Національний університет «Львівська політехніка»

БЕРЕЗЬКИЙ ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 004.92;004.932.2

АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ АЛГЕБРО-ТОПОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Тернопільському національному економічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Машталір Володимир Петрович,
Харківський національний університет радіоелектроніки; декан факультету комп'ютерних наук;

доктор технічних наук, професор
Романюк Олександр Никифорович,
Вінницький національний технічний університет, перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення;

доктор технічних наук, професор
Яцимірський Михайло Миколайович,
Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри загальної екології та екоінформаційних систем.

Захист відбудеться "_____ "_____ р. о 14^{00} на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті «Львівська політехніка», за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 28а, ауд.__, V навчальний корпус.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий "_____ "_____ р.Вчений секретар спеціалізованої

1.1. вченої ради, к.т.н., доц. А.Є. Батюк.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки зумовив широке застосування систем та засобів штучного інтелекту в різних галузях науки і техніки. Створення інтелектуального (образного) комп'ютера передбачає поєднання роботи п'яти паралельних каналів оброблення інформації – зорового, слухового, нюхового, смакового і тактильного. Отже, велика увага в системах штучного інтелекту приділяється опрацюванню візуальної інформації. Це обумовлено широким розповсюдженням та великою інформативністю візуальних образів. Особливість такого виду інформації полягає у надлишковості, складності породження й аналізу. Сьогодні серед інтелектуальних систем значного поширення набули системи комп'ютерного зору, в яких актуальними задачами є задачі розпізнавання (аналізу) зображень. Стрімке розповсюдження інтернет–технологій, візуалізація в мистецтві, науці й техніці зумовили розвиток комп'ютерної графіки, де основною задачею є реалістичне відтворення (синтез) зорових образів.

На даний час розроблено ряд методів і алгоритмів синтезу та аналізу зображень, які ґрунтуються на різних теоретичних засадах.

Виокремлено такі підходи до синтезу зображень. Перший – це синтез на основі зразка, який реалізується за допомогою таких методів: синтезу цілими фрагментами, попіксельними і комбінованими методами. Їхнім недоліком є великі обсяги пам'яті для зберігання фрагментів зображень. Другий підхід – процедурний, який є дуже поширеним останнім часом, ґрунтується на таких методах: фрактальних, на основі діаграм Вороного і клітинних зразків, та з використанням випадкових полів Маркова та Гіббса. Однак цей процедурний підхід характеризується великою обчислювальною складністю алгоритмів і відповідно зростанням часу синтезу.

Отже, для розглянутих методів щодо синтезу зображень характерною особливістю є застосування різних теоретичних підходів.

Основні задачі аналізу зображень – це комп'ютерне розпізнавання та класифікація зорових образів. Загальновживаними є такі методи розпізнавання образів: кореляційні, які найбільш трудомісткі з точки зору обчислювальної складності; статистичні, де основною проблемою є знаходження функцій умовної густини розподілу імовірності значень ознак для кожного класу; методи, які базуються на штучних нейронних мережах, складність яких полягає у виборі архітектури мережі та алгоритмів її навчання; структурні та синтаксичні, в яких важко формалізується задача визначення граматик на множині висловлювань, що породжують мову.

Як для синтезу зображень, так і для задач аналізу важлива проблема полягає в тому, що не розроблено спільних теоретичних засад.

Для ряду класів зображень (зображення-орнаменти, біомедичні зображення) характерною є повторюваність елементів (образів). Ці елементи для зображень-орнаментів будуються на законах симетрії, фундаментом опису якої є теорія груп. Біомедичні зображення (клітини та групи клітин) за своєю природою асиметричні. Для пошуку повторюваних елементів виокремлено методи знаходження множини ознак елементів зображення і побудову гіпотези про їхні зв'язки, які базуються на

відповідності певній параметричній моделі, та методи, які ґрунтуються на застосуванні автокореляційної функції і перетворенні Фур'є. Отже, вищевказані підходи до синтезу та аналізу зображень мають різне теоретичне підґрунтя, що ускладнює їхнє використання для задач аналізу та породження різноманітних структур зображень.

З огляду на названі проблеми необхідно створити спільний теоретичний підхід як для задач аналізу, так і для задач синтезу крайніх класів зображень (орнаментів і біомедичних), який є базою для побудови моделей опису і синтезу симетричних та асиметричних зображень. Важливу роль у цьому аспекті відіграє розроблення методу аналізу симетричних зображень для знаходження мінімальних структурних частин і закономірностей їхнього породження та методу аналізу асиметричних зображень, який полягає у зведенні асиметричних зображень до відомих симетричних структур.

Розвинутий у дисертації апарат аналізу та синтезу зображень, який уніфікує ці підходи, базується на теорії симетрії, алгебричних (груп, граматик) і топологічних (метрик, метричних просторів) структур, окремі питання яких досліджували як закордонні, так і вітчизняні науковці. Зокрема, важлива алгебрична структура групи з'явилась ще в працях видатних вчених – Е. Галуа і К. Жордана, зв'язок між теорією груп і симетріями геометричних об'єктів встановлено Ф. Кляйном, а Є. Федоровим і А. Шенфлісом проведено класифікацію кристалографічних симетрій. Вагомі результати в науці про симетрію отримані у працях Г. Вейля, Г. Коксетера, О. Шубнікова й О. Заморзаєва. Теорія граматик розроблена в роботах Н. Хомського. Топологічні структури досліджено в працях С. Абламейка, Г. Блюма, Р. Дуди, Л. Местецького, Д. Серра, В. Сойфера, О. Тузікова, В. Файна, Я. Фурмана. Серед українських вчених алгебричні і топологічні структури для аналізу і синтезу зображень застосовували С. Антощук, О. Ахметшин, В. Боюн, Ю. Василенко, Р. Воробель, В. Грицик, Р. Камінський, В. Кожем'яко, В. Крилов, В. Машталір, Є. Путятін, О. Романюк, Б. Русин, І. Сіроджа, Ю. Скобцов, Л. Тимченко, М. Шлезінгер.

Отже, актуальною науково-прикладною проблемою є створення спільного теоретичного підходу до аналізу та синтезу зображень, розроблення моделей та методів аналізу та синтезу симетричних і асиметричних зображень на основі теорії алгебро-топологічних структур для опрацювання зорових образів у системах штучного інтелекту.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Основу дисертаційної роботи складають результати теоретичних і практичних досліджень, які були використані у таких науково-дослідних роботах:

– НДР міжнародний проект УНТЦ 1702 «Інформаційний відеоскоп надвисокої роздільної здатності для дослідження запрограмованої смерті (апоптозу) клітин пухлин людини» (2006 р. – виконавець). Дисертант розробив теоретико-груповий і фрактальний підходи до аналізу та синтезу зображень, методи та алгоритми перетворення контурів зображень в афінному і топологічному просторах.

– НДР «Клініко-морфологічні зміни систем організму при цукровому діабеті і при тиреопатіях у віковому аспекті», № ДР 0107U004455 (2008 р. – виконавець).

Автор розробив структуру програмно-апаратної системи для автоматизації дослідження патологічних процесів у тканинах печінки людини.

– НДР «Інформаційно-аналітична система для дослідження і діагностування пухлинних (ракових) клітин людини на основі аналізу їх зображень», № ДР 0108U002109 (2009 р. – керівник). Здобувачем розроблено методи аналізу та синтезу біомедичних зображень на основі теорії кристалографічних груп, методи перетворення областей зображень в афінному просторі.

– НДР «Розробка та дослідження методів аналізу зображень біомедичної природи», № ДР 0107U012222 (2010 р. – керівник). Дисертантом розроблено методи й алгоритми аналізу та перетворення областей зображень біомедичної природи в топологічному просторі.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розроблення спільного теоретичного підходу до аналізу та синтезу зображень, створення методів, моделей та алгоритмів опису, аналізу та синтезу симетричних і асиметричних зображень на основі алгебро-топологічних структур для проектування програмно-апаратних засобів комп'ютерного розпізнавання і синтезу зорових образів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

– проаналізувати існуючі методи, моделі, алгоритми і програмно-апаратні системи аналізу та синтезу зображень;

– розвинути теорію аналізу та синтезу зображень на основі принципів симетрії, алгебричних і топологічних структур;

– розробити методи, моделі та алгоритми опису, синтезу та аналізу симетричних і асиметричних зображень;

– створити моделі опису контурів зображень у глобальних і локальних координатах;

– розробити методи й алгоритми перетворення зображень в афінному та топологічному просторах;

– розробити структури апаратних засобів синтезу зображень;

– спроектувати програмні засоби аналізу та синтезу зображень.

Об'єктом дослідження – процеси аналізу та синтезу зображень.

Предмет дослідження – методи та засоби аналізу та синтезу зображень на основі теорії симетрії, алгебричних і топологічних структур.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач у дисертації використано: теорію абстрактних груп (для введення групи з параметрами) та теорію дискретних кристалографічних груп (для розроблення методів аналізу та синтезу симетричних і асиметричних зображень); методи: лінійної алгебри та аналітичної геометрії (для створення моделей опису контурів зображень в глобальних і локальних координатах); математичного аналізу (для фрактального синтезу зображень); топології та комп'ютерного моделювання (для розроблення методів і алгоритмів перетворення зображень в афінному та топологічному просторах); об'єктно-орієнтованого програмування (для проектування програмних засобів аналізу і синтезу зображень).

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему розвитку алгебро-топологічних методів і моделей аналізу та синтезу зображень. При

цьому отримано такі результати:

вперше розроблено:

– метод синтезу симетричних зображень, особливість якого полягає у використанні кристалографічних груп для опису структурних елементів симетричного зображення (елементарного рисунка, рапорту, трансляції рапорту), що дає можливість зменшити обчислювальну складність і, як наслідок, скоротити час синтезу;

– метод синтезу асиметричних зображень на основі методу синтезу симетричних зображень із спотворенням параметрів породжуючих перетворень, що зменшує час синтезу за рахунок розпаралелювання процесу синтезу складових зображення;

– метод аналізу симетричних векторних зображень, який базується на теорії кристалографічних груп, полягає в аналізі структурних елементів симетричного зображення і виокремлює найменшу складову частину симетричного зображення (елементарний рисунок) та його породжуючі перетворення, що забезпечило стиснення без втрат векторних зображень;

– метод аналізу симетричних растрових зображень, який ґрунтується на аналізі структурних елементів симетричного зображення, ідентифікації рапорту на основі автокореляційної функції, визначенні видів симетрії та ідентифікації породжуючих перетворень на основі запропонованої алгебри й отриманні елементарного рисунка, що забезпечує стиснення без втрат симетричних растрових зображень;

– метод аналізу асиметричних зображень, особливість якого полягає у використанні методу аналізу симетричних зображень для виокремлення структурних елементів асиметричного зображення, приведенні його до відомих симетричних структур і визначенні матриць спотворень породжуючих перетворень, що забезпечило стиснення асиметричних зображень;

– методи перетворення контурів і областей зображень у топологічному просторі на основі L_∞-метрики, суттю яких є послідовне перетворення апроксимованих контурів і областей на основі перетворення скелетів областей, що зменшило похибки перетворень зображень;

отримали подальший розвиток:

– теорія аналізу та синтезу зображень з використанням принципів симетрії та опису її засобами абстрактної теорії груп і теорії кристалографічних груп на смузі та площині, що дає можливість на основі спільної теоретичної бази розв’язати задачі синтезу й аналізу симетричних і асиметричних зображень;

– метод пошуку пухлинних клітин, який ґрунтується на використанні контурних та текстурних ознак і дає змогу зменшити час їхнього пошуку у базах даних зображень;

– метод перетворення контурів і областей зображень в афінному просторі, який ґрунтується на виділенні характерних точок контура, що зменшує похибки їхнього перетворення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані методи та моделі дають змогу:

– розробити:

– алгоритми та програмні засоби для аналізу й синтезу симетричних та асиметричних зображень;

– алгоритми та програмні засоби для перетворення контурів і областей зображень в афінному й топологічному просторах та зменшити похибки перетворення на 20–30%;

– структури апаратних засобів для множення матриці на вектор і матриці на матрицю;

– програмні засоби для аналізу та синтезу біомедичних зображень і зображень-орнаментів;

– зменшити час синтезу і обсяги пам’яті для зберігання зображень без втрат у 20–50 разів.

Реалізація і впровадження результатів роботи.

Розроблену інформаційно-аналітичну систему для дослідження та діагностування пухлинних (ракових) клітин людини на основі аналізу їх зображень впроваджено на кафедрі патологічної анатомії із секційним курсом судової медицини при Тернопільському державному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського (акт впровадження від 12.09.2011 р.), Тернопільському обласному патологоанатомічному бюро (акт впровадження від 24.06.2011 р) і використано при виконанні держбюджетної теми у Тернопільському національному економічному університету (акт впровадження від 18.05.2011 р.).

