

УДК 519:23, 528:93

Ю. КАРПІНСЬКИЙ¹, Л. ПРИМАК²

¹ Кафедра геоінформатики та фотограмметрії, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, 03037, Україна, тел. +380504108636, ел. пошта: karp@gki.com.ua; orcid 0000-0002-0701-1277

² Кафедра геоінформатики та фотограмметрії, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, 03037, Україна, тел. +380508470357, ел. пошта: lidiya.plyska@gmail.com, orcid 0000-0003-0883-4803

РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ РАСТРОВИХ ДАНИХ ПРО ВТРАТИ АМПЛІТУДИ РАДІОСИГНАЛУ ЗАСОБАМИ ГЕОМАТИКИ

Мета роботи полягає у розробленні методики розрахунку точності растрових моделей даних про втрати амплітуди радіосигналу засобами геоінформаційної системи ArcGIS. **Методика** досліджень ґрунтується на обчисленні середньої квадратичної похибки даних у децибелах. Для статистичного порівняння значень як еталон використано растрові дані про втрати амплітуди радіосигналу, розрахунок яких ґрунтувався на цифровій моделі рельєфу, побудованій на основі топографічних карт масштабу 1:2000. Оцінку точності проведено для даних про втрати амплітуди радіосигналу, які розраховано на підставі цифрової моделі рельєфу AW3D30, створеної на основі стереопар супутникових знімків ALOS. Використання саме растрових даних дає змогу виконати статистичне порівняння значень кожної комірки даних і завдяки цьому встановити точне значення середньої квадратичної похибки. **Результати.** В дослідженнях використано розраховані дані про втрати амплітуди радіосигналу для 26 базових станцій із розташованими на них 72 передавачами. Район розташування – місто Львів. Реалізацію методики виконано за допомогою інструментарію додатка Model Builder. У результаті визначено середню квадратичну похибку втрати амплітуди радіосигналу для даних та зроблено висновки про можливість застосування цифрової моделі рельєфу AW3D30 з метою планування та оптимізації радіомереж. **Наукова новизна та практична значущість.** Запропонована методика забезпечує оцінку точності растрових моделей втрати амплітуди радіосигналу в межах одного передавача. Методику підтверджено для розрахункових даних про втрати амплітуди радіосигналу, проте її можна використати для оцінки точності будь-яких растрових моделей даних про неперервні величини (рельєф, температуру тощо).

Ключові слова: ЦМР; амплітуда радіосигналу; ArcGIS; середня квадратична похибка.

Вступ

В умовах стрімкого зростання інформатизації суспільства через засоби мобільного зв'язку, в час, коли людина почувається некомфортно без зв'язку на смартфоні та коли від наявності зв'язку на гаджеті прямо залежить її життя, особливого значення набуває питання про упровадження 4G зв'язку на території України та розвитку п'ятого покоління (5G) мобільного зв'язку в світі.

Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, створено Указом Президента України № 1067/2011 від 23.11.2011 р. для виконання Закону України “Про телекомунікації”. Цим самим Указом затверджено Положення про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ). Згідно із матеріалами офіційного сайту комісії [НКРЗІ, 2019] сьогодні в Україні розпочато розроблення стандартів зв'язку 5G, оператори мобільного зв'язку здійснюють технічне переоснащення та ущільнення кількості станцій, щоб забезпечити покриття зв'язком 4G. У

зв'язку з цим надзвичайно активізувалися планування та оптимізація радіомереж як у межах окремих населених пунктів, так і в межах адміністративних районів та областей на території України.

Для діапазонів частот стандартів 2G, 3G, 4G процес оптимізації та планування радіомереж ґрунтується на побудові емпірично-математичної залежності (моделі) поширення радіохвиль від частоти хвиль, дальності поширення та інших параметрів для прогнозування втрати потужності сигналу в межах певної території [Примак, 2018]. Ці математичні розрахунки виконують засобами аналітично-програмних платформ, найпоширенішою серед яких в Україні є Atoll Wireless Network Engineering Software виробництва компанії Forsk. Результатом таких обчислень є растрова модель даних [Карпінський, 2001], кожна комірка якої може містити значення втрати потужності радіосигналу в дБ або величину відношення потужності сигналу до вимірюваної потужності відповідно до одного мілівата в дБм. Для прикладу відображення втрати амплітуди

радіосигналу в дБ для одного передавача базової станції подано на рис. 1.

