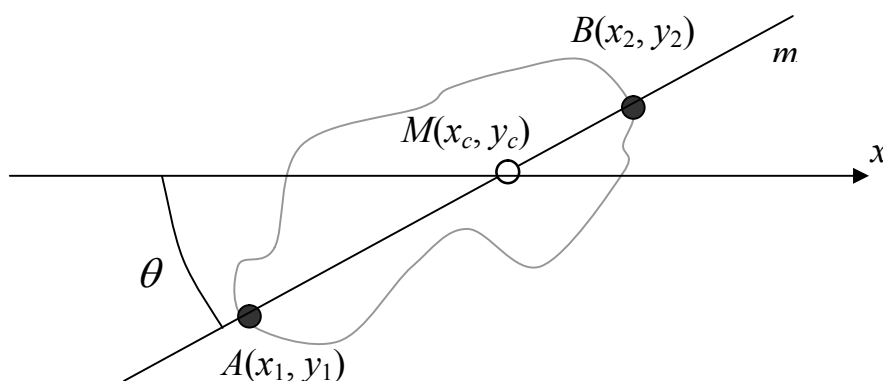


Рисунок 3.3 – Визначення точок $A(x_1, y_1)$ і $B(x_2, y_2)$

2. Для визначення третьої точки C через центр мас проводиться пряма n , перпендикулярна до великої півосі. Пряма n перетинає опуклий контур об'єкту в двох точках C і C' . Третя ключова точка C обирається таким чином, щоб виконувалась умова $|CM| \geq |MC'|$ (рисунок 3.4).

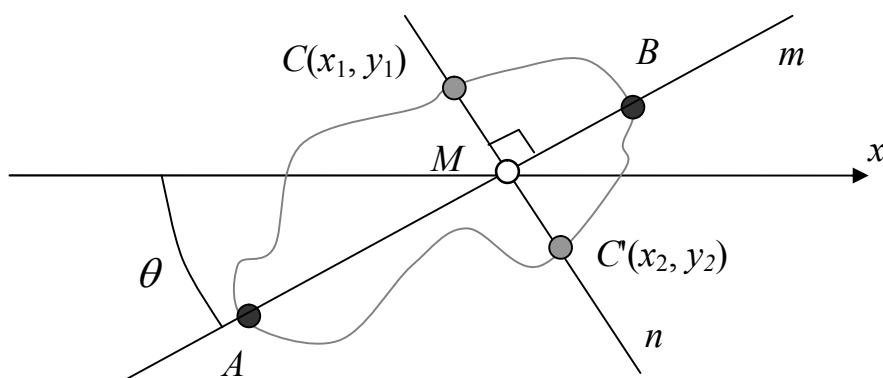


Рисунок 3.4 – Визначення точок C і C'

Визначення коефіцієнтів афінних перетворень.

Після знаходження трьох точок визначаються коефіцієнти афінних перетворень [136-139] (рисунок 3.5). Нехай задано два контури D_1 і D_2 , на яких знайдено відповідні точки.

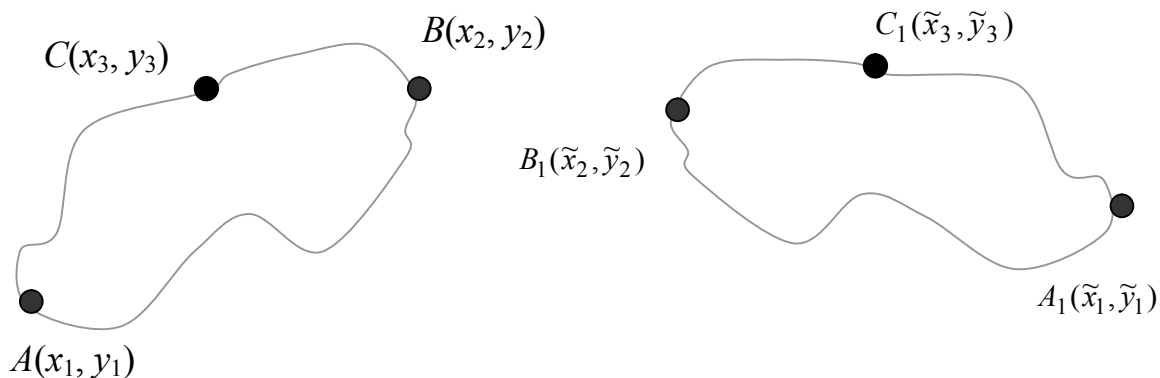


Рисунок 3.5 – Відповідні точки на контурах двох об'єктів

Параметри (коефіцієнти) афінних перетворень, що описують зміну форми і розміщення початкового зображення отримуються із системи рівнянь (3.1):

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \\ \tilde{x}_3 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c \\ d \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{y}_1 \\ \tilde{y}_2 \\ \tilde{y}_3 \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

де (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) – точки, що належать першому контуру D_1 (початковому зображенню);

$(\tilde{x}_1, \tilde{y}_1)$, $(\tilde{x}_2, \tilde{y}_2)$, $(\tilde{x}_3, \tilde{y}_3)$ – точки, що належать другому контуру D_2 ;

a, b, c, d, e, f – коефіцієнти афінного перетворення, що відображає перший контур D_1 в другий D_2 .

Невідомі коефіцієнти визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} a &= \frac{y_1(\tilde{x}_3 - \tilde{x}_2) + y_2(\tilde{x}_1 - \tilde{x}_3) + y_3(\tilde{x}_2 - \tilde{x}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ b &= \frac{x_1(\tilde{x}_2 - \tilde{x}_3) + x_2(\tilde{x}_3 - \tilde{x}_1) + x_3(\tilde{x}_1 - \tilde{x}_2)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ c &= \frac{y_1(\tilde{y}_3 - \tilde{y}_2) + y_2(\tilde{y}_1 - \tilde{y}_3) + y_3(\tilde{y}_2 - \tilde{y}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ d &= \frac{x_1(\tilde{y}_2 - \tilde{y}_3) + x_2(\tilde{y}_3 - \tilde{y}_1) + x_3(\tilde{y}_1 - \tilde{y}_2)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ e &= \frac{x_1(y_2\tilde{x}_3 - y_3\tilde{x}_2) + x_2(y_3\tilde{x}_1 - y_1\tilde{x}_3) + x_3(y_1\tilde{x}_2 - y_2\tilde{x}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ f &= \frac{x_1(y_2\tilde{y}_3 - y_3\tilde{y}_2) + x_2(y_3\tilde{y}_1 - y_1\tilde{y}_3) + x_3(y_1\tilde{y}_2 - y_2\tilde{y}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Алгоритми ідентифікації груп симетрії на смузі та площині

Нехай задана множина еталонних породжуючих перетворень $T^e = \{T_1^e, T_2^e, \dots, T_n^e\}$. Позначимо через T_{ij} – породжуюче перетворення від i -го до j -го елементарного зображення. Приведемо рапорт групи $p4$, на якому представлені елементарні зображення та породжуючі перетворення між ними (рисунок 3.6).

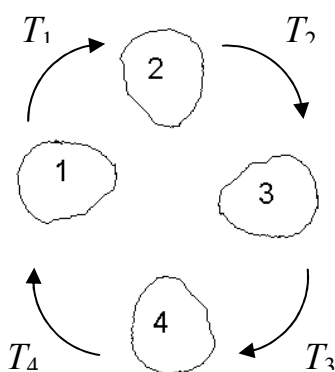


Рисунок 3.6 – Рапорт та породжуючі перетворення для групи $p4$

Визначимо відстань між матрицями T_{ij} та T_k^e ($T_k^e \in T^e$) за формулою:

$$d_k = \sum_{r=1}^m \sum_{s=1}^m |t_{rs}^{(ij)} - t_{rs}^{(k)}|,$$

де $t_{rs}^{(ij)}$, $t_{rs}^{(k)}$ – елементи матриць T_{ij} та T_k^e , відповідно, $m \times m$ – розмір матриць.

Знайдемо найменшу відстань d між матрицею T_{ij} та матрицями множини T^e :

$$d = \min_{1 \leq k \leq n} d_k, \quad (3.3)$$

де n – кількість матриць еталонних породжуючих перетворень.

Матрицю T_k^e для якої $d_k = d$ позначимо T_{ij}^e .

Виділимо в смузі 4 елементарних зображення, на площині – 6.

Алгоритм для ідентифікації груп смуги наступний.

1. Ідентифікуємо 4 елементарних зображення.
2. Визначаємо перетворення T_{12} . Знаходимо T_{12}^e з умови (3.3).
3. Визначаємо перетворення T_{23} і знаходимо T_{23}^e .
4. Якщо $T_{12}^e = T_{23}^e$, то ідентифікуємо групи з множини $\{p1, pg, p1m, p2, pm\}$.

5. Якщо $T_{12}^e \neq T_{23}^e$, то визначаємо T_{34} і знаходимо T_{34}^e .
6. Якщо $T_{12}^e = T_{34}^e$, то ідентифікуємо групи з множини $\{ptg, ptt\}$.

Якщо в матриці перетворень $\begin{pmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ m & n & 1 \end{pmatrix}$ не для всіх перетворень $n = 0$, то

це є група площини.

Алгоритм ідентифікації груп площини такий:

1. Ідентифікуємо 6 елементарних зображень.
2. Визначаємо перетворення T_{12} . Знаходимо T_{12}^e з умови (3.3).
3. Визначаємо перетворення T_{23} і знаходимо T_{23}^e .
4. Якщо $T_{12}^e = T_{23}^e$, то ідентифікуємо групи з множини $\{p1, p2, pt, ct\}$.
5. Якщо $T_{12}^e \neq T_{23}^e$, то визначаємо T_{34} і знаходимо T_{34}^e .
6. Якщо $T_{12}^e = T_{34}^e$, то ідентифікуємо групи з множини $\{pg, ptt, ptg, pgg, ctt, p4, p3\}$.
7. Якщо $T_{12}^e \neq T_{34}^e$, то визначаємо T_{45} і знаходимо T_{45}^e .
8. Якщо $T_{12}^e = T_{45}^e$, то ідентифікуємо групи з множини $\{p4t, p4g, p31t, p3t1, p6\}$.
9. Якщо $T_{12}^e \neq T_{45}^e$, то визначаємо T_{56} і знаходимо T_{56}^e .
10. Якщо $T_{12}^e = T_{56}^e$, то ідентифікуємо групу $p6t$.

Комп'ютерні експерименти

Для програмної реалізації алгоритмів аналізу симетричних зображень використано інтегроване середовище програмування Visual C++ Express Edition 2005 та відкриту бібліотеку функцій комп'ютерного зору OpenCV [140]. На рисунку 3.7 представлено приклад зображення, яке побудоване на основі групи ctt , а на рисунку 3.8 зображення, побудоване на основі групи $p4$. Результати аналізу приведені в таблицях 3.3 і 3.4, відповідно.

