

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

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

доктора технічних наук, доцента Бешлея Миколи Івановича
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

Дисертаційна робота "Методи побудови та обробки фрактальних зображень з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій" надзвичайно актуальна в сучасних умовах розвитку телекомунікацій та радіотехніки, особливо у контексті розробки та оптимізації фрактальних антен. Використання фрактальних антен може відігравати ключову роль у покращенні характеристик зв'язку, дозволяючи забезпечити більший діапазон частот та покращену ефективність передавання сигналів. Однією з ключових вагомих частин дослідження є розрахунок параметрів фрактальних структур. Зменшення обчислювальної складності у побудові та аналізі фрактальних структур, що розглядається в роботі, виявляється критичним фактором для оптимізації геометричних та електричних параметрів фрактальних антен. Рандомізована система ітераційних функцій в даному контексті може допомогти у врахуванні широкого спектру параметрів для досягнення оптимальних результатів. Застосування нейронних мереж у вивченні та обробці фрактальних антен може сприяти автоматизації розпізнавання та аналізу їхніх характеристик, що є критичним для визначення ефективності та придатності до застосування в конкретних телекомунікаційних умовах.

Недоліки існуючих систем створення та обробки фрактальних зображень включають ускладненість налаштування параметрів, потребу у значних

обчислювальних ресурсах, неспроможність автоматично вирішувати завдання визначення параметрів фрактальних зображень, неефективність у розпізнаванні та відновленні спотворених фрактальних зображень, обмежену здатність обробки великих об'ємів даних, а також невідповідність сучасним вимогам щодо швидкості, надійності та точності.

Все це зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Юнака Остапа Мироновича присвяченої розв'язанню актуального науково-практичного завдання розробки удосконалених методів побудови фрактальних зображень з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій (РСІФ) та розвитку методів їх розпізнавання, захисту та шифрування із використанням нейронних мереж.

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

Результати наукової новизни включають у себе три ключові аспекти, які чітко визначають авторські внески у контексті обраної тематики:

1. Перше значуще досягнення полягає в удосконаленні методу побудови фрактальних структур. Здобувач використав модифіковану рандомізовану систему ітераційних функцій, де параметри визначаються з урахуванням геометричних властивостей фігур перших ітерацій. Цей метод відрізняється від раніше відомих підходів та забезпечує ефективну можливість подання будь-якого зображення у вигляді фрактальних структур з обмеженими обчислювальними витратами в реальному часі.

2. Другий ключовий внесок стосується розробки методу розпізнавання фрактальних структур, який автор вдосконалив. На відміну від існуючих методів, він використовує нейронні мережі для автоматичного визначення параметрів рандомізованої системи ітераційних функцій на основі самогенерованих фрактальних зображень. Це дозволило розпізнавати складні фрактальні зображення різної якості та формувати їх математичні ітераційні функції для подальшої обробки.
3. Третій аспект стосується запропонованого методу шифрування фрактальних зображень. Він відрізняється від існуючих методів застосуванням надлишковості та рандомізованих матриць переміщення пікселів, змінами яскравості, інверсією та зміною кольорів для захисту від дешифрування. Це призвело до забезпечення прозорості передачі даних, одночасно зберігаючи конфіденційність та 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* проаналізовано види фракталів та методи їх створення. Проведено аналіз методів та алгоритмів побудови фрактальних структур. 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* представлені результати математичного моделювання для побудови фрактальних зображень з використанням модифікованої РСІФ. Удосконалено метод побудови фрактальних зображень з використанням РСІФ. Оцінка обчислювальної складності методів побудови фрактального зображення з використанням РСІФ та ДСІФ показала, 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 методи та модель розпізнавання і шифрування фрактальних зображень на основі нейронних мереж. 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. Запропоновано метод шифрування фрактальних зображень за допомогою матриць перетворень для захисту від дешифрування нейронними алгоритмами.

У *четвертому розділі* здійснена практична реалізація програмного забезпечення та бібліотек запропонованих методів у web-технологіях. Розроблено програмну модель генерації фрактальних зображень типу «Cantor dust» на основі удосконаленого методу побудови фрактальних структур. Розроблена програмна система відновлення (спотворення) та відтворення фрактальних зображень типу «Cantor dust». Розроблена бібліотека 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 належним чином обґрунтовані шляхом теоретичного аналізу, практичного використання результатів та використання інформації, отриманої з науково-технічної літератури. Достовірність положень підтверджена конкретними параметрами впроваджених систем, що обговорювалась на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях під час апробації.