Програмне забезпечення аналізу та синтезу біомедичних зображень впроваджено в Державному НДІ інформаційної інфраструктури (м. Львів, акт впровадження від 04.06. 2008 р).

Програмну систему генерування симетричних зображень впроваджено в СП “Астероїд – Україна ” (м. Київ, акт впровадження від 01.03.2011 р).

Методичне та програмне забезпечення використано в навчальному процесі в Тернопільському національному економічному університеті при викладанні дисциплін «Комп’ютерні системи штучного інтелекту», «Дослідження комп’ютерних систем штучного інтелекту», «Комп’ютерна графіка», а також у Тернопільському державному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського при викладанні дисципліни «Патоморфологія» (акт впровадження від 14.04.2011 р.).

Особистий внесок здобувача. У друкованих працях, написаних у співавторстві, дисертанту належать: метод і алгоритми синтезу симетричних зображень [1], метод синтезу та метод аналізу складних зображень на основі теоретико–групового підходу [12], метод синтезу зображень-орнаментів [13], постановка задачі, моделі опису контурів у глобальних координатах [14], метод генерування зображень біологічної природи [16], метод стиснення симетричних зображень [17], структура редактора синтезу та моделювання складних зображень симетричної структури [19], метод пошуку біомедичних зображень у базах даних [20], матричні та VHDL–моделі синтезу симетричних зображень у програмованих логічних матрицях [21], метод і НВІС–структури для множення матриці на матрицю [22], метод і НВІС–структури для множення матриці на вектор [23], моделі опису контурів мікрооб’єктів [24], метод структурного синтезу систем автоматизованої мікроскопії [25], структура комп’ютерної системи аналізу цитологічних зображень [26], архітектура комп’ютерних засобів синтезу зображень [27], метод опису

симетричних зображень [28], контурні та текстурні ознаки біомедичних зображень [32], структура інформаційно-аналітичної системи [35], постановка задачі та аналіз результатів порівняння алгоритмів синтезу біомедичних зображень [40], постановка задачі та аналіз результатів порівняння алгоритмів перетворення зображень в афінному та топологічному просторах [41], структурна схема системи [42].

Апробація результатів дисертації. Основні положення, наукові результати та практичні розробки дисертації доповідались та обговорювались на національних і міжнародних конференціях і презентувались у збірках наукових праць: Міжнародна конференція з індуктивного моделювання МКІМ (Львів, 2002 р.), 10-а Ювілейна міжнародна наукова конференція «Теория и техника передачи, приема и обработки информации» (Харків, 2004 р.), International Conference «Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science» TCSET'2006 (Lviv- Slavske, 2006), IIth international conference on computer science and information technologies (CSIT'2007) (Lviv, Ukraine, 2007), Xth International Conference «The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics» CADSM 2009 (Lviv-Polyana), 4-а Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні науки та інформаційні технології 2009» (Львів, 2009 р.), науково-практична конференція «Морфологічний стан тканини і органів систем організму в нормі та патології» (Тернопіль, 2009 р.), конференція «Здобутки клінічної та експериментальної медицини» (Тернопіль, 2009 р.), Xth International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer science TCSET'2010 (Slavske, 2010), науково-технічна конференція «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації» (Львів, 2010 р.), Vth International Scientific and Technical Conference Computer Science and Information Technology CSIT'2010 (Lviv, 2010), Міжнародна конференція з автоматичного управління (2000 р., 2002 р., 2009 р.), IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, (Sofia, Bulgaria, 2005, Dortmund, Germany 2007, Rende (Cosenza), Italy, 2009), Міжнародна науково-практична конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій» (Євпаторія, 2005–2007 рр.), «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (Євпаторія, 2008–2011 рр.), Всеукраїнська міжнародна конференція з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів – «УкрОБРАЗ» (Київ, 2002 р., 2006 р., 2008 р., 2010 р.).

Публікації. Результати дослідження опубліковано в 42 друкованих наукових працях. З них 1 монографія, 26 статей у фахових виданнях України з технічних наук, 1 стаття у закордонному виданні та 13 публікацій у матеріалах і тезах конференцій, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 367 сторінок, ілюстрована 171 рисунком та 42 таблицями, список літератури з 297 найменувань та 11 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність теми дисертаційної роботи, визначено мету та задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження. Крім цього, наведено наукову новизну роботи та практичне значення одержаних результатів, кількість публікацій за темою роботи у фахових виданнях України з технічних наук і тезах та матеріалах конференцій, виокремлено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проаналізовано методи й алгоритми синтезу зображень, проведено аналіз і класифікацію методів і алгоритмів аналізу зображень, досліджено сучасний стан програмних засобів синтезу та розпізнавання зображень, розглянуто класи симетричних і асиметричних зображень на прикладі зображень-орнаментів і біомедичних зображень. Показано, що перспективним напрямом для задач аналізу та синтезу зображень є використання теорії симетрії, алгебричних і топологічних структур.

Показано, що в системах штучного інтелекту одним із основних каналів є канал опрацювання зорових образів, задачами якого є комп'ютерне розпізнавання (аналіз) і відтворення (синтез) зображень.

Досліджено два основні підходи до синтезу зображень – на основі фрагмента зображення і на основі процедурного підходу. У першому випадку методи поділено на фрагмент-базовані та попіксельні, у другому – на фрактальні моделі та моделі на основі випадкових полів Маркова та Гіббса. Виконано порівняльний аналіз алгоритмів фрагмент-базованого та процедурного підходів. Показано, що недоліком першого підходу є великі обсяги пам'яті для зберігання фрагментів зображень, а для другого – підвищена обчислювальна складність алгоритмів синтезу.

Проаналізовано методи й алгоритми аналізу зображень: попереднього оброблення, сегментації, розпізнавання та класифікації, алгоритмів контурного аналізу і перетворення зображень.

У роботі показано, що два класи зображень – зображення-орнаменти та біомедичні зображення – мають відповідно симетричну та асиметричну структури.

На основі досліджень встановлено, що сьогодні немає спільної теоретичної бази, яка дала би змогу аналізувати та синтезувати різні структури зображень на прикладі зображень-орнаментів і біомедичних зображень.

Аргументовано, що для задач аналізу та синтезу зображень доцільно використати алгебричні та топологічні структури.

Проведений аналіз програмно-апаратних засобів комп'ютерного відтворення та розпізнавання зображень показав актуальність розроблення комп'ютерних систем синтезу зображень-орнаментів і аналізу біомедичних зображень.

У розділі також поставлено проблему і задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** розроблено метод опису та синтезу симетричних растрових і векторних зображень, який ґрунтується на алгоритмах опису елементарного рисунка та моделей опису симетричних зображень на смузі та площині. У випадку растрових елементарних зображень запропоновано мову опису зображень на основі безконтекстної граматики, для векторних зображень використано фрактальний синтез.

Задано поле зору $F = \{(x, y) \mid 0 \le x \le N, 0 \le y \le m\}$. Визначено елементарне зображення *Ime* як найменшу несиметричну частину поля зору F. $Ime \subset F$. Над заданим зображенням виконано геометричні перетворення (паралельний перенос, центральну симетрію, осьову симетрію, ковзне відображення, поворот і їхні комбінації). Множини, які побудовано на основі геометричних перетворень T_1, T_2, …, T_n, утворюють групи перетворень. Роль операції множення виконує композиція перетворень. Рапорт *Rp* – це зображення отримане з елементарного рисунка шляхом застосування комбінацій геометричних перетворень.

$$S(Ime) = Rp = \{S(x, y) \mid (x, y) \in Ime\}.\ Ime \subset Rp \subset F\ .$$

Симетричне зображення – це зображення, отримане в результаті паралельних переносів рапорту вздовж осі OX (для смуги) та осей OX і OY (для площини).

$$Ims = L(Rp) = \{L(x, y) \mid (x, y) \in Rp\}.\ Rp \subset Ims \subset F\ .$$

Узагальнену структуру синтезу симетричних зображень наведено на рисунку 1.

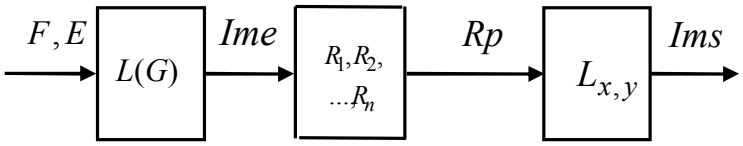


Рисунок 1 – Узагальнена структура синтезу симетричних зображень

Метод синтезу симетричних зображень базується на алгоритмах опису елементарних зображень, алгоритмах формування рапортів груп симетрії та їхніх трансляцій на смузі або площині. Спочатку сформовано елементарне зображення на основі множин непохідних елементів E і операцій F мови $L(G)$. Над цим зображенням виконано породжуючі перетворення та отримано рапорт, виконавши паралельні переноси над яким в одному або в двох напрямах (смуга, площина), отримано симетричне зображення.

Рівняння породження симетричного зображення в операторній формі має вигляд:

$$Ims = L_{x,y}(R_n(R_{n-1}(...R_1(Ime)...))),$$

де: $L_{x,y}$ – оператор трансляцій на площині вздовж осей OX та OY, R_1, …, R_{n-1}, R_n – оператори породжуючих перетворень під час формування рапорту Rp. У загальному випадку безвідносно до групи симетрії рівняння симетричного зображення має вигляд: $Ims = T_L(T_n(T_{n-1}(\dots T_1(Ime)...)))$, T_1, …, T_{n-1}, T_n – матриці породжуючих перетворень рапорту; T_L – матриця трансляцій на площині вздовж осей OX та OY.

Для опису елементарного рисунка розроблено мову опису зображень, що містить такі непохідні елементи (ланцюжки): а) a, b, c, d (відповідно з напрямами: горизонтально зліва – направо, зверху – вниз під кутом 45º, знизу – вверх під кутом 135º, вертикально зверху – вниз), причому $|a| = |b| = |c| = |d| = 1$; б) pa, pb, pc, pd – «порожні» непохідні елементи для з'єднання непохідних елементів, які не перетинаються та не дотикаються; в) na, nb, nc, nd – «несуттєві» непохідні

елементи для з'єднання непохідних елементів, що не перетинаються і не дотикаються, але розділені іншими об'єктами.

Між ланцюжками введено сім бінарних і одну унарну операції. Бінарні операції такі: + ($\oplus$) – головна точка 1-го ланцюжка дотикається (накладається) до (з) хвостової (-ою) точки (-ою) 2-го; × ($\otimes$) – хвостова точка 1-го дотикається (накладається) до (з) хвостової (-ою) точки (-ою) 2-го; – (Θ) – головна точка 1-го дотикається (накладається) до (з) головної (-ою) точки (-ою) 2-го; * – головна точка 1-го дотикається до головної точки 2-го і хвостова точка 1-го дотикається до хвостової точки 2-го. Унарна операція ~ міняє місцями головну точку з хвостовою.

Спроектована мова опису є безконтекстною.

Граматика, яка породжує речення в цій мові, є також безконтекстною граматикою, яка складається з:

– основного (V_N) і допоміжного (V_T) словників:

$V_N = \{S, SF\}$, $V_T = \{a\} \cup \{+, \oplus, -, \Theta, *, \times, \otimes, \sim, (,)\}$,

де a – це будь-який непохідний елемент;

– скінченної множини P правил підстановки:

P: $S \to a$, $S \to (S\,\theta\,S)$, $S \to (\sim S)$, $S \to SF$, $SF \to (SF\,\theta\,SF)$, $SF \to (\sim SF)$, $\theta \to +$, $\theta \to \oplus$, $\theta \to -$, $\theta \to \Theta$, $\theta \to *$, $\theta \to \times$, $\theta \to \otimes$;

– початкового символу $S \in V_N$.

Розроблено алгебру, що складається з непорожньої множини непохідних елементів – множини E і послідовності визначених на E операцій F = {~, +, $\oplus$, –, Θ, *, × , $\otimes$}. Для цієї алгебри діють закони комутативності, асоціативності, інверсії. При цьому доведена така теорема:

Теорема 2.1. Будь-яка низка з'єднань описує одне і тільки одне зображення.

Набір операцій F = {~, +, $\oplus$, –, Θ, *, ×, $\otimes$}, за допомогою якого можна виразити будь-яке зображення, є повним базисом. Досліджено властивості означених операцій. Показано, що операції множини F можна звести до операцій у базисах K = {~, $\oplus$, $\otimes$}, L = {~, $\oplus$, Θ}, M = {~, $\oplus$}, виключень на непохідні елементи немає. Множини операцій K={~, $\oplus$, $\otimes$}, L={~, $\oplus$, Θ} є повними базисами, а множина M = {~, $\oplus$} є мінімальним базисом. На основі цих міркувань доведено такі теореми.

