

УДК 621.317

¹Ю.О. Подчашинський, д.т.н.

ФРАКТАЛЬНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА КОМПАКТНОСТІ ВІДЕОЗБРАЖЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

¹завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління та автоматики, Житомирський державний технологічний університет, E-mail: ju-p@ztu.edu.ua

В статті розглянуто фрактальний метод підвищення точності та компактності відеозображень в автоматизованих системах. Ці відеозображення містять вимірювальну інформацію про геометричні параметри промислових виробів з природного каменю, що контролюються автоматизованою системою. Фрактальне перетворення необхідно для зменшення об'єму цифрових даних, компактного зберігання та високоточного відновлення вимірювальної інформації про геометричні параметри структурних елементів на поверхні виробів, що характеризують їх якість та декоративно-естетичні властивості.

Ключові слова: фрактал, відеозображення, вимірювання геометричних параметрів

1. Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними задачами. Сучасним методом алгоритмічної обробки відеозображень є їх перетворення та кодування на основі теорії фракталів [1]. На основі фрактальних методів може бути забезпечено підвищення точності і компактності цифрових відеозображень при їх накопиченні та зберіганні в цифровій ЕОМ. Перевагою фрактальних методів є менші похибки та значне зменшення об'єму цифрових даних відеозображень у порівнянні з існуючими методами [2, 3].

Фрактальне перетворення дозволяє знаходити базові подібні області на відеозображенні з урахуванням повороту, масштабування геометричних розмірів та амплітуди відеосигналу для цих областей. В результаті, забезпечується значне зменшення об'єму цифрових відеозображень, для яких потрібно зберігати тільки базові подібні області та набір перетворень, що дозволяють відновити ці відеозображення на основі базових областей. Фрактальні методи перетворення особливо ефективні для промислових виробів, поверхня яких має фрактальні властивості [1, 2]. В тому числі – це структурні елементи поверхні облицовальних виробів з природного каменю. Визначення геометричних параметрів структурних елементів поверхні облицовальних виробів може бути використано в процедурах оцінки декоративних властивостей природного каменю та контролю якості промислових виробів з нього [4, 5].

Тому **актуальною задачею** є дослідження методів обробки, зберігання та передачі цифрових відеозображень промислових виробів з природного каменю на основі фрактального перетворення цих відеозображень. Такий підхід повинний забезпечити більш високу компактність зберігання відеозображень та точність визначення геометричних параметрів в автоматизованих системах контролю промислових виробів з природного каменю.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Існуючі методи зменшення об'єму цифрових відеозображень орієнтовані на досягнення їх високої візуальної якості [2, 3, 6, 7, 8, 9]. Але такий підхід не ефективний при вимірюванні геометричних параметрів і не забезпечує мінімізації похибки вимірювань в автоматизованих системах.

Найбільш сучасним та перспективним методом є зменшення об'єму відеозображень виробів з природного каменю на основі теорії фракталів [2, 3]. Застосування фракталів дозволяє зменшити об'єм відеозображень у декілька сотень разів при їх високій якості. Існуючі дослідження висвітлюють вплив фрактального перетворення на амплітуду відеосигналу відеозображення, що стискається, і, відповідно, на його візуальну якість. Але, на теперішній час не відомо застосувань фрактальних методів до зменшення об'єму відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про геометричні параметри виробів з природного каменю.

Метою статті є розробка та дослідження фрактальних методів підвищення точності та компактності цифрових відеозображень промислових облицовальних виробів з природного каменю. Фрактальні методи можуть бути застосовані при обробці, зберіганні та передачі цих відеозображень в автоматизованих системах, що здійснюють контроль якості та підбір виробів з облицовального природного каменю.