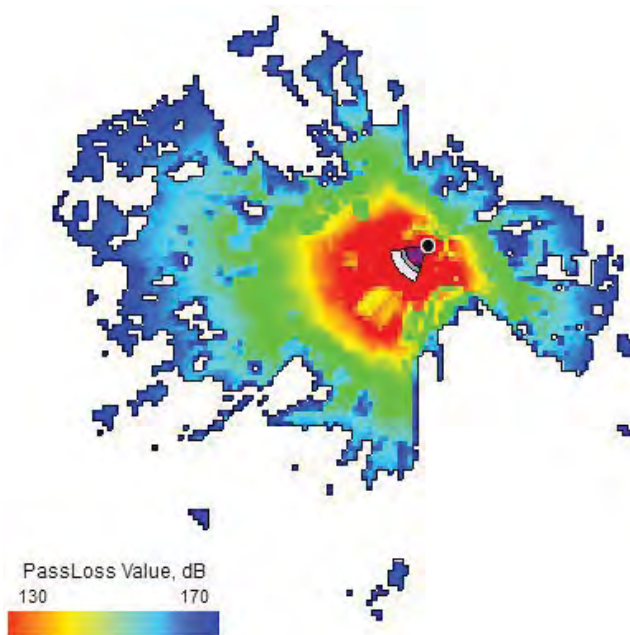


Рис. 1. Приклад відображення втрати амплітуди радіосигналу в межах одного передавача

Fig. 1. An example of displaying the PassLoss value within the one transmitter

Одне із завдань дослідження впливу картографічної складової, а саме цифрової моделі рельєфу (ЦМР), на процес планування радіомереж – визначити точність планування, в основу якого покладена глобальна ЦМР AW3D30, побудована на основі стереопар космічних знімків ALOS [Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, 2018], порівняно із точнішою ЦМР, побудованою на основі топографічних планів масштабу 1:2000.

Статистичний аналіз (порівняння) двох розрахованих за різними параметрами моделей втрати амплітуди радіосигналу засобами аналітично-програмної платформи Atoll [Atoll User Guide, 2010] може полягати в:

1. Порівнянні двох чи більше значень втрати потужності радіосигналу в одній точці.
2. Відображення взаємного/окремого перекриття моделями в межах одного передавача/базової станції.
3. Відображення абсолютних похибок в дБ/дБм між двома моделями в межах одного передавача чи базової станції.

Останній варіант дає найповнішу картину для аналізу даних, оскільки під час його реалізації ще є можливість отримати середнє значення абсолютної похибки та стандартне відхилення значень абсолютних похибок між двома розрахунковими значеннями втрати амплітуди радіосигналу в межах одного передавача. Проте математичні алгоритми програмної платформи Atoll під час розрахунку абсолютних

похибок (Value Difference) обмежують поле розрахунку до мінімального обмежувального прямокутника (MBR), що описує першу із заданих моделей для порівняння (рис. 2). При цьому та зона із другої моделі, що є за межею MBR, не бере участі в обчисленні стандартного відхилення.

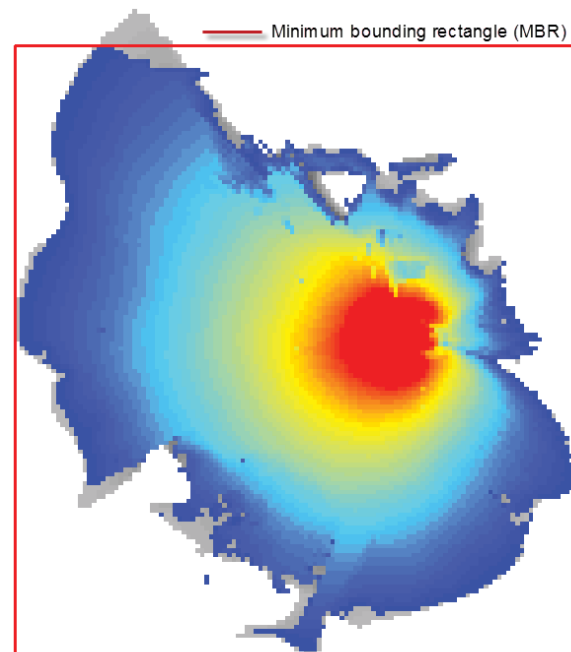


Рис. 2. Мінімальний обмежувальний прямокутник для растрової моделі даних про втрати амплітуди радіосигналу

Fig. 2. Minimum bounding geometry for PassLoss raster data

Окрім того, абсолютні похибки між двома растровими моделями даних одразу групуються в рівні діапазони значень, причому крайні діапазони дають можливість бачити тільки ближню межу діапазону.

