

АНОТАЦІЯ

Рубель Андрій Сергійович. Методи сервісно-орієнтованої обробки багатоканальних зображень дистанційного зондування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, 2020.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню та розробці нових ефективних сервісно-орієнтованих методів у застосуванні до обробки багатоканальних зображень дистанційного зондування. Об'єктом дослідження є процес обробки багатоканальних зображень ДЗЗ, спотворених шумом. Предметом дослідження є методи сервісно-орієнтованої обробки багатоканальних зображень ДЗЗ.

У роботі виконано аналітичний огляд основних характеристик сучасних систем ДЗЗ, сервісів і методів обробки, що надаються такими системами, а також типи і характеристики зображень різних систем ДЗЗ та моделі присутнього на них шуму. Встановлено, що основним фактором, який значно погіршує якість отриманих зображень ДЗЗ, є наявність доволі інтенсивних шумів, які бажано видаляти. Це зумовлює застосування методів фільтрації зображень з метою придушення присутнього на них шуму. Виявлено, що існуючі методи фільтрації не завжди забезпечують підвищення якості зображення після їх застосування. Основна проблема, з якої стикаються існуючі методи фільтрації, є обробка локально-активних ділянок зображення, тобто околів меж, малорозмірних об'єктів і текстур. Застосування фільтрації може вносити додаткові небажані артефакти і надмірне згладжування локально-активних ділянок зображень, що може погіршити ефективність розв'язання завдань подальших етапів обробки зображень і не задовільнити потреби кінцевих користувачів при наданні різних сервісів обробки даних ДЗЗ. Показано, що інколи позитивний ефект від застосування фільтрації є

незначним або може взагалі не існувати, тому варто відмовитися від її застосування, що дозволить заощадити час обробки і обчислювальні ресурси. Показано необхідність удосконалення і розробки нових методів прогнозування ефективності фільтрації та показників (мір) якості первинних зображень ДЗЗ для визначення доцільності застосування фільтрації.

За результатами проведеного аналізу у роботі поставлено та вирішено **актуальне науково-прикладне завдання** розроблення сервісно-орієнтованих методів обробки зображень ДЗЗ, які враховують специфіку завад, що присутні в зображеннях, для оцінювання потенційної ефективності фільтрації і визначення доцільності її застосування. Розроблено метод локально-адаптивної фільтрації із застосуванням тетролет-перетворення, метод прогнозування ефективності фільтрації та метод прогнозування показників (мір) якості для первинних зображень ДЗЗ із застосуванням багат шарових нейронних мереж.

Для вирішення наукових завдань використовувалися методи теорії ймовірностей і математичної статистики, математичне та чисельне моделювання, методи регресійного аналізу, теорія нелінійної фільтрації, методи машинного навчання.

Мета дисертаційної роботи полягає в розробці сервісно-орієнтованих методів попередньої обробки зображень ДЗЗ для підвищення ефективності наступних етапів обробки, зокрема розробці методів оцінки якості первинних зображень ДЗЗ і удосконаленню прогнозування показників ефективності фільтрації для прийняття рішення щодо доцільності її застосування.

Відповідно до поставленої мети в дисертаційній роботі сформульовано і вирішено такі основні завдання:

- аналіз шуму, що присутній на зображеннях ДЗЗ;
- дослідження і аналіз доцільності застосування фільтрації зображень ДЗЗ;
- дослідження і удосконалення локально-адаптивного методу фільтрації радіолокаційних зображень;
- дослідження і удосконалення методу прогнозування ефективності фільтрації для зображень ДЗЗ;
- розробка методу прогнозування показників якості первинних зображень ДЗЗ.

Проаналізовано характеристики зображень існуючих систем ДЗЗ, основні типи і моделі шумів, які присутні на зображеннях ДЗЗ, а також методи обробки зображень ДЗЗ і підходи до оцінки їх ефективності.

Виконано аналіз доцільності застосування фільтрації зображень, спотворених шумом. Показано, що найбільша ефективність фільтрації з точки зору візуальної якості спостерігається при піковому відношенні сигнал-шум первинних зображень порядку 24-29 дБ. Виявлено міри візуальної якості зображень, які є найбільш адекватними, що дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо доцільності фільтрації зображень. Надані практичні рекомендації і розроблено алгоритм прийняття рішення щодо доцільності застосування фільтрації зображень.