2. Фрактальне перетворення відеозображень виробів з природного каменю

Фрактальні властивості поверхні виробів з природного каменю характеризуються його

фрактальною розмірністю. Фрактальна розмірність $d_{\delta\delta}$ [1] визначається шляхом розподілу цифрового відеозображення на квадрати зі стороною $\delta_{\delta\delta}$ та підрахунку кількості квадратів $N_{\hat{\epsilon}\delta}(\delta_{\delta\delta})$, через які проходить контур структурного елементу поверхні виробу. Далі будують графік залежності $\lg(N_{\hat{\epsilon}\delta}(\delta_{\delta\delta}))$ від $\lg(\delta_{\delta\delta})$ та апроксимують його функцією $N_{\hat{\epsilon}\delta}(\delta_{\delta\delta}) = L_{\hat{\epsilon}} \cdot (\delta_{\delta\delta})^{-d_{\delta\delta}}$ або для логарифмічного масштабу $\lg(N_{\hat{\epsilon}\delta}(\delta_{\delta\delta})) = \lg L_{\hat{\epsilon}} - d_{\delta\delta} \lg \delta_{\delta\delta}$, де $L_{\hat{\epsilon}}$ – коефіцієнт пропорційності. Наприклад, для звичайного контура у вигляді прямої лінії з розмірністю $d_{\delta\delta} = 1$ при $\delta_{\delta\delta} \rightarrow 0$ коефіцієнт $L_{\hat{\epsilon}}$ дорівнює довжині контура. Для контура структурного елементу з фрактальними властивостями його фрактальна розмірність $1 < d_{\delta\delta} < 2$, а коефіцієнт $L_{\hat{\epsilon}}$ характеризує геометричні властивості базових фрагментів, що утворюють складний фрактальний контур.

Фрактальне перетворення $T_{\delta\delta}$ дозволяє на основі множини f_{δ} базових подібних областей за допомогою ітераційної процедури відновити початкове відеозображення f_0 [2]. Для цього знаходять оцінку $\hat{T}_{\delta\delta}$ і застосовують обернене фрактальне перетворення $\hat{T}_{\delta\delta}^{-1}$ до відеозображення f_1 , що сформоване цифровою відеокамерою і містить похибку Δ_{f_0} (рис. 1):

$$f_{\delta} = \hat{T}_{\delta\delta}^{-1}(f_1), \quad f_1 = f_0^* = f_0 + \Delta_{f_0}.$$

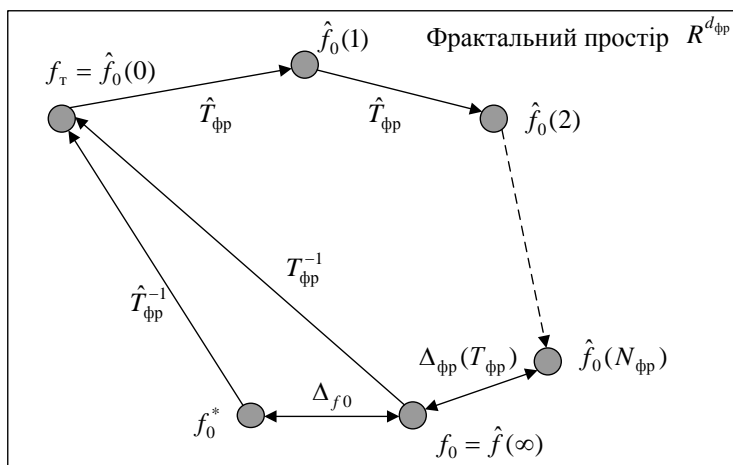


Рис. 1. Фрактальне перетворення відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри промислових виробів з природного каменю

Відновлення відеозображень полягає в ітераційному застосуванні (з кількістю ітерацій $N_{\delta\delta}$) оцінки фрактального перетворення $\hat{T}_{\delta\delta}$ до $f_{\delta} = \hat{f}_0(0)$:

$$\hat{f}_0(i) = \hat{T}_{\delta\delta}(\hat{f}_0(i-1)) = f_0 + \Delta_{\delta\delta}(i), \quad i \in \overline{1, N_{\delta\delta}}.$$

Для отримання початкового відеозображення f_0 необхідно виконати нескінчену кількість ітерацій. За скінчену кількість ітерацій $N_{\delta\delta}$ отримуємо оцінку початкового відеозображення \hat{f}_0 з похибкою $\Delta_{\delta\delta}(N_{\delta\delta})$.