З іншого боку, діапазон оброблення растрових моделей даних засобами геоінформаційних систем останнім часом істотно розширився за рахунок розвитку напряму класифікації растрових зображень, наявності у відкритому доступі цифрових моделей рельєфу та відкритих бібліотек для оброблення растрів тощо. Провідними геоінформаційними системами для роботи за растрами є ArcGIS з розширенням Spatial Analyst, SAGA GIS, Grass GIS. Наприклад, в [Смалійчук, 2016] виконано оцінку растрових цифрових моделей рельєфу порівняно з польовими вимірами; в [Нарожная, Буряк, 2016] – оцінку морфометричних параметрів цифрових моделей рельєфу на основі середньої квадратичної похибки.

Оскільки програмне забезпечення Atoll уможливило експорт розрахованих даних про втрати потужності радіосигналу в shp-формат, що дає можливість виконати статистично-аналітичні розрахунки точності даних про втрати амплітуди радіосигналу засобами геоінформаційних систем, врахувавши повну агрегацію даних у межах передавача.

Мета

Мета дослідження полягає у розробленні методики оцінки точності растрових даних про втрати амплітуди радіосигналу та її реалізацію засобами ArcGIS.

Методика

Завданням дослідження є опрацювання експортованих векторних даних про втрати амплітуди радіосигналу із програмно-аналітичного комплексу Atoll. Структуру даних наведено в табл. 1.

На рис. 3 наведено приклад відображення shp-файла, що містить дані про величину втрат амплітуди радіосигналу.

Як еталонні взято дані, розрахунок яких ґрунтувався на цифровій моделі рельєфу, побудованій на основі топографічних карт масштабу 1:2000. Оцінку точності здійснено для даних, основою розрахунку яких була цифрова модель рельєфу AW3D30.

Таблиця 1

Структура даних про втрати амплітуди радіосигналу

Table 1

Table structure of PassLoss Data

№ з/п	Назва поля	Тип даних	Пояснення
1	THRESHOLD	Numeric	Значення втрати амплітуди радіосигналу, дБ
2	COLOR	Text	Колір у RGB палітрі
3	TX_ID	Text	Назва станції та номер передавача

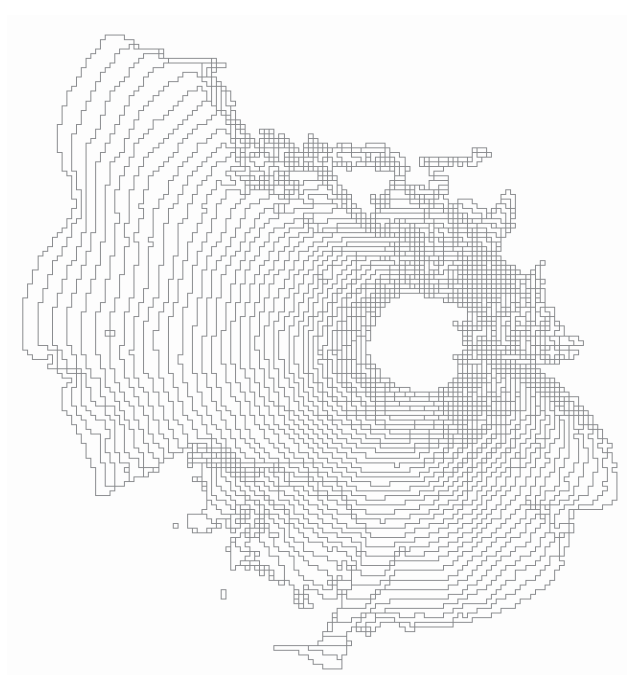


Рис. 3. Приклад відображення shp-файла, що містить дані про величину втрат амплітуди радіосигналу

Fig. 3. Shapefile with PassLoss Values

На рис. 4 подано структурну схему дослідження.