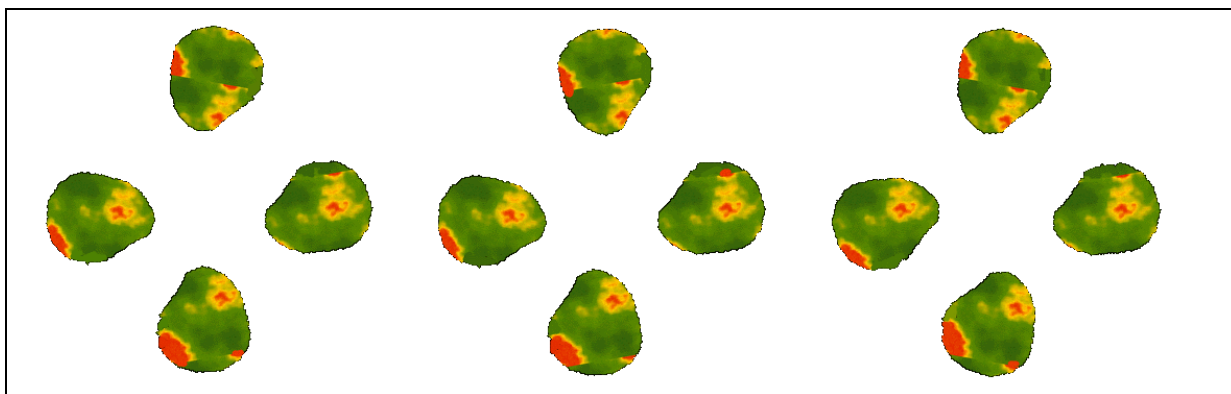


Рисунок 3.7 – Зображення, побудоване на основі групи *stt*

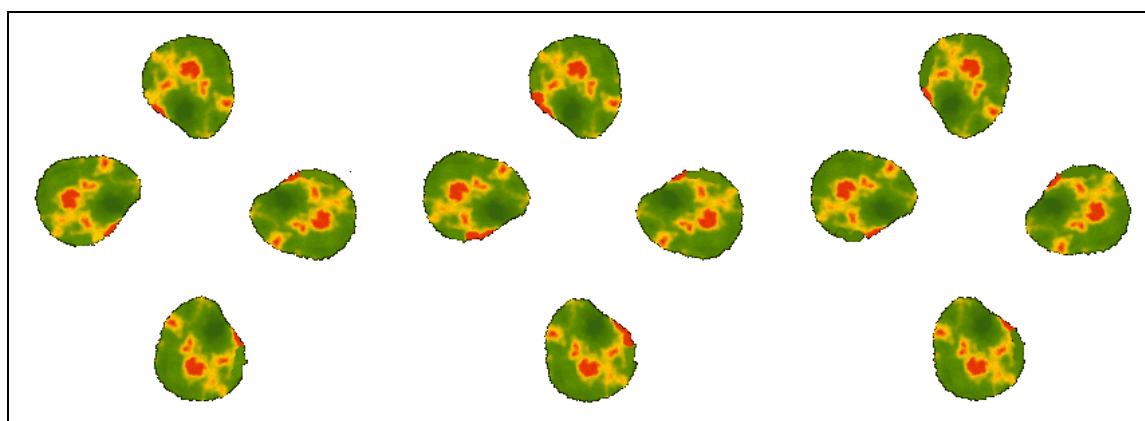


Рисунок 3.8 – Зображення, побудоване на основі групи *p4*

Похибки породжуючих перетворень знайдемо на основі еталонного $Im s^e = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)\dots)))$ і реального $Im s^x = T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)\dots)))$ матричних рівнянь симетричного зображення. Похибки від перетворень T_1, \dots, T_{n-1}, T_n рівні [141]:

$$\Delta_1 = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)\dots))) - T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)\dots)))$$

.....

$$\Delta_{n-1} = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)\dots))) - T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)\dots)))$$

$$\Delta_n = T_L^e(T_n(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)\dots))) - T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)\dots))).$$

Таблиця 3.3 - Коефіцієнти афінних перетворень групи *stt*

Група симетрії	N експ.	Коефіцієнти афінних перетворень				Похибка визначення коефіцієнтів афінних перетворень		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	Δ_{ad}	Δ_{bc}	Δ
<i>stt</i>	еталон. коеф.	0	-1	-1	0	0	0	0
	1	0,0334	-1,0346	-0,9782	-0,0443	0,0778	0,0564	0,1342
	2	0,3622	-0,9453	-0,9144	-0,3607	0,641	0,092	0,7331
	3	0,6387	-0,7479	-0,7347	-0,6608	1,2656	0,4016	1,6672
	4	0,0151	-0,9983	-0,9733	-0,0297	0,2308	0,9554	1,1862
	еталон. коеф.	0	1	1	0	0	0	0
	1	-0,0334	1,0346	0,9782	0,0443	0,0778	0,0564	0,1342
	2	-0,3214	0,9652	0,9428	0,3197	0,7229	0,1403	0,8632
	3	-0,6155	0,8121	0,7864	0,6501	1,2995	0,5174	1,8169
	4	0,0471	1,0218	0,9983	-0,0166	0,311	1,0322	1,3432

Таблиця 3.4 - Коефіцієнти афінних перетворень групи *p4*

Група симетрії	N експ.	Коефіцієнти афінних перетворень				Похибка визначення коефіцієнтів афінних перетворень		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	Δ_{ad}	Δ_{bc}	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>p4</i>	еталон. коеф.	0	-1	1	0	0	0	0
	1	0,0347	-1,0259	0,9808	0,0385	0,0732	0,0452	0,1183
	2	0,0407	-1,0025	0,9709	0,0324	0,0731	0,0316	0,1047
	3	0,0373	-0,9876	0,9752	0,0584	0,0957	0,0373	0,1329
	4	0,8886	-0,4945	0,4506	0,8793	0,2321	0,9451	1,1772
	еталон. коеф.	-1	0	0	-1	0	0	0
	1	-1,0155	-0,0125	0	-1	0,0155	0,0125	0,028
	2	-0,9244	0,3729	-0,3372	-0,9385	0,137	0,7101	0,8472
	3	-0,9834	0,0277	0	-1	0,0166	0,0277	0,0443
	4	-1,0177	0,0122	0	-1	0,0561	0,0165	0,0726

Трансляції присутні у всіх групах симетрії та є однотипними, тому вони не враховуються при ідентифікації групи симетрії і, відповідно, не враховується

похибка від трансляції.

Оскільки похибки породжуючих перетворень не корельовані, то сумарна похибка від їх спотворень рівна:

$$\Delta = \Delta_1 + \dots + \Delta_{n-1} + \Delta_n.$$

Тоді, величина абсолютної похибки Δ для перетворень T_1, \dots, T_{n-1}, T_n , враховуючи похибки від коефіцієнтів, a, b, c, d рівна:

$$\Delta = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^4 |t_{ij}^* - t_{ij}|,$$

де t_{ij} – точне значення коефіцієнта матриці еталонного перетворення T^e ;

t_{ij}^* – обчислене значення коефіцієнта матриці реального перетворення T .

Графіки залежності абсолютної похибки спотворення від величини спотворення (кута повороту елементарного зображення) для груп *стт* і *p4* приведені на рисунках 3.9 і 3.10, відповідно.

На графіках наведено значення абсолютної похибки Δ_{ad} від коефіцієнтів a, d ; значення абсолютної похибки Δ_{bc} від коефіцієнтів b, c ; абсолютної похибки Δ .

Поворот елементарного зображення рапорту майже в рівній мірі впливає і на значення коефіцієнтів b, c , і на значення коефіцієнтів a, d .

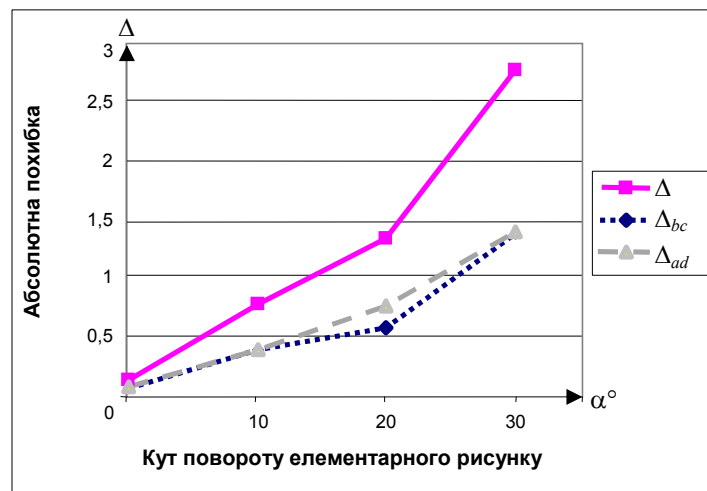


Рисунок 3.9 – Похибки визначення коефіцієнтів породжуючих перетворень при дії завад (спотворень) для групи *стт*

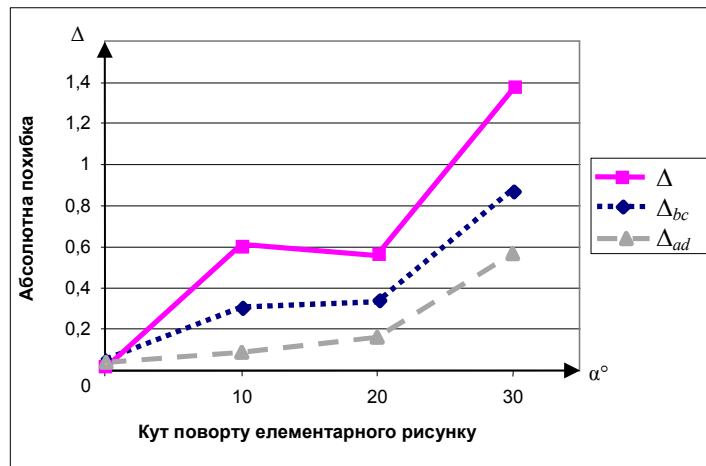


Рисунок 3.10 – Похибки визначення коефіцієнтів породжуючих перетворень при дії завад (спотворень) для групи $p4$

3.3 Аналіз асиметричних зображень

Аналіз асиметричних зображень зводиться до приведення асиметричних зображень до відомих симетричних структур.

Постановка задачі

Нехай задане симетричне зображення Im_s на смугі або площині, тобто

$$l(Rp) = \{l(x, y) \mid x, y \in Rp\};$$

$$Im_s = \bigcup_{l \in L} l(Rp) = \bigcup_{l \in L} \left(\bigcup_{s \in S} l_s(Im_e) \right).$$

Асиметричне зображення – це зображення, яке отримане з симетричного шляхом спотворення параметрів його формування (формування елементарного рисунку, рапорту і трансляції рапорту).

Позначимо через $A = \{G_1, G_2, \dots, G_7\}$ – множину груп смуги, а через $B = \{H_1, H_2, \dots, H_{17}\}$ – множину груп площини (надалі будемо розглядати тільки множину B). Нехай задана множина вхідних асиметричних зображень $M = \{Im_{s_1}, Im_{s_2}, \dots, Im_{s_p}\}$. Розіб'ємо її на класи еквівалентності відносно групи симетрії. Якщо множина вхідних зображень кінцева, то її можна розбити на підмножини відносно групи симетрії $M_0 = \{Im_{s_1}, Im_{s_2}, \dots, Im_{s_n}\}$.

Для множини симетричних зображень M_0 задана множина породжуючих перетворень $T^e = \{T_1^e, T_2^e, \dots, T_n^e\}$. Тобто існує відображення $\theta: M_0 \rightarrow T^e$

множини симетричних зображень на множину їх породжуючих перетворень. Відображення θ також переводить множину M асиметричних зображень на множину породжуючих перетворень $\theta(M) \rightarrow T$, тобто $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$.

Визначимо симетризатор V , який переводить множину асиметричних зображень M в множину симетричних зображень M_0 . *Симетризатор* – відображення $V: M \rightarrow M_0$ або $T \rightarrow T^e$ довільної множини породжуючих перетворень T в множину еталонних породжуючих перетворень T^e , які відповідають певним групам.

Необхідно:

1. Побудувати асиметричні зображення $M = \{Imas_1, Imas_2, \dots, Imas_p\}$.
2. Знайти симетризатори базових геометричних перетворень V_S і груп на смузі V_A та площині V_B .

