

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Аль-Сенайха Раеда Жихадовича на тему «Методи адаптивної фільтрації
спекл-шуму та апіорного оцінювання якості радіолокаційних зображень на
основі нейронних мереж», яка представлена на здобуття ступеня доктора
філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

Радіолокаційні системи з синтезованою апертурою (РСА) є одним із ключових інструментів сучасного дистанційного зондування Землі, оскільки забезпечують отримання зображень незалежно від освітлення та хмарності. Результати їх застосування знаходять широке використання, зокрема в моніторингу сільськогосподарських угідь, картографуванні наслідків надзвичайних ситуацій, контролі водних об'єктів та інфраструктури, задачах оборонного характеру тощо. Водночас принциповою особливістю РСА-зображень є наявність спекл-шуму – мультиплікативної, негауссівської та просторово корельованої завади, яка суттєво ускладнює як візуальне дешифрування, так і роботу алгоритмів автоматизованого аналізу.

Класичні локально-статистичні фільтри (Лі, Фроста, Куана, Gamma MAP) потребують ручного налаштування параметрів (розміру ковзного вікна, коефіцієнта демпфування), що є неприйнятним в умовах конвеєрної обробки великих обсягів супутникових даних, наприклад продуктів місії Sentinel-1. Натомість суто нейромереві методи деспеклізації, попри високу ефективність, здебільшого функціонують як «чорні скриньки» без фізичної інтерпретованості. Окрім того, в операційних сценаріях еталонне (безшумне) зображення принципово відсутнє, що унеможливорює пряме оцінювання якості фільтрації та обумовлює потребу в апіорному прогнозуванні її ефективності. Тому задля

побудови відповідних систем необхідним є проведення: дослідження наявних класичних та нейромережевих методів деспеклізації з точки зору їх точності та керованості; розробки методів апріорного прогнозування значень метрик якості без еталона; обґрунтування автоматизованого вибору параметрів фільтрації; створення гібридних архітектур, що поєднують фізично обґрунтовані моделі фільтрів із навчальними механізмами глибоких нейронних мереж. Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню саме цих завдань, а тому є актуальним і безумовно важливим з теоретичної та практичної точок зору.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

У дисертації вперше запропоновано гібридний метод деспеклізації VGG16-FrostNet, у якому класичний фільтр Фроста інтегровано в обчислювальний граф глибокої нейронної мережі у вигляді диференційованого шару, а модуль просторово-канальної уваги CBAM прогнозує попіксельну карту коефіцієнта демпфування. На відміну від відомих підходів, де параметр демпфування є статичною константою для всього зображення, запропонований метод забезпечує просторово-адаптивне керування ступенем згладжування, що дозволяє поєднати інтенсивне придушення шуму на однорідних ділянках зі збереженням контурів та точкових відбивачів. Обґрунтованою є й запропонована модифікація математичної моделі фільтра (заміна квадрата локального коефіцієнта варіації на першу ступінь із компенсацією через просторово-змінний коефіцієнт), яка забезпечує числову стабільність градієнтів під час наскрізного навчання.

У роботі удосконалено метод апріорного прогнозування якості фільтрації PCA-зображень: на основі адаптованої архітектури DenseNet-121 забезпечено прогнозування абсолютних значень п'яти метрик якості (PSNR, WSNR, SSIM, MS-SSIM, FSIM) для шести класичних фільтрів до їх фактичного застосування та без використання еталона на етапі інференсу. Такий підхід враховує

статистичні результати досліджень, проведених на репрезентативному напівсинтетичному наборі даних із контрольованими характеристиками шуму, та забезпечує середній коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9732$.

Також набув подальшого розвитку метод автоматизованого вибору параметрів фільтрації, у якому задачу визначення оптимального розміру вікна фільтра Лі переформульовано з двоетапної регресійної схеми на пряму багатокласову класифікацію на базі компактної архітектури MobileNetV2. Запропонований підхід усуває накопичення похибок регресії, забезпечує точність класифікації 87,17 % та є придатним для реалізації на обчислювально обмежених платформах.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним застосуванням математичного апарату статистики спекл-шуму, узгодженістю наведених аналітичних виразів із першоджерелами, використанням загальноприйнятих метрик якості, розділенням навчальної та тестової вибірок на рівні сцен, а також узгодженістю числових результатів між таблицями роботи. Отримані результати є новими. Обґрунтування доцільності їх використання проведено із застосуванням релевантних індикаторів та загальноприйнятих метрик.

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

Дисертація є завершеним науковим дослідженням. Вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (163 найменування) та додатків.

У першому розділі проаналізовано фізичну природу та статистичні моделі спекл-шуму в однопоглядових і багатопоглядових РСА-зображеннях, розглянуто класичні локально-статистичні фільтри (Лі, Куана, Фроста, Gamma MAP) та їх обмеження, систематизовано сучасні нейромережеві методи деспеклізації, а

також повнореференсні, перцептивні та безеталонні метрики оцінювання якості. Сформульовано постановку задач дослідження.