Шляхом вибору параметрів фрактального перетворення та кількості ітерацій можна суттєво зменшити похибки вимірювання геометричних параметрів за умови $\Delta_{\delta\delta}(N_{\delta\delta}) < \Delta_{f_0}$. Таким чином, на основі фрактального перетворення може бути забезпечено компактне зберігання відеозображень та високоточне вимірювання геометричних параметрів структурних елементів поверхні облицювальних виробів.

3. Фрактальний метод підвищення точності та компактності відеозображень виробів з природного каменю

Основною операцією, що реалізується фрактальними методами, є зменшення об'єму відеозображень при їх накопиченні та зберіганні в автоматизованій системі.

Необхідність цих дій обумовлена дуже великим об'ємом відеозображень з вимірювальною інформацією. Об'єм одного відеозображення виробу у сучасних цифрових відеокамерах досягає декількох десятків мегабайт. Вимірювання геометричних параметрів виробів з природного каменю в процесі їх виготовлення потребує реєстрації часових послідовностей відеозображень. Все це вимагає значних затрат технічних ресурсів та ускладнює вимірювання геометричних параметрів виробів.

З іншого боку, відеозображення виробів мають значну надлишковість по відношенню до корисної вимірювальної інформації про геометричні параметри. Звідси випливає можливість зменшення об'єму

відеозображень шляхом виключення надлишкової інформації, що не має суттєвого впливу на точність результатів вимірювання геометричних параметрів.

Тому було розроблено фрактальний метод стиснення відеозображень ([10]). Метод оснований на теорії фракталів. В даному дослідженні цей метод застосовано для зменшення об'єму відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри виробів з природного каменю

Як відомо [2], в ході фрактального перетворення знаходяться області відеозображення (рангові блоки), що є подібними до типових структурних елементів даного типу поверхні природного каменю (доменних блоків). Наявність подібних елементів на відеозображеннях дозволяє суттєво скоротити об'єм цифрових даних, необхідних для накопичення і зберігання цих відеозображень в автоматизованій системі. Особливо ефективною така процедура є для поверхні виробів з природного каменю, що мають фрактальні властивості. Максимально допустима розбіжність між ранговими та доменними блоками при їх порівнянні визначає точність передачі вимірювальної інформації про геометричні параметри.

При фрактальному перетворенні цифрового кольорового відеозображення виконується розподіл цифрових даних для кожного з каналів відеозображення на рангові блоки, наприклад, методом квадродерева [2]. На відміну від існуючих методів [3, 6, 7], в даному методі забезпечується змінний розмір рангових блоків, який адаптується до локальних особливостей цифрового кольорового відеозображення виробів з природного каменю. Якщо на деякій ділянці цифрового кольорового відеозображення присутній контур структурного елемента поверхні, то виконується розподіл цієї ділянки на більш дрібні рангові блоки. Це забезпечує при зменшенні об'єму більш точну передачу координат контурів. Якщо деяка ділянка цифрового кольорового відеозображення є однорідною областю без наявності контурів, то розмір рангових блоків на цій ділянці збільшується. В результаті значно зменшується загальна кількість рангових блоків, що забезпечує значне зменшення об'єму відеозображення.

Фрактальний метод для перетворення відеозображень виробів з природного каменю виконують в такій послідовності:

1. Визначають параметри фрактального перетворення, які забезпечують задану точність передачі вимірювальної інформації про геометричні параметри. Це мінімальний розмір рангового блоку в дискретних точках (д.т.) цифрового відеозображення; кількість і розміри в д.т. доменних блоків; максимально допустима похибка, що визначає відмінності між ранговими та доменними блоками при їх порівнянні. Для цього виконують та досліджують процес фрактального перетворення набору цифрових кольорових відеозображень зразків природного каменю, що досліджується.