Теорема 2.2. Операції множини F можна звести до операцій у базисах

K = {~, $\oplus$, $\otimes$}, L = {~, $\oplus$, Θ}, M = {~, $\oplus$}; виключень на непохідні елементи немає.

Теорема 2.3. Будь-яке зображення можна представити за допомогою множини непохідних елементів і набору операцій M = {~, $\oplus$}. Ці операції є незалежні.

Приклад опису та елементарний рисунок, який використано для синтезу зображення-орнаменту (рисунок 5), наведено відповідно на рисунках 2а і 2б.

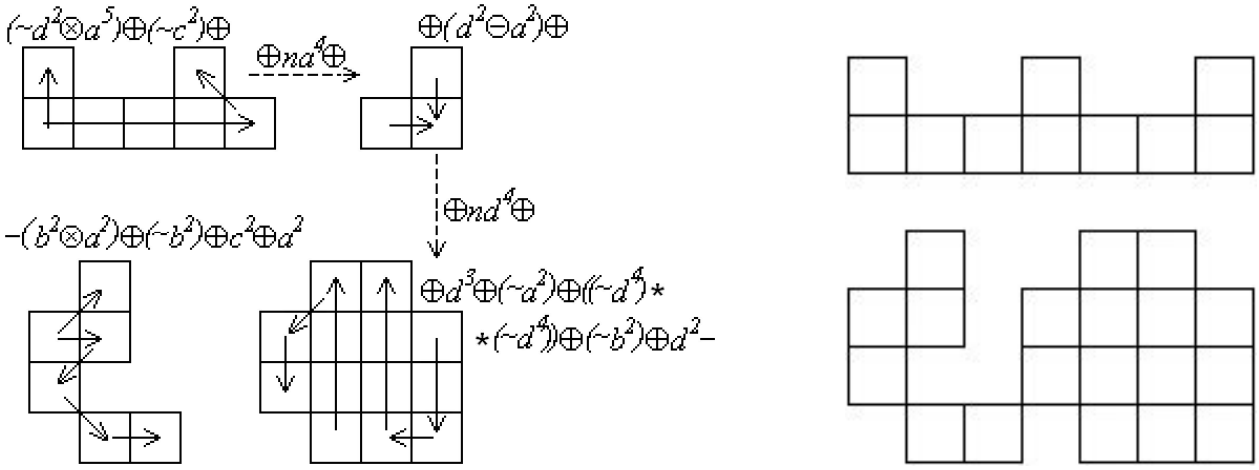
Формула його опису в базисі F така: $Ime = (\sim d^5 \otimes a^5) \oplus (\sim c^2) \oplus na^4 \oplus (d^2\ \Theta\ a^2) \oplus nd^4 \oplus d^3 \oplus (\sim a^2) \oplus ((\sim d^4) * (\sim d^4)) \oplus (\sim b^2) \oplus d^2 - ((b^2 \otimes a^2) \oplus (\sim b^2) \oplus c^2 \oplus a^2)$.

У випадку векторного синтезу для відтворення контура елементарного рисунка використано фрактальний підхід, а саме: алгоритм побудови множин Жюліа, який базується на ітерації комплексної функції.

Для заданої функції n-го степеня однієї комплексної змінної z

$$f(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \ldots + a_1 z + a_0;$$

де $a_n \neq 0$, коефіцієнти a_n, a_{n-1}, ..., a_1, a_0 – комплексні числа.



а) б)

Рисунок 2 – а) опис елементарного рисунку; б) елементарний рисунок

Множина Жюліа $J(f)$ функції $f(z)$ – це границя множини точок z, які прямують до нескінченності при ітеруванні, тобто:

$$J(f) = \lim_{z \to \infty} \left\{ z : f^{(n)}(z) \to \infty, \text{ при } n \to \infty \right\},$$

де $f^{(n)}(z) = \underbrace{f(f(f \ldots (f(z))...))}_{n \text{ разів}}$.

Розглянуто множину Жюліа, яка задана функцією $f(z) = z^2$. Функція $f^{(n)}(z) = z^{2n} \to \infty$ при $n \to \infty$, тоді, коли $|z| > 1$, тобто границею цієї множини є одиничне коло $|z| = 1$. На основі множини Жюліа розроблено алгоритми побудови контурів зображень.

Для синтезу текстури елементарного рисунка використано шум Перліна – згладжений шум, що є сумою значень декількох функцій шуму із зростаючими частотами та спадаючими амплітудами. Як базовий генератор шуму використано лінійно-конгруентний генератор псевдовипадкових чисел з вихідними нормалізованими значеннями. На основі породжуючих перетворень отримано матричні моделі генерування симетричних зображень на смузі та площині (для декількох груп моделі приведені в таблицях 1 і 2).

Отже, у розділі розроблено метод синтезу симетричних зображень, який полягає у формуванні елементарного рисунка, рапорту та трансляцій рапорту, і спроектовано мову опису зображень для опису елементарних зображень у растровій формі. Доведено теорему про мінімальний базис операцій над непохідними елементами мови опису зображень, що дало змогу компактно описувати елементарні рисунки. Ґрунтуючись на породжуючих перетвореннях плоских кристалографічних груп, виведено матричні моделі опису симетричних зображень на смузі та площині, що було використано для розроблення алгоритмів синтезу симетричних структур різних класів зображень.

У третьому розділі введено однопараметричну і багатопараметичну дії групи на площині, досліджено детерміновані і стохастичні функції дії групи.

Таблиця 1 – Групи смуги

Назва групи	Породжуючі перетворення ($i=\overline{1,n}$, $n\in Z$, x', y' – розміри елементарного рисунка)		
*p*1	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\ix'&0&1\end{bmatrix}$		
pg	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&-1&0\\x'&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\2ix'&0&1\end{bmatrix}$	
pm	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&-1&0\\0&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\ix'&0&1\end{bmatrix}$	
pmm	$\begin{bmatrix}-1&0&0\\0&1&0\\0&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&-1&0\\0&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\2ix'&0&1\end{bmatrix}$

Таблиця 2 – Групи площини

Назва групи	Породжуючі перетворення ($i,j,k=\overline{1,n}, n\in Z$)				
*p*1	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\ix'&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&jy'&1\end{bmatrix}$			
cm	$\begin{bmatrix}0&1&0\\1&0&0\\0&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\ix'&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&jy'&1\end{bmatrix}$		
*p*4	$\begin{bmatrix}0&1&0\\-1&0&0\\\frac{1}{2}(x'+y')&\frac{1}{2}(y'-x')&1\end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix}-1&0&0\\0&-1&0\\x'&y'&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\ix'&0&1\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&jy'&1\end{bmatrix}$
*p*3	$\begin{pmatrix}-\frac{1}{2}&\frac{\sqrt{3}}{2}&0\\-\frac{\sqrt{3}}{2}&-\frac{1}{2}&0\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}-\frac{1}{2}&-\frac{\sqrt{3}}{2}&0\\\frac{\sqrt{3}}{2}&-\frac{1}{2}&0\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\i\sqrt{3}x'&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\-j\frac{\sqrt{3}}{2}x'&j\frac{3}{2}y'&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\-k\frac{\sqrt{3}}{2}x'&-k\frac{3}{2}y'&1\end{pmatrix}$
*p*3*m*1	$\begin{pmatrix}-1&0&0\\0&1&0\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}-\frac{1}{2}&\frac{\sqrt{3}}{2}&0\\-\frac{\sqrt{3}}{2}&-\frac{1}{2}&0\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}-\frac{1}{2}&-\frac{\sqrt{3}}{2}&0\\\frac{\sqrt{3}}{2}&-\frac{1}{2}&0\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\i\sqrt{3}x'&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\-j\frac{\sqrt{3}}{2}x'&j\frac{3}{2}y'&1\end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\-k\frac{\sqrt{3}}{2}x'&-k\frac{3}{2}y'&1\end{pmatrix}$				

У роботі розроблено метод синтезу асиметричних зображень, отримано рівняння опису асиметричних зображень. Описано математичні моделі функцій спотворень симетричних зображень. Розроблено узагальнений алгоритм синтезу зображень і проведено оцінювання архівування симетричних зображень.

Дія групи G на множині X – це відображення $\alpha : G \times X \to X$, що задовольняє умови:

1) $\alpha : (e,x) = x$; 2) $\alpha(g,\alpha(h,x)) = \alpha(gh,x)$. Якщо $A \subseteq X$, то $gA = \{gA \mid a \in A\}$.

Однопараметрична дія групи G на множині X – це відображення $\alpha : G \times R \times X \to X$, що задовольняє умови:

1) відображення $x \mapsto \alpha(g,o,x)$ є дією групи G на X;
2) існує фундаментальна область A дії групи G на X така, що для кожного $t \in R$ і кожного $g \in G$ маємо $\alpha(g,t,x) \subseteq g(IntA)$ (тут R - множина дійсних чисел; вона виступає як множина параметрів дії).

X – локально компактний простір (наприклад, $X = R^n$). Підмножина $A \subseteq X$ – це фундаментальна область дії групи G на X, якщо A – компакт,

$\bigcup_{g \in G} gA = X$ і сім'я $\{g(IntA) \mid g \in G\}$ диз'юнктна ($g(IntA) \neq h(IntA)$, якщо $g \neq h$).

Однопараметрична дія неперервна, якщо для кожного $g \in G$ і кожного $t \in R$ відображення $[IntA] \to g(IntA)$, $x \mapsto \alpha(g,x,t)$ – неперервне.

Множина C дискретна, якщо існує стала $c > 0$ така, що попарні відстані між різними точками множини C не менші ніж c. Зроблено припущення, що група G діє на просторі R^n ізометріями вигляду $(g,x) \mapsto \alpha(g,o,x)$. Для кожного $g \in G$ і кожних $x, y \in R^n$ маємо $\|x - y\| = \|\alpha(g,o,x) - \alpha(g,o,y)\|$. Доведена така теорема.

Теорема 3.1. Для кожного $x \in A$ і кожного $t \in R$ множина $K = \{\alpha(g,t,x) \mid g \in G\}$ є дискретною.

Двопараметрична дія групи G на множині X – це відображення $\alpha : G \times R \times R \times X \to X$, що задовольняє умови:

3) відображення $x \mapsto \alpha(g,0,0,x)$ є дією групи G на X;
4) існує фундаментальна область A дії групи G на X така, що для кожних $t, s \in R$ і кожного $g \in G$ маємо:

$$\alpha(g,t,s,x) \subseteq g(IntA).$$

Одно- і двопараметричні дії груп дали змогу враховувати заміну шкали та інші параметри у кристалографічних групах.

Перетворення $f : G \to R$ – функція і $x \in X$. Орбіта точки x, визначена функцією f, – це множина $\{\alpha(x, f(g), g) \mid g \in G\}$. Кожна орбіта, визначена функцією, дискретна.

Стохастична компонента з'являється, коли значеннями функції f (або функцій f, g) є випадкові змінні.

Індуктивно означено n-параметричну дію групи G на множині X як відображення $\alpha : G \times R^n \times X \to X$, що задовольняє аналоги умов 3), 4).

Для множини многочленів $P(t)$ степеня n

$$P(t) = a_n t^n + a_{n-1} t^{n-1} + ... + a_1 t + a_0 \qquad (1)$$

означено $(n+1)$-параметричну дію групи Z на R^2

$\alpha(i; a_n, ..., a_0; (x, y)) = P(i) \cdot (x, y)$, де P – многочлен (1).

Стохастична однопараметрична дія групи G на X одержана, якщо задано випадкову змінну $\xi(t)$ і відображення

$$\alpha : G \times R \times X \to X;\ (g, t, x) \mapsto \alpha(g, \xi(t), x).$$

Аналогічно означено і стохастичну *n*-параметричну дію:

$$\alpha((n, m), t, (x, y)) \overset{def}{=} (x + mt, y).$$

Задано $\xi_1(t)$, …, $\xi_n(t)$ – випадкові величини.

Відображення $\alpha : G \times R^n \times X \to X$, $\alpha(g, t_1, ..., t_n; x) = \alpha(g, \xi_1(t_1), ..., \xi_n(t_n); x)$ – це *n*-параметрична стохастична дія групи G на X.

У роботі на основі введеної групи з параметрами розроблено метод синтезу асиметричних зображень, який ґрунтується на використанні симетричних зображень із спотворенням параметрів формування їхніх складових (рисунок 3). Спотворення – це неізометричне перетворення параметрів формування групи симетрії.

