

М.В. Малярів, к.т.н., доцент, НУЦЗУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

(представлено д-ром техн. наук Тарасенком О.А.)

В роботі проведено дослідження фрактальної розмірності зображення земної поверхні від енергетичних та просторових змін на цьому зображенні. Проаналізовані величини змін фрактальної розмірності та зроблено висновки щодо можливості її використання при проведенні задач моніторингу надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: моніторинг територій, фрактальна розмірність, метод покриття, MathCad, самоподоба.

Постановка проблеми. Завдання моніторингу земної поверхні може бути представлено як визначення змін на зображеннях цієї поверхні, їх класифікації та визначення масштабів змін, що відбулися. Саме тому для проведення задач моніторингу потрібно мати формалізований опис земної поверхні, яка не зазнала змін, так і опис змін, що відбулися. Зазвичай розміщення елементів на зображення земної поверхні є досить складним та хаотичним, та вимагає багато часу при обробці результатів таких спостережень. Але якщо прийняти, що завдання моніторингу буде носити тільки «сигнальний» характер (з'явилися зміни чи ні) та використовувати просторові властивості для формалізованого опису, то така задача може бути повністю автоматизована з використання вже існуючих алгоритмів. Головне формалізувати опис земної поверхні без змін, опис поверхні що їх зазнала та описати вклад кожної зміни в просторові характеристики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки розміщення елементів на зображенні є складним й хаотичним в [1, 2] запропоновано стежити не за кожним елементом окремо, а розглядати відразу всю сукупність елементів, які в заданий момент часу займають певне положення, характеризуючи просторову структуру зображення земної поверхні та пропонується характеризувати структуру поверхні за допомогою фрактальної геометрії.

Простір спостережень може бути описане в такий спосіб [1]. Для елементів безлічі, що утворюють просторову структуру зображення поверхні введемо наступні позначення: S_i – клас (найменування) об'єкта $i = 1, 2, \dots, I$, де I – загальна кількість класів, для елементів зображення

класом може бути усі елементи з однаковою яскравістю; S_i – площа займана i -ім класом або площа зображення об'єкта i -го класу.

Тоді зображення просторової структури може бути описано набором наступних показників: $\bigcup_{i=1}^I C_i$ – об'єднанням всіх класів просторової структури;

$\sum_{i=1}^I S_i$ – сумарною площею класів; $P(S)$ – розподілом площ у межах кожного класу;

$A_r(C_i, C_j)$ – матрицею суміжності елементів класів C_i, C_j , де r – відношення, у якому перебувають C_i й C_j .

При $r=1$ класи примикають друг до друга безпосередньо. При $r=2$ елементи двох класів розділені яким-небудь третім і так далі.

Виходячи з опису простору спостережень, фрактальна розмірність D_f природної структури буде пропорційна:

$$D_f \sim f(N, \bigcup_{i=1}^I C_i, A_r(C_i, C_j), \sum_{i=1}^I S_j, P(S_i), S_{\text{пр}}), \quad (1)$$

де $S_{\text{пр}}$ – площа зображення просторової структури, що спостерігається.

Зміна, факт появи якої потрібно виявити, належить до класу $C_{\text{об}}$, що не належить безлічі C ($C_{\text{об}} \notin C$), і має площу $S_{\text{об}}$. Поява в контрольованому просторі спостережень об'єкта з новим класом $C_{\text{об}}$ приведе, виходячи із властивостей фрактальної розмірності, до її зміни

$$D_{f_{\text{об}}} \sim f(N, \bigcup_{i=1}^I C_i, C_{\text{об}}, A_r(C_i, C_j), \sum_{i=1}^I S_j, P(S_i), S_{\text{об}}, S_{\text{пр}}). \quad (2)$$

При цьому з формул (1) і (2) видно, що величина фрактальної розмірності змінилася на величину

$$\Delta D_f \approx D_{f_{\text{об}}} - D_f, \quad (3)$$

що дозволяє прийняти рішення про факт зміни на зображенні земної поверхні.