Метод симетрування асиметричних зображень

Метод ґрунтується на алгоритмах симетрування базових геометричних перетворень і алгоритмах симетрування кристалографічних груп на смузі та площині [142, 143].

Розглянемо властивості симетризаторів.

1) Будь-який симетризатор є відображенням множини асиметричних зображень M в множину симетричних зображень M_0 .

2) Симетризатор V будь-якої групи розкладається на симетризатор підгрупи рапорту і симетризатор підгрупи трансляцій $V_G = V_{Rp} \cdot V_L$ (кожну групу симетрії можна представити у вигляді підгрупи рапорту і підгрупи трансляцій [127]).

3) Симетризатор рапорту, в свою чергу, розкладається на симетризатори породжуючих перетворень відносно певної групи

$$V_{Rp} = V_Z \cdot V_S \cdot V_R \cdot V_{XS} \cdot V_{X,Y},$$

де V_Z – симетризатор центральної симетрії, V_S – симетризатор осьової симетрії, V_R – симетризатор повороту, V_{XS} – симетризатор ковзної симетрії, $V_{X,Y}$ – симетризатор зміщень.

4) Вибір симетризатора V певної групи залежить від наявності породжуючих перетворень, що утворюють дану групу.

Симетрування базових геометричних перетворень

Введемо такі спотворення: $D_x, D_y, D_{x,y}, D_m, D_{R_\alpha}, D_{x,y,R_\alpha}, D_{x,y,m}, D_{x,y,R_\alpha,m}$.

Симетрування осьової симетрії. Розглянемо спотворення осьової симетрії. В загальному вигляді рівняння осьової симетрії без спотворення наступне:

$$Im_s = R_l \cdot Im_e,$$

де R_l – оператор відображення відносно осі $l: y = kx + b$.

Рівняння в операторній формі у випадку спотворень $D_{x,y,R_\alpha,m}$ представляється таким чином:

$$Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(R_l(D_m Im_e))),$$

а в матричній формі $Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_l(D_m Im_e)))$, де T_l – перетворення осьової симетрії в матричній формі.

Рівняння симетрування таке:

$$Im_s = Imas \cdot V_S = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_l(D_m Im_e))) D_m^{-1} D_{R_\alpha}^{-1} D_{x,y}^{-1} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_l(D_m Im_e))) \times (D_{x,y} D_{R_\alpha} D_m)^{-1}.$$

Симетрування центральної симетрії. Рівняння центральної симетрії без спотворень таке:

$$Im_s = R_Z \cdot Im_e,$$

де R_Z – оператор відображення відносно будь-якої точки.

Рівняння в операторній формі у випадку спотворень $D_{x,y,R_\alpha,m}$ буде наступне:

$$Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(R_Z(D_m Im_e))),$$

а в матричній: $Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_Z(D_m Im_e)))$.

Рівняння симетрування таке:

$$Im_s = Imas \cdot V_Z = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_Z(D_m Im_e))) D_m^{-1} D_{R_\alpha}^{-1} D_{x,y}^{-1} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_Z(D_m Im_e))) \times (D_{x,y} D_{R_\alpha} D_m)^{-1}.$$

Симетрування поворотів. Рівняння повороту довільного елементарного рисунку на кут θ представимо у вигляді:

$$Im_s = R_\theta \cdot Im_e,$$

де R_θ – оператор повороту на кут θ відносно будь-якої точки.

При спотворенні $D_{x,y,R_\alpha,m}$ рівняння в операторній формі набуває вигляду:

$$Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(R_\theta(D_m Im_e))),$$

а в матричній: $Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_R(D_m Ime)))$.

Рівняння симетрування таке:

$$Im_s = Imas \cdot V_R = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_R(D_m Ime)))D_m^{-1}D_{R_\alpha}^{-1}D_{x,y}^{-1} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_R(D_m Ime))) \times (D_{x,y}D_{R_\alpha}D_m)^{-1}.$$

Симетрування паралельних перенесень. Паралельне перенесення довільного елементарного рисунку на вектор \vec{p} , модуль якого $|\vec{p}| = \sqrt{m^2 + n^2}$, де m і n – зміщення по осі OX та OY відповідно, представимо у вигляді рівняння $Im_s = R_{X,Y} \cdot Ime$, де $R_{X,Y}$ – оператор паралельного перенесення.

При спотворенні $D_{x,y,R_\alpha,m}$ рівняння в операторній формі набуває вигляду:

$$Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(R_{X,Y}(D_m Ime))),$$

а в матричній: $Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_{X,Y}(D_m Ime)))$.

Рівняння симетрування таке:

$$Im_s = Imas \cdot V_{X,Y} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_{X,Y}(D_m Ime)))D_m^{-1}D_{R_\alpha}^{-1}D_{x,y}^{-1} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_{X,Y}(D_m Ime))) \times (D_{x,y}D_{R_\alpha}D_m)^{-1}.$$

Симетрування ковзної симетрії. Ковзна симетрія є комбінацією паралельного переносу і осьової симетрії. Тому рівняння ковзної симетрії буде наступним: $Im_s = R_{X,Y} \cdot R_S \cdot Ime$, де $R_{X,Y}$ – оператор паралельного перенесення, R_S – оператор осьової симетрії.

При спотворенні $D_{x,y,R_\alpha,m}$ рівняння в операторній формі набуває вигляду:

$$Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(R_{X,Y}R_S(D_m Ime))),$$

а в матричній: $Imas = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_{X,Y}T_S(D_m Ime)))$.

Рівняння симетрування таке:

$$Im_s = Imas \cdot V_{X,S} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_{X,Y}T_S(D_m Ime)))D_m^{-1}D_{R_\alpha}^{-1}D_{x,y}^{-1} = D_{x,y}(D_{R_\alpha}(T_{X,Y}T_S(D_m Ime))) \times (D_{x,y}D_{R_\alpha}D_m)^{-1}.$$

Симетрування кристалографічних груп на смузі і площині

Для симетрування груп на смузі і площині необхідно спочатку привести еталонні перетворення в матричній формі для даних груп. В роботі [144] детально проаналізовано і виведено дані рівняння. На основі рівнянь симетрування базових геометричних перетворень виведемо рівняння симетрування груп симетрії на смузі та площині.

Введемо позначення симетризаторів:

V_Z – симетризатор центральної симетрії, V_S – симетризатор осьової симетрії, V_R – симетризатор повороту, V_L – симетризатор трансляцій, V_{SX} – симетризатор осьової симетрії вздовж осі OX , V_{SY} – симетризатор осьової симетрії вздовж осі OY , V_{SXY} – симетризатор осьової симетрії вздовж довільної осі, V_{LX} – симетризатор трансляцій вздовж осі OX , V_{LY} – симетризатор трансляцій вздовж осі OY , V_{LXY} – симетризатор трансляцій вздовж довільної осі, V_X – симетризатор зміщень вздовж осі OX , V_Y – симетризатор зміщень вздовж осі OY , V_{XY} – симетризатор зміщень по X та Y , V_m – симетризатор масштабування.

Тоді на основі приведених породжуючих перетворень представимо симетризатори для груп смуги:

$p1$	$V_{LX} V_{XY}$	pmg	$V_{SY} V_{SX} V_{LX}$
pg	$V_{SX} V_X V_{LX}$	pm	$V_{SX} V_{LX}$
$p1m$	$V_{SY} V_{LX}$	pmm	$V_{SY} V_{SX} V_{LX}$
$p2$	$V_Z V_{LX}$		

площини:

$p1$	$V_{LX} V_{XY}$	$p4$	$V_R V_{XY} V_R V_{XY} V_{LX} V_{LY}$
$p2$	$V_Z V_X V_Y V_{LX} V_{LY}$	$p4m$	$V_{SXY} V_{SX} V_{SY} V_X V_{LX} V_{LY}$
pm	$V_Y V_{LX} V_{LY}$	$p4g$	$V_{SXY} V_R V_{XY} V_Z V_X V_{LX} V_{LY}$
pg	$V_{SXY} V_{XY}$	$p3$	$V_R V_{LXY}$
cm	$V_{SXY} V_{LX} V_{LY}$	$p31m$	$V_R V_{XY} V_R V_{SXY} V_{LXY}$
pmm	$V_{SY} V_{SX} V_{LX} V_{LY}$	$p3m1$	$V_{SY} V_R V_{LXY}$
pmg	$V_Z V_X V_{XY} V_{SXY} V_{LXY}$	$p6$	$V_R V_{XY} V_R V_{XY} V_Z V_{XY} V_{LXY}$
pgg	$V_X V_{XY} V_Z V_{XY} V_{LX} V_{LY}$	$p6m$	$V_{SX} V_{SXY} V_Y V_{LXY}$
ctm	$V_{SXY} V_{XY} V_{LX} V_{LY}$		

Комп'ютерні експерименти

Для програмної реалізації алгоритмів синтезу та аналізу асиметричних зображень використано інтегроване середовище програмування Visual C++ Express Edition 2005 та відкриту бібліотеку функцій комп'ютерного зору OpenCV [140]. На рисунку 3.11 приведено асиметричне зображення. В результаті застосування алгоритмів симетрування отримуємо симетричне зображення, побудоване на основі групи $p3$ (рисунок 3.12).

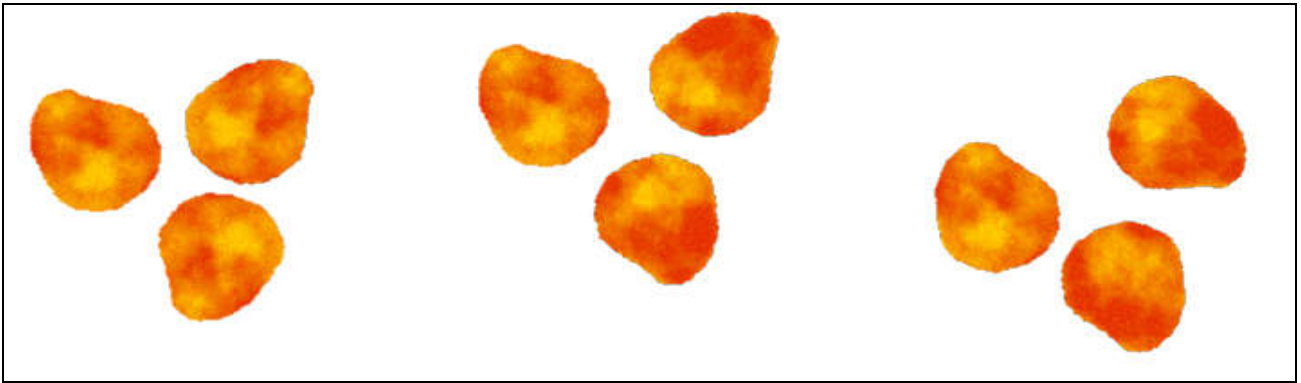


Рисунок 3.11 – Асиметричне зображення

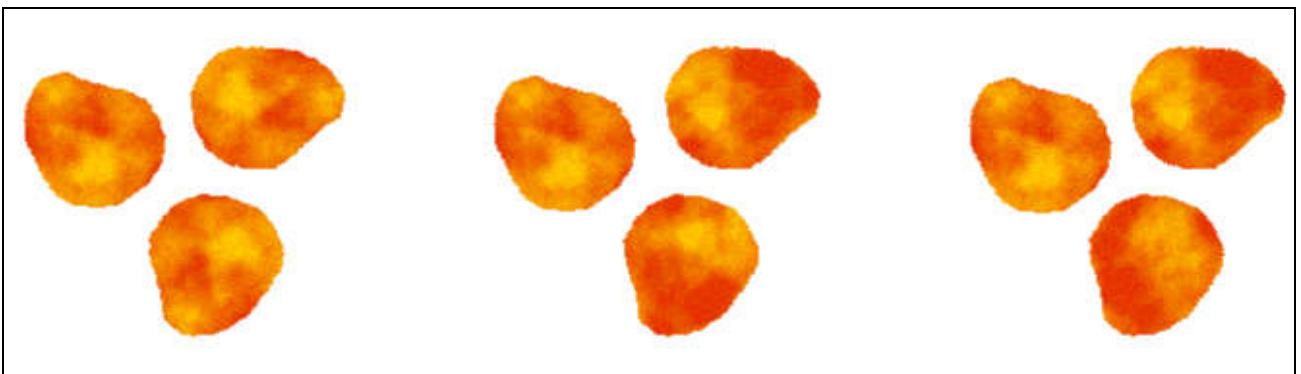


Рисунок 3.12 – Симетричне зображення, побудоване на основі групи $p3$

Коефіцієнти афінних перетворень для асиметричного зображення і коефіцієнти матриць спотворення симетричного зображення приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Коефіцієнти афінних перетворень аналізованих зображень