У загальному випадку спотворення за типом поділено на структурні та параметричні. Параметричні спотворення змінюють значення параметрів у заданих межах при формуванні асиметричного зображення. За місцем прикладання спотворення діляться на: спотворення елементарного рисунка $Ime - D_m$, спотворення рапорту D_{Rp} і спотворення трансляцій рапорту D_L. За видом спотворення поділяють на: зміщення по осі $OX - D_x$, по осі $OY - D_y$, по осях OX і $OY - D_{x,y}$, поворот на кут $\alpha - D_{R\alpha}$, масштабування – D_m.

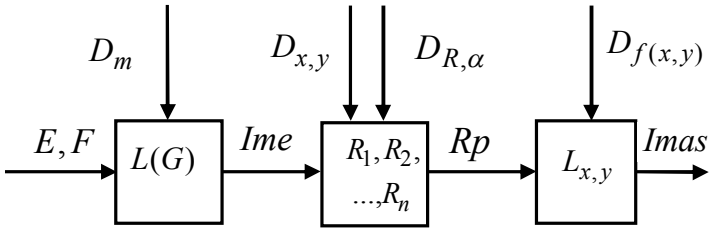


Рисунок 3 – Узагальнена структура синтезу асиметричних зображень

Функцію спотворення позначено через $D = f(x, y)$. У загальному випадку функція D є випадковою, яку виражено так:

$D(x, y) = \varphi(x, y)\varepsilon(x, y) + g(x, y)$, де $\varphi(x, y)$, $g(x, y)$ – детерміновані функції, $\varepsilon(x, y)$ – стаціонарна випадкова функція.

Розглянуто варіанти функції спотворення, на основі яких отримано різні структури зображень – від детермінованих до стохастичних. Розроблено класифікацію асиметричних зображень (рисунок 4): асиметрію першого виду, за якої порушується ізометрія при паралельних переносах рапорту, що виражається рівняннями в операторному:

$$Imas = D_{f(x,y)} L_{x,y} (R_n (R_{n-1} (... R_1 (Ime) ...)))$$

і в матричному виглядах:

$$Imas = T_L D_L (T_n (T_{n-1} (\dots T_1 (X) \dots))).$$

Асиметрія другого виду передбачає зсуви і повороти між елементарними рисунками при побудові рапорту. Відповідні рівняння мають вигляд:

$$Imas = D_{f(x,y)} L_{x,y} (D_{x,y} D_{R,\alpha} R_n (R_{n-1} (\dots R_1 (D_m Ime) \dots)));$$

$$Imas = T_L (T_n D_{R p_n} (T_{n-1} D_{R p_{n-1}} (\dots T_1 D_{R p_1} (D_m Ime) \dots))).$$

Асиметрія третього виду зберігає ізометрію при побудові рапортів і при їхніх трансляціях, але змінює (масштабує) елементарне зображення, що представлено рівняннями:

$$Imas = L_{x,y} (R_n (R_{n-1} (\dots R_1 (D_m Ime) \dots)));$$

$$Imas = T_L (T_n (T_{n-1} (\dots T_1 (D_m Ime) \dots))).$$

Рівняння спотворень має вигляд: $D = D_{L_{x,y}} (D_n (D_{n-1} (\dots D_1 (De) \dots)))$.

Співвідношення між рівняннями симетричних і асиметричних зображень такі:

$$D \times Ims \xrightarrow{\alpha} Imas \ , \ Imas = D(Ims) , \ Ims = D^{-1}(Imas) ,$$

$$Imas = D(Ims) = D_{f(x,y)} L_{x,y} (D_{x,y} D_{R,\alpha} R_n (R_{n-1} (\dots R_1 (D_m Ime) \dots))),$$

$$Imas = T_L D_L (T_n D_{R p_n} (T_{n-1} D_{R p_{n-1}} (\dots T_1 D_{R p_1} (D_m Ime) \dots))).$$

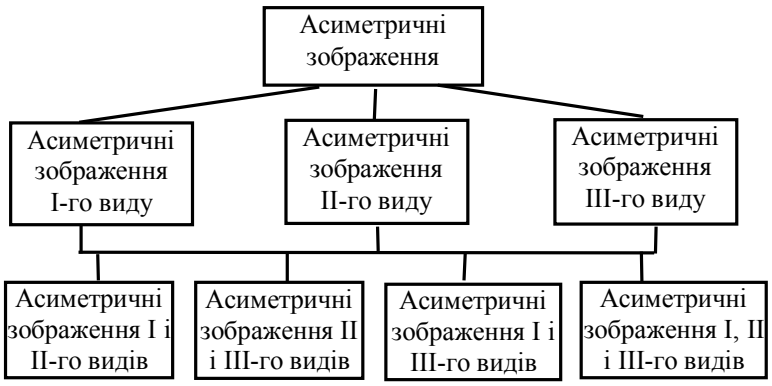


Рисунок 4 – Класифікація асиметричних зображень

Розроблено матричні моделі функцій спотворень: спотворення елементарного рисунка, рапортів і трансляцій рапортів. Показано, що спотворення утворюють групи і досліджено їхні властивості в афінному просторі.

Запропоновано узагальнений алгоритм синтезу зображень – симетричних і асиметричних. Синтез симетричного зображення складається із синтезу елементарного рисунка, синтезу рапорту і трансляцій рапорту. Синтез елементарного зображення відбувається в растровій і векторній формах. У випадку растрового синтезу використано мову опису зображень, а векторного – фрактальний підхід. Синтез елементарного рисунка здійснюється на основі алгебричної формули опису або шляхом використання типових для певної предметної області бази елементарних рисунків.

При цьому задано два способи формування елементарного рисунка: детермінований і стохастичний. Для використання детермінованого способу синтезу необхідний повний формалізований опис елементарного рисунка. Стохастичний спосіб полягає у використанні генератора випадкових чисел: із різними законами розподілу дискретних випадкових величин потрібно вибирати із відповідних множин (непохідних елементів, кольорів, довжин непохідних елементів, операцій

над непохідними елементами) необхідний елемент за довжиною та кольором. Синтез рапорту здійснено на основі матричних моделей симетричних зображень на смузі та площині.

На рисунку 5 показано симетричне зображення-орнамент, яке реалізоване за формулою (елементарний рисунок синтезований у базисі *M)* :

$$Ime = (\sim d^5 \otimes a^5) \oplus (\sim c^2) \oplus na^4 \oplus (d^2 \Theta a^2) \oplus nd^4 \oplus d^3 \oplus (\sim a^2) \oplus ((\sim d^4) * (\sim d^4)) \oplus$$

$$\oplus (\sim b^2) \oplus d^2 - ((b^2 \otimes a^2) \oplus (\sim b^2) \oplus c^2 \oplus a^2), \qquad Ims = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 9x' & 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot Ime \right).$$

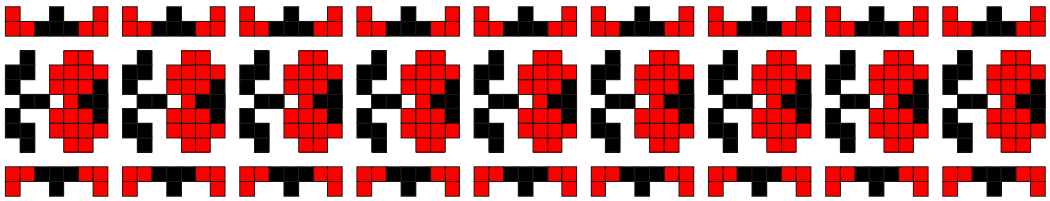


Рисунок 5 – Симетричне зображення-орнамент

Отримано вирази для оцінювання коефіцієнтів архівування симетричних зображень: для елементарних рисунків, рапортів, підорнаментів і орнаментів. Такий підхід до опису симетричних зображень дав змогу зменшити обсяги пам’яті для зберігання зображень у 20–50 разів і ефективно генерувати нові зображення.

У дисертації розроблено метод синтезу асиметричних зображень, який ґрунтується на використанні моделей опису симетричних зображень з подальшим спотворенням їхніх породжуючих перетворень. Проведено класифікацію функцій спотворення і доведено, що спотворення утворюють групи, на основі чого отримано рівняння асиметричного зображення, використовуючи рівняння симетричного зображення та функцій спотворення.

У **четвертому розділі** розроблено моделі опису контурів у глобальних і локальних координатах; методи та алгоритми перетворення контурів і областей зображень в афінному й топологічному просторах.

Для виконання процедури апроксимації виділено характерні точки на контурі (точки максимуму, мінімуму, перегину та максимальної кривизни). Масив координат точок $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \ldots, (x_i, y_i), \ldots, (x_n, y_n)\}$ використано для проведення апроксимації.

У роботі проведено апроксимацію контурів у глобальних і локальних координатах.

При апроксимації контурів у глобальних координатах до дуги, що апроксимується поставлено такі вимоги: 1) крива повинна проходити через першу і останню точки апроксимуючої дуги; 2) крива повинна проходити через першу і останню точки, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в першій точці; 3) крива повинна проходити через першу і останню точки, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в останній точці; 4) крива повинна проходити через першу і останню точки, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в першій і останній точці. Коефіцієнти апроксимуючого полінома обчислено для різних варіантів. Спочатку

коефіцієнти встановлюються з умови апроксимації, а потім решта їх – з мінімізації функціоналу, що складається із суми квадратів відхилень точок кривої від точок контура. Розглянуто кожен з вищенаведених випадків і виведено формули для коефіцієнтів апроксимуючого полінома третього і другого степенів.

При апроксимації контурів у локальних координатах до апроксимуючої дуги потрібно накласти такі вимоги: 1) крива повинна проходити через першу і останню точки апроксимуючої дуги; 2) крива повинна проходити через першу точку; 3) крива повинна проходити через першу і останню точки, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в першій точці; 4) крива повинна проходити через першу точку, витримуючи в ній заданий кут нахилу дотичної; 5) крива повинна проходити через першу точку, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в останній точці; 6) крива повинна проходити через першу точку, витримуючи в ній заданий кут нахилу дотичної, в останній точці витримується тільки напрямок дотичної.

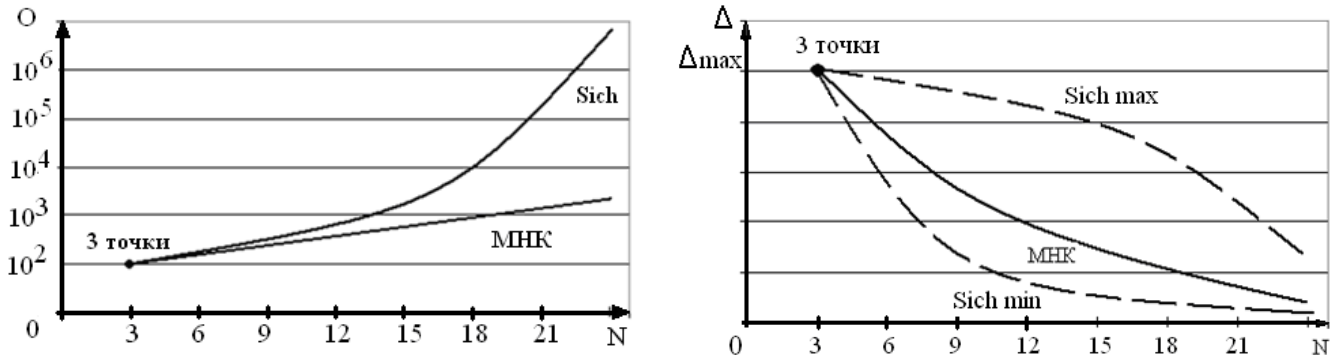
Для цих випадків виведено формули для коефіцієнтів апроксимуючого полінома третього та другого степенів.

Розроблено метод і алгоритми перетворення контурів і областей зображень у афінному просторі. Для заданих двох контурів C_1 і C_2: $C_1 = \{(x_{1_i}, y_{1_i}), i = \overline{1,n}\}$, $C_2 = \{(x_{2_i}, y_{2_i}), i = \overline{1,n}\}$, де n – кількість точок на контурі, зроблено перехід від C_1 до C_2 за допомогою афінного перетворення T. $C_2 = T(C_1)$, де T – матриця афінних перетворень, яка представлена так: $\begin{bmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ l & m & 1 \end{bmatrix}$. Коефіцієнти a, b, c, d відповідають за локальне масштабування, відображення, поворот, зсув, а l і m – за перенос вздовж осі OX і OY. Знайдено коефіцієнти афінного перетворення, які задовольняють умову мінімальної похибки перетворення між відповідними (вузловими) точками першого та другого контурів: $\varepsilon = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2} \to \min$, $\Delta x_i = x_{2_i} - x_{1_i}$, $\Delta y_i = y_{2_i} - y_{1_i}$, $i = \overline{1,m}$, де m – кількість контрольних точок, в яких визначено похибку відображення.