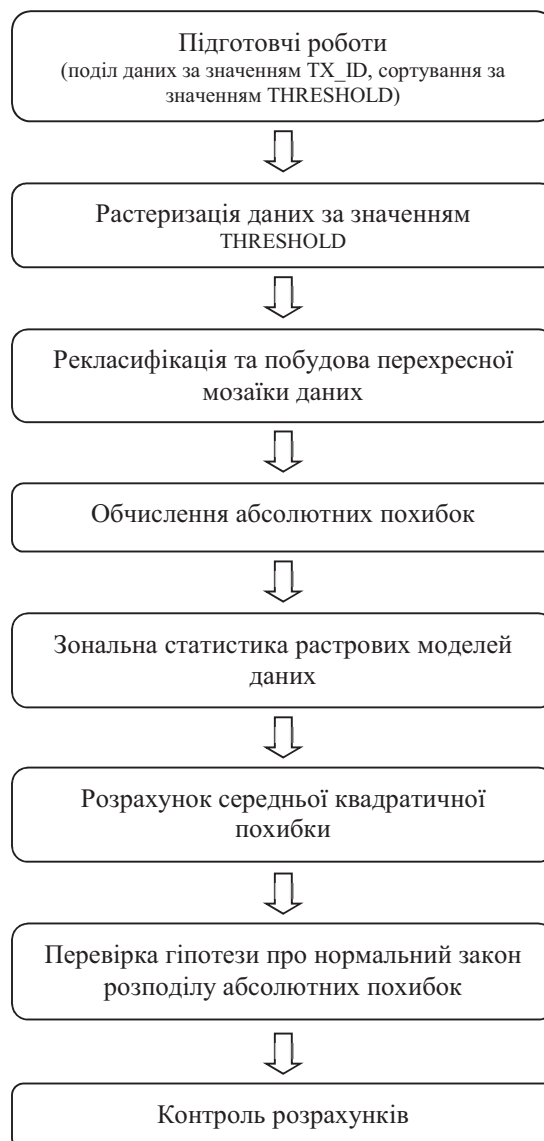


Рис. 4. Структурна схема дослідження

Fig. 4. Research structural scheme

Для приведення растрових даних у межах одного передавача до одного розміру використано рекласифікацію значень еталонних (матриця X_{true}) та досліджуваних даних (матриця X) на максимальне значення втрати амплітуди радіосигналу (1) та подальше перехресне об'єднання даних із рекласифікованими значеннями (2)

$$\begin{cases} X_{rtrue} = \text{Maximum}(X_{true}) + 1 \\ X_r = \text{Maximum}(X) + 1 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_{true} = X_{true} \cup X_r \\ X = X \cup X_{rtrue} \end{cases}, \quad (2)$$

де X_{rtrue} та X_r – відповідно рекласифіковані матриці еталонної та досліджуваної растрових моделей даних про втрати амплітуди радіосигналу.

Абсолютну похибку ΔX (дБ) визначено за формулою (3):

$$\Delta X = X_{true} - X. \quad (3)$$

Середню квадратичну похибку m визначено за формулою Гаусса (4):

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta X^2}{n}}, \quad (4)$$

де n – кількість комірок, що відповідають відповідному значенню втрати амплітуди радіосигналу.

Оскільки в основу обчислень за формулами (3) та (4) покладено растрові моделі даних, значення середньої квадратичної похибки визначається з урахуванням кожної комірки даних, що забезпечує можливість статистичного аналізу даних на основі теорії великої вибірки, (кількість значень у межах одного передавача може сягати понад 10000).

Перевірку гіпотези про нормальний розподіл абсолютних похибок виконано за критерієм узгодженості Пірсона (4) [Василенко, Сенча, 2012]:

$$\chi^2 = \sum \frac{(p_i - p_i^{theor})^2}{p_i^{theor}}, \quad (5)$$

де p_i^{theor} – теоретична ймовірність потрапляння значення про втрату радіосигналу в i -й інтервал розміром 1дБ; p_i – емпіричне значення ймовірності, для нашого випадку прийнято значення площі території в квадратних кілометрах, що покривається відповідним значенням втрати амплітуди радіосигналу.

Результати

Вхідними даними для реалізації описаної методики були два shp-файли, кожен із яких містив полігони зі значеннями втрати амплітуди радіосигналу для 26 базових станцій із розташованими на них 72 передавачами. Район робіт – місто Львів, центральна частина, орієнтовна площа 10 км².

Оскільки кожен із файлів містив накладені один на інший полігони, попередньо було використано функцію ArcGIS Split By Attributes за значенням поля TX_ID. Так отримано окремий файл для кожного передавача.