2. Перетворюють цифрове кольорове відеозображення в колориметричну систему, що забезпечує окреме зберігання інформації про яскравість і колір дискретних точок. Наприклад, це система *Lab* (*L* – яскравість або освітленість, *a* – зелені та червоні відтінки кольору, *b* – жовті та сині відтінки кольору) або *YCbCr* (*Y* – яскравість, *Cb* – кольорорізницевий сигнал каналів синього та зеленого кольору, *Cr* – кольорорізницевий сигнал каналів червоного та зеленого кольору) [6, 7].

3. Виконують субдискретизацію цифрових даних для кожного з каналів цифрового кольорового відеозображення, який описує колір цього відеозображення [3]. Субдискретизація не впливає на канал яскравості, що передає основну вимірювальну інформацію, та забезпечує додаткове зменшення об'єму цифрових кольорових відеозображень.

4. Виконують фрактальне перетворення цифрових даних для кожного з каналів цифрового кольорового відеозображення. Для цього використовують параметри фрактального перетворення, визначені в п. 1 даного методу.

5. Виконують статистичне кодування цифрових даних для кожного з каналів цифрового кольорового відеозображення. Це забезпечує додаткове зменшення об'єму цифрових кольорових відеозображень за рахунок видалення інформаційної надлишковості. Для статистичного кодування використовують код Хаффмена або арифметичне кодування [2, 3].

4. Дослідження фрактального методу перетворення відеозображень виробів

Для експериментального дослідження фрактального методу використовувалися відеозображення виробів з природного облицювального каменю (рис. 2, табл. 1). Зовнішній вигляд і якість поверхні таких виробів визначають декоративні та естетичні властивості природного облицювального каменю. Для кількісної оцінки якості поверхні необхідно визначити геометричні параметри і колір структурних елементів цієї поверхні [5].

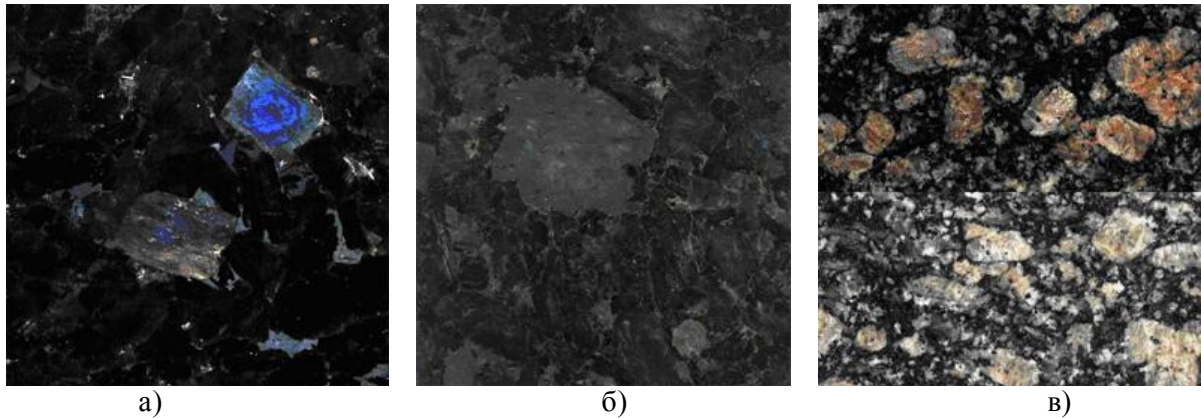


Рис. 2. Відеозображення поверхні виробів з природного каменю, що використовуються для дослідження фрактального методу перетворення: а) – лабрадорит Головинського родовища; б) – лабрадорит Федорівського родовища; в) – граніт Корнинського родовища

