

УДК 004.42

Терлецький С.В.¹, Гофман Є.О.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

**МЕТОД ПОБУДОВИ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
АНТРОПОГЕННИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНОГО
АНАЛІЗУ ДАНИХ**

У задачах аналізу картографічних і супутникових зображень важливим є автоматизоване виявлення антропогенних структур на фоні природних

об'єктів. Традиційні методи, що базуються на спектральних, яскравісних або морфологічних ознаках, не завжди забезпечують достатню стійкість до шуму, змін масштабу та просторової неоднорідності сцени. У зв'язку з цим перспективним є застосування фрактального аналізу, який дозволяє кількісно описувати складність, нерегулярність і просторову організацію зображень.

Однією з основних характеристик фрактального аналізу є фрактальна розмірність, яка відображає ступінь заповнення простору структурою та рівень її геометричної складності. Для її оцінювання широко використовується метод боксового покриття, що полягає у накладанні на зображення сіток різного масштабу та підрахунку кількості комірок, які містять хоча б один піксель досліджуваного об'єкта. Фрактальна розмірність визначається за виразом (1):

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[\frac{\log N(\varepsilon)}{\log(\frac{1}{\varepsilon})} \right], \quad (1)$$

де $N(\varepsilon)$ — кількість боксів розміру ε , необхідних для покриття об'єкта.

Недоліком стандартного методу є залежність точності від дискретності вибору масштабів і чутливість до локальних спотворень. Для підвищення точності у роботі запропоновано модифікований підхід, у якому набір масштабів формується на основі послідовності Фібоначчі. Така нерівномірна шкала покриття забезпечує більш гнучке охоплення структурних особливостей зображення та підвищує стабільність оцінювання фрактальної розмірності для складних сцен.

Для побудови діагностичної моделі використано локально-фрактальний підхід, за яким зображення поділяється на неперекривні плитки, а для кожної з них окремо обчислюється локальна фрактальна розмірність. Це дозволяє враховувати просторову неоднорідність зображення та формувати інформативні ознаки для класифікації. За результатами локального аналізу визначаються середнє значення фрактальної розмірності $D_{сер}$ і стандартне відхилення σ (2), (3):

$$D_{сер} = \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum D_i, \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum (D_i - D_{сер})^2}, \quad (3)$$

де D_i — локальна фрактальна розмірність i -ї плитки, n — кількість плиток.

Експериментальне дослідження на картографічних і супутникових зображеннях показало, що природні поверхні характеризуються нижчими або помірними значеннями середньої фрактальної розмірності та вищою локальною варіабельністю, тоді як антропогенні об'єкти мають більш впорядковану геометрію і менші значення стандартного відхилення. Таким чином, сукупність ознак $D_{сер}$ та σ може використовуватися як діагностичний критерій для виявлення ступеня антропогенного впливу.

Таблиця 1 — Приклад фрактальних характеристик для різних типів поверхні

Тип території	Середнє значення $D_{сер}$	Стандартне відхилення σ
Море	1,49	0,40
Поле з дорогою	1,68	0,10
Портова територія	1,63	0,04
Впорядкована забудова	1,65	0,14

Наукова новизна роботи полягає у використанні модифікованого методу боксового покриття з масштабами Фібоначчі для локального оцінювання фрактальної розмірності та побудови діагностичних ознак антропогенних структур. Практична значущість полягає у можливості застосування запропонованого підходу в системах дистанційного моніторингу, геоінформаційного аналізу, автоматизованого оновлення картографічних даних і попереднього маркування зображень для задач машинного навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Reiss M. A., Sabathiel N., Ahammer H. Noise dependency of algorithms for calculating fractal dimensions in digital images // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2015. Vol. 78. P. 39–46.
2. Ivanovici M. A multi-spectral fractal image model and its associated fractal dimension estimator // *Fractal and Fractional*. 2023. Vol. 7(3). P. 238.
3. Losa G., Ristanović D., Zaletel I., Beltraminelli S. From fractal geometry to fractal analysis // *Applied Mathematics*. 2016. Vol. 7. P. 346–354.
4. Wangiyana S. SpaceNet 6 Multi-Sensor All-Weather Mapping [Dataset]. Kaggle, 2020.