

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

на тему “Методика підвищення інформативності космічних знімків, отриманих за допомогою багатополаризаційного радару з синтезованою апертурою”,

здобувача ступеня доктора філософії

Лисенка Артура Ростиславовича

з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Фаховий семінар проведений на розширеному засіданні відділу геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях (ГПМ в АКД) Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України» «12» вересня 2023 року, протокол № 1.

1. Актуальність теми дослідження

Сучасні потреби людства створюють нові науково-технічні виклики для дослідників у зв'язку з реальними обставинами. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) відіграє важливу роль у вирішенні цих завдань, оскільки дозволяє отримувати дані про Землю на великій відстані та в глобальному масштабі. Сучасні досягнення в оптиці та радіоелектроніці дозволяють досліджувати об'єкти в спектрах, невидимих для людського ока. Це дає змогу отримувати об'ємну інформацію про об'єкти дослідження у різних аспектах, а також розвивати алгоритми та методи для виявлення, класифікації та діагностики об'єктів. Для досягнення наукових цілей важливо мати якісні дані. Характеристики супутникових зображень, такі як яскравість, контраст і відношення "сигнал-шум", а також просторова розрізненність, впливають на інформативність супутникових даних. Покращення просторової розрізненності може бути досягнуте шляхом зміни технічних характеристик системи, але це може бути дорогим і складним процесом. Програмні методи обробки даних можуть бути більш вартісними та менш складними з точки зору технічної реалізації, але все ж можуть значно покращити просторову розрізненність супутникових знімків шляхом аналізу і перетворення існуючих даних. Радарне дистанційне зондування використовує радіохвильовий діапазон і дозволяє отримувати дані незалежно від погодних умов та в нічний час. Розвиток методів радарного ДЗЗ і поляриметрії вимагає нових алгоритмів для підвищення інформативності супутникових знімків у цьому контексті.

Отже, розробка методики підвищення інформативності супутникових знімків, отриманих за допомогою багатополаризаційного радару з синтезованою апертурою, є актуальним науковим завданням сьогодення.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана в рамках наукових досліджень, що проводились у Державній установі “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” за такими темами: “Методи тематичного аналізу гетерогенних геопросторових даних при вирішенні задач дистанційного зондування Землі в умовах неповноти та обмеженості наявної інформації” (державний реєстраційний номер 0116U000144); “Розробка нових методів обробки та аналізу супутникових зображень в інтересах вирішення задач сталого розвитку і раціонального природокористування” (державний реєстраційний номер 0121U100673); “Методика оцінювання динаміки опустелювання на основі даних супутникового знімання на прикладі піщаного масиву Олешківські піски” (державний реєстраційний номер 0121U111862); “Програмний модуль підвищення просторової розрізненості оптимального набору субпіксельно зміщених зображень” (державний реєстраційний номер 0122U201983); “Оцінка ризиків негативних змін навколишнього середовища за даними дистанційного зондування Землі” (державний реєстраційний номер 0122U002443).

3. Наукова новизна отриманих результатів.

1. *Вперше* розроблено методику підвищення інформативності космічних знімків, отриманих за допомогою багатополаризаційного радару з синтезованою апертурою. Методика забезпечує підвищення просторової розрізненості вихідного радіолокаційного зображення за рахунок спільної субпіксельної обробки кількох вхідних зображень, отриманих в кожній поляризації окремо та переведених до єдиної фізичної величини, притаманної земної поверхні – діелектричній проникності, шорсткості, вологовмісту та таке інше. В результаті такого перетворення стає можливим коректно застосувати алгоритм надрозрізненості до сукупності різнополаризаційних радіолокаційних зображень.

2. *Удосконалено* модель перетворення різнополаризаційних радарних даних в діелектричну проникність земної поверхні шляхом накладання фізично обумовлених обмежень цільової величини та застосування ітераційного прямого-оберненого моделювання відбитого радіолокаційного сигналу.