Величина спотворення в градусах	Коефіцієнти афінних перетворень асиметричного зображення				Коефіцієнти матриці спотворень			
	a	b	c	d	a	B	c	d
0	1	0	0	1	–	–	–	–
10	0,9688	0,187	–0,1597	0,9853	1,0009	–0,1899	0,1622	0,9841
20	0,94	0,3403	–0,2977	0,9181	0,9521	–0,3529	0,3087	0,9748
30	1	0	0,0192	0,9811	1	0	–0,0196	1,0193
0	–0,43	0,9	–0,9	–0,42	1,0045	0,0075	0,0087	0,9982
10	–0,5762	0,8172	–0,8151	–0,5882	0,9815	–0,1664	0,1861	0,9726
20	–0,4214	0,8992	–0,898	–0,4286	1,0045	0,0075	0,0087	0,9982

Продовження таблиці 3.5

30	-0,8259	0,563	-0,5666	-0,8172	0,8666	-0,5043	0,5005	0,8588
0	-0,59	-0,8	0,83	-0,57	0,9851	-0,041	0,0221	1,0459
10	-0,6975	-0,7353	0,7095	-0,6828	0,9725	0,1244	-0,1626	1,01
20	-0,8139	-0,605	0,575	-0,8004	0,9328	0,2943	-0,3368	0,9667
30	-0,9148	-0,4433	0,4214	-0,8992	0,8596	0,4659	-0,5015	0,8811
0	1	0	0	1	-	-	-	-
10	0,9688	0,187	-0,1597	0,9853	1,0009	-0,1899	0,1622	0,9841
20	0,94	0,3403	-0,2977	0,9181	0,9521	-0,3529	0,3087	0,9748
30	1	0	0,0192	0,9811	1	0	-0,0196	1,0193
0	-0,43	0,9	-0,9	-0,42	1,0045	0,0075	0,0087	0,9982
10	-0,5762	0,8172	-0,8151	-0,5882	0,9815	-0,1664	0,1861	0,9726
20	-0,4214	0,8992	-0,898	-0,4286	1,0045	0,0075	0,0087	0,9982
30	-0,8259	0,563	-0,5666	-0,8172	0,8666	-0,5043	0,5005	0,8588
0	-0,59	-0,8	0,83	-0,57	0,9851	-0,041	0,0221	1,0459

3.4 Висновки

1. На основі алгебраїчних структур (кристалографічних груп) розвинуто теорію аналізу зображень, що дало змогу з спільних теоретичних позицій розробити алгоритми аналізу симетричних і асиметричних зображень.

2. Розроблено метод і алгоритми аналізу симетричних векторних зображень, які синтезуються на основі дискретних груп симетрії, дають змогу визначити породжуючі перетворення таких зображень (групи симетрії), що дозволило суттєво зменшити обсяги пам'яті для їх зберігання і синтезу.

3. На основі теорії кристалографічних груп розроблено метод і алгоритми аналізу асиметричних зображень: отримано рівняння симетрування для базових геометричних перетворень, на основі яких здійснено симетрування груп смуги та площини, що дало можливість економно зберігати асиметричні зображення, запам'ятовуючи тільки породжуючі перетворення для груп симетрії і матриці спотворень породжуючих перетворень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Baltimore D. How Biology Became an Information Science // The Invisible Future – New York, NY, USA: McGraw–Hill, Inc. 2002 – P.43–55.
2. Кузнецова Л.А. Анализ проблематики использования изображений в цифровом формате в медицинской практике / Л.А. Кузнецова, М.А. Мельник, К.А. Катилова // Системы обробки інформації. – 2016. – № 4. – С. 169–171.
3. Королюк И.П. Медицинская информатика: Учебник / И.П. Королюк. – 2 изд., перераб. и доп. – Самара: ООО «Офорт»: ГБОУ ВПО «СамГМУ». 2012. – 244 с; ил.
4. Дороничева А.В. Методы Распознавания Медицинских Изображений Для Задач Компьютерной Автоматизированной Диагностики / А.В. Дороничева, С.З. Савин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4.
5. Федьків С. В. Магнітно–резонансна томографія в кардіології: інформаційно–методичний посібник / С. В. Федьків ; під ред. : В. М. Коваленка, В. М. Корнацького. – К., 2013. – 60 с.
6. Рыбакова М. К. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике, Эхокардиография / М.К. Рыбакова, М. Н. Алехин, В. В. Митьков, // Издательский дом Видар, Москва, 2008, 512 с.
7. Барінов Е. Ф. Гістологія, цитологія та ембріологія. Кн.1: Цитологія і загальна ембріологія: навч. посіб. для студ. вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / Е. Ф. Барінов, Ю. Б. Чайковський // – 2010. – 216 с.
8. Torre L. A. Global cancer statistics / L. A. Torre MSPH, Freddie Bray PhD, Rebecca L. Siegel MPH, Lindsey A. Torre MSPH, Jacques Ferlay ME , Joannie Lortet–Tieulent MSc, Ahmedin Jemal DVM, PhD // Cancer Journal for Clinicians – 2012.
9. Zajdela A. The value of aspiration cytology in the diagnosis of breast cancer: Experience at the fondation curie/ A. Zajdela, N. A. Ghossein MD, J. P. Pilleron MD, A. Ennuyer MD// Cancer Cytopathology – 1994.
10. Національний Канцер Реєстр [Electronic resource]: <http://unci.org.ua/spetsialistam/nacionalnij-kancer-reyestr/>
11. Liu X.–F. A Clinical Study on the Resection of Breast Fibroadenoma Using Two Types of Incision / X.–F. Liu, J.–X. Zhang, Q. Zhou, F. Chen, Z.–M. Shao, C. Lu, // Scandinavian Journal of Surgery – 2011. – 100(3) – P. 147–152.

12. Al-Sindi K. Efficacy of fine-needle aspiration biopsy in diagnosis of breast cancer: A retrospective study of 303 cases in Bahrain / K. Al-Sindi, Nahid Kamal, J. Golbahar // *Diagnostic Cytopathology* – 2009. – 37(9) – P. 636–640.
13. Farras Roca J. A. Diagnostic Performance of Ultrasound-Guided Fine-Needle Aspiration of Nonpalpable Breast Lesions in a Multidisciplinary Setting / J. A. Farras Roca, A. Tardivon, F. Thibault, C. El Khoury, S. Alran, V. Fourchette, V. Marck, B. Alépée, B. Sigal, Y. de Rycke, R. Rouzier, J. Klijanienko // *American Journal of Clinical Pathology* – 2017. – Vol. 147(6) – P. 571–579.
14. Barra A. de A. A comparison of aspiration cytology and core needle biopsy according to tumor size of suspicious breast lesions / A. de A. Barra, H. Gobbi, C. A. de L. Rezende, A. P. Gouvêa, C. Ê. M. de Lucena, J. H. P. Reis, Soraya Z. Costa e Silva // *Diagnostic Cytopathology* – 2008. – 36(1) – P. 26–31.
15. Ohnstad H. O. Prognostic value of PAM50 and risk of recurrence score in patients with early-stage breast cancer with long-term follow-up / H. O. Ohnstad, E. Borgen, R. S. Falk, T. G. Lien, M. Aaserud, M. A. T. Sveli, J. A. Kyte, V. N. Kristensen, G. A. Geitvik, E. Schlichting, E. A. Wist, T. Sorlie, H. G. Russnes, B. Naume // *American journal of Clinical Pathology* – 2017 – Vol.19, Num. 1 – 120 p.
16. Berezsky O. Automated processing of cytological and histological images / O. Berezsky, O. Pitsun // *2016 XII International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* – 2016. – P. 51–53.
17. Pizer S. M. Contrast-limited adaptive histogram equalization: Speed and effectiveness / S. M. Pizer, Johnston R. E., Ericksen J. P., Yankaskas B. C., Muller K. E. // *Proceedings of the First Conference on Visualization in Biomedical Computing*. – Atlanta, 1990. – P. 337–345.
18. McCann M.T. Automated Histology Analysis: Opportunities for Signal Processing / Michael T. McCann, John A. Ozolek, Carlos A. Castro, Bahram Parvin, Jelena Kovacevi // *IEEE Signal Processing Magazine*.– Vol. 32(1).– 2015.– P. 78–87.
19. Chitradevi B. An Overview on Image Processing Techniques / B. Chitradevi, P.Srimathi // *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. – Vol. 2 (11). – 2014. – P. 6466–6472.
20. Бондіна Н.М. Порівняння алгоритмів фільтрації медичних зображень за оцінками їх якості / Н.М. Бондіна, О.С. Калмичков, О.А. Козіна // *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання*. – 2013. – № 39 (1012). – С. 15 – 21.