Растрезацію даних для кожного передавача здійснили функцією Polygon to Raster, попередньо відсортувавши дані на полі THRESHOLD функцією Sort. З-за великої кількості файлів було використано пакетне оброблення засобами ModelBuilder. Створені моделі наведено на рис. 5.

Обчислення середньої квадратичної похибки за формулами (1)–(4) також було реалізовано побудовою моделі в ModelBuilder із залученням таких функцій ArcGIS, як Reclassify, Mosaic To Raster, Raster Calculator, Zonal Statistics as Table, Add Field, Calculate Field, Summary Statistics. Модель розрахунку в межах

одного передавача та її зв'язок з формулами (1)–(5) наведено на рис. 6.

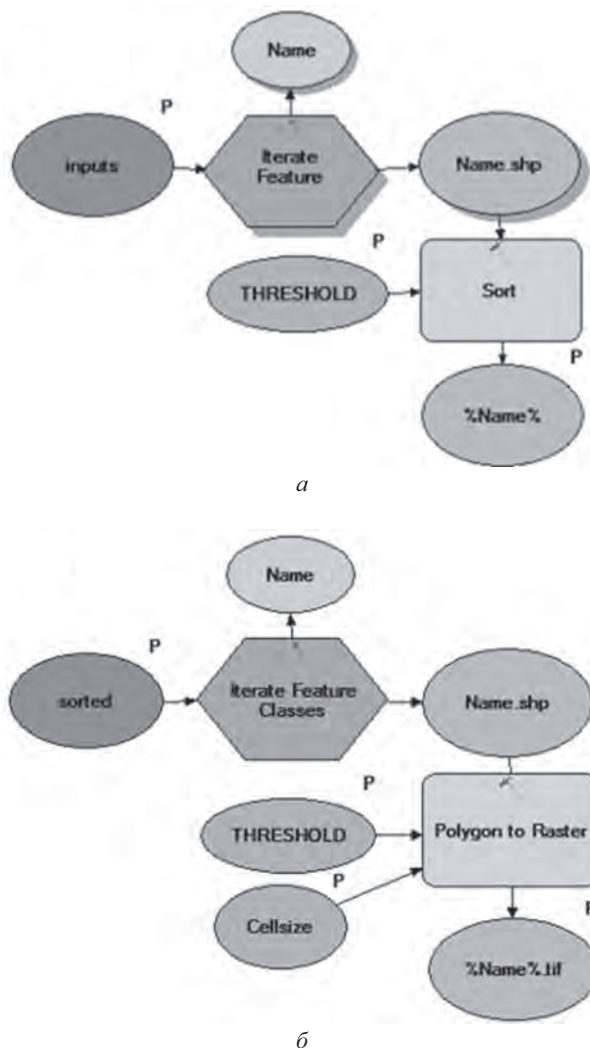


Рис. 5. Моделі для: а – сортування; б – растрезації даних

Fig. 5. Models for data: a – sorting and b – rasterization

Підтвердження гіпотези про нормальний закон розподілу абсолютних похибок здійснено за допомогою калькулятора, реалізованого в [ООО “Новый семестр”, 2019]. Перевірка гіпотези для варіаційного ряду за критерієм узгодженості Пірсона показала, що немає причин відкидати основну гіпотезу про нормальний закон розподілу.

На рис. 7 подано графік емпіричної та теоретичної ймовірності нормального розподілу значень абсолютних похибок.

Контроль обчислень здійснено в межах одного передавача експортом растра в табличний вигляд, та підрахунком статистики засобами Microsoft Excel. Контроль обчислень підтвердив ідентичність розрахунку середньої квадратичної похибки засобами ArcGIS та обчисленнями в Microsoft Excel. У часовому порівнянні оброблення даних за допомогою ArcGIS значно швидше.