Для знаходження фрактальної розмірності пропонується скористатися методом покриття [3] при якому зображення розбивається на квадратні клітки деякого розміру ε . Потім підраховується кількість кліток $N(\varepsilon)$, необхідних для покриття зображення. Фрактальною, називають розмірність D_f , обумовлену виразом

$$D_f = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\text{Ln}N(\varepsilon)}{\text{Ln}(1/\varepsilon)}. \quad (4)$$

Так як на практиці важко реалізувати виконання умови $\varepsilon \rightarrow 0$, то при реалізації алгоритму розрахунку співвідношення (4) представляють у вигляді

$$\text{Ln}N(\varepsilon) = \text{Ln}C - D_f \text{Ln}\varepsilon, \quad (5)$$

де C – константа. Якщо при реалізації методу покриття використати клітки тільки двох розмірів $-\varepsilon_1$ та ε_2 , то невідомі можна визначити із системи рівнянь

$$\begin{cases} \text{Ln}N(\varepsilon_1) = \text{Ln}C - D_f \text{Ln}\varepsilon_1 \\ \text{Ln}N(\varepsilon_2) = \text{Ln}C - D_f \text{Ln}\varepsilon_2 \end{cases} \quad (6)$$

Постановка завдання та його вирішення. Метою даної статі є дослідження фрактальних властивостей зображень земної поверхні (а саме фрактальної розмірності) при різних змінах в зображенні (просторових та енергетичний) стосовно для вирішення завдань моніторингу земної поверхні. Розрахунок фрактальної розмірності буде проводитися на основі формул (4-6) формалізація яких за допомогою математичного пакету MathCad наведена у [4]. У якості знімків земної поверхні, використовуються зображення, які отримано з використання супутників вільного доступу та мережі Інтернет.

Зазвичай, коли мова йде про фрактальну розмірність в літературі наводиться твердження, що фрактальні зображення інваріантні к здвигу та повороту [5]. У якості дослідження проаналізуємо зміни фрактальної розмірності в залежності від кута повороту зображення та його енергетичних характеристик (яскравості та контрастності). Результат обчислень наведено в табл. 1.

Табл. 1. Значення фрактальної розмірності в залежності від характеристик зображення

Кут повороту, град	0	30	60	90	120	150	180
Значення D_f	1,86	1,84	1,79	1,87	1,80	1,88	1,82
Яскравість	-60	-30	0	+30	+60		
Значення D_f	1,86	1,85	1,86	1,87	1,85		
Контрастність	-60	-30	0	+30	+60		
Значення D_f	1,86	1,87	1,86	1,85	1,86		

Як видно, коливання в значеннях фрактальної розмірності не перевищують 4% від початкових значень, що дозволяє зробити висновок, що фрактальна розмірність слабо залежить від кута спостереження та повороту

зображення та обумовлюється тільки просторовими характеристиками, що дає можливість проводити спостереження під різними вісями візування.

Для дослідження значень фрактальної властивості в залежності від змін зображення, проаналізуємо які змінні, що входять у вираз (1), повинні змінитися, щоб ці зміни могли відбитися на значенні фрактальної розмірності. Допустимо, що маємо зображенні поверхні (рис. 1а). На цьому зображенні з'являється якась зміна, характеристики якої не належить до класів, що присутні на зображенні, тобто відрізняється по кольору пікселів та має деяку площу. (рис. 1б, зона 1). При цьому зміняться всі змінні, що входять у вираз (1). Якщо зміни, що з'являються на зображенні, вже належать до існуючих класів (наприклад її колір збігається з кольором деяких елементів), то для такого випадку зміняться деякі характеристики. Наприклад, площа даного класу (S_i) або взаємне розташування $A_r(C_i, C_j)$ (рис. 1б, зона 2). Інший можливий випадок, коли зміни належить до існуючих класів і не змінює їхню площу (рис. 1б, зона 3), а тільки взаємне розташування $A_r(C_i, C_j)$.