21. Хрящев Д.А. Об одном методе анализа цифрового изображения с применением гистограмм // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010 – №1. – С.109–113.
22. Adatrao S. An analysis of different image preprocessing techniques for determining the centroids of circular marks using hough transform / S. Adatrao, M. Mittal // 2nd International Conference on Frontiers of Signal Processing (ICFSP). 15–17 Oct. 2016. – 2016. – P. 110–115.
23. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р.Вудс // Техносфера. – 2012. – 1104 с.
24. Gupta M. Image Denoising with Linear and Non-Linear Filters: A REVIEW / Mrs. Bhumika Gupta, Mr. Shailendra Singh Negi // IJCSI International Journal of Computer Science Issues – 2013 – Vol. 10, Issue 6, No 2.
25. Zhu Y. An Improved Median Filtering Algorithm for Image Noise Reduction / Youlian Zhu, Cheng Huang // Physics Procedia. – V. 25. – 2012. – p. 609 – 616
26. Jang C.Y. A fast multi-scale retinex algorithm using dominant SSR in weights selection / C.Y. Jang, J.H. Lim, Y.H. Kim // Proceedings of The SoC Design International Conference (ISOCC). – Jeju Island, 2012. – P. 37–40.
27. Reza A.M. Realization of the Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) for Real-Time Image Enhancement / A.M. Reza // The Journal of VLSI Signal Processing-Systems for Signal, Image, and Video Technology. – 2004. – Vol 38(1). – P. 35–44.
28. Petro A.B. Multiscale Retinex / Ana Belén Petro, Catalina Sbert, Jean-Michel Morel // Image Processing On Line. – 2014. – P. 71–88.
29. Baldock R. Image Processing and Analysis A Practical Approach / Richard Baldock, Jim Graham // Oxford university press. – 2000. – 300 p.
30. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А.Фурман, А.В Кривецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егошина, А.Н. Леухин; Под ред. Я.А. Фурмана. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, – 2003. – 592 с.
31. Pratt W. K. Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside / William K. Pratt – NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 782 p.
32. Koomsap P. Topological hierarchy-contour tracing algorithm for nests of interconnected contours / P. Koomsap, N. Chansri // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology – 2014. – Vol. 70. – P. 1247–1266.
33. Hlavac V. Image Processing, Analysis, and Machine Vision, International Student Edition // V. Hlavac, M. Sonka, R. Boyle // Thomson Learning, part of the Thomson Corporation – 2008. – 829 p.
34. Kazlouski A. Plain objects detection in image based on a contour tracing

- algorithm in a binary image/ A. Kazlouski; R. K. Sadykhov/ 2014 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings, 23–25 June 2014. – 2014. – P. 242–248.
35. Rajashekar P. Evaluation of Stopping Criterion in Contour Tracing Algorithms / P.Rajashekar Reddy et al, / (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies. – Vol. 3 (3). – 2012. – P. 3888–3894.
 36. Pavlidis T. Algorithms for Graphics and Image Processing / T. Pavlidis – US, Rockville, Maryland: Computer Science Press, 1982. – 438 p.
 37. Jonghoon S. Fast Contour–Tracing Algorithm Based on a Pixel–Following Method for Image Sensors / Jonghoon Seo, Seungho Chae, Jinwook Shim, Dongchul Kim, Cheolho Cheong, Tack–Don Han Vittorio M. N. Passaro // Sensors. – 2016. – Vol 16(3). – P. 1–27.
 38. Kass M. Snakes: active contour models / Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Int J Comput Vis – 1988. – P. 321–331.
 39. Iannizzotto G. Fast and accurate edge–based segmentation with no contour smoothing in 2–D real images/ Iannizzotto G, Vita L. // IEEE Trans Image Process – 2000. – Vol. 9(7). – P. 1232–1237.
 40. Kuagoolkijgarn P. A new algorithm for tracing nests of interconnected contours / P. Kuagoolkijgarn, P. Koomsap, N. Chansri The International Journal of Advanced Manufacturing Technology September 2010, Volume 50, Issue 5–8, P. 717–727.
 41. Цмоць І. Г. Паралельні алгоритми та НВІС–структури для медіанної фільтрації зображень в реальному часі / І. Г. Цмоць, І. В. Ігнатев, А. Р. Боднар // Моделювання та інформаційні технології. – 2016. – Вип. 77. – С. 180–185.
 42. Jonghoon S. Fast Contour–Tracing Algorithm Based on a Pixel–Following Method for Image Sensors / Jonghoon Seo, Seungho Chae, Jinwook Shim, Dongchul Kim, Cheolho Cheong, Tack–Don Han Vittorio M. N. Passaro // Sensors – 2016. – Vol. 16(3) – P. 353.
 43. Мельник Г.М. Аналітичний огляд методів аналізу та синтезу текстурних зображень / Г.М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету – 2007. – Т. 2, № 1. – С. 110–114.
 44. Liu Y. Frieze and Wallpaper Symmetry Groups Classification under Affine and Perspective Distortion / Robotics Institute CMU–RI–TR–98–37 // Liu Y., Collins R. – Pittsburgh, PA., 1998. – 56 p.
 45. Шубников А. В. Симметрия в науке и искусстве. / А. В. Шубников, В. А. Копчик – Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 560 с.

46. Singh M. SAR Image Classification Using PCA and Texture Analysis / Mandeep Singh, Gunjit Kaur // Proceedings of the International Conference “Information Technology and Mobile Communication” (AIM). – Nagpur–Maharashtra–India, 2011. – P. 435–439.
47. Мельник Г. М. Зменшення простору текстурних ознак гістологічних зображень за допомогою методу головних компонент // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. - 2016. - № 77. - С. 176-180.
48. Leung⁹⁶ Leung T., Malik J. Detecting, localizing and grouping repeated scene elements / T. Leung, J. Malik // 4th European Conference on Computer Vision Cambridge, UK, April 15–18, 1996 Proceedings, – US: Springer, 1996. – С. 546-555.
49. Lin H.-C. Extracting periodicity of a regular texture based on autocorrelation functions / Hsin-Chih Lin, Ling-Ling Wang, Shi-Nine Yang // Pattern Recognition Letters - 1997. - Vol. 5, No. 18. - P. 433-443.
50. Schaffalitzky F. Geometric grouping of repeated elements within images / F. Schaffalitzky, A. Zisserman // In Proc. 9th British Machine Vision Conference (BMVC), Southampton, September 1998 – Southampton, UK: Springer–Verlag, 1998. – P. 13–22.
51. Schaffalitzky F. Geometric Grouping of Repeated Elements within Images / Frederik Schaffalitzky, Andrew Zisserman // Shape, Contour and Grouping in Computer Vision. Lecture Notes In Computer Science – 1999. – Vol. 1681. – P. 165–181.
52. Liu Y. A Computational Model for Periodic Pattern Perception Based on Frieze and Wallpaper Groups / Yanxi Liu, Robert T. Collins, Yanghai Tsin // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI) – 2004. – Vol. 1, No. 26. – P. 354–371.
53. Turina A. A Geometric Framework for Visual Grouping / Andreas Turina ; Swiss federal institute of technology Zurich. – Zurich, 2002. – 157 p.
54. Tuceryan M. Texture Segmentation Using Voronoi Polygons / M. Tuceryan, A. K. Jain // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence – 1990. – Vol. 2, No. 12. – С. 211–216.
55. Liu Y. Near–regular Texture Analysis and Manipulation / Yanxi Liu, Wen–Chieh Lin, James H. Hays // ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2004), 2004. – P. 368–376.
56. Wolter F. Spatio–temporal representation and reasoning based on RCC–8 / Frank Wolter, Michael Zakharyashev // In Proceedings of the seventh Conference on

- Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2000) – Breckenridge, Colorado, USA: Morgan Kaufmann, 2000. – P. 3–14.
57. Rajkovic N. Comparison of Monofractal, Multifractal and gray level Co-occurrence matrix algorithms in analysis of Breast tumor microscopic images for prognosis of distant metastasis risk / N. Rajković, D. Kolarević, K. Kanjer, N. T. Milosević, D. Nikolić–Vukosavljević, M. Radulovic // *Biomedical Microdevices*. – Springer, 2016. – Vol. 5, No. 18. – P. 83.
 58. Saito A. A novel method for morphological pleomorphism and heterogeneity quantitative measurement: Named cell feature level co-occurrence matrix / A. Saito et al. // *Journal of Pathology Informatics*. – 2016 – Vol. 7, Num. 1. – 36 p.
 59. Mohanty A. K. Classifying Benign and Malignant Mass using GLCM and GLRLM based Texture Features from Mammogram / A. K. Mohanty, S. Beberta, S. K. Lenka // *International Journal of Engineering Research and Applications*. – 2011. – Vol. 1, Issue 3. – P. 687–693.
 60. Bieri M. Quantitative analysis of Alzheimer plaques in mice using virtual microscopy / M. Bieri, A. Wethmar, N. Wey // *First European Workshop on Tissue Imaging and Analysis, 2009*. – P. 31–38.
 61. Баврина А. Ю. Исследование фотограмметрических изображений с помощью матриц вероятности распределения яркости / А. Ю. Баврина, Н.Ю. Ильясова // *Компьютерная оптика* – 2002. – Т. 23, – С. 62–65.
 62. Belsare A. D. Classification of breast cancer histopathology images using texture feature analysis / A. D. Belsare, M. M. Mushrif, M. A. Pangarkar, N. Meshram // *2015 IEEE Region 10 Conference* – 2015. – P. 1–5.
 63. Herve N. Statistical color texture descriptors for histological images analysis / N. Herve, A. Servais, E. Thervet, J. Olivo–Marin, V. Meas–Yedid // *2011 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro* – 2015. – P. 724–727.
 64. Onder D. Automated classification of cancerous textures in histology images using quasi-supervised learning algorithm / D. Onder, S. Sarioglu, B. Karacali // *2010 15th National Biomedical Engineering Meeting* – 2010. – P. 1–4.
 65. Riaz F. Content–Adaptive Region–Based Color Texture Descriptors for Medical Images / F. Riaz, A. Hassan, R. Nisar, M. Dinis–Ribeiro, M. Tavares Coimbra // *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. – 2017. – Vol. 21, No. 1. – P. 162–171.
 66. Simonyan K. Very Deep Convolutional Networks for Large–Scale Image Recognition / Karen Simonyan, Andrew Zisserman // *Proceedings of ICLR, May 7 – 9, 2015*. – P.1–14.

67. Abdelhafiz D. Survey on deep convolutional neural networks in mammography / Dina Abdelhafiz, Sheida Nabavi, Reda Ammar, Clifford Yang // Conference: 2017 IEEE 7th International Conference on Computational Advances in Bio and Medical SciencesAt: Orlando, FL, USA. – 2017 – P. 1–17.
68. Zhang X. Whole mammogram image classification with convolutional neural networks / Xiaofei Zhang , Yi Zhang, Erik Y. Han , Xiaoqin Wang // 2017 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM) (2017) Kansas City, MO, USA Nov. 13, 2017 to Nov. 16, 2017 . – P. 700–704.
69. Qing Li Medical image classification with convolutional neural network / Qing Li, Weidong Cai, Xiaogang Wang, Yun Zhou, David Dagan Feng, Mei Chen // 2014 13th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV) – Singapore, Singapore – 10–12 Dec. 2014.
70. Khoshdeli M. Feature–based Representation Improves Color Decomposition and Nuclear Detection Using Convolutional Neural Network / Mina Khoshdeli, Bahram Parvin // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 02 June 2017.
71. Shin H.–C. Deep Convolutional Neural Networks for Computer–Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning / H.–C. Shin, R. Roth, M. Gao, L. Lu, Z. Xu, I. Nogues, J. Yao, D. Mollura, R. M. Summers // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2016. – Vol. 35, No. 5. – P. 1285–1298.
72. Shaikhina T. Handling limited datasets with neural networks in medical applications: A small–data approach / T. Shaikhina, N. A. Khovanova // Artificial Intelligence in Medicine. – 2017. – Vol. 75. – P. 51–63.
73. Dehghan Khalilabad N. Employing image processing techniques for cancer detection using microarray images / N. Dehghan Khalilabad, H. Hassanpour // Computers in Biology and Medicine. – 2017. – Vol. 81. – P. 139–147.
74. Aswathy M. A. Detection of breast cancer on digital histopathology images: Present status and future possibilities / M. A. Aswathy, M. Jagannath // Informatics in Medicine Unlocked. – 2017. – Vol. 8. – P. 74–79.
75. Qian S. Adaptive activation functions in convolutional neural networks / S. Qian, H. Liu, C. Liu, S. Wu, H. San Wong // Neurocomputing. – 2018. – Vol. 272. – P. 204–212.
76. Wan T. Automated grading of breast cancer histopathology using cascaded ensemble with combination of multi–level image features / T. Wan, J. Cao, J. Chen, Z. Qin // Neurocomputing. – 2017. – Vol. 229. – P. 34–44.
77. Eklund A. Medical image processing on the GPU – Past, present and future / A. Eklund, P. Dufort, D. Forsberg, S. M. LaConte // Medical Image Analysis. –