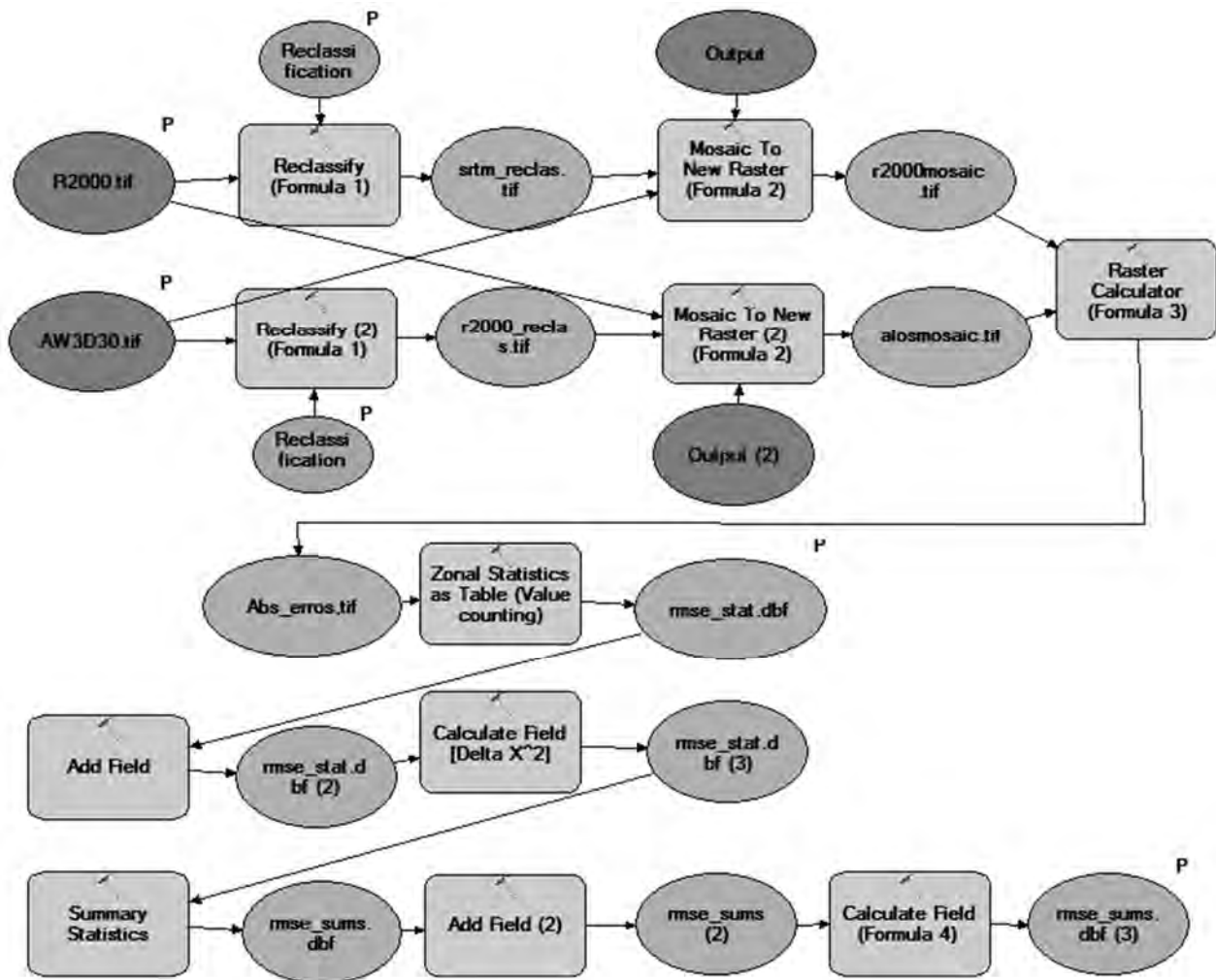


Рис. 6. Модель розрахунку СКП даних про втрати радіосигналу

Fig. 6. Model of RMSE calculating

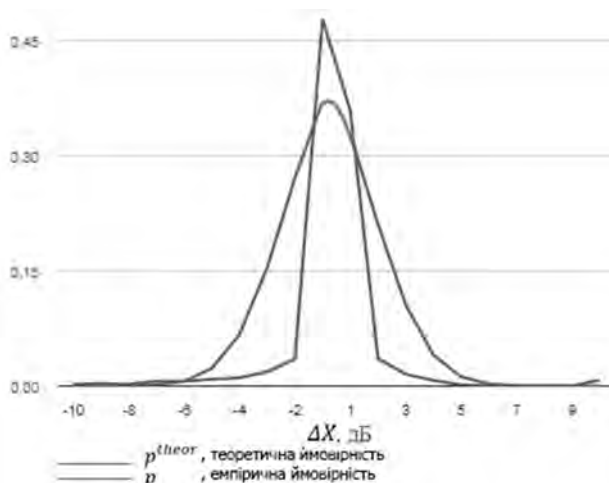


Рис. 7. Графік емпіричної та теоретичної ймовірностей

Fig. 7. Empirical and theoretical probabilities

У результаті обчислень визначено середню квадратичну похибку 6,25 дБ. Порівнявши це значення із допустимим: 6–7 дБ для забудованих міських

територій [Parson, 1993], 10 дБ для приміських територій та 15 дБ для сільської місцевості [Blaunstein, Sensor, 2003], можна зробити висновки, що використання ЦМР AW3D30 для цілей планування та оптимізації радіомереж – на границі допуску для міських територій та оптимально може використовуватись у приміській та сільській місцевості.