У роботі проаналізовано випадки, коли контури описуються гладкими монотонними функціями та функціями, які мають локальні екстремальні точки. Досліджено перетворення контурів для двох методів. Перший полягає в знаходженні трьох відповідних точок на контурах зображень, які задовольняють умову мінімальної похибки перетворення, другий ґрунтується на знаходженні множини характерних точок на контурах зображень. У першому випадку метод реалізується за допомогою двох алгоритмів: 1) алгоритму визначення трьох точок контура шляхом виділення максимальної хорди і серединного перпендикуляра; 2) алгоритму січних прямих; у другому – за допомогою алгоритму визначення характерних точок і знаходження коефіцієнтів афінних перетворень на основі методу найменших квадратів (МНК). Проведено обчислювальні експерименти для перетворення контурів біомедичних зображень (рисунок 6).

При перетворенні контурів в афінному просторі кількість арифметичних операцій (O) прямо пропорційна кількості вузлових точок (N) на контурі для алгоритму МНК, експоненційно зростає для алгоритму січних прямих та

залишається константою для алгоритму трьох точок. Похибка перетворення в афінному просторі для алгоритмів МНК і січних прямих обернено пропорційна кількості вузлових точок. Похибка перетворення алгоритму січних прямих пропорційна складності контура (кількості екстремумів функції контура), а для алгоритму трьох точок вона є сталою. У загальному випадку максимальна похибка є різною і залежить від складності контура.



а) б)

Рисунок 6 – Графіки залежності: а) кількості операцій від кількості вузлових точок; б) похибки перетворення від кількості вузлових точок

Досліджено перетворення контурів і областей у топологічному просторі. Здійснено загальну постановку задачі перетворення контурів і областей. На кожному заданому зображені Im_1, Im_2, …, Im_n виділено контур і внутрішню область, тобто $Im_i = C_i \cup O_i$, де C_i – контур, а O_i – внутрішня область i-го зображення ($i = \overline{1,n}$). Кожну внутрішню область O_i зображення Im_i розбито на p підобластей: $O_i = \bigcup_{j=1}^{p} O_{ij}$, $i = \overline{1,n}$, а кожен контур C_i розбито на l сегментів D_{i1}, D_{i2}, …, D_{il}, тобто $C_i = \bigcup_{j=1}^{l} D_{ij}$, $i = \overline{1,n}$. Розглянуто замкнуті однозв'язні області та підобласті.

Для областей справедлива рівність $O_j = Q_{ij}(O_i)$, де Q_{ij} – перетворення i-ої області в j-у область, для підобластей – $O_{21} = Q_{12,1}(O_{11})$, …, $O_{n1} = Q_{1n,1}(O_{11})$, де $Q_{12,1}$ – перетворення першої підобласті зображення Im_1 у першу підобласть зображення Im_2, $Q_{1n,1}$ – перетворення першої підобласті зображення Im_1 в першу підобласть зображення Im_n. Відповідно для контурів існують перетворення, які відображають перехід сегмента одного контура у відповідний сегмент другого контура, тобто

$$D_{21} = T_{12,1}(D_{11}), \ldots, D_{nl} = T_{1n,l}(D_{1l}).$$

У роботі знайдено перетворення

а) для контурів:

$$T_{12,1}, T_{12,2}, \ldots, T_{12,l}, T_{13,1}, T_{13,2}, \ldots, T_{13,l}, \ldots, T_{1n,1}, T_{1n,2}, \ldots, T_{1n,l};$$

б) для підобластей:

$Q_{12,1}$, $Q_{12,2}$, …, $Q_{12,p}$, $Q_{13,1}$, $Q_{13,2}$, …, $Q_{13,p}$, …, $Q_{1n,1}$, $Q_{1n,2}$, …, $Q_{1n,p}$.

Загальну задачу перетворення контурів і областей зведено до задачі перетворення одного контура в інший контур і однієї області в іншу (рисунок 7).

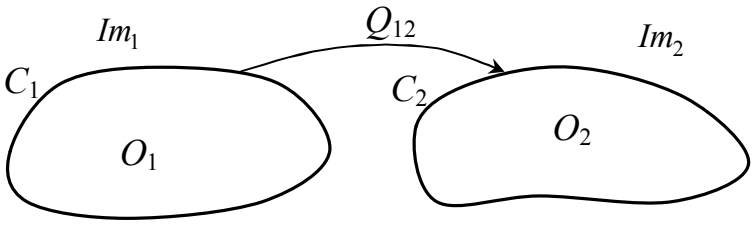


Рисунок 7 – Перетворення контурів і областей

Задані контури C_1 і C_2 розбито на однакову кількість сегментів, тобто $C_i = \{D_{ij}\}$, $i = \overline{1,2}$, $j = \overline{1,l}$. Кожний сегмент D_{ij} задано у вигляді полінома степеня $k \le 3$. Виділено на контурі C_1 сегмент D_{11} на проміжку $[a_1; b_1]$, який представлено функцією $y = \varphi_{11}^k(x)$, відповідно на контурі C_2 виокремлено сегмент D_{21} на проміжку $[a_2; b_2]$, який зображений функцією $y = \varphi_{21}^k(x')$ (рисунки 8 і 9).

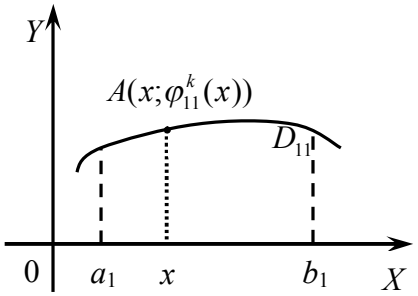


Рисунок 8 – Сегмент першого контура

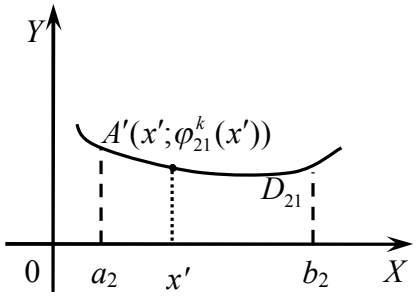


Рисунок 9 – Сегмент другого контура

Знайдено перетворення $T_{12,1}(x, y)$, яке рівне:

$$T_{12,1}(x, y) = \left(\frac{b_2 - a_2}{b_1 - a_1}(x - a_1) + a_2; \varphi_{21}^k(x') \right).$$

Аналогічно отримано перетворення $T_{12,2}$, …, $T_{12,l}$.

У роботі проаналізовано перетворення областей. Для обмеженої замкнутої області зображення V у площині R^2 визначено межу області $\partial V = C$. У дослідженні використано неевклідову метрику на площині R^2, а l_∞-метрику, тобто метрику, задану формулою $|A - B| = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$, де (x_1, y_1) – координати т. A, (x_2, y_2) – координати т. B. Для перетворення областей використано поняття скелета області. Для евклідової метрики приведено означення скелета:

$sk(V) = \{C' \in \partial V \mid$ множина $pr(C)$ складається більше, ніж з однієї точки$\}$.

У l_∞-метриці означення скелета таке: точка належить скелетові області, якщо вона є центром максимального вписаного в область квадрата зі сторонами, паралельними координатним осям.

Складність скелетів є різною для цих двох метрик, і для областей, які розглянуто в дисертації, доцільно застосувати саме l_∞-метрику. Приклад цілого класу таких областей задано такою теоремою.

Теорема 4.1. Нехай V – область на площині з кусково-лінійною межею. Тоді скелет $sk(V)$ є кусково-лінійним.

Аналогічно до скелета, який базується на евклідовій метриці, для кожного скелета в l_∞-метриці справедлива така теорема.

Теорема 4.2. Скелет є деформаційним ретрактом області.

З наведених теорем випливає такий наслідок:

Наслідок. Якщо область є однозв'язна, то $sk(V)$ є графом без циклів (дерево).

У дисертаційній роботі зазначено, що для існування перетворення однієї області в іншу необхідно і достатньо, щоб виділені скелети були ізоморфно вкладеними графами. Два графи G_1 і $G_2 \subset R^2$ називаються ізоморфно вкладеними, якщо існує гомеоморфізм $u: R^2 \to R^2$ так, що $u(G_1) = G_2$. Скелети $sk_1(V_1, E_1)$ і $sk_2(V_2, E_2)$ будуть ізоморфними, якщо існує перетворення $f: V_1 \to V_2$, для якого виконується така умова: $v, w \in V_1$ з'єднані ребром, то $f(v), f(w) \in V_2$ також з'єднані ребром. Розроблено метод і алгоритми перетворення типу "контур – контур" для ізоморфних графів. Показано, що скелети $sk_1(O_1)$ і $sk_2(O_2)$ у загальному випадку є неізоморфними деревами. У роботі приведено неізоморфні дерева до ізоморфного дерева. Для цього введено поняття ε-скелета.

Означення: ε-скелет – це скелет, для якого виконується умова:

$$sk_\varepsilon(O) = \{x \in IntO \mid diam\ pr(x) \geq \varepsilon\},$$
$$pr(x) = \left\{y \in \partial O \mid |x - y| = \min_{y' \in O} |x - y'|\right\}.$$

При цьому справедливі наступні теореми.

Теорема 4.3. Скелет зображення складається з його ε-скелетів.

Теорема 4.4. Існує $\varepsilon > 0$ таке, що ε-скелет є деформаційним ретрактом полігональної області.

На основі введеного ε-скелета та доведених теорем розроблено метод приведення неізоморфних кореневих дерев до ізоморфного дерева. Загальна схема методу така:

Крок 1. Лінійна апроксимація контурів зображень.

Крок 2. Для знайдених контурів побудовано ε-скелети дерев $sk_1(O_1)$ і $sk_2(O_2)$ для областей O_1 і O_2, після чого знайдено ваги гілок і степені вузлів та отримано зважені скелети.

Крок 3. Відсікання гілок з множин E_1, E_2 і видалення вершин з множин V_1, V_2 скелетів sk_1 і sk_2 проведено на основі коефіцієнтів нарощування (втрати) площі та периметра.

Крок 4. Побудовано кореневі дерева для скелетів sk_1 і sk_2 і визначено кількість рівнів шуканого дерева sk_3, в результаті чого отримано скелет sk_3, до якого приведено скелети sk_1 і sk_2.

Крок 5. Зроблено перетворення типу “область – область” .

Порівняння похибок для перетворення типу “контур – контур” і “область – область” в афінному та топологічному просторах відображено на рисунках 10 і 11 відповідно.

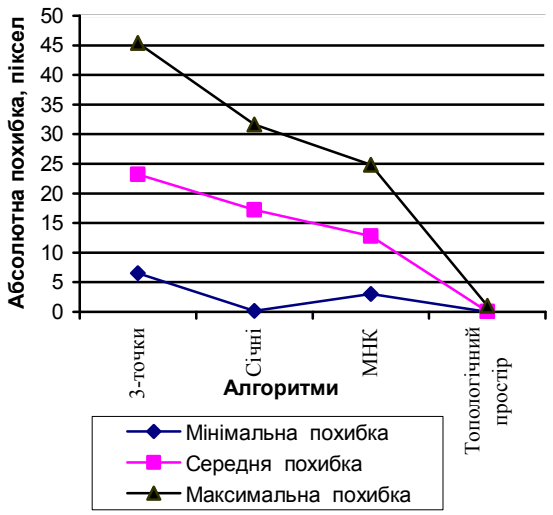


Рисунок 10 – Порівняння похибок алгоритмів перетворення типу «контур – контур»

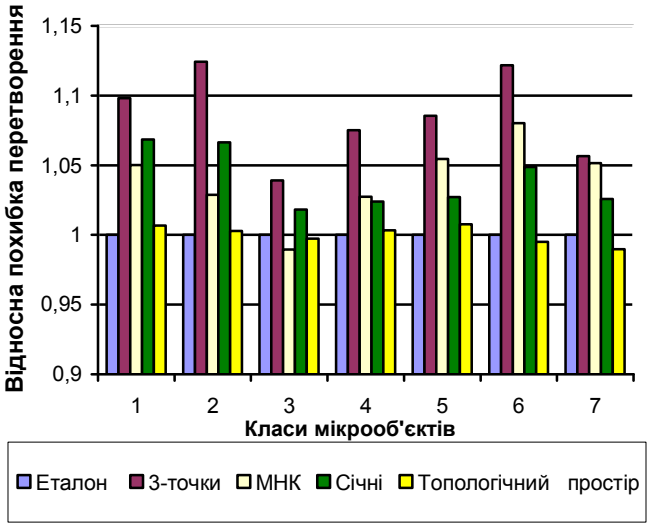


Рисунок 11 – Порівняння похибок алгоритмів перетворення типу «область – область»

У дисертації розроблено методи й алгоритми перетворення контурів і областей зображень в афінному і топологічному просторах, що дало змогу зменшити похибки їхнього перетворення. Створено методи й алгоритми перетворення типу “область – область” для областей із кусково-лінійними апроксимованими контурами на основі приведення неізоморфних скелетів до ізоморфних. Введення поняття ε-скелета дало змогу спростити скелети областей і виконати перетворення областей зображень із заданою похибкою.