2013. – Vol. 17, No. 8. – P. 1073–1094.
78. Kalaiselvi T. Survey of using GPU CUDA programming model in medical image analysis / T. Kalaiselvi, P. Sriramakrishnan, K. Somasundaram // *Informatics in Medicine Unlocked*. – 2017. – Vol. 9. – P. 133–144.
 79. Heehoon Kim Performance analysis of CNN frameworks for GPUs/ Heehoon Kim, Hyoungwook Nam, Wookeun Jung, Jaejin Lee // 2017 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS) . – Santa Rosa, CA, USA. – 24–25 April 2017 DOI: 10.1109/ISPASS.2017.7975270.
 80. Strigl D. Performance and Scalability of GPU–Based Convolutional Neural Networks / Daniel Strigl, Klaus Kofler, Stefan Podlipnig // 2010 18th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network–based Processing. – Pisa, Italy.
 81. Levine M.D. Dynamic measurement of computer generated image segmentations / M.D. Levine, A.Nazif. // *Proceedings of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. –1985. – Vol.7, No.2. – P.155–164.
 82. Zhang Y.J. A review of recent evaluation methods for image segmentation / Y.J. Zhang // *Proc. of 6–th International Symposium on Signal Processing and its Applications(ISSPA)*. – Kuala Lumpur, 2001. – Vol.1. – P.148–151.
 83. Березький О. Методи кількісної оцінки якості сегментації зображень / Олег Березький // *Матеріали дванадцятої всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» (УкрОБРАЗ)*. – Київ, 2014. – С. 51–54.
 84. Levine M.D. Dynamic measurement of computer generated image segmentations / M.D. Levine, A.Nazif. // *Proceedings of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. –1985. – Vol.7, No.2. – P.155–164.
 85. Zhang Y.J. Segmentation evaluation using ultimate measurement accuracy / Y.J. Zhang, J.J. Gerbrands // *Image Processing Algorithms and Technique*. – 1992. – Vol. 1657. – P. 449–460.
 86. Zhang Y.J. Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison / Y.J. Zhang, J.J. Gerbrands. // *Signal Processing*. – 1994. – Vol.39, Issue.2. – P. 43–54.
 87. Lopez M. Hausdorff approximation of convex polygons / M. A. Lopez, S. Reisner // *Computational Geometry*. – 2005. – Vol. 32, Issue 2. – P. 139–158.
 88. Alt H. Computing the Hausdorff distance between curved objects / H. Alt, L. Scharfz // *International Journal of Computational Geometry*. – 2008. – Vol. 18. – P. 307–320.

89. Chew L.P. Getting around a lower bound for the minimum Hausdorff distance / L.P. Chew, K. Kedem // *Computational Geometry* – 1998. – Vol. 10, Issue 3. – P. 197–202.
90. Knauer C. Approximate nearest neighbor search under translation invariant hausdorff distance / C. Knauer, M. Scherfenberg // *International Journal of Computational Geometry*. – 2011. – Vol. 21, Issue 3.– P. 369–381.
91. Alvarez V. Approximating the minimum weight spanning tree of a set of points in the Hausdorff metric / V. Alvarez, R. Seidel // *Computational Geometry* – 2010. – Vol. 43. – P. 94–98.
92. Atallah M.J. Computing Some Distance Functions Between Polygons / M. J. Atallah, C. Celso // *Computer Science Technical Reports*. – 1990. – Vol. 9. – P.1–10.
93. Alt H. Computing the Fréchet distance between two polygonal curves / H. Alt, M. Godau // *International Journal of Computational Geometry and Applications*. – 1995. – Vol. 5. – P. 75–91.
94. Mosig A. Approximately matching polygonal curves with respect to the Fréchet distance / A. Mosig, M. Clausen // *Computational Geometry* – 2005. – Vol. 30, Issue 2. – P. 113–127.
95. Buchin K. Computing the Fréchet distance between simple polygons / K. Buchin, M. Buchin, C. Wenk // *Computational Geometry*. – 2008. – Vol. 441, Issue 1–2. – P. 2–20.
96. Rote G. Computing the Fréchet distance between piecewise smooth curves / G. Rote // *Computational Geometry* – 2007. – Vol. 37. – P. 162–174.
97. Schlesinger M.I. Frechet Similarity of Closed Polygonal Curves / M.I. Schlesinger, E. V. Vodolazskiy, V. M. Yakovenko // *International Journal of Computational Geometry*. – 2016. – Vol. 26. – P. 53–66.
98. Ahn H.–K. Computing the discrete Fréchet distance with imprecise impute / H.–K. Ahn, C. Knauer, M. Scherfenberg et al. // *International Journal of Computational Geometry*. – 2016. – Vol. 22. – P. 27–44.
99. Cook A.F. Computing the Fréchet distance between folded polygons / A. F. Cook IV, Anne Driemel, Jessica Sherette et al. // *Computational Geometry* – 2015. – Vol. 50. – P. 1–16.
100. Gudmundsson J. Fast algorithms for approximate Fréchet matching queries in geometric trees / J. Gudmundsson, M. Smid // *Computational Geometry*. – 2015. – Vol. 48. – P. 479–494.
101. Березький О.М. Segmentation algorithms of biomedical images: development and quantitative evaluation / О.М. Березький, Ю.М.Батько, Г.М. Мельник, С.О.Вербовий // *Штучний інтелект*. – 2016. – №3 (73). – С. 104–116.

102. Berezsky O. Access distribution in automated microscopy system / O. Berezsky, L. Dubchak, O. Pitsun // Proceedings of the XIV–th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” (CADSM). – Polyana, 2017. – P. 241–243.
103. Kankaanpää P. BioImageXD: an open, general–purpose and high–throughput image–processing platform / P. Kankaanpää, L. Paavolainen, S. Tiitta, M. Karjalainen, J. Päivärinne, J. Nieminen // Nature methods. – 2012. – Vol. 9(7). – P. 155–171.
104. Малов А. М. Компьютерная обработка биомедицинских многоканальных изображений с использованием визуализации меры сходства с эталоном / А. М. Малов // Известия вузов. Приборостроение. – 2009. – № 52(8). – С. 74–79.
105. Yokoyama Y. Loss of histone H4K20 trimethylation predicts poor prognosis in breast cancer and is associated with invasive activity / Y. Yokoyama, A. Matsumoto, M. Hieda, Y. Shinchii, E. Ogihara, M. Hamada, Yu Nishioka, H. Kimura, K. Yoshidome, M. Tsujimoto, Na. Matsuura // Breast Cancer Research. – 2014. – Vol. 16 (3). – P. 66.
106. Seroussi B. Using OncoDoc as a computer–based eligibility screening system to improve accrual onto breast cancer clinical trials / Brigitte Séroussi, Jacques Bouaud // Artificial Intelligence in Medicine. – 2003. – Vol. 29, Issues 1–2. – P. 153–167.
107. Dercksen V. The Filament Editor: An Interactive Software Environment for Visualization, Proof–Editing and Analysis of 3D Neuron Morphology / V. Dercksen // Neuroinformatics. – 2014. – Vol. 12(2). – P. 325–339.
108. Vrekoussis T. Image Analysis of Breast Cancer Immunohistochemistry–stained Sections Using ImageJ: An RGB–based Model / T. Vrekoussis, V. Chaniotis, I. Navrozoglou, V. Dousias, K. Pavlakis, E.N. Stathopoulos, O. Zoras // Anticancer Research December. – 2009. – Vol. 29(12). – P. 4995–4998.
109. Медовый В. С. Информационные автоматизированные системы микроскопии для анализа биоматериалов // Врач и информационные технологии – 2004. – № 6. – С. 32–37.
110. Наказ МОЗ України №681 від 19.10.2015 р. Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1400-15.
111. Another Unstoppable Year for Telehealth. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.connectwithcare.org/2015-another-unstoppable-year-telehealth>.

112. Владзимирский А.В. Телемедицина. – Донецк: ООО «Цифровая типография», 2011. – 437 с.
- 113 Maiga G. A model for telemedicine adoption in remote healthcare settings / G. Maiga, I. Arinaitwe // 2017 IST–Africa Week Conference (IST–Africa) – 2017. – P. 1–8.
- 114 The Physician’s Guide to Adding Telemedicine to your Practice – Bizmatics, Inc., USA, 2016 – 63 p.
115. Дубчак Л.О. Телемедицина: сучасний стан та перспективирозвитку // Л.О.Дубчак / Системи обробки інформації. – 2017.– №1. – С.144–146.
116. Лукацкий А. Атаки на информационные системы. Типы и объекты воздействия // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2000. – №1. – С. 16–21.
117. Васильцов І.В. Атаки спеціального виду на криптопристрої та методи боротьби з ними / І.В. Васильцов / за ред. В.П.Широчина. – Кременець: Видавничий центр КОГП, 2009. – 264 с.
118. Дубчак Л.О. Атаки на сучасні інформаційні системи та методи захисту проти них / Л.О. Дубчак // Materiály IX mezinárodnívědecko – praktickákonference «Vědeckýpokroknapřelomutysyachalety–2013». – Praha, 2013. – С. 3–5.
119. Романец Ю.В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю.В.Романец, П.А.Тимофеев, В.Ф.Шаньгин / под ред. В.Ф.Шаньгина. – М.: Радио и связь, 1999. –328 с.
120. Идентификация и аутентификация пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://goo.gl/b2LcQQ>.
121. Baby M. K. Biomedical Image Integrity Check for Telemedicine Applications by Hash Embedding & Wavelet Compression / M. K. Baby, A. Madhu, R. P. Aneesh // 2017 International Conference on Networks & Advances in Computational Technologies (NetACT) – 2017. – P. 178–185.
122. Suganya N. EGG Steganography Based Privacy Protecting of Medical Data for Telemedicine Application / N.Suganya, M.Marimuthu // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering – V.2, I.1, 2014 – P. 794–800.
123. Arun V. Privacy of Health Information in Telemedicine on Private Cloud / V.Arun, S.Padma, V.Shyam // Family Medicine and Medical Science Research, V.4, I.5 – 2015 – P.7–13.
- 124 Каргаполов М. И. Основы теории групп / М. И. Каргаполов, Ю. И. Мерзляков. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
- 125 Файн В.С. Оpozнaвание изображений (основы непрерывной теории и ее

- приложения) / В.С. Файн. – М.: Наука, 1970. – 299 с.
126. Холл М. Теория групп / М. Холл. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 467 с.
 127. Голод П. І. Симетрія та методи теорії груп у фізиці / П. І. Голод – К.: Вид. дім “Києво–Могилянська академія”, 2005. – 215 с.
 128. Гроссман И. Группы и их графы / И. Гроссман, В.Магнус; пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 246 с.
 129. Гильберт Д. Наглядная геометрия / Д. Гильберт, С. Кон–Фоссен. – М.–Л.: ОНТИ–НКТП СССР, 1936. – 302 с.
 130. Polya G. Uber die Analogie der Kristallsymmetrie in der Ebene / G. Polya. – 1924. – P. 278–282.
 131. Мищенко А.С. Краткий курс дифференциальной геометрии и топологии / А.С. Мищенко, А.Т. Фоменко. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
 132. Куратовский К. Топология: в 2 т. / К. Куратовский. – М.: Мир, 1966 – 1969. – Т. 1. – 1966. – 594 с.
 133. Khalimsky E. Topological structures in computer science // Journal of Applied Mathematics and Simulation. – Vol. 1, No 1. – 1987. – P. 25–40.
 134. Березский О. Н. Теоретико–групповой подход к анализу симметричных изображений / О. Н. Березский // Управляющие системы и машины. – 2010. – № 6. – С. 16–24.
 135. Березький О. М. Теоретико–груповий підхід до синтезу складних зображень / О. М. Березький // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 6. – С. 19–24.
 136. Березский О. Н. Алгоритмы анализа и синтеза биомедицинских изображений / О. Н. Березский // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 2. – С. 134–144.
 137. Березький О. Моделювання, аналіз та синтез біомедичних зображень / Олег Березький // Матеріали восьмої всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» (УкрОБРАЗ’2006), Київ, 28–31 серпня 2006 р. – К., 2006. – С. 47–50.
 138. Березький О. М. Теоретико–груповий підхід до аналізу та синтезу складних зображень / Олег Миколайович Березький // Матеріали дев’ятої всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» (УкрОБРАЗ’2008), Київ, 3–7 листопада 2008 р. – К., 2008. – С. 173–176.
 139. Грицик В. В. Методи і алгоритми аналізу та синтезу складних зображень на основі теоретико–групового підходу / В. В. Грицик, О. М. Березький // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. – № 11. – С. 39–45.