Таблиця 1

Основні параметри цифрових кольорових відеозображень поверхні виробів

Найменування відеозображення	Розмір, д.т.	Кількість каналів	Об'єм нестиснутого відеозображення, Кбайт	Співвідношення сигнал/шум, дБ	Середнє значення амплітуди відеосигналу по каналам, др.			Середньо квадратичне значення амплітуди відеосигналу, др.			Яскравість об'єктів, др.	Яскравість фону, др.	Коефіцієнт кореляції	
					R	G	B	R	G	B			по горизонталі	по вертикалі
1. Лабрадорит Головинського родовища	256× ×256	3	192	55	20,8	21,7	24,0	19,6	21,3	29,2	100	20	0,893	0,881
3. Лабрадорит Федорівського родовища	256× ×256	3	192	55	42,7	42,7	42,5	11,9	11,9	11,6	60	20	0,891	0,892
4. Граніт Корнинського родовища	256× ×256	3	192	55	78,2	74,7	70,4	40,4	37,9	35,1	150	30	0,895	0,884

В ході досліджень за допомогою цифрової камери Sony Cyber-Shot DSC-H9 формувалися цифрові кольорові відеозображення промислових виробів з природного облицовального каменю з такими характеристиками: розмір 2048x1536 дискретних точок (д.т.), глибина кольору 24 біти на д.т. Безпосередньо для дослідження методів стиснення виділявся фрагмент розміром 256x256 д.т.

Для зменшення об'єму відеозображення використовувався фрактальний метод та для порівняння відомий метод [3] на основі дискретного косинусного перетворення.

Результати досліджень фрактального методу перетворення відеозображень промислових виробів з природного каменю наведено на рис. 3 і 4.

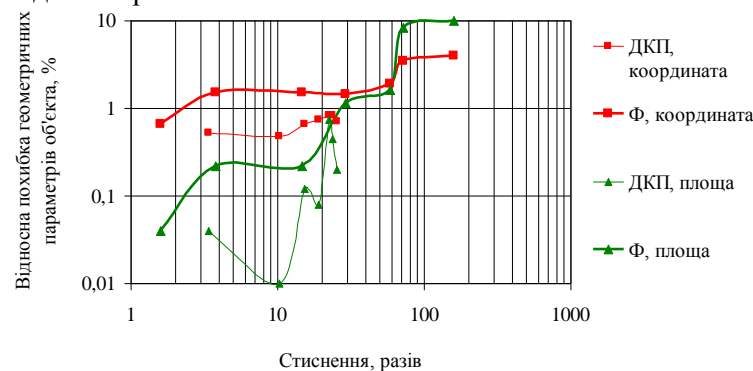


Рис. 3. Порівняння похибки визначення геометричних параметрів структурних елементів поверхні виробів з природного каменю за їх відеозображеннями: ДКП – після дискретного косинусного перетворення; Ф – після фрактального перетворення