6. Практичні результати роботи

Отримані результати мають важливе практичне значення в різних областях, оскільки розкривають нові можливості та забезпечують ефективні рішення для практичних завдань. Зокрема:

1. *Економія обчислювальних ресурсів та висока точність:* Розроблена програмна модель генерації фрактальних структур дає змогу значно зменшити обчислювальні операції при високій точності формування фрактальних зображень. Це важливо для ефективної обробки великих обсягів даних, зокрема у сферах, де важлива висока роздільна здатність зображень.
2. *Швидке та ефективне навчання нейронних мереж:* Розроблений програмний модуль для навчання нейронних мереж забезпечує автоматичне визначення параметрів рандомізованої системи ітераційних функцій з високою точністю та в режимі реального часу. Це важливо для швидкої обробки даних та визначення оптимальних параметрів фрактальних структур.
3. *Захист документів від підробок:* Розроблений спосіб захисту документів за допомогою фрактальних структур забезпечує високий рівень безпеки. Прив'язка номера документу до фрактального зображення у вигляді водяного знаку з подвійною та потрійною верифікацією забезпечує ефективний захист від підробок та недійсних документів.
4. *Відновлення якості фрактальних зображень:* Розроблений програмний модуль для відновлення якості фрактальних зображень дозволяє ефективно відновлювати та спотворювати якість зображення з урахуванням визначених коефіцієнтів якості.
5. *Швидке визначення фрактальної розмірності:* Розроблена модель для швидкого автоматичного визначення фрактальної розмірності зображення має велике застосування у сферах обробки зображень, комп'ютерної графіки та аналізу даних, дозволяючи швидко та ефективно аналізувати великі обсяги інформації у реальному часі.

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 «Аналіз методів та моделей побудови фрактальних

структур» пункт 1.1 «Види фракталів та методи їх створення» до рис. 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 1.10, 1.12, 1.14, 1.16, 1.18, 1.20, 1.24, 1.26, 1.28 доцільно було б вказати фрактальну розмірність антен, та навести залежності параметрів антени від параметрів фракталу.

2. В роботі описані лише 2D фрактальні структури, доцільно було б запропонувати методи, які можна застосувати і для 3D структур.

3. Доцільно було б для наочного прикладу в другому розділі в пункті 2.2 «Удосконалення методу побудови фрактальних зображень з використанням РСІФ» ст. 123-130 використати зображення фрактальних антен описаних пункті 1.1 «Види фракталів та методи їх створення» до рис. 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 1.10, 1.12, 1.14, 1.16, 1.18, 1.20, 1.24, 1.26, 1.28.

4. В третьому розділі не наведено відповідних даних про навчальні вибірки та тренування моделі для нейронних мереж.

5. У роботі подано обмежену кількість тестових зображень та сценаріїв для використання запропонованих рішень у фрактальному аналізі. Це обмеження може призвести до ступеня неоднорідності в отриманих результатах та обмежити універсальність та ефективність розроблених методів у різних галузях.

6. В четвертому розділі програмні коди практичної реалізації мали б бути винесені в додатки.

7. Методи шифрування можуть потребувати додаткового вивчення стійкості до потенційних атак для підтвердження їхньої ефективності в захисті від несанкціонованого доступу.

8. У роботі не вистачає конкретних практичних експериментів, які б дозволили оцінити та підтвердити ефективність запропонованих методів у практичних умовах проектування телекомунікаційних фрактальних антенних структур. Без таких експериментів важко визначити реальний внесок та переваги, які можуть бути отримані в результаті використання запропонованих підходів у телекомунікаційній галузі.

9. В дисертації виявлені синтаксичні та граматичні неточності.

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

Дисертаційна робота Юнака Остапа Мироновича на тему «Методи побудови та обробки фрактальних зображень з використанням рандомізованої системи ітераційних функцій є завершеною працею, в якій отримані нові наукові результати, що в сукупності забезпечило розв'язання актуального науково-практичного 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. Сама робота достатньо повно опублікована та апробована, відповідає «Паспорту» заявленої спеціальності, вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44), а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Рецензент

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри телекомунікацій
Навчально-наукового Інституту
телекомунікацій радіоелектроніки та
електронної техніки
Національного університету
«Львівська політехніка»



Микола БЕШЛЕЙ

Підпис д.т.н., доцента Бешлея М.І. засвідчую

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»
к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