140. Bradski G. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library / Gary Bradski, Adrian Kaehler – Cambridge, MA: O'Reilly, 2008. – 577 p.
141. Berezsky O. Errors of generating transforms of complex image / Oleh Berezsky // Proceedings of the Vth International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2010), Lviv, Ukraine, 14–16 October 2010. – P. 3–4.
142. Березький О. М. Методи і алгоритми аналізу та синтезу асиметричних зображень / О. М. Березький // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 162–172.
143. Березький О. М. Симетрування асиметричних зображень / О. М. Березький // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту», (ISDMCI'2010), м. Євпаторія, 17–21 травня 2010 р. – Херсон: ХНТУ, 2010. – Т. 1. – С. 252–257.
144. Berezsky O. M. Models and algorithms of synthesis of symmetric images in a strip and a plane / O. M. Berezsky // Інформаційні технології і системи. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 95–100.
145. Березький О. М. Аналіз контурів зображень у глобальних координатах / О. М. Березький, К. М. Березька // Оптико–електронні інформаційно–енергетичні технології. – 2006. – № 2 (12). – С. 83–91.
146. Березький О. М. Алгоритм проходження контуром об'єкта з використанням зворотного ходу / О. М. Березький, Ю. М. Батько // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 116–122.
147. Березький О. М. Аналіз алгоритмів виділення контурів зображень / О. М. Березький, Ю. М. Батько // Вісник Львівського національного політехнічного університету. Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2006. – № 565. – С. 212–216.
148. Berezsky O. Algorithm of determination of image contours of biological nature / Oleh Berezsky, Yuri Bat'ko // Proceedings of international conference. Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. – Lviv – Slavske, Ukraine, 2006. – P. 642–644.
149. Березький О. М. Аналіз і синтез зображень пухлинних клітин / О. М. Березький // Інформаційні технології і системи. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 76–85.
150. Кудрявцев Л. Д. Курс математического анализа: в 2 т.: учебн. [для студентов университетов и вузов] / Л. Д. Кудрявцев. – М.: Высшая школа, 1981. – Т. 1. – 1981. – 687 с.
151. Березький О. М. Контурний аналіз зображень у локальних координатах /

- О. М. Березький // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць ІПМЕ НАН України. – К. : 2008. – Вип. 46. – С. 101–108.
152. Berezsky O.M. Image contour analysis in local coordinates / O.M.Berezsky, K.M. Berezska, O.P. Adamiv // Proceedings of the 4-th IEEE workshop on intelligent data advanced computing systems: technology and applications (IDAACS–2007). – Dortmund, Germany, 2007. – P. 393–398.
 153. Березький О. М. Методи та алгоритми перетворення контурів зображень в афінному просторі // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 638. – С. 185–189.
 154. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
 155. Путятин Е. П. Обработка изображений в робототехнике / Е. П. Путятин, С. И. Аверин – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
 156. Березький О. М. Перетворення контурів зображень в афінному просторі / О. М. Березький, К. М. Березька, Ю. М. Батько, Г. М. Мельник // Матеріали міжнар. конф. „Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, м. Євпаторія, 2008. – Т. 3, Ч. 1 – С. 51–55.
 157. Березький О. М. Порівняння алгоритмів перетворення зображень в афінному та топологічному просторах // О. М. Березький, Ю. М. Батько // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (ISDMCI'2011), м. Євпаторія, 17–21 травня 2011 р. – Херсон: ХНТУ, 2011. – Т. 2. – С. 186–189.
 158. Березский О. Н. Топологические методы и алгоритмы преобразования контуров и областей плоских изображений / О. Н. Березский // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 5. – С. 123–131.
 159. Косневски Ч. Начальный курс алгебраической топологии / Ч. Косневски. – М.: Мир, 1983. – 304 с.
 160. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
 161. Березький О. М. Похибки перетворення контурів зображень / О. М. Березький // Зб. праць науково-технічної конференції «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації», м. Львів, 7–8 жовтня 2010 р. – Львів : ФМІ, НАНУ, 2010. – С. 147–150.
 162. Березький О. М. Метод і алгоритми перетворення областей зображень /

- О. М. Березький // Матеріали десятої всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» (УкрОБРАЗ'2010), Київ, 25–29 жовтня 2010 р. – К., 2010. – С. 145–148.
163. Blum H. A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape / H. Blum // *Models for the Perception of Speech and Visual Form*. – USA: MIT Press, 1967. – P. 362–380.
164. Berezska O. M. Contour analysis of images / O. M. Berezska // *Information technologies and Systems*. – 2006. – V. 9, № 1. – P. 5–12.
165. Березький О. М. Топологічне перетворення областей: випадок неізоморфних скелетів / О. М. Березький // *Відбір і обробка інформації*. – 2010. – Вип. 33 (109). – С. 67–74.
166. Березький О. М. Метод сегментації зображень на основі попередніх розміток зображення / О. М. Березький, Г. М. Мельник, Ю. М. Батько // *Матеріали 4-ї Міжнар. наук.–техн. конф. "Комп'ютерні науки та інформаційні технології 2009"*, м. Львів, 15–17 жовтня 2009 р. – Львів: ПП "Вежа і Ко", 2009. – С. 48–52.
167. Звіт про науково–дослідну роботу на тему: "Інформаційно–аналітична система для дослідження і діагностування пухлинних (ракових) клітин людини на основі аналізу їх зображень" (заключний) – Тернопіль, 2009. – 257 с.
168. Піцун О.Й. Адаптивний метод обробки гістологічних та цитологічних зображень. // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Комп'ютерні науки та інформаційні технології – 2017. – №864. – С.111–119.
169. Бронников А.В. Комбинированные алгоритмы нелинейной фильтрации зашумленных сигналов и изображений / А.В. Бронников, Ю.Е. Воскобойников // *Автоматрия*. – 1990. – № 1 – С. 21–26.
170. Wang Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli // *Processing of the IEEE Transactions on Image Processing*. – 2004. – Vol. 13, No. 4. – P. 600–612.
171. Yang X.S. Cuckoo search via Levy flights / X.S. Yang, S. Deb // *Proceedings of the world congress on nature and biologically inspired computing (NaBIC)*. – Coimbatore, 2009. – P. 210–214.
172. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 544 с.
173. Боресков А.В. Параллельные вычисления на GPU, Архитектура и

- программная модель CUDA – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 336 с.
174. Нейроподібні методи, алгоритми та структури обробки сигналів і зображень у реальному часі: монографія / Ю.М. Рашкевич, Р.О. Ткаченко, І.Г. Цмоць, Д.Д. Пелешко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 256 с.
 175. Батько Ю.М. Метод і алгоритми сегментації біомедичних зображень на основі попередніх розміток / Ю.М. Батько // Штучний інтелект. – 2010. – №4. – С. 140–149.
 176. Fu K. A survey on image segmentation / K. Fu, J. // Mui Pattern Recognition. – 1981. – Vol.13. – P. 3–16.
 177. Pal N. A survey on image segmentation techniques / N. Pal, S. Pal // Pattern Recognition. – 1993. – Vol. 26. – P.1277–1294.
 178. Skarbek W. Color Image Segmentation. A Survey / W. Skarbek, A. Koschan // Technischer Bericht. – Technical University of Berlin, 1994. – P. 94–32.
 179. Lucchese L. Color Image Segmentation: A State-of-the-Art Survey, Image Processing, Vision and Pattern Recognition / L. Lucchese, S. Mitra // Proceedings of the Indian National Science Academy (INSA-A). – New Delhi: India, 2001. – P. 207–221.
 180. Березький О. М. Метод сегментації зображень на основі попередніх розміток зображення / О. М. Березький, Ю. М. Батько, Г. М. Мельник // Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – Львів, 2009. – С. 48–52.
 181. Березький О.М. Методи сегментації біомедичних зображень / О.М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №1. – С.188–195.
 182. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Дж. Понс – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
 183. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
 185. Березький О.М. Текстура сегментація біомедичних зображень на основі просторових моментів / О.М. Березький, Г. М. Мельник, Ю. М. Батько // Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні науки та інформаційні технології 2009". 15–17 жовтня, 2009, Україна, Львів – Л.: ПП "Вежа і Ко", 2009. – С. 42–44.
 186. Batko Y. Development of algorithms for biomedical image segmentation based on preliminary markup and texture attributes/ Yuriy Batko, Natalia Batryn, Grygoriy Melnyk, Serhiy Verbovyu, Tamara Datsko, Petro Selskyu// Eastern-

- European Journal of Enterprise Technologies – Vol. 6, No 4. – 2017. – P. 35–44.
187. The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd Edition) / – New Jersey, USA: World Scientific Publishing Co., 1998. – 1019 с.
 189. Дацко Т.В.. Морфометричні особливості епітелію шийки матки при цитологічному дослідженні дисплазій / Т.В. Дацко, О.М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М. Мельник, Я.Я. Боднар, Л. І. Косило // Науково–практичний журнал "Здобутки клінічної і експериментальної медицини" – 2008. – № 2(9). – С. 112.
 190. Melnyk G. Contour keypoints detection for structural image analysis / Grygoriy Melnyk // Proceedings of the VIth International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies”(CSIT'2011), November 16–19, 2011, Lviv – Lviv: Publishing House Vezha&Co, 2011. – С. 116–120.
 191. Berezsky O.M. Computation of the Minimum Distance between Non–Convex Polygons for Segmentation Quality Evaluation / O.M. Berezsky, O.Y Pitsun // XII–th International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies. CSIT 2017. 5–8 Sept. 2017 – P. 183–186.
 192. Gromov M. Metric Structures for Riemannian and Non–Riemannian Spaces. Progress in Mathematics – Birkhäuser Boston, 1999. –152 p.
 193. Berezsky O. Regions Matching Algorithms Analysis to Quantify the Image Segmentation Results / O. Berezsky, G. Melnyk, Y. Batko, O. Pitsun // Sensors & Transducers. – 2017. – Vol. 208, Issue 1. – P. 44–49.
 194. Atallah M.J. Computing Some Distance Functions Between Polygons / M. J. Atallah, C. Celso // Computer Science Technical Reports. – 1990. – Vol. 9. – P.1–10.
 195. Berezsky O. Fuzzy system diagnosing of precancerous and cancerous conditions of the breast / O. Berezsky, S. Verbovyu, L. Dubchak, T. Datsko // Proceedings of the XIth International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). – Lviv, 2016. – P. 200–203.
 196. Berezsky O. Automated Processing of Cytological and Histological Images / O. Berezsky, O. Pitsun // Proceedings of the XIIth International Conference “Perspective Technologies and Methods in MEMS Design” (MEMSTECH). – Lviv, 2016. – P. 51–53.
 197. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №75359. База даних цифрових гістологічних та цитологічних зображень передракових та ракових станів молочної залози «ВРСІ2100» / О.М. Березький, Г.М. Мельник, С.О. Вербовий, О.Й. Піцун, В.Д. Николук, Т.В. Дацко. Дата реєстрації 14.12.2017 р.

