

І.С. Гунько

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ НА ОСНОВІ ПРОСТОРОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ (Частина 2)

У статті проведена оцінка точності методів побудови цифрової моделі рельєфу на основі просторової інтерполяції, що є актуальним дослідженням у відтворенні більш деталізованого рельєфу місцевості. Для оцінки, були взяті контрольні точки значень просторової змінної Z , і ті ж самі контрольні точки значень по кожному із методів. Аналіз результатів побудови цифрових моделей рельєфу проводився у програмі Excel. Проведена оцінка точності показала не тільки найкращі методи побудови цифрової моделі рельєфу горбистої ділянки, а ще й підкреслила важливість якісних вихідних даних, які є надзвичайно важливим елементом для досягнення більш точного результату при відтворенні місцевості у цифровий вигляд.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу, методи побудови, просторова інтерполяція, геоінформаційна система, Surfer.

Постановка проблеми

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) є невід'ємною частиною багатьох геодезичних робіт. Вона дає можливість точно відтворити поверхню землі у цифровому вигляді з різним рівнем деталізації. Однією з найбільш вагомих проблем при створенні ЦМР є точність відображення рельєфу. Залежно від цілей використання, необхідна різна точність моделі. Для планування будівництва або проектування доріг необхідна висока точність, щоб уникнути помилок та додаткових витрат. Однак, для загальних геодезичних робіт можлива менша точність. Зараз використовуються різні методи побудови цифрової моделі рельєфу, зокрема, на основі просторової інтерполяції, яка дозволяє отримати точнішу модель.

У першій частині роботи вже був проведений аналіз методів, які можуть більш деталізовано відобразити рельєф. Для цих цілей був обраний геоінформаційний пакет Surfer, який пропонує досить велику кількість методів побудованих на алгоритмі просторової інтерполяції. Хоч ці методи і відобразили одну і ту ж ділянку досить із високою деталізацією, все одно виникає потреба в оцінці точності кожного із методу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання оцінки точності побудови цифрової моделі рельєфу завжди залишається актуальним у геодезичній галузі.

Перш за все, у дослідженнях по цій темі [1-4] звертають увагу на вплив різних факторів на точність ЦМР. Оптимальний вибір параметрів

залежить від конкретних умов вимірювань та задачі, для якої створюється ЦМР.

Останні дослідження [5, 6] також показали, що збільшення обсягу вихідних даних, наприклад, шляхом використання більшої кількості геодезичних вимірювань високоточними приладами, може покращити точність ЦМР. Проте, великий обсяг даних може призвести до збільшення часу обробки та складності аналізу даних.

Одним зі способів підвищення точності ЦМР є використання багатомодельового підходу, який полягає в побудові кількох ЦМР з використанням різних параметрів та методів, а потім комбінуванні їх у єдину модель [7-9]. Цей підхід дозволяє підібрати оптимальні параметри для кожної ділянки території та підвищити точність моделі в цілому.

Крім того, було проведено дослідження [10, 11], яке зосереджувалося на порівнянні точності ЦМР, отриманих на основі різних методів просторової інтерполяції. В результаті було встановлено, що методи, які базуються на коригуванні, дають більш точні результати, ніж методи, які використовують багатовузлові інтерполяційні формули. Також було виявлено, що точність ЦМР залежить від розміру вибірки, що використовується для побудови моделі. Чим більший розмір вибірки, тим точніша буде модель. Однак, необхідно зазначити, що точність ЦМР не залежить тільки від методу побудови, але й від якості вихідних даних. Якщо вихідні дані містять помилки або неоднорідності, то це може призвести до неточностей у ЦМР. Тому, перед побудовою ЦМР, необхідно провести аналіз вихідних даних та їх очищення від помилок.

Формування мети статті

Метою даної статті є проведення оцінки точності методів побудови цифрової моделі рельєфу на основі просторової інтерполяції. Оскільки точність моделі є ключовим фактором для багатьох геодезичних робіт, необхідно з'ясувати, які з методів найбільш точні та відповідають вимогам різних цілей використання. Оцінка точності методів дозволить підвищити ефективність геодезичних робіт та уникнути помилок та додаткових витрат.

Виклад основного матеріалу

У першій частині роботи було проведено аналіз методів побудови цифрової моделі рельєфу на основі просторової інтерполяції. В якості інструменту для виконання дослідження був вибраний геоінформаційний пакет Surfer, який має в

своєму арсеналі декілька методів побудови цифрової моделі рельєфу.