Удосконалено метод локально-адаптивної фільтрації радіолокаційних зображень, спотворених спекл-шумом із застосуванням тетролет-перетворення, що дозволяє підвищити ефективність фільтрації і водночас зберегти малорозмірні об'єкти, межі, текстури.

Удосконалено метод прогнозування показників ефективності фільтрації зображень ДЗЗ на основі багатошарової нейронної мережі завдяки використанню запропонованого набору параметрів, що дозволило підвищити точність прогнозування в порівнянні з розробленими раніше методами. Особливостями запропонованого методу є те, що він не потребує жодних апріорних або заздалегідь оцінених характеристик шуму на відміну від розроблених раніше методів прогнозування. Показано, що запропонований метод прогнозування показників ефективності фільтрації дозволив покращити точність прогнозування (знизити середньоквадратичну похибку в 2-3 рази у порівнянні з аналогами), що сприяє більш надійному прийняттю рішень щодо доцільності застосування фільтрації.

В дисертаційній роботі **вперше запропоновано** метод прогнозування показників (мір) якості первинних зображень ДЗЗ з використанням багатошарової нейронної мережі, який відрізняється від відомих тим, що використовує в якості вхідних параметрів статистичні характеристики зображень в просторовій і спектральній областях, при відсутності еталонного (без шуму) зображення та, можливо, без попередніх оцінок характеристик шуму.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що: розроблено метод прогнозування показників (мір) якості первинних зображень ДЗЗ і прийняття рішення щодо доцільності виконання фільтрації, точність якого становить 0,91-0,99 для різних показників якості відповідно до критерію \bar{R}^2 (коефіцієнта детермінації); запропоновані підходи до прогнозування ефективності фільтрації дозволили покращити точність прогнозування (знизити середньоквадратичну похибку в 2-3 рази у порівнянні з аналогами), що сприяє більш надійному прийняттю рішень щодо доцільності виконання фільтрації; виявлено міри візуальної якості без наявності еталону, які є найбільш адекватними (характеризуються найвищими значеннями рангової кореляції Спірмена із осередненою думкою людей), що дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо доцільності фільтрації зображень; доведено, що найбільша ефективність фільтрації з точки зору візуальної якості спостерігається при піковому відношенні сигнал-шум первинних зображень порядку 24-29 дБ; для багатокомпонентних зображень (зокрема, гіперспектральних зображень) застосування прийняття рішень щодо доцільності фільтрації дозволяє скоротити витрати на фільтрацію в 5-20 разів у залежності від ступеня складності зображення; запропоновані підходи до прогнозування можуть бути використані користувачами в різних існуючих пакетах обробки даних ДЗЗ, наприклад ENVI, для розширення їх сервісних можливостей.

Усі теоретичні розробки дисертації доведено до конкретних інженерних методик і алгоритмів у застосуванні до прогнозування ефективності фільтрації і оцінки якості первинних зображень ДЗЗ.

Розроблені методи прогнозування ефективності фільтрації і оцінки якості первинних радіолокаційних зображень були використані при виконанні науково-дослідної роботи у Інституті радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, а також впроваджені у навчальному процесі Харківського Національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

За матеріалами дисертації **опубліковано** 22 роботи, з яких 5 – це статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави (Швейцарія), яка індексується в SCOPUS (Q2), 16 – публікації у

матеріалах конференцій, серед яких 11 у матеріалах міжнародних англомовний конференцій, що включені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS.

Ключові слова: оцінка якості зображень, прогнозування якості зображень, обробка багатоканальних зображень, фільтрація, ефективність фільтрації, ДКП, VM3D, PCA, дистанційне зондування, багатошарова нейронна мережа.

