

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

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

доктора технічних наук, доцента Максимюка Тараса Андрійовича
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

У наш час актуалізується потреба в точному визначенні та аналітичному розгляді складних структур, характерних для фрактальних зображень. Мультидисциплінарне використання фрактальних зображень охоплює сфери комп'ютерної графіки, медичної візуалізації, геоінформаційних систем, проектування антен, інформаційно-комунікаційних систем та криптографії. Ключовою особливістю фрактальних зображень є висока деталізація дрібних ознак, що, в свою чергу, потребує значних обчислювальних ресурсів для їх обробки. Таким чином, важливим аспектом для досліджень постає аналіз фрактальної розмірності, яка є ключовим параметром для оперативного оцінювання фрактальних структур. Такий аналіз може бути використаний для оптимізації проектування антен, встановлення їх ефективних характеристик, а також для ідентифікації та класифікації фрактальних об'єктів у різноманітних областях, включаючи медичні зображення та аналіз геологічних даних. Інтеграція фрактального аналізу з нейронними мережами відкриває нові перспективи для автоматизованого розпізнавання та інтерпретації фрактальних даних, що є особливо важливим у контексті експоненційного зростання обсягів даних у сучасному інформаційному світі.

Системи ітераційних функцій (SIF) представляють собою потужні методи

для формування фрактальних структур, але вони також мають свої недоліки. Наприклад, вибір правильних параметрів та функцій для SIF може бути нетривіальним завданням, і неправильний вибір може призвести до отримання некоректних або непередбачуваних результатів. Крім того, SIF не завжди гарантує повну самоподібність або деталізацію на всіх масштабах, що може обмежити їхню універсальність та точність в моделюванні складних фрактальних структур. Процес побудови фрактальних структур може також бути вимогливим до обчислювальних ресурсів, особливо при створенні складних та деталізованих зображень. Отже, фрактальний аналіз та методи обробки фрактальних зображень на основі рандомізованої системи ітераційних функцій є актуальними та широко використовуються в різних сферах. Необхідність подальшого вдосконалення параметрів та оптимізації ресурсів для SIF, а також використання нейронних мереж для розпізнавання та захисту фрактальних даних стають ключовим завданням у вирішенні сучасних викликів у науці та технологіях.

Все це зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Юнака Остапа Мироновича, присвяченої розв'язанню задачі побудови та обробки фрактальних зображень з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій.

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 полягають у розробленні удосконалених методів побудови фрактальних зображень на основі рандомізованої системи ітераційних функцій (РСІФ) та розвитку методів їх розпізнавання, захисту та шифрування із використанням нейронних мереж.

Зокрема, автором удосконалено метод побудови фрактальних структур, який, на відміну від відомих, використовує модифіковану рандомізовану систему ітераційних функцій, параметри яких визначаються за допомогою геометричних властивостей фігур перших ітерацій, що дало змогу без значних обчислювальних ресурсів в реальному часі представляти будь-яке зображення у вигляді фрактальних структур.

При цьому розвинуто метод розпізнавання фрактальних структур, який, на відміну від відомих, використовує нейронні мережі для автоматичного визначення параметрів рандомізованої системи ітераційних функцій на базі самогенерованих фрактальних зображень, що дало змогу розпізнавати складні фрактальні зображення із різною якістю, формуючи їх математичні ітераційні функції для подальшої обробки.

У роботі запропоновано метод шифрування фрактальних зображень, який, на відмінну від відомих, використовує надлишковість та рандомізовані матриці переміщення пікселів, зміни яскравості, інвертації та зміни кольорів зображення для захисту від дешифрування, що дало змогу забезпечити прозорість передачі даних, зберігаючи при цьому конфіденційність і цілісність інформації.

4. Короткий аналіз основного змісту дисертації

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання, предмет та об'єкт, подано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Наводиться інформація про список публікацій автора.

У першому розділі проведено аналіз видів фракталів та методи їх створення. Проаналізовано методи та алгоритми побудови фрактальних структур. Також наведено порівняльну характеристику переваг та недоліків існуючих методів побудови фрактальних структур. Розглянуто застосування

фрактальних структур в телекомунікаціях та радіотехніці та їх значення у наукових дослідженнях.

У другому розділі розглянути математичне представлення та моделювання фрактального зображення за допомогою РСІФ. Дана модель лягла в основу для удосконалення методу побудови фрактальних зображень використанням РСІФ. Дослідження показало, що розроблений метод виявився надзвичайно ефективним і дозволяє суттєво заощадити обчислювальні операції пропорційно до роздільної здатності зображення порівняно з існуючими методами створення фрактальних структур.

У третьому розділі розвинуто метод розпізнавання фрактальних структур на основі нейронних мереж. Також розвинуто спосіб захисту документів за допомогою фрактальних зображень, сформованих рандомізованою системою ітераційних функцій. Розроблена модель швидкого розрахунку фрактальної розмірності зображення, яка застосовує нейронні мережі та удосконалений метод побудови фрактальних структур. Для захисту від дешифрування нейронними алгоритмами запропоновано метод шифрування фрактальних зображень за допомогою матриць перетворень.

У четвертому розділі представлено розробку програмної моделі генерації фрактальних зображень типу «Cantor dust» на основі удосконаленого методу побудови фрактальних структур. 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, отримані на основі практичного впровадження, дисертаційної роботи Юнака О.М. обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, що підтверджує теоретичні дослідження практичними результатами.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами експериментальних досліджень та коректним

застосуванням методів, які були використані під час виконання роботи.

Аналіз змісту розділів, використаного інструментарію та способів його застосування дозволяє зробити висновок про належну обґрунтованість наукових результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, повністю обґрунтовано теоретичним аналізом, результатами практичного використання та інформацією з науково-технічної літератури, підтверджено характеристиками впроваджених систем.

6. Практичні результати роботи

Практичне значення одержаних результатів полягає, 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 його 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 відмінно 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 недійсність, 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 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 Коледжі 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 найменування. 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 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні інших держав, що входять до наукометричних баз Scopus/Web of Science, 1 стаття 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. В першому розділі пункт 1.1 та пункт 1.4 доцільніше було б об'єднати у один пункт описавши важливість наукових досліджень в напрямку застосування фрактальних структур в телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

2. Для наочного прикладу в розділі 2 «Удосконалення методу побудови фрактальних зображень з використанням РСІФ» в пункті 2.2 «Удосконалення методу побудови фрактальних зображень з використанням РСІФ» ст. 99-44 доцільніше було використати зображення фрактальних антен ст. 40 рис. 1.14 та ст. 41 рис. 1.16.

3. З тексту третього розділу не зовсім зрозуміло, яким чином автор використовував елементи машинного навчання для аналізу фрактальних структур, оскільки не наведено відповідних даних про навчальні вибірки та тренування моделі.

4. Програмні коди практичної реалізації удосконаленого методу побудови фрактальних зображень з використанням РСІФ мали б бути винесені в додатки.

5. В дисертації виявлено незначну кількість синтаксичних та граматичних неточностей.

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової та практичної цінності.

Висновки щодо дисертації в цілому

Представлена дисертаційна робота Юнака Остапа Мироновича на тему *«Методи побудови та обробки фрактальних зображень з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій»* є завершеною науковою працею, та має теоретичну і практичну цінність. У дисертації вирішено 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 в цілому. *Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».*

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого 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».

Рецензент –

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри телекомунікацій
Національного університету
«Львівська політехніка»



Тарас МАКСИМЮК

Вчений секретар

Національного університету
«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