У п’ятому розділі розроблено методи й алгоритми аналізу симетричних і асиметричних зображень. Аналіз симетричних зображень проведено в растровій і векторній формах. Для асиметричних зображень розроблено симетризатори базових геометричних перетворень і алгоритми симетрування кристалографічних груп на смузі та площині.

У роботі проаналізовано симетричні зображення у векторній формі.

Через $A=\{G_1,G_2,...,G_7\}$ позначено множину груп смуги, а через $B=\{H_1,H_2,...,H_{17}\}$ – множину груп площини. Існує множина, яка складається із 17 симетричних Ims_1^e, Ims_2^e, …, Ims_{17}^e еталонних зображень M_o, побудованих на основі

множини B: $M_o = \left\{Ims_1^e, Ims_2^e, ..., Ims_{17}^e\right\}$. Кожне симетричне зображення побудоване на основі певної плоскої групи H_i, тобто $Ims_i^e = \left\{h(Ime) \middle| h \in H_i\right\}$.

Рівняння еталонного зображення в матричній формі представлено у вигляді $Ims^e = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\ldots T_1^e(Ime)...)))$, де T_1^e, …, T_{n-1}^e, T_n^e – матриці ідеальних породжуючих перетворень рапорту, T_L^e – матриця ідеальної трансляції. Задане реальне (спотворене) симетричне зображення Ims^x, рівняння якого має вигляд $Ims^x = T_L(T_n(T_{n-1}(\ldots T_1(Ime)...)))$, де T_1, ..., 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 – Δ_m. Невідому групу H^*, на основі якої побудоване зображення Ims^x, знайдено з рівняння:

$$H^* = \underset{T_1^e, T_2^e, ..., T_n^e}{\arg\min}\, \rho\left(Ims^x, T_n^e(T_{n-1}^e(...(T_1^e(Ime)...))\right),$$

де ρ – задана метрика. Обраховано похибки породжуючих перетворень T_1, ..., T_{n-1}, T_n: Δ_1, …, Δ_{n-1}, Δ_n ($\Delta_1 = \left|T_1 - T_1^e\right|$, …, $\Delta_{n-1} = \left|T_{n-1} - T_{n-1}^e\right|$, $\Delta_n = \left|T_n - T_n^e\right|$), а також сумарну похибку спотворення реального симетричного зображення Ims^x: Δ, причому $\Delta \le \Delta_m$.

Метод аналізу симетричних зображень базується на узагальненому алгоритмі аналізу. Рівняння еталонного симетричного зображення в матричній формі має вигляд: $Ims^e = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\ldots T_1^e(Ime)...)))$. Породжуючі перетворення, які використовуються в цьому рівнянні, є еталонними (ідеальними). Тому і симетричне зображення, яке отримується в результаті застосування даних перетворень, є також еталонним.

Оскільки кожну кристалографічну групу можна представити у вигляді напівпрямого добутку $G = L \times H$, де H – рапорт, L – підгрупа трансляцій, то виділено рапорти для груп смуги і площини.

Аналогічно еталонний рапорт представлено в матричній формі $Rp^e = T_n^e(T_{n-1}^e(\ldots T_1^e(Ime)...))$, де T_1^e, …, T_{n-1}^e, T_n^e – матриці еталонних породжуючих перетворень рапорту.

У дисертації розроблено узагальнений алгоритм аналізу, який складається із таких кроків:

Крок 1. Сегментація вхідного симетричного векторного зображення.

Крок 2. Виділення контурів окремих об’єктів та ідентифікація координат відповідних трьох точок на контурах.

Крок 3. Обчислення коефіцієнтів афінних перетворень (матриць породжуючих перетворень) між аналізованими об’єктами.

Крок 4. Визначення мінімальних відстаней d_i до еталонних матриць у заданій метриці із заданою максимальною похибкою перетворень Δ_m.

Крок 5. Ідентифікація групи симетрії та обчислення похибки перетворень Δ на основі визначених еталонних породжуючих перетворень.

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

$$\Delta_1 = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1\ (Ime)...))) - T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)...))),$$
$$\vdots$$
$$\Delta_{n\text{-}1} = T_L^e(T_n^e(T_{n-1}(\dots T_1^e(Ime)...))) - T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)...))),$$
$$\Delta_n = T_L^e(T_n\ (T_{n-1}^e(\dots T_1\ (Ime)...))) - T_L^e(T_n^e(T_{n-1}^e(\dots T_1^e(Ime)...))).$$

Трансляції наявні у всіх групах симетрії 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 їхніх спотворень дорівнює:

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

Тоді величина абсолютної похибки Δ для перетворень T_1, …, T_{n-1}, T_n з врахуванням похибок від коефіцієнтів *a*, *b*, *c*, *d* рівна:

$$\Delta = \sum_{j=1}^{3}\sum_{i=1}^{3}\left|t_{ij}^* - t_{ij}\right|,$$

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 Δ від величини спотворення (кута повороту елементарного зображення α) для групи *cmm* приведено на рисунку 12.

У роботі розроблено метод аналізу симетричних зображень у растровій формі, який ґрунтується на визначені рапорту на базі автокореляційної функції та ідентифікації груп симетрії на основі введеної піксельної алгебри визначеного рапорту.

Для заданого симетричного зображення *Ims* ідентифіковано рапорт *Rp* на основі автокореляційної функції. Визначено локальні максимуми на автокореляційній поверхні та посортовано їх у порядку спадання значень і знайдено мінімальну відстань d_i між локальними максимумами. На основі мінімальної відстані знайдено вектори переносу, що утворюють сітку, в якій знаходиться рапорт Rp.

Введено дві бінарні логічні операції «+» і «×» («додавання» і «множення»). Ці операції використано до цифрових зображень для визначення відповідної групи перетворення. Логічні операції виконано поелементно над відповідними пікселями *u* і *v* зображення *Ims* $u \in Z, v \in Z$, a і b – значення кольорів пікселів, 0 – фон.

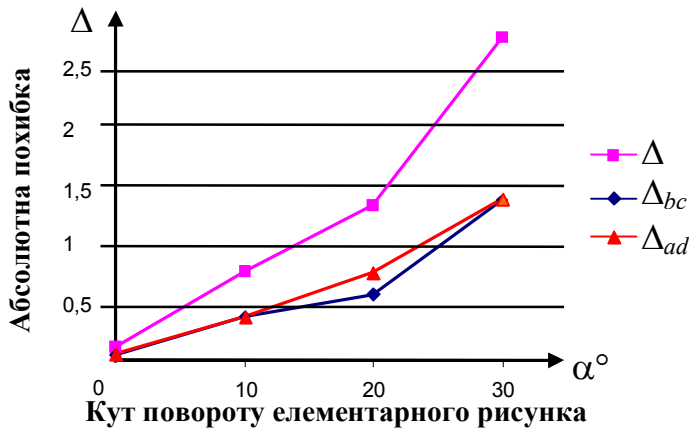


Рисунок 12 – Похибки визначення коефіцієнтів породжуючих перетворень при дії завад (спотворень) для групи *cmm*

Результати цих операцій для заданих двох елементів $u, v \in M$ наведено в таблиці 3. Досліджено властивості операцій і доведено, що вони є комутативними, асоціативними і дистрибутивними. Розроблено алгоритми визначення груп симетрії на основі запропонованих поелементних операцій "піксельної" алгебри. Над знайденим рапортом *Rp* виконано попіксельні операції, в результаті чого ідентифіковано види симетрії, які визначають певну групу симетрії та елементарний рисунок.

Таблиця 3 – Бінарні операції

u	v	$u + v$	$u \times v$
0	0	0	0
a	0	1	0
a	a	0	1
a	b	0	1

У дисертації проаналізовано асиметричні зображення. Задану множину вхідних асиметричних $M = \{Imas_1, Imas_2, ..., Imas_p\}$ зображень розбито на класи еквівалентності відносно групи симетрії.

Якщо множина вхідних зображень скінченна, то її можна розбити на підмножини відносно групи симетрії $M_0 = \{Ims_1, Ims_2, ..., Ims_n\}$.

Для множини симетричних зображень M_0 задана множина породжуючих перетворень $T^e = \{T_1^e, T_2^e, ..., T_n^e\}$. Тобто існує відображення $\theta : M_0 \to T^e$ множини симетричних зображень на множину їхніх породжуючих перетворень. Відображення θ також переводить множину M асиметричних зображень на множину породжуючих перетворень $\theta(M) \to T$, тобто $T = \{T_1, T_2, ..., T_n\}$.

Визначено симетризатор V, який переводить множину асиметричних зображень M у множину симетричних зображень M_0. Симетризатор – це відображення $V : M \to M_0$ або $T \to T^e$ довільної множини породжуючих перетворень T у множину еталонних породжуючих перетворень T^e, які відповідають певним групам.

Метод симетрування ґрунтується на алгоритмах симетрування базових геометричних перетворень і алгоритмах симетрування кристалографічних груп на смузі та площині.

Розглянуто такі властивості симетризаторів:

1) будь-який симетризатор є відображенням множини асиметричних зображень M у множину симетричних зображень M_0;

2) симетризатор V будь-якої групи розкладається на симетризатор підгрупи рапорту і симетризатор підгрупи трансляцій $V_G = V_{Rp} \cdot V_L$;

3) симетризатор рапорту відповідно 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, які утворюють цю групу.

Розроблені метод і алгоритми аналізу симетричних зображень у растровій формі дали можливість автоматично визначити структурні складові симетричного зображення: рапорт і елементарний рисунок та ідентифікувати закони їхньої побудови.

Аналіз асиметричних зображень полягає в розробленні симетризаторів зображень і приведенні їх до відомих симетричних структур.

У шостому розділі вибрано принципи побудови та архітектуру комп'ютерних систем для синтезу зображень, розроблено методи, алгоритми функціонування та структури операційних пристроїв множення матриці на вектор і множення матриці на матрицю. Здійснено апаратну реалізацію алгоритмів множення матриці на вектор і множення матриці на матрицю на основі програмованої логічної матриці серії Spartan 3 і приведено VHDL-опис перемноження матриць породжуючих перетворень.

Проведений у дисертації аналіз комп'ютерних засобів показав, що забезпечити оперативність, продуктивність та ефективність опрацювання даних можна за допомогою спеціалізації та проблемної орієнтації їх на клас задач синтезу зображень. При спеціалізації та проблемній орієнтації відбувається орієнтація структури, системи команд і принципів організації обчислень у комп'ютерних засобах на розв'язання задач синтезу зображень.

Обґрунтовано, що комп'ютерні системи синтезу зображень повинні бути проблемно-орієнтованими, а їхнє проектування доцільно виконувати на основі інтегрованого підходу, який охоплює сучасну елементну базу, методи та алгоритми реалізації синтезу зображень, архітектури сучасних комп'ютерних засобів і компонентів. В основу побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів синтезу зображень покладено такі принципи: змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра та змінних програмних і апаратних модулів, за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування; модульності; конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних; відкритості програмного забезпечення; спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів синтезу зображень.

Проблемно-орієнтовані комп'ютерні системи синтезу зображень створено на основі компонентно-ієрархічного підходу, який передбачає поділ процесу розробки на ієрархічні рівні та види забезпечення (алгоритмічне, апаратне та програмне). Для реалізації такого підходу використовується метод декомпозиції, який передбачає розбиття процесу проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів синтезу зображень на окремі компоненти. Методологія послідовної декомпозиції,

яку використано при розробленні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів синтезу зображень, відображає процес розробки "зверху-вниз".

Визначено, що при розробці спеціалізованих засобів для синтезу зображень основними шляхами підвищення ефективності використання обладнання є адаптація апаратних засобів до структури алгоритмів синтезу зображень. Розроблено методи та структури операційних пристроїв для синтезу спеціалізованих апаратних засобів. Для вибору операційних пристроїв застосовано критерій ефективності використання обладнання, який враховує однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, зв'язує продуктивність з витратами обладнання та оцінює продуктивність елементів пристрою.

Розроблено операційні пристрої для послідовного, паралельно-послідовного, послідовно-паралельного, паралельно-паралельного множення матриці на вектор. Показано, що апаратна реалізація паралельно-послідовного множення матриці на вектор вимагає n пристроїв множення і n нагромаджуючих суматорів, на яких послідовно обчислюються n елементів результуючого вектора Y. Структуру пристрою для паралельно-послідовного множення матриці A_{ij} на вектор B_j з глобальними зв'язками наведено на рисунку 13, де ПЕ – процесорний елемент. Структуру процесорного елемента відображено на рисунку 14.