У програмі Surfer після побудови ЦМР кожним із методів, можна отримати звіт, який містить вихідні значення точок та значення, отримані після інтерполяції кожним із методів. Цей звіт є дуже корисним для проведення оцінки точності кожного методу, оскільки він дає можливість зрозуміти, наскільки добре модель відображає реальний рельєф.

Для оцінки точності кожного методу, було взято контрольні точки просторової змінної Z, і для кожного методу були інтерпольовані значення в цих точках. Така оцінка дає можливість отримати числову характеристику точності для кожного методу та порівняти їх між собою. Проаналізувавши результати побудови цифрових моделей рельєфу у програмі Excel, що показані на рисунку 1, було встановлено, що не всі графіки плавно змінюються.

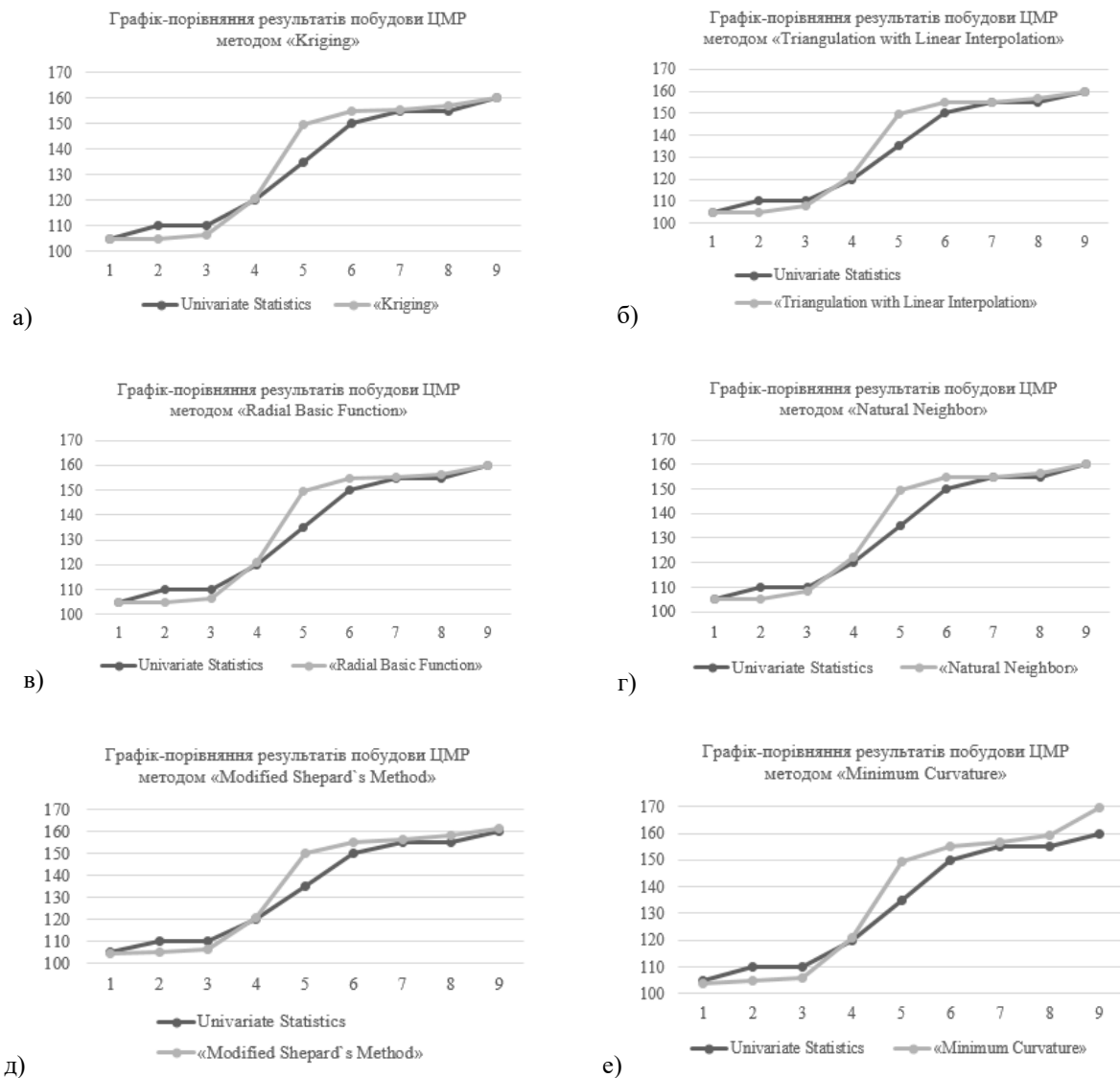


Рис. 1. Оцінка точності побудови цифрових моделей рельєфу різними методами
 а) – Kriging; б) – Triangulation with Linear Interpolation; в) – Radial Basic Function; г) – Natural Neighbor;
 д) – Modified Shepard's Method; е) – Minimum Curvature

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що на фрагменті топографічної карти були виявлені проблемні ділянки, де було недостатньо вихідних даних для точної інтерполяції. Зокрема, контрольні точки 2, 5 і 6 були проінтерпольовані програмою на основі наявних даних, але результат не є точним і міг би бути кращим при наявності вихідних даних, отриманих з вимірювань геодезичними приладами і технологіями, таких як GPS, лідар та ін.

Інші точки, зокрема 1, 3, 4, 7, 8 і 9, були проінтерпольовані на поверхні, що досить близько відповідає вихідним даним. Застосування методів «Kriging», «Triangulation with Linear Interpolation», «Natural Neighbor» і «Radial Basic Function» забезпечило досить точну інтерполяцію. Також можна виділити метод «Modified Shepard's Method», однак, точка 8 у порівнянні із цими методами, виявилась проблемною. Також спираючись на аналіз методів у першій частині та на оцінку точності виявлено, що метод «Minimum Curvature» не є ефективним у випадку горбистої місцевості, оскільки не забезпечує точну інтерполяцію.

