

УДК 514.18

## ПОРІВНЯННЯ ОПТИМІЗОВАНИХ МЕТОДІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ДАНИХ

Залевська О.В., к.т.н.,

[o.zalevska@kpi.ua](mailto:o.zalevska@kpi.ua), ORCID: 0000-0002-3163-1695

Яблонський П.М., к.т.н.,

[yprn@ukr.net](mailto:yprn@ukr.net), ORCID: 0000-0002-1971-5140

Ладогубець Т. С. к.т.н.,

[aladog@gmail.com](mailto:aladog@gmail.com), ORCID: 0000-0001-8700-5477

Савчук Б.І.

[antipich69@gmail.com](mailto:antipich69@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5399-3267

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

*З розвитком інформаційних технологій геоінформаційні системи проникають в різні галузі науки. Це призводить до частішої передачі даних великих об'ємів. Під час обміну такими даними часто пошкоджується або втрачається їх частина, що призводить до необхідності їх відновлення. Сфера застосування геоінформаційних систем постійно розширюється та охоплює нові галузі науки, технологій виробництва, соціального життя, тощо.*

*В роботі розглядаються різновиди методів інтерполяції на прикладі геоінформаційного зображення. Порівнюючи результати приведено недоліки та переваги таких видів наближення як мультиквадратичне, обернена, Гауса, лінійне, кубічне. Порівняння та встановлення переваг методу ґрунтується на основі критеріїв швидкості та точності процесу ітерації. Аналіз останніх досліджень вказує на відсутність досліджень, що встановлювали та оцінювали саме ці параметри. Для аналізу початкового зображення було розроблено програмний застосунок, що відновлює зображення за даними видами апроксимації та підраховує точність та швидкість методів. За вхідний файл розглядався файл формату \*.json, який отримано на основі даних ДУ «Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України» за розробками Господоговірної роботи №63/1 «Натурні радіогеоекологічні дослідження та оцінка ризиків, пов'язаних з радіаційною небезпекою при розробці Біланівського залізорудного родовища, Полтавська область». Для розробки програмного застосунку було вибрано мову програмування Python. Існуючі бібліотеки цієї мови надають ширші можливості для опрацювання графічних даних та збереження їх в текстовому форматі json.*

*Отримані в ході дослідження дані показують, що найточнішими методами відновлення зображення є методи фрактальної апроксимації та Квінтік. Час обчислення істотно збільшується для методу Квінтік в*

порівнянні з іншими методами. Отже, для відновлення даних за їх \*.json файлом найкращий результат надає метод Квінтік. Для обробки великих масивів даних в доцільно використовувати методи кубічної інтерполяції.

*Ключові слова:* відновлення зображення, інтерполяція, геоінформаційні дані, фрактальна апроксимація, точність інтерполяції, ГІС.

**Постановка проблеми.** Недоліки та переваги растрових та векторних даних покажемо в таблиці 1.

Таблиця 1

Недоліки та переваги векторного та растрового зображення геоінформаційних даних

	Недоліки	Переваги
Растрові дані	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостатньо визначене позиціонування об'єктів;</li> <li>- В порівнянні з векторними даними використовують більші обсяги оперативної пам'яті;</li> <li>- Регулярна структура відображення не пристосована до зміни складного рельєфу, оскільки втрачається позиціонування вершин та дна;</li> <li>- Неперервне зображення передається як дискретне.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Висока швидкість формалізації ;</li> <li>- Використання геоданих у системі реального часу без застосування тривалих та трудомістких робіт з шифрування даних у векторний формат даних.</li> </ul>
Векторні дані	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Мають складну систему опису структури даних, внаслідок чого їх обробка вимагає складних геометричних алгоритмів, визначення вузлових точок, стикування сегментів, замикання полігонів тощо;</li> <li>- Не забезпечують неперервність явищ або об'єктів з нечіткими координатами.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Моделювання дискретних об'єктів з встановленими формами та межами;</li> <li>- Компактність збереження даних;</li> <li>- Точність позиціонування точкових об'єктів і зображення ліній.</li> </ul>

Під час дослідження геоінформаційних систем, як правило, використовують растрові дані. При передачі таких даних великих розмірів втрачається частина даних, а частина пошкоджується. Це ускладнює їх обробку та дослідження. Для проведення аналізу та використання

геоінформаційних даних формат їх зберігання має бути компактним, придатним для більшості розроблених інформаційних пакетів та мати просту структуру даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для дослідження геоінформаційних даних розроблено спеціальні програмні застосунки, що включають і методи інтерполяції. Вони все частіше використовуються для відтворення початкового об'єкту [1]. До таких об'єктів відносять картографічні дані [2], геоморфологічне районування [3], геоморфометрія. Прикладні пакети обробки інформаційних даних, такі як ArcGis, Golden Software, Surfer, використовують наступні види інтерполяції [4, 5, 6, 7]:

- обернених вагових відстаней;
- Кригинга;
- Слайд інтерполяцію;
- натурального сусіда;
- TIN -моделювання.

