

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Колеснікова Дениса Вікторовича

на тему «Метод статичного синтезу апертури в задачах дистанційного

зондування та неруйнівного контролю»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

Радіолокаційні станції з синтезуванням апертури (РСА) є невід'ємною частиною сучасних методів високоточного дослідження космосу, навколишнього середовища, поверхні Землі. Такі системи зазвичай розміщують на бортах космічних та авіаційних носіїв, а роздільна здатність отримуваних радіозображень поверхонь сягає дециметрів, що надає можливість чіткого аналізу об'єкту дослідження в будь-яких погодних умовах, незалежно від часу доби та пори року. В переважній більшості ці системи вирішують питання саме глобального моніторингу, а тому мають свої особливості, серед яких залежність результатів вимірювань від траєкторії руху носія, кута спостереження та ширини сцени огляду. Застосування наявних систем для локальних досліджень фіксованих ділянок поверхні з певними тестовими об'єктами шляхом їх простого переносу на менші відстані та сцени огляду не є можливим. В той самий час значної актуальності набувають системи лабораторних досліджень нових типів поверхонь, відновлення ефективних площ розсіювання тестових моделей літаків та БПЛА, неруйнівного контролю вузлів та систем різних агрегатів, об'єктів в транспортних контейнерах.

Окрім РСА існує і інший підхід до отримання високоточних радіозображень – це технологія апертурного синтезу в радіотелескопах. Такі системи зазвичай застосовують у радіоастрономії при вивченні космічних об'єктів, що можуть не випромінювати жодної інформації у оптичному та інфрачервоному діапазонах. Не зважаючи на високу кутову роздільну здатність, такі системи мають недолік – необхідність розміщувати антени на великих відстанях з базами у кілометри. Такі обмеження також ускладнюють локальне застосування таких систем.

У дисертаційному дослідженні Колеснікова Д. В., питання формування радіозображень статичних сцен тестових поверхонь та об'єктів з високою роздільною здатністю запропоновано вирішити шляхом статистичної оптимізації методу радіобачення в системах з синтезуванням апертури, що рухаються над статичною сценою за непрямолінійною траєкторією. Отримані результати відповідають необхідним показникам точності, дозволяють

проводити вимірювання з малих висот та з використанням існуючих програмно-визначаємих радіосистем. Поставлені автором завдання дослідження актуальні, а отримані результати необхідні та передові.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Під час виконання дисертаційного дослідження здобувач використовував підходи, що засновані на математичній статистиці, статистичній теорії оптимальних рішень та методах розв'язання оптимізаційних задач просторово-часового оброблення сигналів. Отримані результати було досліджено шляхом імітаційного моделювання у комп'ютері процесів випромінювання, віддзеркалення та обробки радіосигналів.

Низка результатів у дисертаційній роботі була підтверджена в межах наукових проєктів, а саме «Основи теорії проектування аерокосмічних когнітивних радарів з оптимальною просторово-часовою обробкою сигналів, розширеною зоною огляду і високою просторовою роздільною здатністю» (№ДР 0120U102082, 2020-2022 рр.) та «Малогабаритний бортовий радар з синтезуванням апертури антени для БПЛА та вертольотів» (№ДР 0224U002816, 2023-2024 рр.), в яких здобувач є співвиконавцем.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному

- отримали подальшого розвитку математичні моделі опису когерентних та некогерентних радіолокаційних зображень, що формуються в радіолокаційних системах з синтезуванням апертури при довільній траєкторії руху носія. На відміну від існуючих моделей, представлені нові аналітичні вирази з одного боку ґрунтуються на точній теорії дифракції, теоремах Кірхгофа і Релея-Зоммерфельда, а з іншого – враховують особливості побудови радіозображень в зонах Френеля і Фраунгофера, що дозволяє визначати фізичну сутність формування радіолокаційних зображень при довільній траєкторії руху, змінних кутах візування, заданих розмірах несинтезованих бортових антен, та параметрах електродинамічних моделей підстильної поверхні.

- вперше отримано метод оптимального формування когерентних радіолокаційних зображень поверхонь з технологією статичного синтезу апертури, який, на відміну від існуючих, дозволяє формувати зображення фіксованої ділянки місцевості з високою роздільною здатністю за дальністю та азимутом за рахунок когерентної просторово-часової обробки безперервних сигналів без модуляції при складних непрямолінійних траєкторіях руху радіолокаційного сенсору.

- удосконалено принципи побудови радіолокаційних систем формування когерентних зображень поверхонь з рухомих носіїв, запропоновано структурну

схему радіотехнічної вимірювальної системи з технологією статичного синтезування апертури, яка відповідає новому синтезованому оптимальному методу високоточного радіобачення фіксованої сцени огляду.

— отримав подальшого розвитку метод імітаційного моделювання радіолокаційних зображень поверхонь, який враховує умови огляду сцени, траєкторію руху носія радіовимірювача та її випадкову варіацію, алгоритми когерентного оброблення прийнятих траєкторних сигналів та внутрішні шуми системи. Новизною вирізняється методи врахування складних траєкторій руху носія та оброблення безперервних траєкторних сигналів при побудові когерентних радіолокаційних зображень.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання статистичного синтезу методу та алгоритму формування радіозображень статичних сцен з високою роздільною здатністю та розробки принципів їх практичної реалізації у системах дистанційного зондування та неруйнівного контролю виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Колеснікова Д. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям 17 Електроніка та телекомунікації.