Найбільш краще справився із відтворенням цифрової моделі рельєфу на цій горбистій ділянці, метод «Natural Neighbor». Також, необхідно відмітити, що у порівнянні з методами «Kriging», «Triangulation with Linear Interpolation» і «Radial Basic Function», метод «Natural Neighbor» краще проінтерпольовує місцевість третьої точки.

Взагалі, з метою відтворення цифрової моделі рельєфу на основі наявних вихідних даних, геоінформаційні системи вводять у дію не тільки

інтерполювання, а ще й апроксимацію. Апроксимація – це математичний метод, що полягає в заміні складної функції більш простою, яка є досить близькою за значенням. Різниця між інтерполюванням і апроксимацією наведена на рисунку 2. У даному випадку, замість точної інтерполяції, програма використовує методи, які наближено відтворюють поверхню місцевості, що забезпечує наскільки це можливо найбільш точну інформацію про рельєф території.

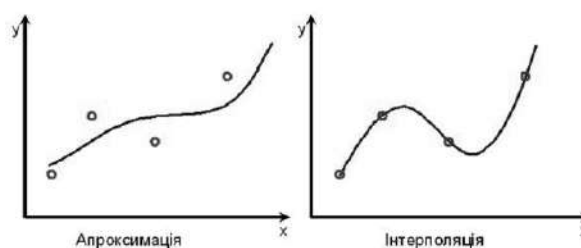


Рис. 2. Відмінності апроксимації та інтерполяції [7]

Надання точної апроксимації даних – це важливий етап в багатьох наукових та інженерних задачах. Існує безліч методів для досягнення цієї мети, кожен з яких має свої переваги та обмеження. У таблиці 1 наведено порівняння щодо апроксимації даних за кількома критеріями, такими як складність обчислень, залежність від даних, апроксимаційна точність та адаптивність до різних типів місцевості, таких як густо заселені, горбисті або нерівномірно розподілені ділянки.

Таблиця 1

Порівняння методів

Методи	Kriging	Triangulation with Linear Interpolation	Radial Basic Function	Modified Shepard's Method	Minimum Curvature	Natural Neighbor
Складність обчислень	Висока	Низька	Висока	Низька	Середня	Середня
Залежність від даних	Сильна	Слабка	Сильна	Слабка	Сильна	Сильна
Апроксимаційна точність	Висока	Низька	Висока	Низька	Висока	Висока
Адаптивність до густини даних	Так	Ні	Так	Так	Так	Так
Підходить для густо-заселених ділянок	Так	Так	Так	Так	Так	Так
Підходить для ділянок з горбистою місцевістю	Так	Ні	Так	Так	+/-	Так
Підходить для ділянок з нерівномірним розподілом даних	Так	Так	Так	Так	Так	Так

Складність обчислень визначає, наскільки складно обчислювати метод. Залежність від даних вказує на те, наскільки сильно метод залежить від точок даних, які використовуються для обчислень.

