

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
д.т.н., професору Кочану Оресту Володимировичу

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Русина Богдана Павловича
на дисертаційну роботу **Юнака Остапа Мироновича**
«Методи побудови та обробки фрактальних зображень з використанням
рандомізованої системи ітераційних функцій»,
подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

В епоху стрімкого розвитку технологій та зростаючої комплексності викликів, пов'язаних з обробкою і аналізом великих обсягів даних, фрактальна геометрія та методи її побудови стають важливим елементом у визначенні та розумінні складних структур і зображень. Фрактальні зображення знайшли широке застосування у різних галузях, включаючи комп'ютерну графіку, медичну діагностику, антенні системи зв'язку та ін.

Недоліки існуючих систем обробки фрактальних зображень включають у себе складнощі налаштування параметрів, великий обсяг обчислювальних ресурсів, неспроможність автоматизовано вирішувати завдання визначення параметрів та відновлення спотворених фрактальних зображень, а також неадекватність обробки великих об'ємів даних і несумісність із сучасними вимогами щодо швидкості, надійності та точності.

У зв'язку із зазначеним, актуальність дисертаційної роботи Юнака Остапа Мироновича, спрямованої на розробку вдосконалених методів побудови фрактальних зображень на основі рандомізованої системи ітераційних функцій (РСІФ), а також розвиток методів їх розпізнавання, захисту та шифрування з використанням нейронних мереж, являється суттєвою у вигляді вирішення сучасних викликів у цій галузі науки.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційна робота Юнака О.М. виконана на кафедрі радіоелектронних пристроїв та систем Національного університету «Львівська політехніка». Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри.

Дослідження, результати яких викладено в дисертації, виконано відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка», в межах науково-дослідної роботи «Стратегічні напрямки, методи і засоби цифровізації та інтелектуалізації енергетичних систем з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій» (№ держреєстрації 0123U101692).

3. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Отримані наукові результати дисертаційної роботи представляють значний прорив у сфері обробки та аналізу фрактальних зображень. Зокрема, розроблені та удосконалені автором методи побудови фрактальних структур на основі рандомізованої системи ітераційних функцій (РСІФ) виходять за рамки традиційних підходів. Ці методи використовують модифіковану рандомізовану систему ітераційних функцій, параметри якої визначаються з використанням геометричних властивостей фігур перших ітерацій. Це значно зменшило обчислювальні витрати і дозволило представляти будь-яке зображення у вигляді фрактальних структур в реальному часі.

Додатково, автор вдосконалив метод розпізнавання фрактальних структур, використовуючи нейронні мережі для автоматичного визначення параметрів рандомізованої системи ітераційних функцій. Цей підхід базується на самогенерованих фрактальних зображеннях, що дає змогу розпізнавати складні фрактальні зображення різної якості та формувати їх математичні ітераційні функції для подальшого аналізу.

Окрім того, автор розробив метод шифрування фрактальних зображень, який використовує надлишковість та рандомізовані матриці переміщення пікселів, зміни яскравості, інвертації та зміни кольорів для ефективного захисту від дешифрування. Цей підхід не лише забезпечує конфіденційність та цілісність

інформації, але й забезпечує прозорість передачі даних.

Отже, отримані наукові результати Юнака Остапа Мироновича свідчать про значний внесок у вдосконалення та розвиток фрактальної обробки зображень, використовуючи нові методи та підходи.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання, предмет та об'єкт, відображено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У *першому розділі* проаналізовано види фракталів та методи їх створення. Проаналізовано методи та алгоритми побудови фрактальних структур. Розглянуті переваги та недоліки існуючих методів побудови фрактальних структур. Розглянуто застосування фрактальних структур в телекомунікаціях та радіотехніці та їх значення у наукових дослідженнях.

У *другому розділі* представлено результати математичного моделювання для побудови фрактальних зображень з використанням модифікованої РСІФ. Удосконалено метод побудови фрактальних зображень з використанням РСІФ. Виконана оцінка обчислювальної складності методів побудови фрактального зображення з використанням РСІФ та ДСІФ.

У *третьому розділі* розвинуто метод розпізнавання фрактальних структур на основі нейронних мереж. Розвинуто спосіб захисту документів за допомогою фрактальних зображень, сформованих рандомізованою системою ітераційних функцій (РСІФ). Розроблено модель швидкого розрахунку фрактальної розмірності зображення з використанням нейронних мереж та удосконаленого методу побудови фрактальних структур. Запропоновано метод шифрування фрактальних зображень за допомогою матриць перетворень для захисту від дешифрування нейронними алгоритмами.

У *четвертому розділі* представлено розробку програмної моделі генерації фрактальних зображень типу «Cantor dust» на основі удосконаленого методу побудови фрактальних структур, а також програмну систему відновлення (спотворення) та відтворення фрактальних зображень типу «Cantor dust».

Розроблено бібліотеку для інтеграції запропонованих рішень у WEB-технологіях.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Юнака О.М. обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, закріплені успішною реалізацією, ефективним впровадженням результатів досліджень, що підтверджує теоретичні дослідження практичними результатами.

Наукові положення та висновки, що сформульовані у дисертаційній роботі базуються на детальному аналізі джерел за даною темою, чіткій постановці задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, а також у аргументованому формулюванні висновків.

Практична цінність та обґрунтованість використаних методів і засобів підтверджено результатами експериментальних досліджень.

Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертації, логічно випливають із результатів, отриманих за допомогою чітких викладок. Тому можна стверджувати, що висновки та практичні рішення, отримані у роботі, коректні, достатньо обґрунтовані й можуть бути рекомендовані до використання при побудові методів обробки та аналізу фрактальних структур.

6. Практичні результати роботи

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено програмну модель генерації фрактальних структур з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій, на основі якої доведено, що розроблений метод забезпечує значну економію обчислювальних операцій пропорційно роздільній здатності зображення в порівнянні з існуючими методами фрактальних структур. Відносна похибка у формуванні фрактального зображення становить менше 0,001%, що свідчить про високу точність побудови фрактальної структури.

2. Розроблено програмний модуль навчання нейронної мережі для автоматичного визначення параметрів рандомізованої системи ітераційних функцій із похибкою менше 0,01%. Даний модуль здатен генерувати результати в режимі реального часу, що забезпечує швидку і ефективну обробку даних для визначення оптимальних параметрів фрактальних структур.

3. Розвинуто спосіб захисту документів з використанням побудови фрактальних структур за допомогою рандомізованої системи ітераційних функцій, який, на відміну від існуючих, робить прив'язку номера документу до фрактального зображення у вигляді водного знаку, нанесеного на документ із подвійною та потрійною верифікацією, що дає змогу додатково перевірити документ на підробку, забезпечуючи більш високий рівень захисту у запобіганні підробці.

4. Розроблено програмний модуль відновлення якості фрактального зображення. Проведені математичні розрахунки показали ефективність використання алгоритму. Програмна реалізація алгоритму дозволяє задавати коефіцієнт якості зображення для відновлення та спотворення якості фрактального зображення.

5. Розроблено модель для швидкого автоматичного визначення фрактальної розмірності зображення, що робить його ідеальним для застосування в широкому спектрі областей, включаючи обробку зображень, комп'ютерну графіку та аналізу даних. Визначення фрактальної розмірності відбувається у реальному часі без значних затримок, що дає змогу швидко аналізувати та обробляти великі обсяги даних.

Результати роботи впроваджені у освітньому процесі Коледжу інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка», а також у держбюджетній науково-дослідній роботі. Основні результати успішно впроваджені в ТзОВ «АПДЕЙТ ТЕХНОЛОДЖІС СИСТЕМЗ», ПАТ «Укртелеком» та ПП «АСТРА-НЕТ».

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в

опублікованих працях

Повний обсяг роботи становить 226 сторінки друкованого тексту, з них основний текст - на 204 сторінках. Список використаних джерел містить 130 найменувань. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи.

Отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Основні результати дослідження опубліковано у 5 статтях у наукових фахових виданнях України, 1 статті у науковому періодичному виданні інших держав, що входять до наукометричних баз Scopus/Web of Science, 1 статті у періодичному виданні України, 5 у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

8. Мова та стиль дисертаційної роботи

Дисертація написана логічно, доступно, на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

9. Зауваження до дисертації:

1. У розділі 1 «Аналіз методів та моделей побудови фрактальних структур» в пункті 1.1 «Види фракталів та методи їх створення» ст. 49 «Методи створення стохастичних фракталів» мали би бути описані детальніше.

2. Доцільно було б у розділі 1 «Аналіз методів та моделей побудови фрактальних структур» в пункті 1.3 «Переваги та недоліки існуючих методів

побудови фрактальних структур» ст. 61 подати у вигляді таблиць.

3. Було б доцільно детальніше описати застосування фрактальної розмірності для розрахунків параметрів фрактальних антен у розділі 1 «Аналіз методів та моделей побудови фрактальних структур» в пункті 1.4 «Застосування фрактальних структур в телекомунікаціях та радіотехніці та їх значення у наукових дослідженнях» ст. 73.

4. У третьому розділі «Методи та модель розпізнавання і шифрування фрактальних зображень на основі нейронних мереж» в пункті 3.1 «Метод розпізнавання фрактальних структур на основі нейронних мереж» було б доцільно розбити формули (3.24-3.25) ст. 118 та (3.31) ст. 121 на підформули, так як їх важко читати і сприймати.

5. Функції практичної реалізації програмного забезпечення та бібліотек могли б бути винесені в додатки ст. 175, 182-185, 187-188.

6. В тексті дисертації присутні граматичні та стилістичні помилки.

7. Було б доцільно привести порівняльні оцінки з іншими методами визначення фрактальних розмірностей.

Однак ці зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертації та не знижують її наукової та практичної цінності.

Висновки щодо дисертації в цілому

Представлена дисертація на тему «Методи побудови та обробки фрактальних зображень з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій» є завершеною науково-дослідницькою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано науково-практичне завдання розробки удосконалених методів побудови фрактальних зображень на основі рандомізованої системи ітераційних функцій (РСІФ) та розвитку методів їх розпізнавання, захисту та шифрування із використанням нейронних мереж.

Одержані наукові та практичні результати є значущими для галузі електроніки та телекомунікації. Тема і зміст відповідають спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Тому, враховуючи актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових

положень, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу матеріалу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а її автор Юнак Остап Миронович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент:

завідувач відділу інформаційних технологій

дистанційного зондування

Фізико-механічного інституту

ім. Г.В. Карпенка НАН України

д.т.н., проф.



Богдан РУСИН

Підпис проф. Русина Б.П. засвідчую.

Учений секретар Фізико-механічного інституту

ім. Г.В. Карпенка НАН України

к.т.н., ст.н.с.



Валентина КОРНІЙ