З огляду на звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що рукопис Колеснікова Дениса Вікторовича є результатом його самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак порушення принципів академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою з дотриманням наукового стилю та коректним використанням загальнонаукових і фахових термінів. Робота має логічну структуру, теоретичні та практичні положення у ній викладені послідовно, є повними та розкривають головні наукові ідеї автора.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації – 166 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, виконано узагальнений аналіз переваг та недоліків існуючих систем формування радіозображень. На основі аналізу сформована мета дослідження й часткові завдання, виконання яких дозволить її досягти. Також у розділі наведені пункти наукової новизни проведеного дослідження, вказані науково-дослідні роботи, в яких знайшли відображення результати дослідження, та зазначено особистий внесок здобувача.

У **першому** розділі дисертаційної роботи проводиться огляд існуючих радіолокаційних станцій з технологіями синтезування апертури і апертурним синтезом. Детально аналізуються максимальні розділові здатності таких систем, що відображає сучасний стан розвитку та можливу отримувану якість формованих радіозображень. Сформульовано основні задачі наукового дослідження та відображено теоретичні основи синтезу оптимального алгоритму синтезування апертури.

У **другому** розділі надається евристичний метод формування високоточних синтезованих зображень у просторово-розподілених і багатооглядових системах радіобачення. Зокрема, обумовлюється поняття когерентного зображення в радіолокаційних станціях з синтезуванням апертури, детально розкриваються можливості формування синтетичного розкриття антени за умови різних методів огляду поверхні у зонах Френеля та Фраунгофера. Демонструється процес отримання вузьких за обома координатами функцій невизначеності, що репрезентує роздільну здатність системи, у некогерентних зображеннях при деяких непрямолінійних траєкторіях огляду.

У **третьому** розділі методом максимуму функціоналу правдоподібності синтезовано оптимальний та квазі-оптимальний методи формування радіозображень з технологією статичного синтезу апертури. Запропоновано геометрію огляду фіксованої ділянки поверхні радіолокаційною системою, що рухається на певній висоті по нелінійним траєкторіям. Виконано опис алгоритмічних операцій оброблення сигналів. Запропоновано структурну схему радару формування радіозображень поверхонь, що відображає усі основні операції обробки сигналів згідно з розробленим оптимальним методом.

Четвертий розділ присвячений імітаційному моделюванню розробленого квазі-оптимального алгоритму обробки прийнятих коливань. Для визначених параметрів моделювання було досліджено десять можливих траєкторій руху носія сканування та отримано функції невизначеності системи для кожної з них. Досліджено якість відновлення тестового зображення як суб'єктивно так і використовуючи низку референтних метрик. Проаналізовано похибки відновлення тестового зображення за наявності варіацій у траєкторії руху

шляхом обчислення середньоквадратичної похибки для кожного зі значень варіації.

У **висновках** узагальнено результати, отримані автором у проведеному дисертаційному дослідженні. Також стислі висновки наведено після кожного розділу.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені здобувачем: у 1 статті у науковому фаховому виданні України категорії «Б»; у 2 статтях у науковому періодичному виданні, що індексується н.м.б.д. Scopus, що віднесені до третього квартиля (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; у 1 статті у науковому фаховому виданні України, що індексується н.м.б.д. Web of Science Core Collection. Водночас результати дисертації були апробовані на 3 міжнародних англomовних фахових конференціях, матеріали яких індексуються н.м.б.д. Scopus або Web of Science Core Collection. Здобувач доповідав на «2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)» (2022 рік, Київ, Україна), «2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics» (2023 рік, Київ, Україна); «Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering» (2023 рік, Харків, Україна).

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі здобувачем запропоновано новий метод статичного синтезування апертури, який дозволить підвищити роздільну здатність радіозображень фіксованих тестових сцен, проте не наведено відмінності отриманих операцій від існуючих класичних операцій когерентного накопичення траєкторного сигналу та його узгодженої обробки в існуючих РСА.

2. У роботі не обґрунтовано залежності частоти дискретизації прийнятих сигналів від складності траєкторії руху носія радіосистеми. Більш складні траєкторії призведуть до формування більш високочастотних комплексних амплітуд в прийнятих сигналах і вимагатимуть високошвидкісних АЦП та ПЛІС. Вибір таких цифрових процесорів не обґрунтовано.

3. Відсутнє дослідження поточного стану радіoeлементної бази, на основі якої можна реалізувати радіотехнічну систему з запропонованим методом синтезування апертури.

4. В імітаційному моделюванні радіозображення було сформовано шляхом згортки тестового зображення з функцією невизначеності системи. Водночас запропонований підхід моделювання не відображає повний процес оброблення сигналів після їх випромінювання, віддзеркалення від тестової поверхні та прийому радіолокаційним сенсором в різних точках простору.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

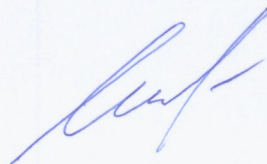
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Колеснікова Дениса Вікторовича на тему «Метод статичного синтезу апертури в задачах дистанційного зондування та неруйнівного контролю» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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 р. № 44.

Здобувач Колеснікова Денис Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент:

Професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ім. В. В. Поповського Харківського національного університету радіоелектроніки,

доктор технічних наук, професор



Ігор ШОСТКО

Підпис доктора технічних наук, професора Шостко І. С. засвідчую:

Наз. Іск. Хмчур



Сергій ЧЕРЕКА