Аналіз результатів оцінки точності відновлення геоінформаційної моделі, побудованої за вказаними методами, вказує на оптимальність використання сплайн інтерполяції та методу оцінки вагових відстаней [8]. За критерієм отриманої точності інтерполяції було взято абсолютну похибку. Показано, що найточнішим виявився метод Крилінга з експоненціальною моделлю [9]. Кількість опорних точок для оцінки похибки становила від 685 до 1077.

Вузли розміщуються на регулярних та нерегулярних решітках у вигляді полілінійних об'єктів. Кожен вузол має 2 значення – початкове (точне) та змодельоване (отримане за допомогою інтерполяції). Процес відновлення неперервної функції полягає у встановленні значення  $z(z_0)$  за допомогою функціоналу  $z(z_0)=f(x_{1,m}, y_{1,n})$ , де  $z(z_0)$  – шукане значення, а  $f(x_{1,m}, y_{1,n})$  – функція інтерполювання [7].

Розглянемо інтерполяцію, що вже використовується в прикладних пакетах для відновлення початкових даних.

Метод радіальних базисних функцій. Метод ґрунтується на знаходженні функцій  $z(z_0)$  за допомогою лінійних комбінацій радіальних базових функцій [2].

В залежності від вигляду функції  $B(d_m)$  метод радіальних базисних функцій поділяють на мультіквадратичну, обернену мультіквадратичну, кубічну (сплайн), та thin plate spline інтерполяції [10].

Thin plate spline інтерполяція полягає в покритті вузлів поверхнею, що моделює поведінку тонкої пластини [12].

Квінтова інтерполяція полягає в наближенні значень за допомогою багаточлена п'ятого порядку.

Апроксимація Гауса використовує в якості вузлів апроксимації наближені значення  $x = x_0 + h$ , де  $h$  крок апроксимації.

Лінійна інтерполяція полягає в знаходженні будь-якої точки за допомогою лінійного зв'язку між двома найближчими вузлами.

Інтерполяційний закон будується за допомогою рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом у вигляді диференціалу[12]:

$$z(x) \approx z(x_0) + k(x-x_0) \text{ де } k = \frac{z(x_1) - z(x_0)}{x_1 - x_0} .$$

Точність такої інтерполяції дорівнює :

$$|R_1(x)| \leq \frac{M_2}{2} \max((x-x_0)(x-x_1)) = \frac{M_2 h^2}{8}, \text{ де}$$

$$M_2 = \max|(x-x_0)(x_1-x_0)| \text{ } h = x_1 - x_0 .$$

**Формування цілей статі.** Метою даної статті є встановлення оптимального виду інтерполяції геоінформаційних даних різного об'єму. Для досягнення мети необхідно проаналізувати існуючі види інтерполяції основуючись на швидкості та точності методів.

Нехай маємо геоінформаційні дані в форматі \*.json, а отже дискретні вхідні дані. Необхідно встановити взаємозв'язок між вузлами, встановити вид найточнішої інтерполяції геоінформаційного зображення за вказаними даними, висновки підтвердити статистичним аналізом вхідних даних.

**Основна частина.** Запропонуємо для розв'язку вказаної задачі наступні види інтерполяції: мультиквдратичну, обернену, Гауса, лінійну, кубічну сплайн інтерполяцію, квінтову та thin plat. Для реалізації даних видів інтерполяції розроблено програмний застосунок на мові програмування Python. За вхідний файл розглядався файл формату \*.json, який отримано на основі даних ДУ «Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України» за розробками Госпдоговірної роботи №63/1 «Натурні радіогеоікологічні дослідження та оцінка ризиків, пов'язаних з радіаційною небезпекою при розробці біланівського залізрудного родовища, полтавська область».