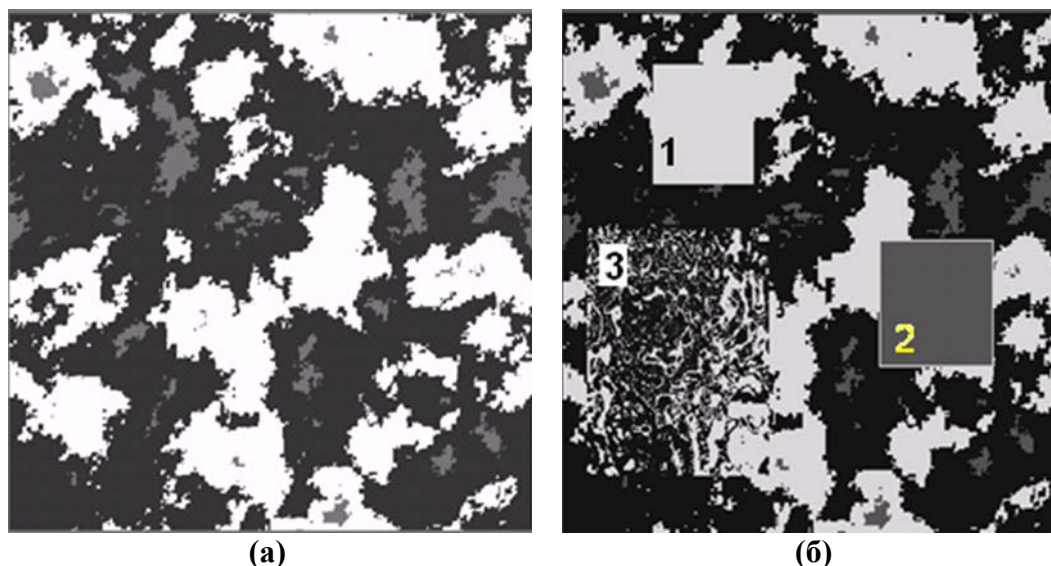
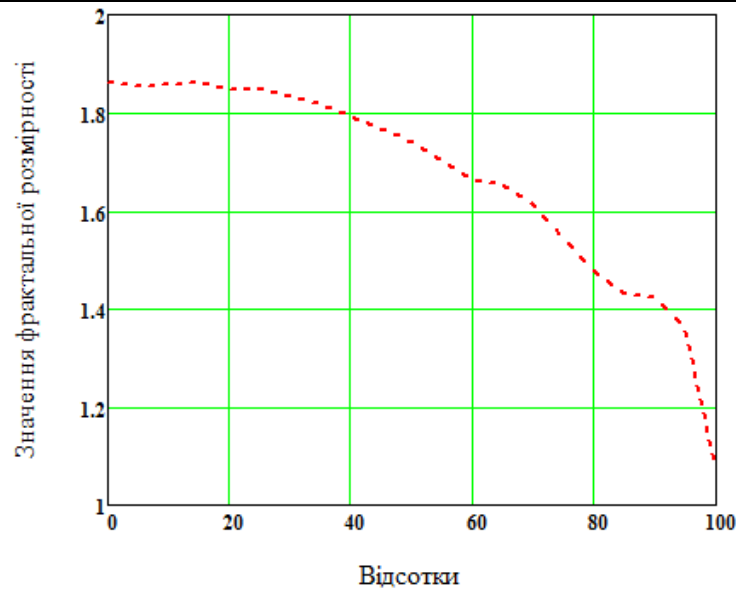
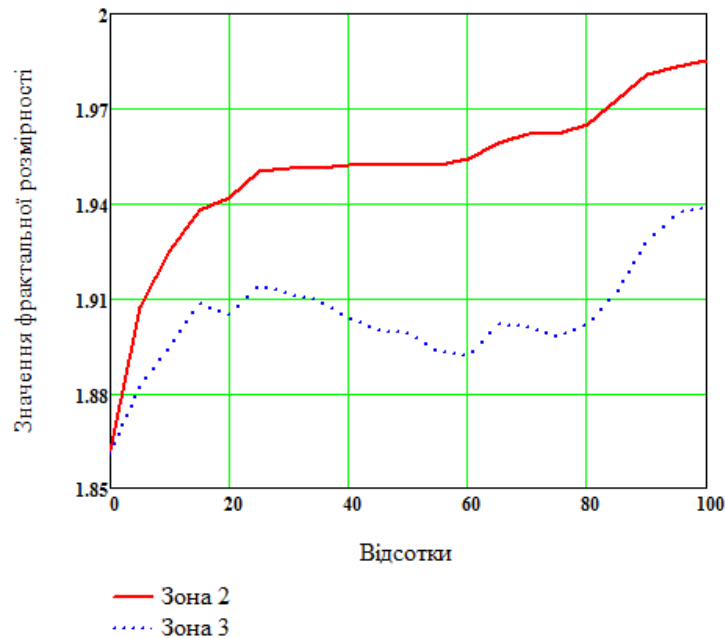