3. *Удосконалено* алгоритм відновлення спільного зображення субпіксельної розрізненості із набору супутникових знімків за рахунок його адаптації до радіолокаційних даних, яка полягає в застосуванні додаткової спекл-фільтрації безпосередньо в частотній області, де виконується і вся інша обробка.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

За результатами експериментального тестування на багатьох реальних двополаризаційних радарних зображеннях розроблена методика забезпечила, в середньому, підвищення інформативності на 85.4 %. Окрім, власне,

підвищення інформативності матеріалів багатополаризаційного радарного знімання запропонована методика забезпечує відтворення просторового розподілу цільової фізичної характеристики земної поверхні підвищеної розрізненості, що відповідає сучасній концепції ARD (analysis-ready data), яка передбачає отримання з сирих супутникових даних карт фізичних/біофізичних параметрів земної поверхні, зрозумілих фахівцям з тематичних наземних досліджень.

5. Використання результатів роботи

Застосування розробленої методики може бути корисним для покращення інформативності багатополаризаційних радіолокаційних даних у задачах моніторингу навколишнього середовища за участю Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України; моніторингу, аналізу та запобіганню природних катастроф за участю Державної служби України з надзвичайних ситуацій; при вирішенні тематичних задач з використанням радіолокаційних супутникових систем у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів; обробки та аналізу результатів радіолокаційного знімання при проведенні наукових досліджень у Національній академії наук України; у прикладних наукових дослідженнях (Д.1); у навчальних процесах ННІ, де застосовуються супутникові радарні дані (Д.2).

6. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі.

Дисертаційна робота виконана у відділі геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», науковий керівник д.т.н., проф., зав. відділу геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях Станкевич С.А.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Лисенка А.Р. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць, у тому числі 3 розділи у монографії, з них 2 проіндексовані у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, 2 статті в інших закордонних виданнях, 1 патент України, 3 тези доповідей в збірниках матеріалів конференцій, з яких одна проіндексовані у базі даних Scopus.

(Далі роботи наводяться у такому порядку: монографії, статті у наукових фахових виданнях, інших виданнях, авторські свідоцтва, патенти, матеріали конференцій).

При наведенні статей у фахових виданнях вказується, які з них надруковано у закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus, у фахових виданнях України категорії «А», категорії «Б», інших закордонних виданнях (крім видань держави, визнаної Верховною Радою України державою-агресором).

Після кожної роботи, яка опублікована зі співавторами, наводиться також особистий внесок здобувача.).

Розділи у монографіях

1. Stankevich, S., Piestova I., Lubskiy, M., Shklyar, S., Lysenko, A., Maslenko O., & Rabcan, J. (2021). Knowledge-Based Multispectral Remote Sensing Imagery Superresolution. *Studies in Computational Intelligence*, 219–236. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-74556-1_13, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74556-1_13 (Індексація: Scopus. Особистий внесок: аналіз інформативності супутникових зображень; аналіз методів підвищення просторової розрізненності супутникових зображень; застосування моделі підвищення просторової розрізненності зображення)

2. Stankevich, S., Piestova, I., Shklyar, S., & Lysenko, A. (2019). Satellite Dual-Polarization Radar Imagery Superresolution Under Physical Constraints. In: Shakhovska N., Medykovskyu M.O. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing IV. CSIT 2019*, Springer, Cham, 1080. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_30, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-33695-0_30 (Індексація: Scopus. Особистий внесок: застосування моделі ІЕМ до перетворення радарних даних в значення синтетичної діелектричної проникності земної поверхні; застосування моделі субпіксельного зміщення для оцінки зміщення пари зображень; застосування моделі підвищення просторової розрізненності; застосування моделі оцінки просторової розрізненності)

3. Popov, M., Stankevich, S., Kozlova, A., Piestova, I., Lubskiy, O., Titarenko, O., Svideniuk, M., Andreiev, A., Lysenko, A., & Singh, S.K. (2021). Long-Term Satellite Data Time Series Analysis for Land Degradation Mapping to Support Sustainable Land Management in Ukraine. *Advances in Geographical and Environmental Sciences*, 165–189. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-4768-0_11, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-4768-0_11 (Індексація: інші закордонні видання. Особистий внесок: аналіз залежності якості класифікації об'єктів земної поверхні від значень просторової розрізненності та шумової складової супутникових зображень)