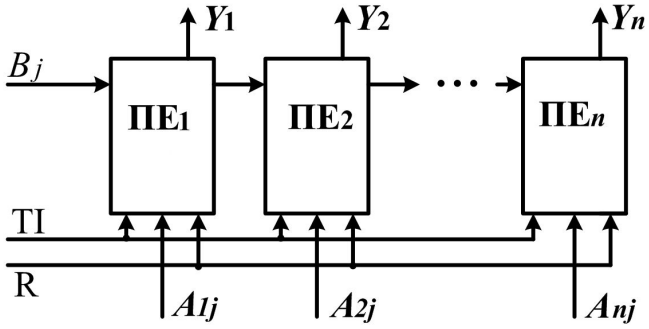


Рисунок 13 – Структура пристрою для паралельно-послідовного множення матриці на вектор з глобальними зв'язками

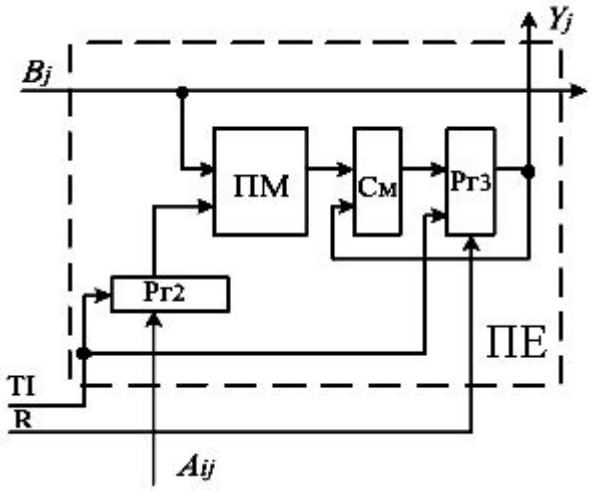


Рисунок 14 – Структура процесорного елемента

У дисертації розроблено послідовні пристрої, пристрої для паралельно-послідовного, паралельно-паралельного множення матриці на матрицю. Визначено, що найефективнішим за використанням обладнання є пристрій множення матриці на матрицю, який синтезується на базі пристрою множення матриці на стовпчик з надходженням множників послідовним кодом молодшими розрядами вперед.

Розроблено структури апаратних засобів синтезу зображень і VHDL – моделі операційних пристроїв множення матриці на вектор і матриці на матрицю.

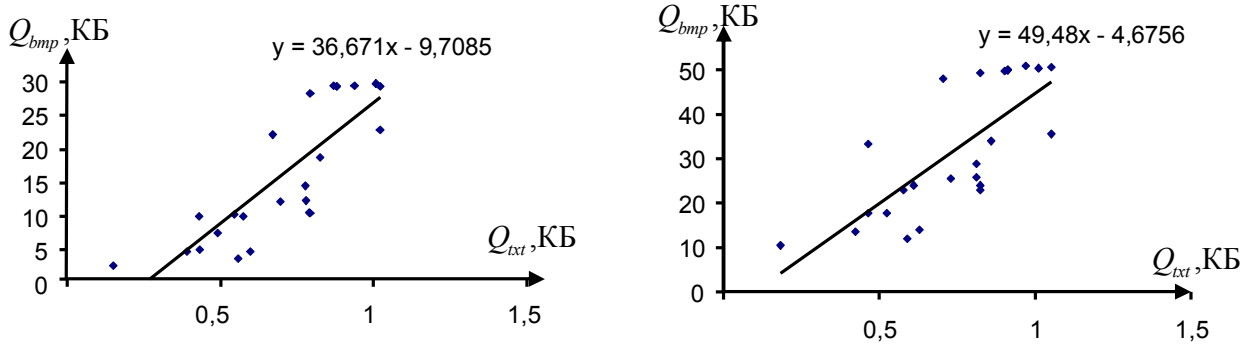
У сьомому розділі запропоновано програмні засоби синтезу зображень. Розроблено програмну систему синтезу симетричних зображень – генератор симетричних зображень та для автоматизації проведення досліджень пухлинних клітин людини створено програмну систему інформаційного відеоскопа. Спроектовано і програмно реалізовано інформаційно-аналітичну систему (ІАС) для аналізу та діагностування пухлинних (ракових) клітин на основі аналізу їхніх зображень.

Розроблений програмний комплекс дає змогу синтезувати зображення-орнаменти на основі аналітичних формул елементарного рисунка, підорнаменту та орнаменту. Така система дає можливість архівувати зображення шляхом ідентифікації елементарного рисунка (формули в форматі TXT або зображення в форматі BMP) та груп перетворень над ним, що виконується автоматизовано з участю людини.

Система складається з п’яти підсистем, кожна з яких реалізує окрему задачу: детерміноване та стохастичне формування елементарного рисунка, синтез орнаментних груп, синтез підорнаментів, вивід орнаменту на друк.

Програмну систему реалізовано в середовищі мови програмування Delphi.

Проведено оцінювання архівування зображень за допомогою розробленого редактора. Здійснений аналіз показує, що середній коефіцієнт стиснення елементарних рисунків становить 20, а середній коефіцієнт стиснення для підорнаментів рівний 45. Графіки проведеного аналізу наведено на рисунку 15, де Q_{bmp} – розмір растрового зображення у форматі BMP, Q_{txt} – розмір текстового файлу у форматі TXT.



а) б)

Рисунок 15 – Залежність обсягів пам’яті у форматі BMP від TXT для: а) елементарних рисунків, б) підорнаментів (на основі групи $p4m$)

У дисертації розроблено структуру програмної системи інформаційного відеоскопа. Вона складається із чотирьох підсистем. Перша – підсистема вводу зображень містить апаратні і програмні засоби керування вводом зображень, засоби обробки, покращення чутливості та роздільної здатності. Друга – підсистема розпізнавання, класифікації та пошуку візуальної інформації. В ній реалізовані програмні засоби пошуку зображень за взірцем, класифікації зображень мікрооб’єктів. Наступна підсистема – це БД проведених експериментів з використанням різноманітних протипухлинних агентів із зображенням клітин.

Четверта підсистема – це засоби прогнозування на основі використання моделей апоптозу ракових клітин.

Розроблено ІАС для аналізу та діагностування пухлинних (ракових) клітин на основі аналізу їхніх зображень. Для структурного синтезу ІАС побудовано І-АБО дерева для апаратної і програмної складових.

Програмна система складається з таких модулів: 1) отримання зображення, модуля попереднього оброблення, модуля сегментації зображення; 2) виділення контурів і розрахунок їхніх характеристик; 3) виводу даних на друк. Для універсальності програмного забезпечення систему розроблено мовою програмування Delphi та орієнтовано на Windows базовані робочі станції, які є широко розповсюдженими сьогодні.

Розроблений редактор орнаментів, який базується на методах і алгоритмах синтезу та аналізу симетричних зображень, дає змогу економно зберігати наявні та створювати нові зображення – орнаменти.

Спроектовані програмно-апаратні системи для аналізу біомедичних зображень, які побудовані на методах і алгоритмах аналізу симетричних і асиметричних зображень, методах перетворення зображень в афінному та топологічному просторах, забезпечують отримання, попереднє оброблення, підвищення роздільної здатності, аналіз та зберігання гістологічних та цитологічних зображень.

У додатках наведено акти впровадження, копію свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма), приклади використання груп симетрії на смузі та площині, кристалографічні системи координат сингоній, основні види спотворень симетричного зображення.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему створення спільного теоретичного підходу до аналізу та синтезу зображень, розроблено моделі та методи аналізу та синтезу симетричних і асиметричних зображень на основі теорії алгебро-топологічних структур і спроектовано програмні засоби аналізу та синтезу зображень.

При цьому отримано такі результати:

1. Проаналізовано методи та алгоритми аналізу й синтезу зображень, визначено їхні переваги та недоліки, розглянуто класи зображень (зображення-орнаменти та біомедичні зображення) та програмно-апаратні засоби для їхнього аналізу та синтезу, що дало можливість розробити теоретичну базу для розв'язання поставлених задач на основі алгебричних і топологічних структур.

2. Розвинуто теорію аналізу та синтезу зображень, яка ґрунтується на алгебричних і топологічних структурах і, на відміну від існуючих, забезпечує спільну теоретичну основу як для задач опису, синтезу, так і для аналізу симетричних і асиметричних зображень.

3. Вперше розроблено метод і алгоритми опису та синтезу симетричних зображень на основі теорії кристалографічних груп, які полягають в описі та синтезі елементарного рисунка, рапорту та трансляцій рапорту для груп симетрії на смузі та

площині, що за рахунок зменшення обчислювальної складності зменшують час відтворення симетричного зображення.

4. Вперше створено метод і алгоритми опису та синтезу асиметричних зображень, які базуються на використанні моделей опису симетричних зображень з подальшим спотворенням елементарного рисунка, рапорту і трансляцій рапорту, що за рахунок розпаралелення процесу синтезу асиметричних зображень дають можливість зменшити час синтезу.

5. Вперше розроблено метод і алгоритми перетворення контурів і областей зображень у топологічному просторі, основою яких є використання скелетів зображень, що на 20–30% зменшує похибки перетворення контурів і областей біомедичних зображень порівняно з перетвореннями в афінному просторі.

6. Вперше отримано метод і алгоритми перетворення типу “область – область” для областей із кусково-лінійними апроксимованими контурами, що за рахунок введення ε-скелета дає змогу спростити скелети та виконати перетворення областей із заданою похибкою.

7. Вперше розроблено метод і алгоритми аналізу симетричних зображень у растровій і векторній формах, які забезпечують автоматичне визначення структурних складових симетричного зображення: рапорту та елементарного рисунка і дають змогу визначити кристалографічні групи побудови симетричного зображення, і таким чином досягнути коефіцієнт архівування без втрат в 20–50 разів.

8. На основі використання теорії кристалографічних груп вперше 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 та їхні спотворення.

9. Набули подальшого розвитку метод і алгоритми пошуку пухлинних клітин шляхом використання контурних та колірної ознак у базах даних зображень, які забезпечують ефективний пошук і вибірку мікрооб’єктів на цитологічних зображеннях.

10. Удосконалено метод і алгоритми перетворення контурів та областей біомедичних зображень в афінному просторі на основі виділення характерних точок контурів, що зменшує похибку перетворення контурів на 10%.

11. На основі створених методу і алгоритмів синтезу симетричних зображень розроблено програмну систему – генератор симетричних зображень, що дало змогу синтезувати й архівувати наявні та нові зображення-орнаменти.

12. Використовуючи розроблені методи і алгоритми аналізу симетричних та асиметричних зображень, спроектовано і програмно реалізовано інформаційно-аналітичну систему дослідження та діагностування пухлинних клітин людини на основі аналізу їхніх зображень, що дало змогу автоматизувати процес аналізу біомедичних зображень, підвищити об’єктивність і достовірність постановки діагнозу.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грицик В. В. Моделювання та синтез складних зображень симетричної структури: моногр. / В. В. Грицик, К. М. Березька, О. М. Березький. – Львів: Вид-во "Українська академія друкарства – Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури", 2005. – 140 с.

2. Березский О. Н. Алгоритмы анализа и синтеза биомедицинских изображений / О. Н. Березский // Проблемы информатики и управления. – 2007. – № 2. – С. 134–144.

3. Березский О. Н. Топологические методы и алгоритмы преобразования контуров и областей плоских изображений / О. Н. Березский // Проблемы информатики и управления. – 2010. – № 5. – С. 123–131.

4. Березький О. М. Теоретико-груповий підхід до синтезу складних зображень / О. М. Березький // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 6. – С. 19–24.

5. Березский О. М. Теоретико-групповой подход к анализу симметричных изображений / О. М. Березский // Управляющие системы и машины. – 2010. – № 6. – С. 21–31.

6. Березький О. М. Методи і алгоритми аналізу та синтезу асиметричних зображень / О. М. Березький // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 162–172.

7. 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.

8. Березький О. М. Топологічне перетворення областей: випадок неізоморфних скелетів / О. М. Березький // Відбір і обробка інформації. – 2010. – Вип. 33 (109). – С. 67–74.

9. Березький О. М. Метод і алгоритми аналізу плоских симетричних зображень у растровій формі / О. М. Березький // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 672. – С. 220–227.

10. 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.

11. Berezsky O. Synthesis and analysis of tumular cells / O. Berezsky // Інформаційні технології і системи. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 76–84.

12. 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.

13. Грицик В. В. Метод опису та синтезу зображень-орнаментів / В. В. Грицик, К. М. Березька, О. М. Березький // Доповіді Національної академії наук України. –

2002. – № 7. – С. 64–71.

14. 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.

15. 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.

16. Березький О. М. Аналіз та генерування зображень біологічної природи / О. М. Березький, Г. М. Мельник // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. – 2006. – Вип. 3. – С. 69–77.