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

Статті у наукових періодичних виданнях:

1. O. Rubel, V. Lukin, A. Rubel, K. Egiazarian, “NN-Based Prediction of Sentinel-1 SAR Image Filtering Efficiency,” *Geosciences*, vol. 9, no. 7, 22 p., 2019, doi: 10.3390/geosciences9070290.
2. A. Rubel, V. Lukin, “Assessment of Visual Quality for Denoised Images,” *Information Extraction and Processing*, vol. 46, pp. 43-49, 2018, doi: 10.15407/vidbir2018.46.043.
3. А. С. Рубель, В. В. Лукин, “Анализ и прогнозирование эффективности фильтрации с использованием безэталонных мер визуального качества изображений,” *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, вип. 85, с. 4-14, 2018, doi: 10.32620/reks.2018.1.01.
4. А. С. Рубель, В. В. Лукин, “Анализ эффективности фильтрации на основе тетролет преобразования при подавлении аддитивного шума на изображениях,” *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, вип. 81, с. 4-20, 2017.
5. А. С. Рубель, В. В. Лукин, “Локально-адаптивная фильтрация изображений с использованием тетролет преобразования,” *Авиационно-космическая техника и технология*, вып. 140, с. 92-99, 2017.
6. Р. В. Цехмистро, В. В. Абрамова, А. С. Рубель, М. Л. Усс, Г. А. Проскура, О. С. Рубель, “Оцінка характеристик шуму на реальних зображеннях з використанням згорткової нейронної мережі на мобільній платформі,” *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, вип. 90, с. 60-70, 2019, doi: 10.32620/reks.2019.2.05.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. O. Rubel, A. Rubel, V. Lukin, M. Carli and K. Egiazarian, "Blind Prediction of Original Image Quality for Sentinel Sar Data," *2019 8th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP)*, Roma, Italy, 2019, pp. 105-110, doi: 10.1109/EUVIP47703.2019.8946231.
8. O. Rubel, A. Rubel, V. Lukin and K. Egiazarian, "Blind DCT-based prediction of image denoising efficiency using neural networks," *2018 7th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP)*, Tampere, Finland, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/EUVIP.2018.8611710.
9. O. Rubel, V. Lukin, A. Rubel, and K. Egiazarian, "Prediction of Lee filter performance for Sentinel-1 SAR images," *Electronic Imaging*, pp. 371–1-371–6, 2020, doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2020.9.IQSP-371.
10. A. Rubel, O. Rubel and V. Lukin, "Analysis of visual quality for denoised images," *2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 92-96, doi: 10.1109/CADSM.2017.7916093.
11. A. Rubel, V. Lukin and L. Shark, "Locally adaptive edge preserving filter for radar image denoising," *2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS)*, Kiev, Ukraine, 2017, pp. 121-124, doi: 10.1109/MRRS.2017.8075042.
12. A. Rubel and V. Lukin, "Regression-based analysis of visual quality for denoised images," *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkov, Ukraine, 2017, pp. 219-222, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246383.
13. A. Rubel and V. Lukin, "Denoising efficiency analysis based on no-reference image quality assessment," *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Slavske, Ukraine, 2018, pp. 898-902, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336341.
14. A. Rubel, O. Rubel and V. Lukin, "On Prediction of Image Denoising Expedience Using Neural Networks," *2018 International Scientific-Practical Conference*

Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 629-634, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632050.

15. A. Rubel, O. Rubel and V. Lukin, "Neural Network-based Prediction of Visual Quality for Noisy Images," *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Polyana, Ukraine, 2019, pp. 3/1-3/5, doi: 10.1109/CADSM.2019.8779325.

16. O. Ieremeiev and A. Rubel, "Analysis of No-Reference IQA Metrics and Their Verification for Image Databases," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1152-1157, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879813.

17. A. Rubel, O. Rubel, V. Abramova, G. Proskura and V. Lukin, "Improved Noisy Image Quality Assessment Using Multilayer Neural Networks," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1046-1051, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879950.

18. А. С. Рубель, "Анализ эффективности фильтрации текстурных изображений на основе эксперимента с экспертной визуальной оценкой," *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 20-го Міжнар. молодіжного форуму*, ХНУРЕ, Харків, Україна, 19-21 квітня 2016, с. 5-6.

19. А. С. Рубель, "Efficiency of tetrolet-based filtering," *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 21-го Міжнар. молодіжного форуму*, ХНУРЕ, Харків, Україна, 25-27 квітня 2017, с. 37-38.

20. А. С. Рубель, "Анализ эффективности фильтрации на основе мер качества изображений при отсутствии эталона," *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 22-го Міжнар. молодіжного форуму*, ХНУРЕ, Харків, Україна, 17-19 квітня 2018, с. 5-6.