4. Stankevich, S. A., Svideniuk, M. O., & Lysenko, A. R. (2021). Land Surface Roughness Parameter Retrieval by Inverse Simulation of Dual-Polarization Radar Backscattering. *Applied Questions of Mathematical Modeling*, 4(2.1). DOI: <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.2.1.22>, URL: <https://ojs.kntu.net.ua/index.php/aqmm/article/view/150/186> (Індексація: фахове видання України категорії «Б». Особистий внесок: застосування моделі зворотного розсіювання до моделювання шорсткості земної поверхні; оцінка довжини кореляції горизонтального профілю земної поверхні)

5. Stankevich, S. A., Popov, M., Shklyar, S., Sukhanov K., Andreiev A., Lysenko, A., Xing, K., Cao, S., Shh, Y., & Sun, B. (2020). Estimation of mutual

Матеріали опубліковані у фахових періодичних виданнях

4. Stankevich, S. A., Svideniuk, M. O., & Lysenko, A. R. (2021). Land Surface Roughness Parameter Retrieval by Inverse Simulation of Dual-Polarization Radar Backscattering. *Applied Questions of Mathematical Modeling*, 4(2.1). DOI: <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.2.1.22>, URL: <https://ojs.kntu.net.ua/index.php/aqmm/article/view/150/186> (Індексація: фахове видання України категорії «Б». Особистий внесок: застосування моделі зворотного розсіювання до моделювання шорсткості земної поверхні; оцінка довжини кореляції горизонтального профілю земної поверхні)

5. Stankevich, S. A., Popov, M., Shklyar, S., Sukhanov K., Andreiev A., Lysenko, A., Xing, K., Cao, S., Shh, Y., & Sun, B. (2020). Estimation of mutual

subpixel shift between satellite images: software implementation. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 24, 9–14. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2020.24.165>, URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/165/186> (Індексація: фахове видання України категорії «Б»). *Особистий внесок*: розробка моделі та алгоритму оцінки цілопиксельного зміщення пари зображень з їх застосуванням; розробка моделі та алгоритму оцінки субпиксельного зміщення пари зображень з їх застосуванням)

6. Stankevich, S., Shklyar, S., & Lysenko, A. (2018). Software module for estimating subpixel shift of images acquired from quadcopter. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 17, 10–13. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2018.17.128>, URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/128/144> (Індексація: фахове видання України категорії «Б»). *Особистий внесок*: оцінка субпиксельного зміщення пари зображень; трансформування кольорових зображень в панхроматичний вигляд; збір даних за допомогою квадрокоптера)

7. Stankevich, S., Lybskyi M., & Lysenko, A. (2018). Aerial imaging superresolution based on subpixel processing of images acquired by quadcopter. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 15, 40–42. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2017.15.113>, URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/113/130> (Індексація: фахове видання України категорії «Б»). *Особистий внесок*: застосування моделі підвищення просторової розрізненності зображення, отриманого за допомогою квадрокоптера; оцінка просторової розрізненності)

8. Лисенко, А. (2023). Методика підвищення інформативності космічних знімків, отриманих за допомогою багатополаризаційного радару з синтезованою апертурою. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 10(3), 10-15. (Індексація: фахове видання України категорії «Б»)

9. Stankevich, S. A., Piestova, I. O., & Lysenko, A. R. (2020). Radar Data Product Superresolution under Parameter Variation. *Central European Researchers Journal*, 6(2), 8–13. URL: https://ceres-journal.eu/download.php?file=2020_02_02.pdf (Індексація: інші закордонні видання (InfoBase Index, Academic Resource Index ResearchBib)). *Особистий внесок*: оцінка можливостей зведення різнополаризаційних даних в єдине значення діелектричної проникності земної поверхні; застосування моделі та алгоритму підвищення просторової розрізненності супутникового зображення; застосування моделі оцінки просторової розрізненності)