Висновки

У результаті досліджень розроблено методику розрахунку середньої квадратичної похибки растрових даних про втрати амплітуди радіосигналу засобами геоінформаційної системи ArcGIS.

Реалізацію методики виконано за допомогою інструментарію додатка Model Builder для визначення впливу якості цифрової моделі місцевості на розрахункові значення втрат амплітуди радіосигналу. Для досліджень як еталон використано дані, розрахунок яких ґрунтувався на цифровій моделі рельєфу, побудованій на основі топографічних карт масштабу 1:2000. Оцінку точності

виконано для даних, основою розрахунку яких була цифрова модель рельєфу AW3D30.

На підставі розрахунків оцінки точності засобами геоматики можна зробити висновки, що використання ЦМР AW3D30 для цілей планування та оптимізації радіомереж – на границі допуску для міських територій та оптимально може використовуватись у приміській та сільській місцевості.

Запропонована методика оцінки точності на основі вибірки великої розмірності відповідає вимозі спроможності статистичної оцінки, що підвищує її достовірність порівняно із традиційними “табличними” методами вибірки малої розмірності та уточнює аналіз даних, доступний в аналітично-програмній платформі для планування та оптимізації радіомереж AtoI. Її також можна використовувати для будь-яких растрових моделей даних про неперервні величини (рельєф, температура тощо).

Література

- Blaunstein, N., D. Censor, D. Katz, A. Freedman, and I. Matityahu. (2003). Radio propagation in rural residential areas with vegetation. *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 40, 131–153.
- Parson, J. D. (1992). *Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley, Chichester, West Sussex, England.
- Atoll User Manual version 2.8.2, Release AT282_UM_E0. (2010). Forsk. 237.
- Василенко О., Сенча І. (2012). Математично-статистичні методи аналізу в прикладних дослідженнях: навч. посіб. Одеська нац. академія зв'язку ім. О. С. Попова, 54.
- Карпінський Ю., Грачов О. (2001). Трансформування растрових моделей цифрових карт і планів. *Вісник геодезії та картографії*, № 3, 65–73.
- Примак Л. (2018). Основні вимоги до складу топографічного забезпечення для радіочастотного планування телекомунікаційних систем. *Інженерна геодезія: наук.-техн. зб.*, № 65, 158–168.
- Смалійчук А. (2016). Оцінка точності цифрових моделей висот засобами геоматики. *Конструктивна географія і геоєкологія. Наукові записки*, № 1, 235–242.
- Нарожная А., Буряк Ж. (2016). Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации. *Научные ведомости. Серия Естественные науки*, № 25 (246), Вып. 37, 169–178.
- ALOS Global Digital Surface Model [Електронний ресурс], Режим доступу: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v21_format_e.pdf.
- Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації. Офіційний веб-портал [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nkrzi.gov.ua/>
- ООО “Новый семестр” [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://math.semestr.ru/group/hypothesis-testing.php>

YU. KARPINSKYI¹, L. PRYMAK²

¹ Department of geoinformatics and photogrammetry, Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, Povitroflotsky Avenue, Kyiv, 03037, Ukraine, Phone: +380504108636, E-mail: karp@gki.com.ua; orcid 0000-0002-0701-1277

² Department of geoinformatics and photogrammetry, Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, Povitroflotsky Avenue, Kyiv, 03037, Ukraine, Phone: +380508470357, E-mail: Lidiya.plyska@gmail.com; orcid /0000-0003-0883-4803