Вхідні дані потребують попередньої обробки, а саме визначення в трьох вимірному масиві координат точок (x,y,z). Для двовимірної реалізації третю координату z вважаємо за вагу точки з координатами (x,y). Для відтворення видів інтерполяції та апроксимації за змінну R приймаємо евклідову відстань між двома точками або масив таких відстаней, за значення  $\lambda_i$  приймаємо середню дистанцію між точками. Ітераційні формули, що використані в застосунку наведемо в таблиці 2.

Таблиця 2

Ітераційні закономірності методів ітерації.

Вид інтерполяції	Inverse	Gaussian	Linear	Cubic	Quintic	Thin plate
Закономірність інтерполяції	$\frac{1}{\sqrt{(\frac{r}{\lambda_i})^2 + 1}}$	$e^{\frac{-r}{\lambda_i}}$	R	R <sup>3</sup>	R <sup>5</sup>	R <sup>2</sup> log(R)

Швидкість обчислення та похибку обчислень занесемо до таблиці 3.

Таблиця 3

## Швидкість відновлення та похибка методу інтерполяції

Вид інтерполяції	Обчислювальна швидкість	Похибка обчислень
Мультикватратична	0.00065963	n*0.19719
Обернена	0.00058379	n*0.11000
Гаусса	0.00059725	n*0.03138
Лінійна	0.00053095	n*0.01931
Кубічна	0.00070549	n*0.35784
Квітна	0.00069743	n*1.87821
Thin plate spline (тонка шліцьова пластина)	0.00063670	n*0.34547

Розроблено програмний застосунок, що відновлює зображення за даними видами апроксимації та підраховує точність та швидкість методів. За критерії оцінювання точності використовуємо такі параметри, як швидкість обчислення, похибка обчислень. В залежності від критерію оцінювання встановлено оптимальні методи відновлення. За критерієм точності наближення для геоінформаційних даних найвдалішими методами апроксимування є сплайн інтерполяція, методу оцінки вагових відстаней, Крилінгова інтерполяція. За швидкістю обчислень першість займає метод Крилінгової інтерполяції. Отримані результати частково співпадають з результатами досліджень, що були отримані раніше.

**Висновки.** Наявність єдиних оптимальних методів відновлення втрачених даних, не тільки зменшить необхідні обчислювальні ресурси, а й забезпечить ідентичність відновленого зображення у будь-якого користувача.

**Література**

1. Shlenkin V.I., Fedorov V.V., Masyukov A.V., Masyukov V.V. On the assessment of the accuracy of correlation forecasting of the parameters of a geological section. *Geo-physical Bulletin*, 2004, No. 4, pp. 19-22.
2. Journel A., Huijbregts C.J. *Mining geostatistic*, Academic Press, New York, 1978.
3. Pavlova A.I. Application of digital terrain modeling methods for mapping erosional lands. *In the world of scientific discoveries*. 2016. No. 2 (74). S. 159-169.
4. Kalichkin V.K., Pavlova A.I. Technology of automated assessment of

- agricultural land for cadastral purposes. Sib. vestn. agricultural. science. 2008. No. 4. P. 5–11.
5. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications /Eds. T. Hengl, H. I. Reuter. Ser.: Developments in Soil Science. Vol. 33. Elsevier, 2009. Ch. 1: Geomorphometry: A brief guide /R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl. 2008. P. 3 <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/1131>
  6. Залевська О.В. Ванін В.В. Точність фрактальної апроксимації структури поверхневого шару близької до фрактальної. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Мелітополь, 2011. Вип. 4: т. 50. С.14-17.
  7. Залевська О.В. Геометричне моделювання процесів нелінійної динаміки методом фрактальної апроксимації: дис. ... канд. техн. наук, 05.01.01. Мелітополь, 2016,

## СРАВНЕНИЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Залевська О.В., Яблонський П.Н., Ладогубець Т.С., Савчук Б.І.

*С развитием информационных технологий геоинформационные системы проникают в различные области науки. Это приводит к более частой передаче данных больших объемов. При обмене такими данными часто повреждается или теряется их часть, что приводит к необходимости их восстановления. Сфера применения геоинформационных систем постоянно расширяется и охватывает новые области науки, технологий производства, социальной жизни и т.д.*