Апроксимаційна точність оцінює точність, з якою метод апроксимує дані. Адаптивність до густини даних вказує, наскільки добре метод працює на густо-заселених ділянках.

Висновки

Після проведеної оцінки точності можна стверджувати, що якісні вихідні дані є надзвичайно важливим елементом для досягнення більш точного результату при створенні цифрової моделі рельєфу. Більш того, проведені дослідження також показали, що чим більше наявних вихідних даних, тим більш точною є результуюча цифрова модель рельєфу. Тому, для досягнення найбільш точного результату інтерполяції, рекомендується збирати якомога більше якісних вихідних даних. Це забезпечить більш точну модель рельєфу та допоможе зменшити вплив помилок апроксимації на результати інтерполяції.

Література

1. Буришинська Х. Цифрове моделювання рельєфу з використанням пакету Surfer та геоінформаційної системи ArcGis. / Х. Буришинська, О. Дорожинський, П. Зазуляк, О. Заєць // Геодезія, картографія і аерофотознімання. № 63, 2003. С. 196-200.
2. Заєць О. С. Дослідження точності побудови цифрових моделей рельєфу на основі картографічних даних. / О.С. Заєць, Х.В. Буришинська // Вісник геодезії і картографії. 2002. № 2. С. 26-31.
3. Bishop T.F. A. Digital Soil-Terrain Modelling: The Predictive Potential and Uncertainty. In: Grunwald. S. (Ed.), *Environmental Soil-Landscape Modeling: Geographic Information Technologies and Pedometrics*. / T.F. A. Bishop, B. Minasny // CRC Press, Boca Raton, Florida, 2005. P. 185-213.
4. Mitasova H. Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 9(4) / H. Mitasova, L. Mitas, W.M. Brown, D.P. Gerdes, L. Kosinovsky, T. Baker. 1995. P. 433-446. <https://doi.org/10.1080/02693799508902048>
5. Островський, А. В. Перспективи використання сучасних геодезичних технологій у вирішенні задач вертикального планування. / А.В. Островський // *Наук.-техн. збірник Містобудування та територіальне планування*, № 53. Київ: КНУБА, 2014. С. 374-382.
6. Шульц Р. В. Дослідження статистичного розподілу залишкових відхилень при різних підходах до цифрового моделювання рельєфу. / Р.В. Шульц, А.В. Островський // *Scientific Journal «ScienceRise» №1/2 (18.) 2016. С. 44-52. DOI: [10.15587/2313-8416.2016.58561](https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.58561)*
7. Геоінформаційні системи і бази даних / Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Железняк О.О., Терещенко А.О. Ніжин, 2017. 237 с.
8. Світличний О.О. Основи геоінформатики: навчальний посібник. / О.О. Світличний, С.В. Плотницький. Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. 295 с.
9. Паздрій І.М. Використання геоінформаційних систем для зображення рельєфу земної поверхні. / І.М. Паздрій, Ю.В. Білінський // *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 301-309. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2006.33.2700>
10. Буришинська, Х. В. Порівняльний аналіз побудови цифрових моделей рельєфу з використанням апроксимаційних функцій. / Х.В. Буришинська // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2001. Вип. 61. С. 137-148.
11. Surfer. User's Guide: Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. Golden Software, LLC. 1431 с.

