

УДК 004.89:004.93

ПОШУК ОБ'ЄКТІВ НА НЕВЕЛИКІЙ ГЛИБИНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕВОЛЮЦІЙНИХ МЕТОДІВ

Машков В.В.

e-mail: viacheslav.mashkov@nure.ua

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Шафроненко А.Ю.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

The work is aimed at developing a GPR data processing system for detecting objects at shallow depths using evolutionary algorithms for optimizing parabolic model parameters. Preprocessing methods are proposed to eliminate static and ground reflection, as well as a web application for interactive visualization of results. Experimental data confirm the ability of the approach to accurately localize objects and separate them from noise, which opens up new prospects for the application of modern optimization methods in GPR studies. Additionally, the integrated framework establishes a solid foundation for future enhancements and practical deployments in various geophysical and engineering applications.

Розробка методів із застосуванням еволюційних алгоритмів для оптимізації параметрів моделей обробки георадарних сигналів дозволяє значно покращити точність і надійність виявлення об'єктів на невеликій глибині. У даній роботі розглядається задача пошуку об'єктів через визначення параболічних відбиттів, вершини яких відображають мінімальну відстань від об'єкта до приймача.

Нехай сигнал, отриманий із георадарного пристрою, представлено у вигляді матриці

$$M = \{m_{i,j}\}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, C,$$

де $\{m_{i,j}\}$ – амплітудне значення сигналу в момент часу t_i для каналу j .

Перші k зразків кожного імпульсу містять фонове відбиття від апаратури та початковий імпульс, а також сильне відбиття від поверхні ґрунту, яке потребує усунення для подальшої обробки.

Для моделювання характерного параболічного відбиття, що виникає у результаті взаємодії хвилі з підземним об'єктом, використаємо модель:

$$f(x) = a(x - h)^2 + k,$$

де параметри a , h та k визначають відповідно кривизну, положення вершини та значення сигналу у точці мінімальної відстані від об'єкта до приймача.

Нехай $Q = \{q^{(l)}\}_{l=1}^L$, де $q^{(l)} = (a^{(l)}, h^{(l)}, k^{(l)})$, являє собою множину кандидатів на оптимальне рішення. Оптимальні параметри q^* знаходяться шляхом мінімізації функції витрат:

$$F(q) = \sum_{i \in I} [m_{i,j} - f(x_i, q)]^2,$$

де I – інтервал часу після усунення початкових зразків, що містять некорисний сигнал.

Еволюційний алгоритм здійснює пошук $q^* = \arg \min_{q \in Q} F(q)$, що дозволяє адаптивно врахувати вплив шуму та артефактів.

Розробка веб-застосунку передбачає інтеграцію попередньої обробки сигналу, яка включає усунення статичного відбиття та початкового імпульсу, а також видалення відбиття від ґрунту шляхом оцінки середнього значення сигналу в певному часовому інтервалі та субтракції отриманого результату від наступних зразків. Далі застосовується еволюційна оптимізація для пошуку оптимальних параметрів параболічної моделі, що описує об'єкт, із використанням спеціально розробленої функції витрат.

Поєднання еволюційних методів з традиційними алгоритмами попередньої обробки сигналу дає змогу створити веб-застосунок, який не лише ефективно локалізує об'єкти, але й чітко розмежовує їх від шуму та інших аномалій. Розроблена система вирізняється гнучкістю налаштувань і адаптивністю до специфіки отриманих даних, що є надзвичайно важливим для практичного застосування в геофізичних дослідженнях.

Список використаних джерел:

1. Evolutionary Optimization Methods for High-Dimensional Expensive Problems: A Survey / M. Zhou et al. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. 2024. Vol. 11, no. 5. P. 1092–1105. URL: <https://doi.org/10.1109/jas.2024.124320> (date of access: 12.03.2026).
2. Fuzzy Clusterization of Distorted by Missing Observations Data Sets Using Evolutionary Optimization / A. Shafronenko et al. 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 5–7 June 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/acitt.2019.8779888> (date of access: 12.03.2026).
3. Implementation of an Artificial Intelligence Approach to GPR Systems for Landmine Detection / O. A. Pryshchenko et al. Remote Sensing. 2022. Vol. 14, no. 17. P. 4421. URL: <https://doi.org/10.3390/rs14174421> (date of access: 12.03.2026).
4. Sarker R., Mohammadian M., Yao X. Evolutionary Optimization. Boston, MA : Springer US, 2002. URL: <https://doi.org/10.1007/b101816> (date of access: 12.03.2026).