ACCURACY CALCULATION OF PASS LOSS RASTER DATA USING GEOINFORMATION SYSTEMS

The purpose of the work is to develop a methodology for calculating the accuracy of pass loss raster data using the ArcGIS geoinformation system. The research methodology is based on the calculation of the mean square error of the data in decibels. For the studies, the reference value was the value of the pass loss data which were calculated based on a digital terrain model built from topographic maps of 1: 2000 scale. Accuracy estimation was performed for pass loss data calculated based on the AW3D30 digital terrain model built from stereopairs of ALOS satellite images. Results. The calculated pass loss data for 26 base stations with 72 transmitters were used in the studies. Location is city Lviv, Ukraine. The implementation of the methodology was performed using the Model Builder toolkit. As a result, the mean square error of pass loss data was determined, and conclusions about the possibility of using the digital terrain model AW3D30 for the purpose of planning and optimizing radio networks were made. Scientific novelty and practical significance. The proposed technique provides an estimation of the accuracy of raster

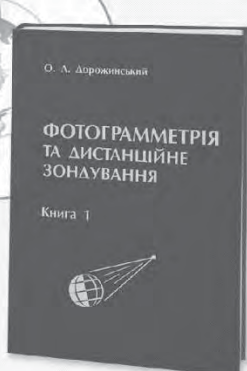
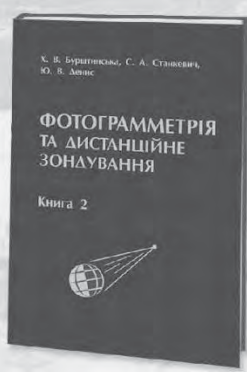
pass loss data within one transmitter. The methodology was validated for the calculated pass loss data of the radio signal, but can be also used to estimate the accuracy of any continuous raster data (relief, temperature, etc.).

Key words: DTM; pass loss; ArcGIS; mean square error.

References

- Blaunstein, N., D. Censor, D. Katz, A. Freedman, and I. Matityahu. (2003). Radio propagation in rural residential areas with vegetation. *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 40, 131–153.
- Parson, J. D. (1992). *Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley, Chichester, West Sussex, England.
- Atoll User Manual version 2.8.2, Release AT282_UM_E0. (2010). Forsk. 237.
- Vasylenko O., Sencha I. (2012). Matematychno-statystychni metody analizu v prykladnykh doslidzhenniakh: navch. posib. Odeska natsionalna akademiia zviazku im. O. S. Popova, 54 [in Ukrainian].
- Karpinskyi Yu., Hrachov O. (2001). Transformuvannya rastrovnykh modelei tsyfrovnykh kart i planiv. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*, No. 3, 65–73 [in Ukrainian].
- Prymak L. (2018). Osnovni vymohy do skladu topohrafichnoho zabezpechennia dlia radiochastotnoho planuvannia telekomunikatsiinykh system. *Inzhenerna heodeziia: nauk.-tekhn. zbirnyk*, No. 65, 158–168 [in Ukrainian].
- Smaliichuk A. (2016). Otsinka tochnosti tsyfrovnykh modelei vysot zasobamy heomatyky. *Konstruktyvna heohrafiia i heoekolohiia. Naukovi zapysky*, No. 1, 235–242 [in Ukrainian].
- Narozhnaya A., Buryak Zh. (2016). Morfometricheskii analiz cifrovnykh modeley rel'efa Belgorodskoy oblasti raznoy stepeni generalizatsii. *Nauchnye vedomosti. Seriya Estestvennye nauki*, No. 25 (246), Vyp. 37, 169–178 [in Russian].
- ALOS Global Digital Surface Model Retrieved from:
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v21_format_e.pdf.
- Natsionalna komisiia, shcho zdiisniue derzhavne rehuliuвання u sferi zv'iazku ta informatyzatsii. Retrieved from:
<https://nkrzi.gov.ua/> [in Ukrainian].
- ООО “Novyi semestr”. Retrieved from: <https://math.semestr.ru/group/hypothesis-testing.php> [in Russian].

ДИВИТИСЯ НА ПЛАНЕТУ ОЧИМА АСТРОНАВТА

- математичні основи фотограмметрії
- аналітичне розв'язання основних фотограмметричних задач
- фототріангуляція
- цифрове наземне стереофотограмметричне знімання

Дорожинський О. Л.
ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ
 Книга 1
 Підручник.
 Видавництво Львівської політехніки, 2019. 176 с.
 ISBN 978-966-941-349-9

- дистанційне зондування землі
- аерокосмічні знімальні системи
- супутникові наземні приймальні станції
- спектральні перетворення та класифікація зображень

Бурштинська Х. В., Станкевич С. А., Денис Ю. В.
ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ
 Книга 2
 Підручник.
 Видавництво Львівської політехніки, 2019. 216 с.
 ISBN 978-966-941-416-8