Другий розділ присвячено розробці методики формування напівсинтетичного набору даних на основі оптичних знімків Sentinel-2 з гістограмним узгодженням до радіометрики Sentinel-1 та моделюванням гамма-розподіленого спеклу, а також побудові й експериментальному дослідженню моделей апіорного прогнозування метрик якості (DenseNet-121) та класифікації оптимального розміру вікна фільтра Лі (MobileNetV2).

Третій розділ досліджує розроблену диференційовану математичну модель фільтра Фроста, архітектуру гібридного методу VGG16-FrostNet із модулем уваги СВМ, комплексну функцію втрат та результати кількісного порівняння з оптимізованим класичним фільтром Фроста.

Четвертий розділ присвячено систематизації парадигм гібридизації класичних методів обробки сигналів і глибокого навчання, аналізу отриманих результатів у цьому контексті та формулюванню практичних рекомендацій щодо впровадження розроблених методів у конвеєри обробки даних дистанційного зондування.

Робота є оригінальною і виконана автором самостійно. Основні результати опубліковано у виданнях, що верифікуються за DOI, ключові положення новизни узгоджуються зі змістом розділів. У роботі дотримано норм наукової етики та принципів академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів.

Мова та стиль викладення результатів у представленому дисертаційному дослідженні відповідають науковим стандартам і характеризуються чіткістю та логічністю. Продемонстровано володіння науковою термінологією у галузях цифрової обробки сигналів, радіолокаційного зондування та глибокого навчання, що забезпечує коректну інтерпретацію отриманих результатів. Структура викладу є послідовною: від статистичних моделей шуму через

постановку задач до архітектурних рішень та експериментальної верифікації. Стиль викладення поєднує академічну строгість із доступністю, що сприяє ефективному сприйняттю наукової інформації та можливості її подальшого використання у наступних дослідженнях.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати дисертаційного дослідження представлено у 6 наукових працях, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях (у тому числі 1 стаття у виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus) та 3 доповіді на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Опубліковані праці у повному обсязі відображають основні наукові результати дисертації: апріорне прогнозування метрик якості, класифікаційний вибір розміру вікна фільтра Лі та гібридний метод VGG16-FrostNet.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі оцінку обчислювальної складності практичного застосування розроблених моделей (пп. 2.5.6, 2.5.12, розд. 4) наведено лише на якісному рівні; кількісні показники (час інференсу, кількість параметрів, обсяг обчислень FLOPs) для запропонованих архітектур не наведені, що ускладнює обґрунтування придатності методів для потокової та бортової обробки.

2. Вибір базових архітектур (DenseNet-121, MobileNetV2, VGG16) обґрунтовано лише концептуально; порівняльні експерименти з альтернативними базовими мережами не наведені, а твердження щодо переваги VGG16 над архітектурами із залишковими зв'язками (п. 3.2.1) та над альтернативою MobileNetV2-FrostNet (розділ 4) не підкріплені кількісними результатами в тексті роботи.

3. Наявні незначні розбіжності між детальними та агрегованими результатами: зокрема, середнє значення R^2 для фільтра Фроста за даними табл. 2.2 становить 0,981, тоді як у табл. 2.4 наведено 0,978; окремі усереднені значення в табл. 2.3 (для PSNR та MS-SSIM) відрізняються від перерахованих за

табл. 2.2 у третьому знаку. Крім того, у висновках поєднано загальну точність 87,17 % та збалансовану точність 88,94 %, які відповідають різним конфігураціям експерименту (за критеріями FSIM та MS-SSIM відповідно), що доцільно було б зазначити явно.

4. У тексті роботи містяться незначні огріхи оформлення формул. Зокрема, для деяких виразів надано недостатній опис компонентів - окремі елементи не пояснено після першого використання (формула (2) та ін.).

5. Якість виконання деяких рисунків (роздільна здатність та розмір тексту) ускладнює сприйняття наведеної на них інформації (зокрема, Рис. 2.1 та 2.4.).

6. Структурування окремих підрозділів є надмірно подрібненим (зокрема, пп. 2.5.1-2.5.18 та нумерація виду 3.3.0.1-3.3.0.8).

Висловлені зауваження не применшують наукові досягнення дисертації та не впливають на позитивний висновок про належний рівень дослідження.

Загальний висновок щодо дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Аль-Сенайха Раеда Жихадовича на тему «Методи адаптивної фільтрації спекл-шуму та апріорного оцінювання якості радіолокаційних зображень на основі нейронних мереж» виконана на належному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання автоматизації деспеклізації та апріорного оцінювання якості радіолокаційних зображень, що має істотне значення для галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною 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 Аль-Сенайх Раед Жихадович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Рецензент:

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри
інформаційно-комунікаційних
технологій ім. О. О. Зеленського
Національного аерокосмічного
університету
«Харківський авіаційний інститут»

Віктор МАКАРІЧЕВ