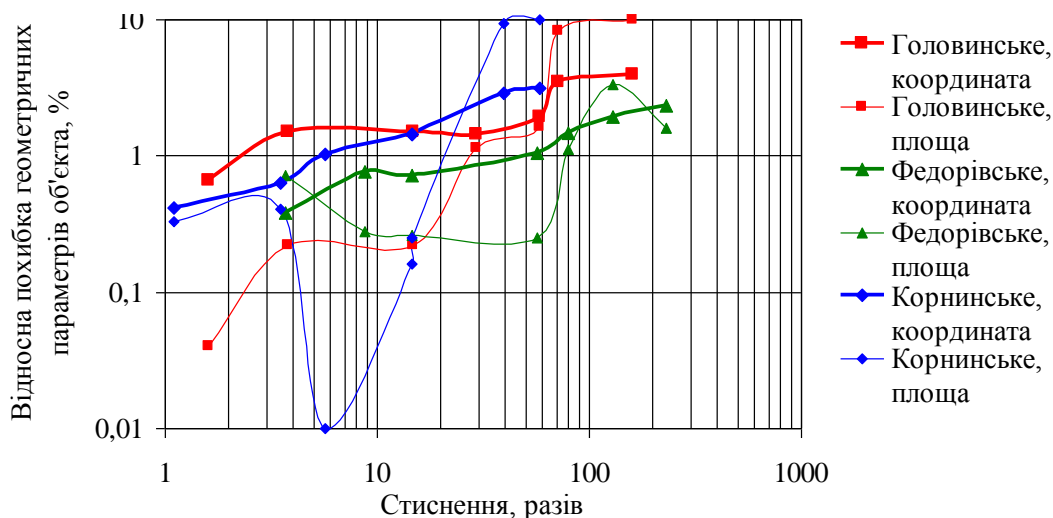


Рис. 4. Похибки визначення геометричних параметрів структурних елементів поверхні виробів з природного каменю на відеозображеннях після фрактального перетворення (лабрадорит Головинського та Федорівського родовищ, граніт Корнинського родовища)

5. Висновки

До відеозображень промислових виробів з природного каменю доцільно застосовувати методи алгоритмічної обробки на основі теорії фракталів. При цьому забезпечується підвищення точності та компактності вимірювальної інформації про геометричні параметри виробів у порівнянні з іншими методами. Основною операцією, що реалізується фрактальними методами, є зменшення об'єму відеозображень при їх накопиченні та зберіганні.

Основною перевагою фрактального методу є досягнення значно більшої компактності вимірювальної інформації (зменшення об'єму відеозображень в декілька сотень разів) при прийнятних показниках точності геометричних параметрів (похибка визначення координат контуру 0,3 мм) на відміну від існуючих методів, що забезпечують зменшення об'єму в 20...30 разів при такій же точності.

Відносна похибка геометричних параметрів структурних елементів поверхні природного каменю складає (1...5)% і є прийнятною в процедурах оцінки його декоративних властивостей [4]. Тому фрактальний метод перетворення відеозображень може бути застосовано в автоматизованих системах контролю промислових виробів з природного каменю для компактного зберігання їх відеозображень.

Напрямок подальших досліджень може бути пошук та розробка ефективних обчислювальних процедур, що реалізують фрактальне перетворення зображень промислових виробів з природного каменю.

Література:

1. Федер Е. Фракталы : пер. с англ. / Е. Федер. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
2. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии / С. Уэлстид – М.: Триумф, 2003. – 320 с.
3. Мюррей Д. Энциклопедия форматов графических файлов : пер. с англ / Д. Мюррей, У. Ван Райпер. – К. : ВНУ, 1997. – 672 с.
4. Бакка М. Т. Добыча природного камня. Ч.1. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений природного камня : учебное пособие / М. Т. Бакка, А. Х. Кузьменко, Л. С. Сачков. – К. : УМК ВО, 1993. – 368 с.
5. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації в гірничо-геологічній галузі / А. О. Криворучко, Є. С. Купкін, Ю. О. Подчашинський, О. О. Ремезова // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2005. – № 1 (32). – С. 107 – 116.
6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
7. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде Matlab / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М. : Техносфера, 2006. – 616 с.
8. Jain A. K. Fundamentals of Digital Image Processing / A. K. Jain. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989. – 590 с.
9. Hoggar S. G. Mathematics of Digital Images. Creation, Compression, Restoration, Recognition / S. G. Hoggar. – Cambridge University Press, 2006. – 884 p.
10. Пат. 81789 С2 Україна, МПК (2006) G 06 Т 9/00. Спосіб стиснення цифрових кольорових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію / Келембет О. Ю., Подчашинський Ю. О. ; заявник і власник патенту ЖДТУ. – № а2005 06706 ; заявл. 08.07.05 ; опубл. 11.02.08, Бюл. № 3.