*В работе рассматриваются разновидности методов интерполяции на примере геоинформационного изображения. В процессе исследования были установлены недостатки и преимущества таких видов интерполяции как мультиквадратичная, обратная, Гаусса, линейная, кубическая. Взаимодействие и установка процесса изменения основаны на основах критических вычислений и точных процессах обработки. Анализ последних исследования указывает на отсутствие исследований, которые проводили бы оценку, устанавливали и оценивали именно скорость и точность процесса. Для анализа изображения было разработано программное обеспечение, позволяющее отображать данные для разных видов интерполяции и подсчитывает точность и скорость методов. Входящий файл представляет собой файл в формате \*.json, полученный на основе данных ГУ «Института геохимией окружающей среды НАН Украины» за разработками хоздоговорных работы №63 / 1 «Натурные радиогеоэкологические исследования и оценка рисков, связанных с радиационной опасностью при разработке Билановского железнорудного месторождения, Полтавская область». Для разработки программного*

приложения был выбран язык программирования Python. Существующие библиотеки языка предоставляют широкие возможности для отображения графических данных и возможность конвертировать их в текстовом формате json.

Проанализированные в ходе исследования данные указали на наиболее точные методы обработки изображений - методы фрактальной аппроксимации и квинтик. Время подсчетов быстро сокращается для метода Квинтик по сравнению с другими методами. Итак, для обновления файлов по их \*.json файлом лучший результат дает метод Квинтик. Для обработки больших массивов данных целесообразно использовать методы кубической интерполяции.

Ключевые слова: восстановление изображения, интерполяция, геоинформационные данные, фрактальная аппроксимация, точность интерполяции, ГИС.

## **COMPARISON OF OPTIMIZED GEOINFORMATION DATA INTERPOLATION METHODS**

Olga Zalevskaya, Petro Yablonsky, Tatiana Ladogubets,  
Bohdan Savchuk

*With the development of information technologies, geographic information systems penetrate into various fields of science. This results in more frequent transmission of large amounts of data. When exchanging such data, part of it is often damaged or lost, which leads to the need to restore them. The field of application of geographic information systems is constantly expanding and covers new areas of science, production technologies, social life, etc.*

*In robots, a variety of methods of interpolation on the application of geoinformation images are looked at. Some results and shortcomings of such types are shown, such as multi-quadratic, inverted, Gaus, line, cubic. The adjustment and establishment of the method is based on the criteria for speed and accuracy in the iteration process. The analysis of the last days was taken into account for the duration of the last days, when the parameters were assessed. For the analysis of the cob image, a software lock has been broken up, so that the image for these types of approximation and the accuracy and speed of methods has been updated. For the input file, a file in the \*.json format is looked at, which is rendered on the basis of data from the Institute of Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine ancestry, Poltava region". For the development of the software Python software. The vast libraries of the mobile library provide a wide range of possibilities for optimizing graphical data and saving them in json text format.*

*Received in the course of the last data show, with the most precise methods of updating the image  $\epsilon$  the methods of fractal approximation and Quantum. The*

*hour of calculation is increased for the Quantum method in accordance with the other methods. For updating the data for the \*.json file, the best result is given by the Kvintik method. For the processing of the great arrays of tributes in the docile vicorist methods of cubic interpolation.*

*Keywords. Image recovery, interpolation, geoinformation data, fractal approximation, interpolation accuracy, GIS.*

### **References**

1. Shlenkin, V.I., Fedorov, V.V., Masyukov, A.V., Masyukov, V.V. (2004) On the assessment of the accuracy of correlation forecasting of the parameters of a geological section. *Geo-physical Bulletin*, 4, 19-22. [in English]
2. Journel A., Huijbregts C.J. (1978) *Mining geostatistic*, Academic Press, New York, [in English]
3. Pavlova, A.I. (2016) Application of digital terrain modeling methods for mapping erosional lands. In the world of scientific discoveries. 2 (74),159-169. [in English]
4. Kalichkin, V.K, Pavlova, A.I. (2008) Technology of automated assessment of agricultural land for cadastral purposes. *Sib. vestn. agricultural. Science*, 4, 5– 11 [in English]
5. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* /Eds. T. Hengl, H. I. Reuter. Ser.: *Developments in Soil Science*. Vol. 33. Elsevier, 2009. Ch. 1: *Geomorphometry: A brief guide* /R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl. 2008. P. 3 <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/1131>
6. Zalevska O. (2011). The accuracy of the fractal approximation of the structure of the surface ball is close to fractal. *Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika*. Melitopol, 14-17. [in Ukrainian]
7. Zalevska O.V.(2018) Geometric modeling of nonlinear dynamics processes by fractal approximation method: candidate's thesis 05,01,01 Melitopol, [in Ukrainian]