10. Stankevich, S., Popov, M., Shklyar, S., Sukhanov, K., Andreiev, A., Lysenko, A., Kun, X., Shixiang, C., Yupan, S., Xing, Z., & Boya, S. (2020). Subpixel-shifted Satellite Images Superresolution: Software Implementation. *WSEAS Transactions on Computers*, 19, 31–37. DOI: <https://doi.org/10.37394/23205.2020.19.5>, URL: <https://wseas.com/journals/computers/2020/a105105-063.pdf> (Індексація: інші закордонні видання. *Особистий внесок*: розробка та застосування моделей та алгоритмів підвищення просторової розрізненності супутникових зображень; оцінка просторової розрізненності)

Патент

11. Спосіб підвищення просторової розрізненності розподілу температури земної поверхні, одержаного дистанційно. Станкевич С. А.,

Пестова І. О., Лубський М. С., Лисенко А. Р.: пат. 126778 Україна: МПК G06T5/50, G06T7/32, G06V10/20, G06V10/36. № а 2021 01200; заявл. 10.03.2021; опубл. 01.02.2023, Бюл. №5 (*Особистий внесок*: застосування моделі підвищення просторової розрізненності зображення; застосування моделі оцінки просторової розрізненності зображення)

Апробація матеріалів дисертації

12. Stankevich, S. A., Lubskiy, M. S., & Lysenko, A. R. (2021). Long-wave infrared remote sensing data spatial resolution enhancement using modulation transfer function fusion approach. *2021 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, 89–94, DOI: <https://doi.org/10.1109/IDT52577.2021.9497630>, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9497630> (Індексація: Web of Science). *Особистий внесок*: аналіз методів підвищення просторової розрізненності зображення; застосування моделі для оцінки просторової розрізненності зображення)

13. Stankevich, S., Piestova, I., Shklyar, S., & Lysenko, A. (2019). Physically Constrained SAR Data Superresolution. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 228–231. DOI: <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2019.8929833>, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8929833> (Індексація: Scopus. *Особистий внесок*: розробка та застосування алгоритму обробки радарних зображень з метою підвищення їх просторової розрізненності; розробка та застосування алгоритму зведення різнополяризаційних даних в діелектричну проникність земної поверхні; застосування моделі підвищення просторової розрізненності зображення; оцінка просторової розрізненності)

14. Stankevich S.A., Andreiev A.A., & Lysenko A.R. (2020). Multiframe remote sensed imagery superresolution. *Proceedings of the 15th International Scientific-Practical Conference on Mathematical Modeling and Simulation Systems (MODS 2020)*, 128–131. (Індексація: інші закордонні видання). *Особистий внесок*: застосування моделі підвищення просторової розрізненності зображення; застосування моделі оцінки субпіксельного зсуву пари зображень; оцінка просторової розрізненності)

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Лисенка Артура Ростиславовича “Методика підвищення інформативності космічних знімків, отриманих за допомогою багатополіризаційного радару з синтезованою апертурою”, яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 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 12.01.2022 р № 44 та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту

геологічних наук Національної академії наук України» зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніки.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу “Методика підвищення інформативності космічних знімків, отриманих за допомогою багатопляризаційного радару з синтезованою апертурою”, подану Лисенком Артуром Ростиславовичем на здобуття ступеня доктора філософії, **до захисту.**

Головуючий на засіданні
відділу геопросторового
моделювання в аерокосмічних
дослідженнях

член-кореспондент НАН України,
д.фіз.-мат.н., професор, головний
науковий співробітник відділу
ГПМ в АКД ЦАКДЗ ІГН НАН України

Олександр ФЕДОРОВСЬКИЙ

Підпис Олександра Федоровського
засвідчую

учений секретар ЦАКДЗ ІГН НАН України
к.т.н., ст. дослідник



Анна ХИЖНЯК