21. А. С. Рубель, "Эксперимент с оцениванием респондентами визуального качества фильтрации изображений," *Всеукраїнська науково-технічна конференція "Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні" ІКТМ-2016* Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", 2016, Том 2, с. 322-323.

22. А. С. Рубель, “Фильтрация изображений с использованием тетролет преобразования,” *Всеукраїнська науково-технічна конференція “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні” ІКТМ-2017* Харків: Нац. аерокосм. ун-т “ХАІ”, 2017, Том 2, с. 262.

ABSTRACT

Rubel Andrii. Methods of service-oriented processing of remote sensing multichannel images. – Qualifying scientific work, the manuscript.

The thesis for a degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the field of knowledge 17 Electronics and Telecommunications in specialty 172 Telecommunications and radio engineering. – National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the improvement and development of new effective service-oriented methods in application to multichannel remote sensing image processing. The object of the study is the processing of multichannel remote sensing images distorted by noise. The subject of the study is the methods of service-oriented processing of multichannel remote sensing images.

An analytical review of the main modern remote sensing systems characteristics, services and processing methods provided by such systems as well as types and characteristics of different remote sensing images and noise models is performed in the work. It has been established that noise is one of the main factor that significantly degrades remote sensing image quality and it is desirable to remove noise by applying filtering. The main problem of existing image filtering methods is that practically all of them run into difficulties in edge/detail and texture preserving. Often existing filters can introduce undesirable smoothing, artifacts, distortions alongside with noise removal. Thus, an image after applying filtering (denoising) might seem oversmoothed and visually annoying. Then, positive effect of denoising is negligible or it does not exist at all and it is better to skip denoising and to save time and computing resources. It has been also shown the need to

predict filtering efficiency in advance, without carrying out filtering itself and to undertake decision on image filtering (denoising) expedience.

In the work the **actual scientific and applied task** of developing service-oriented methods of remote sensing image processing, which take into account noise properties present in images, to assess potential filtering efficiency and decision-making on image denoising expedience is set and solved. The method of locally-adaptive filtering using tetrolet transform, the method of filtering efficiency prediction and the method of predicting image quality measures for original (primary) remote sensing images using multilayer neural networks have been developed.

The aim of the thesis is to develop service-oriented methods of pre-processing of remote sensing images to improve the efficiency of further processing stages, in particular the development of quality assessment methods of original (primary) remote sensing images and improvement of image filtering efficiency prediction for decision-making on image denoising expedience.

The scientific results are:

1) **for the first time**, the method for predicting measures (image quality metrics) of original remote sensing image quality using multilayer neural networks has been proposed, which, unlike the known ones, uses image statistical parameters in the spatial and spectral domains in the absence of reference (noise-free) image and possibly without preliminary estimated noise characteristics;

2) the method of predicting denoising efficiency of multichannel remote sensing images based on multilayer neural networks **has been improved** due to the use of the proposed set of input parameters (features), which allowed to increase the prediction accuracy in comparison with previously developed methods. The peculiarity of the proposed method is that it does not require any a priori or pre-estimated noise characteristics in contrast to the previously developed predicting methods. It is shown that prediction accuracy of the proposed method has been improved in terms of mean square error by 2-3 times compared to analogues, which facilitates more reliable decision-making on denoising expedience;

3) the method of locally-adaptive filtering for radar images distorted by speckle noise **has been improved** using wavelet-based tetrolet transform, which allows increasing the denoising efficiency and at the same time to preserve edges, small-sized objects and textures.

The results of the work have been used in research study at the O. Ya. Usikov Institute for Radio Physics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine and in the National aerospace university named after M. E. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”.

According to the thesis material, 22 papers **were published**, 5 of which were articles in journals of Ukraine, 1 article in foreign country periodical (Switzerland) included in the international scientific metric database SCOPUS, 16 – publications in conference proceedings (11 in international conferences included in the international scientific metric database SCOPUS).

Key words: image quality assessment (IQA), image quality prediction, multichannel image processing, filtering, denoising efficiency, DCT, BM3D, SAR, remote sensing, multilayer neural network.