Рис. 1. Зображення при відсутності (а) та при появі змін з різними властивостями (б) в її структурі

Так як зображення земної поверхні зазвичай має пікселі всього діапазону кольорів, то сформувати зону 1 на реальному зображенні важко. При моделюванні на зображенні було сформовано зону у якій всі пікселі мають колір нуль (зазвичай значення належить діапазону 1-255), що відповідає «відсутності» зображення. Результати моделювання приведено на рис. 2а. З приведеного графіку видно, що значенні фрактальної розмірності поступово зменшується до значення цілої величини, тобто зображення приймає не фрактальні властивості. Величина фрактальної розмірності яка дорівнює одиниця відповідає одномірному геометричному об'єкту.



а)



б)

Рис. 2. Величина зміни фрактальної розмірності в залежності від розміру змін

При моделюванні змін, які належать до існуючих класів значення кольору пікселя було вибрано на середньому рівні (120 одиниць) та поступово змінювалася величина цієї зони. Результат моделювання наведено на рис 2б, зона 2. З графіка видно, що величина фрактальної розмірності наближається до цілого значення $D_f=2,00$, що свідчить про втрату фрактальних властивостей, при цьому зображення перетворюється у простий двомірний об'єкт з однаковим кольором пікселів.

В результаті випадку, коли зміни належить до існуючих класів та не змінюють їхню площу (рис 2б, зона 3), видно що величина фрактальної розмірності наближається до значення $D_f=1,94$, величина якої є власним значенням фрактальної розмірності зміни, що з'явилася.

Висновки. Розглянуті вище результати моделювання зміни величини фрактальної розмірності в залежності від змін зображення дозволяють зробити наступні висновки: величина фрактальної розмірності змінюється на рівні 5% при зміні кутів візування та енергетичний характеристик зображення (яскравість та контрастність). Результати будь-якої зміни в структурі зображення викликають зміну фрактальної розмірності, що дозволяє використовувати її як критерій сигнальних змін при рішенні задач моніторингу надзвичайних ситуацій. Якщо вважати, що початкове зображення мало фрактальну розмірність $D_f=1,86$, то для перевищення 4% рівня змін ($D_f=1,94$) необхідно щоб розмір змін був більший за 18%-20% від розмірів зображення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маляров М.В. Алгоритм пошуку малорозмірних об'єктів на морський поверхні з використанням її фрактальних властивостей / Маляров М.В., Щербак Г.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – Вип.8. – С.124-129. – Режим доступу: <http://edu-mns.org.ua/nmc/109/pns08.pdf#page=124>.
2. Маляров М.В. Моніторинг змін природних територій з використанням просторових характеристик / Маляров М.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – с.52-56. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/>.
3. Е. Федер. Фракталы / Федер Е. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Маляров М. В. Фрактальний моніторинг земної поверхні з використанням математичного пакету MathCad / Маляров М.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. –2015. – Вип. 22. – С. 93-98. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol22/Malyarov.pdf>.
5. Кронвер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах / Кронвер Р.М. – М.: Постмаркет, 2000, – 352 с.

М.В. Маляров

Исследование фрактальных свойств земной поверхности при решении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций

В работе проведено исследование фрактальной размерности изображения земной поверхности от энергетических и пространственных изменений на этом изображении. Проанализированы величины изменений фрактальной размерности и сделаны выводы о возможности ее использования при проведении задач мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: мониторинг территорий, фрактальная размерность, метод покрытия, MathCad, самоподобие.

M.V. Malyarov

Research of fractal properties of the Earth's surface in solving emergency monitoring tasks

The paper studied the fractal dimension of the Earth surface images from the energy and spatial variations in this image. Analyzed changes in the value of the fractal dimension and the conclusions about the possibility of its use in conducting emergency monitoring tasks.

Keywords: monitoring of territories, the fractal dimension, the method of coating, MathCad, self-similarity.