References

1. Burshtynska Kh., Dorozhynskiy O., Zazuliak P., Zaets O (2003). Tsyfrove modeliuвання rel'iefu z vykorystanniam paketu Surfer ta heoinformatsiinoi systemy ArcGis. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*. 63, 196-200. [in Ukrainian]
2. Burshtynska, H. V., Zayats, O. S. (2002). Doslidzhennya tochnosti pobudovi tsifrovih modeley relefu na osnovi kartografichnih danih. *Visnik geodeziyi ta kartografyi*, 2, 26-31. [in Ukrainian]
3. Bishop T.F. A., Minasny B. (2005). Digital Soil-Terrain Modelling: The Predictive Potential and Uncertainty. In: Grunwald. S. (Ed.), *Environmental Soil-Landscape Modeling: Geographic Information Technologies and Pedometrics*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 185-213.
4. Mitasova, H., Mitas, L., Brown, W. M., Gerdes, D. P., Kosinovsky, L., & Baker, T. (1995). Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(4), 433-446. <https://doi.org/10.1080/02693799508902048>
5. Ostrovskiy, A. V. (2014). Perspektyvy vykorystannia suchasnykh heodezychnykh tekhnolohii u vyrishenni zadach vertykalnoho planuvannia. *Nauk.-tekhn. zbirnyk Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, 53, 374-382. [in Ukrainian]
6. Schultz, R. V., & Ostrovskiy, A. V. (2016). Investigation of residual deviations distribution using various approaches to digital terrain modeling. *Scientific Journal «ScienceRise» 1/2 (18)*, 44-52. DOI: [10.15587/2313-8416.2016.58561](https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.58561) [in Ukrainian]
7. Zatserkovnyi V.I., Burachek V.G., Zhelezniak O.O., Tereshchenko A.O. (2017). *Geographic Information Systems and Databases*. Nizhyn. [in Ukrainian]
8. Svitlychnyi O.O. & Plotnytskyi S.V. (2006). *Fundamentals of geoinformatics*. VTD «University Book», Sumy. [in Ukrainian]
9. Pazdriy I., Bilinskiy Yu. (2006). Use of geoinformatic systems for representation of earth surface relief. *Visnyk of the Lviv University. Series geography*, 33, 301-309. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2006.33.2700>
10. Burshtynska, H. V. (2001). Porivnyalniy analiz pobudovi tsifrovih modeley relefu z vykorystanniam aproksimatsiynih funktsiy. *Geodeziya, kartografiya i aerofotoznimannya*, 61, 137-148.
11. Surfer. User's Guide: Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. Golden Software, LLC.

Рецензент: д-р техн. наук, професор А.Г. Батракова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: ГУНЬКО Ірина Сергіївна
асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – irinagunko98@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2562-2175>

EVALUATION OF ACCURACY OF DIGITAL TERRAIN MODELING METHODS BASED ON SPATIAL INTERPOLATION (Part 2)

I. Hunko

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

Digital terrain model (DTM) is an integral part of many geodetic works. It allows accurately reproducing the earth's surface in a digital form with varying levels of detail. One of the most significant problems in creating a DTM is the accuracy of reflecting the relief.

In the first part of the work, analyses of methods that can more detailed reflect the relief was already conducted. For these purposes, the Surfer geoinformation package was selected, which offers a considerable number of methods based on the spatial interpolation algorithm. Although these methods have represented the same area with high detail, there is still a need to assess the accuracy of each method.

The purpose of this article is to assess the accuracy of methods for constructing a digital terrain model based on spatial interpolation. Since model accuracy is a crucial factor for many geodetic works, it is necessary to determine which methods are the most accurate and meet the requirements of different purposes of use. The accuracy assessment of methods will improve the efficiency of geodetic works and avoid errors and additional costs.

In the Surfer program, after constructing the DTM with each method, a report can be obtained containing the input values of points and the values obtained after interpolation with each method. This report is very useful for assessing the accuracy of each method since it allows understanding how well the model reflects the real relief. To assess the accuracy of each method, control points of the spatial variable Z were taken, and the values in these points were interpolated for each method. This assessment makes it possible to obtain a numerical characteristic of accuracy for each method and compare them with each other.

Based on the analysis conducted, it can be concluded that problematic areas were identified on a fragment of a topographic map, where there were insufficient input data for accurate interpolation. The result is not accurate and could be better with input data obtained from geodetic instruments and technologies such as GPS, lidar, etc.

The "Natural Neighbor" method performed the best in reproducing the digital elevation model on this hilly terrain. The application of the "Kriging," "Triangulation with Linear Interpolation," "Modified Shepard's Method," and "Radial Basic Function" methods provided fairly accurate interpolation. However, the "Minimum Curvature" method was found to be ineffective in hilly terrain as it did not provide accurate interpolation.

After conducting an accuracy assessment, it can be concluded that high-quality input data is an extremely important element in achieving more accurate results when creating a digital elevation model.

Keywords: *digital elevation model, construction methods, spatial interpolation, geographic information system, Surfer.*