198. Березький О. М. Статистична оцінка коефіцієнта структурної атипії на основі аналізу гістологічних зображень / О. М. Березький // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова – 2013. – № 67. – С. 113–121.
199. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс; пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
200. Березький О. М. Методи і алгоритми аналізу та синтезу асиметричних зображень / О. М. Березький // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 162–172.
201. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
202. Березький О.М. Розроблення реляційної бази даних інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії / О.М. Березький, О.Й. Піцун, С.О. Вербовий, Т.В. Дацко // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: Збірник науково–технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України.– 2017. –Т. 27, № 5 – С.125 –129
203. Berezsky Oleh Computer diagnostic tools based on biomedical image analysis / O. Berezsky, O. Pitsun, S. Verbovyu, T. Datsko, A. Bodnar // Proceedings of the 14th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” (CADSM). – Polyana–Svalyava, 2017 – P. 388–391.
204. Вербовий С.О. Інформаційна модель системи опрацювання біомедичних зображень / С.О. Вербовий // Матеріали міжнародної наукової конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. – Херсон, 2017. – С. 43– 45.
205. Штовба С.Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным / С.Д. Штовба // Проблемы управления. – 2007. – №4. – С. 102–104.
206. Дубчак Л.О. Нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози на основі гістологічних зображень / Л.О.Дубчак, С.О. Вербовий, Н.А.Максимів, Т.В.Дацко // Інформатика та математичні методи в моделюванні – 2017. – Том 7, №1–2. – С. 47–53.
207. Дубчак Л.О. Метод обробки нечітких даних на основі механізму Мамдані / Л.О. Дубчак // Системи обробки інформації. – 2012. – №7(105). – С. 131.
208. Дубчак Л.О. Спосіб обробки нечіткої інформації / Л.О. Дубчак // Вісник Східно–українського національного університету ім. В.Даля. – 2012. – №8 (179), Ч.1. – С. 306–309.
209. Abadeh M.S. Intrusion Detection Using a Fuzzy Genetics–Based Learning

- Algorithm / M.S. Abadeh, J. Habibi, C. Lucas // Journal of Network and Computer Applications. – 2007. – №30. – P. 414–428.
210. Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications / T.J. Ross. – McGraw–Hill Inc: USA, 1995. – 600 p.
211. Дубчак Л. О.. Нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози на основі аналізу цитологічних зображень / Л. О. Дубчак, С. О. Вербовий, О. М. Березький, Н. Я. Савка, Т. В. Дацко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 5 (253). – С. 203–210.
212. Berezsky O. Fuzzy System of Diagnosing in Oncology Telemedicine / O. Berezsky, S. Verbovyu, L. Dubchak, T. Datsko // Sensors and Transducers. – 2017. – P. 32–38.
213. Dubchak L. Fuzzy knowledge base for diagnosing breast cancer pathological processes / L. Dubchak, S. Verbovyu, K. Berezska, T. Datsko // Proceedings of the XII International Scientific and technical conference “Computer science and information technologies” (CSIT). – Lviv, 2017. – P. 36–39.
214. Класифікація гістологічних та цитологічних зображень на основі згорткових нейронних мереж / О.М. Березький, О.Й. Піцун, А. Р. Боднар, Т.М. Долинюк // Штучний інтелект – Київ, 2017. – №1 (75). – С. 33–42.
215. Roux L. Mitosis detection in breast cancer histological images: an ICPR 2012 contest / L. Roux, D. Racocceanu, N. Loménie, M Kulikova, H. Irshad, J. Klossa, F. Capron, C. Genestie, G. Le Naour, MN. Gurcan // Journal of Pathology Informatics. – 2013. – Vol. 4(1). – P. 8–14.
216. Dalle J. Automatic breast cancer grading of histopathological images. / J. Dalle, W. Leow, D. Racocceanu, A. Tutac, T. Putti. // Proceedings IEEE The 30th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. – P. 3052–3055.
217. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 35888. Комп'ютерна програма «Інформаційно–аналітична система для дослідження та діагностування пухлинних (ракових) клітин людини «Morphosys» («Morphosys») / Березький О.М., Батько Ю.М., Дацко І.А., Мельник Г.М.; Дата реєстрації 30.11.2010.
218. Березький О.М. Комп'ютерна система аналізу біомедичних зображень / О. М. Березький, Ю. М. Батько, Г. М. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 650. – С. 11–18.
219. Березький О.М. Інформаційно–аналітична система дослідження та діагностування пухлинних клітин на основі аналізу їх зображень / О. М.

- Березький, Ю. М. Батько, Г. М. Мельник. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 3, Т.1. – С.120–130.
220. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 52096. Комп'ютерна програма "Інтелектуальна система для діагностування різних форм раку молочної залози на основі аналізу гістологічних та цитологічних зображень "IntelliD"" / Березький О. М. Мельник Г. М. Батько Ю. М. Дацко Т. В., Вальків В. Д.; Дата реєстрації 11.11.2013 р.
221. Березький О.М. Інтелектуальна система для діагностування різних форм раку молочної залози на основі аналізу гістологічних та цитологічних зображень / О.М. Березький, Г.М. Мельник, Ю. М. Батько, Т. В. Дацко // Науковий вісник НЛТУ України – 2013. – № 23.13. – С. 357–367.
222. Berezsky O. Modern Trends in Biomedical Image Analysis System Design / Oleh Berezsky, Grygoriy Melnyk, Yuriy Batko // Biomedical engineering trends in electronics, communications and software – Rijeka, Croatia: InTech, 2011. – P. 461–480.
223. Батько Ю.М. Метод вибору алгоритмів автоматичної сегментації біомедичних зображень / Ю.М. Батько // Системи обробки інформації – 2012. – № 7(105). – С. 98–107.
224. Мельник Г. М. Інформаційна технологія аналізу структурних текстур для опрацювання зображень ауто– та ксеногенних тканин / Г. М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету – 2014. – № 6 (217). – С. 132–141.
225. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №75360. Комп'ютерна програма «Інтелектуальна система діагностування передракових станів молочної залози на основі аналізу гістологічних та цитологічних зображень "HIAMS"» / О.М. Березький, О.Й. Піцун, Г.М. Мельник, П.Б. Лящинський, П.Б. Лящинський. Дата реєстрації 14.12.2017 р.
226. Berezsky O. Access distribution in automated microscopy system/ O. Berezsky, L. Dubchak, O. Pitsun // 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 21–25 Feb. 2017, Lviv, Ukraine – 2017 – P. 241–243.
227. Thomson A. Calvin: Fast Distributed Transactions for Partitioned Database Systems / A. Thomson, T. Diamond, Shu–Chun Weng, Kun Ren // SIGMOD '12 Proceedings of the 2012 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, May 20–24, 2012, New York, NY, USA. – 2012 – P. 1–12.
228. Wiesmann M. Understanding replication in databases and distributed systems / M. Wiesmann, F. Pedone, A. Schiper, B. Kemme, G. Alonso // ICDCS '00

- Proceedings of the The 20th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2000), Washington, DC, USA. – 2000. – 464 p.
229. Chang F. Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data / Fay Chang, Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, Wilson C. Hsieh // ACM Transactions on Computer Systems (TOCS) – 2008. – Vol.(26), Num. – P.1–26.
230. Berezsky O. Methods and Algorithms of Biomedical Image Transforms in Affine and Topological Spaces // International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST). – 2016. – Vol.5, No.10. – P. 1–10.
231. Deza M.M. Encyclopedia of Distances. 4-th edition / Michel Marie Deza, Elena Deza – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016 – 756 p.
232. Березский О. Н. Информационная технология анализа и синтеза гистологических изображений в системах автоматизированной микроскопии / О. Н. Березский, Г. Н. Мельник // Управляющие машины и системы – 2013. – № 4. – С. 26-32.
233. Березский О. Н. Количественная оценка качества сегментации изображений на основе метрик / О. Н. Березский, Е. Н. Березская // Управляющие системы и машины. – 2015. – №6. – С.59-65.
234. Berezsky O. Development of a metric and the methods for quantitative estimation of the segmentation of biomedical images / Oleh Berezsky, Mykhailo Zarichnyi, Oleh Pitsun // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – Vol. 6, No 4. – 2017. – P. 4–11.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

У монографії розглянуті методи та алгоритми опрацювання гістологічних і цитологічних зображень передракових і ракових станів молочної залози. Описані три диспластичні процеси та два раки молочної залози. У базі даних зображень представлені якісні та кількісні ознаки окремих клітин і тканин молочної залози. Отримані зображення і виділені ознаки на них дають можливість тестувати нові алгоритми оброблення, аналізу та класифікації зображень.

Подальший розвиток робіт формування та опрацювання біомедичних зображень може проходити за такими можливими напрямками.

На даний час найточнішим у світовій практиці методом діагностування патологічних процесів в онкології є імуногістохімічний. Тому надзвичайно актуальним першим напрямом є формування БД імуногістохімічних зображень диспластичних і ракових станів молочної залози.

Другим напрямом є розширення БД гістологічних і цитологічних зображень новими видами диспластичних і ракових станів молочної залози, пошуком нових інформативних ознак для діагностування. Цей напрямок вимагає залучення експертів цитологів і гістологів.

Третім напрямом є інтелектуальний аналіз кількісних і якісних ознак БД з метою виявлення закономірностей. Це дасть змогу отримувати нові правила діагностування, їх тестувати і виявляти нові ознаки.

Структурний аналіз на основі плоских кристалографічних груп має обмеження, оскільки при цьому використовуються тільки ізометричні перетворення. Тому розробка структурних аналізаторів на основі нових математичних структур є актуальною задачею. Це є четвертим напрямом дослідження.

П'ятим напрямом є розробка автоматичних методів і алгоритмів сегментації зображень. При цьому необхідно використовувати автоматичні оцінювачі результатів сегментації зображень. Перспективною роботою є пошук нових метрик для порівняння зображень, нових метрик для опису областей і контурів зображень.

В штучному інтелекті на даний час перспективним підходом є гібридний

підхід, який базується на використанні декількох методів штучного інтелекту до розв'язку однієї задачі. Тому розробка гібридної інтелектуальної інформаційної технології та її компонентів для проектування гібридних інтелектуальних систем є шостим напрямом продовження робіт.

Сьомим напрямом є розробка нових нечітких моделей представлення діагностичних знань та побудова на їх основі нечітких баз знань. Це дасть змогу зберігати відомі і здійснювати пошук нових знань для побудови діагностичних систем в онкології.

Останнім часом широкого розповсюдження дістали телемедичні системи, які використовують сучасні досягнення в технологіях локальних і глобальних мереж. Тому розробка методів та алгоритмів телемедицини для побудови систем діагностування є восьмим напрямом досліджень.

Дев'ятим напрямом є проектування нових інтелектуальних інтерфейсів для різних користувачів. Це дасть змогу адаптувати системи для конкретних користувачів.

Десятим напрямом є проектування гнучких гібридних інтелектуальних систем для опрацювання зображень в різних областях.

Перераховані напрями не обмежують шляхів наукового пошуку, практичних розробок і застосувань в глобальному напрямку побудови інтелектуальних систем.

Науковий керівник монографії буде вдячний за корисні зауваження, пропозиції та конструктивну критику. Писати можна за адресою: ***ob@tneu.edu.ua***.