17. Березький О. М. Використання методу опису та генерування зображень для стиснення симетричної графічної інформації / О. М. Березький, К. М. Березька // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 3. – С. 126–128.

18. Березький О. М. Моделювання просторових симетричних зображень / О. М. Березький // Відбір і обробка інформації. – 2008. – Вип. 28 (104). – С. 76–81.

19. Березька К. М. Редактор синтезу та моделювання складних зображень симетричної структури / К. М. Березька, О. М. Березький // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. – 2001. – № 433. – С. 134–137.

20. Berezsky O. Biomedical image search and retrieval algorithms / O. Berezsky, G. Melnyk, Yu Batko // Комп'ютинг. – 2008. – Т. 7, Вип. 1. – С. 108–113.

21. Березький О. М. Реалізація алгоритмів синтезу симетричних зображень у програмованих логічних матрицях / О. М. Березький, І. М. Майків, Я. М. Семчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Ч. 1, Т. 2. – С. 30–33.

22. Березький О. М. Методи та НВІС-структури для множення матриці на матрицю у реальному часі / О. М. Березький, І. Г. Цмоць // Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. – 2007. – № 591. – С. 63–76.

23. Березький О. М. Методи, алгоритми та НВІС-структури для множення матриці на вектор у реальному часі / О. М. Березький, І. Г. Цмоць // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3, Т. 1 (93). – С. 134–140.

24. 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. – № 4. – С. 33–41.

25. Березький О. М. Синтез альтернативних рішень при структурному проектуванні систем автоматизованої мікроскопії / О. М. Березький, К. М. Березька, Ю. М. Батько, Г. М. Мельник // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.5. – С. 258–268.

26. 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. 11−17.

27. Березький О. М. Принципи побудови та архітектура комп'ютерних засобів аналізу і синтезу зображень / О. М. Березький, І. Г. Цмоць // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 2. – С. 160−168.

28. Hrytsyk V. V. Modeling and synthethis of complex symmetrical images / V. V. Hrytsyk, K. M. Berezska, O. M. Berezsky // International journal of pattern recognition and artificial intelligence. – 2004. – V. 18, № 2. – P. 175–195.

29. Березький О. Підходи до опису і синтезу симетричних зображень / Олег Березький // Матеріали шостої всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» (УкрОБРАЗ'2002), Київ, 8-12 жовтня 2002 р. – К., 2002. – С. 27–30.

30. Berezsky O. Fractal approach to the analysis and synthesis of tumular cells images / Oleh Berezsky // Proceedings of the Third IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2005), Sofia, Bulgaria, 5-7 September 2005. – P. 555–562.

31. 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.

32. Berezsky O. Image Search and Retrieval Application / O. Berezsky, G. Melnyk, Yu. Batko // Proceedings of the 2th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2007), Lviv, Ukraine, 27-29 September 2007. – P. 121–122.

33. 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.

34. Березький О. М. Застосування теорії кристалографічних груп для аналізу та синтезу складних зображень різної природи / О. М. Березький // Автоматика – 2009: 16 міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Чернівці, 22–25 вересня 2009 р.: тези доп. – Чернівці, 2009. – С. 294–295.

35. Berezsky O. Automated System of Biomedical Image Analysis / O. Berezsky, Y. Batko, G. Melnyk // Proceedings of the X th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer science (TCSET'2010), Lviv – Slavske, Ukraine, 23-27 February 2010. – P. 143.

36. 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.

37. 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.

38. 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.

39. 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.

40. Березький О. М. Порівняння алгоритмів синтезу біомедичних зображень // О. М. Березький, Г. М. Мельник // 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. 189–194.

41. 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.

42. Березький О. М., Батько Ю. М., Дацко Т. В., Мельник Г. М. Комп'ютерна програма "Інформаційно-аналітична система для дослідження та діагностування пухлинних (ракових) клітин людини "Morphosys" ("Morphosys") // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 35888 від 30.11.2010 р.

АНОТАЦІЇ

Березький О. М. Аналіз і синтез зображень на основі теорії алгебро-топологічних структур. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи і засоби штучного інтелекту. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2011.

Дисертаційна робота присвячена питанням розробки методів і алгоритмів аналізу та синтезу симетричних й асиметричних зображень на основі теорії алгебричних та топологічних структур і розв'язанню задач аналізу та синтезу біомедичних зображень та зображень-орнаментів.

Вирішено актуальну науково-прикладну проблему аналізу та синтезу зображень: розвинуто теоретичні засади аналізу та синтезу зображень, на базі яких розроблено моделі та методи аналізу і синтезу симетричних та асиметричних зображень, методи й алгоритми опису та перетворення контурів і областей

зображень, методи й структури апаратного синтезу зображень, створено ефективні програмні засоби аналізу та синтезу зображень.

Проаналізовано основні переваги та недоліки методів і алгоритмів аналізу та синтезу зображень. Розвинуто теоретичні основи аналізу та синтезу зображень, які базуються на теорії алгебро-топологічних структур. Розроблено методи й алгоритми аналізу та синтезу симетричних зображень, які ґрунтуються на кристалографічних групах смуги та площини. Створено методи й алгоритми опису та синтезу асиметричних зображень на основі використання моделей опису симетричних зображень з подальшим спотворенням їхніх породжуючих перетворень. Розроблено методи й алгоритми аналізу симетричних та асиметричних зображень, метод і алгоритми перетворення контурів та областей зображень у топологічному просторі, що базуються на використанні скелетів зображень, і метод та алгоритми перетворення контурів і областей зображень в афінному просторі. Створено апаратні структури для задач синтезу: множення матриці на вектор та матриці на матрицю.

На основі розроблених методів, моделей і алгоритмів спроектовано і програмно реалізовано системи для аналізу та синтезу біомедичних зображень і зображень-орнаментів.

Ключові слова: аналіз, синтез, метод, алгоритм, алгебро-топологічні структури, кристалографічні групи, симетричні зображення, асиметричні зображення, біомедичні зображення, зображення-орнаменти.

Berezsky O. M. Theory of algebraic- topological structures for image analysis and synthesis – Manuscript.

The thesis for doctor of technical science degree by specialty 05.13.23 – *the systems and means of artificial intelligence* is presented. Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2011.

The thesis is devoted to the questions of development of methods and algorithms of symmetric and asymmetric image analysis and synthesis on the basis of algebraic and topological structures theory and solution of problems biomedical image and image-patterns analysis and synthesis.

The scientific and technical issue of the day of image analysis and synthesis is solved: there are developed theoretical principles of image analysis and synthesis, which models and methods of analysis and synthesis of symmetric image and asymmetric, methods and algorithms of description and transformation of image contours and areas, methods and structures of image hardware synthesis; the effective programmatic tools of image analysis and synthesis are created.

Basic advantages and drawbacks of methods and algorithms of image analysis and synthesis are analyzed. Theoretical bases of image analysis and synthesis, which are based on the theory of algebraic- topological structures, are improved. Methods and algorithms of analysis and synthesis of symmetric image, which are based on the crystallographic groups of stripe and plane, are built. Methods and algorithms of description and synthesis of asymmetric image are created on the basis of the models use of description of symmetric image with subsequent distortion their generating transformations. Methods and algorithms of analysis symmetric image and asymmetric,

method and algorithms of image contours and areas transformation in topology space, which are based on the use of image skeletons, and method and algorithms of image contours and areas transformation in affine space are created. Hardware structures are created for the synthesis tasks: multiplication of matrix on a vector and matrices on a matrix.

On the basis of the developed methods, models and algorithms, it is projected and programmatically realized the systems for an analysis and synthesis of biomedical image and image-patterns.

Keywords: analysis, synthesis, method, algorithm, algebraic-topological structures, crystallographic groups, symmetric image, asymmetric image, biomedical image, image-patterns.

Березский О. Н. Анализ и синтез изображений на основе теории алгебро-топологических структур. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Национальный университет «Львивська политэхника». – Львов, 2011.

Развитие информатики и вычислительной техники привело к появлению искусственного интеллекта, одной из основных задач которого есть обработка визуальной информации. Широкое распространение данной информации требует разработки методов, алгоритмов и программно-аппаратных средств для систем компьютерного распознавания и синтеза зрительных образов. Задачи распознавания изображений стали актуальными в системах компьютерного зрения. Компьютерная графика распространилась благодаря развитию интернет-технологий, процессам визуализации в искусстве, науке и технике.

На данный момент, разработан ряд методов и алгоритмов анализа и синтеза изображений, которые основываются на разных теоретических принципах. Поиск общих теоретических платформ для синтеза и анализа изображений определенных классов является научной научно-технической проблемой.

Диссертационная работа посвящена вопросам разработки методов, алгоритмов и программно-аппаратных средств анализа, синтеза и описания симметричных и асимметричных изображений на основе теории алгебро-топологических структур.

В работе решена актуальная научно-прикладная проблема: развита теория анализа и синтеза изображений на базе алгебро-топологических структур. На основе этого разработаны методы, модели и алгоритмы анализа и синтеза симметричных и асимметричных изображений, методы и алгоритмы описания и преобразования контуров и областей изображений в топологическом и аффинном пространствах, а также методы и структуры аппаратного синтеза изображений и эффективные программные средства анализа и синтеза биомедицинских изображений и изображений-орнаментов. Проанализированы программные средства синтеза симметричных и фрактальных изображений, показаны их преимущества и недостатки.

Осуществлен анализ классов изображений – орнаментов и биомедицинских изображений. Орнаменты по своей структуре являются симметричными

изображениями и владеют пространственной избыточностью, а биомедицинские изображения – асимметричными.

Исследованы подходы к синтезу изображений, определено, что современным является процедурный подход. Проанализированы методы и алгоритмы анализа изображений. Обосновано, что перспективными методами анализа изображений-орнаментов и биомедицинских изображений есть структурные методы, которые базируются на теории кристаллографических групп.

Развита теория синтеза и анализа изображений, которая базируется на абстрактных и кристаллографических группах. Методы и алгоритмы синтеза симметричных изображений построены на группах симметрии полосы и плоскости. Разработан метод синтеза симметричных изображений, который заключается в синтезе элементарного рисунка, раппорта и трансляций раппорта. Для представления элементарных изображений в растровой форме предложен язык описания изображений. Доказана теорема о минимальном базисе операций над непроизводными элементами языка. Осуществлен фрактальный синтез контура элементарного рисунка на основе множеств Жюлиа и его текстуры, используя шум Перлина. Базируясь на порождающих преобразованиях кристаллографических групп, выведены матричные модели симметричных изображений на полосе и плоскости.

В работе предложен метод и алгоритмы описания и синтеза асимметричных изображений, для их создания использованы модели описания симметричных изображений с последующим искажением их порождающих преобразований. Разработан обобщенный алгоритм синтеза изображений. Осуществлена классификация асимметричных изображений. Выведены уравнения для разных видов асимметричных изображений.

Проведена классификация функций искажения и показано, что они образуют группы. Получено уравнение асимметричного изображения, используя уравнения симметричного и функции искажения. Получены выражения для оценки коэффициентов архивирования симметричных изображений.

Произведено описание контуров полиномами второй и третьей степеней в локальной и глобальной системах координат.

Предложены методы и алгоритмы преобразования контуров и областей изображений в аффинном и топологическом пространствах. Разработан метод и алгоритмы преобразования контуров и областей изображений в топологическом пространстве на основе использования скелетов изображений. Осуществлено разработку метода и алгоритмов преобразования типа “область – область” для областей с кусочно-линейными аппроксимированными контурами на основе приведения неизоморфных к изоморфным скелетам.

Предложены методы и алгоритмы анализа симметричных изображений в растровой и векторной форме для определения структурных составляющих симметричного изображения: раппорта и элементарного рисунка. Получены уравнения симметрирования для базовых геометрических преобразований, на основе которых осуществлено симметрирование асимметрических изображений и приведение их к известным группам полосы и плоскости.

Созданы аппаратные структуры для умножения матрицы на матрицу и матрицы на вектор. Осуществлена аппаратная реализация алгоритмов умножения матрицы на вектор и умножение матрицы на матрицу на основе программируемой логической матрицы серии Spartan 3 и приведены VHDL- модели перемножения матриц порождающих преобразований.

На основе предложенных методов, моделей и алгоритмов созданы компьютерные системы для синтеза изображений-орнаментов (генератор симметричных изображений) и анализа биомедицинских изображений (информационный видеоскоп сверхвысокой разрешающей способности для исследования запрограммированной смерти клеток и информационно-аналитическая система анализа и диагностирования опухольных клеток на основе анализа их изображений).

Ключевые слова: анализ, синтез, изображение, метод, алгоритм, алгебро-топологические структуры, кристаллографические группы, симметричные изображения, асимметричные изображения, биомедицинские изображения, изображения-орнаменты.