

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЧАСОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

DOI 10.36994 / 2788-5518-2022-01-03-15

Забара С. С., д.т.н., проф. Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Київ, Україна. staszabara37@gmail.com

Зубко Р. А., к. т. н. Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Київ, Україна. rzubko@ukr.net

Анотація: Запропоновано варіант модифікованого методу, який дозволить суттєво підвищити швидкість фрактального кодування. Описана послідовність кроків, необхідних для декодування зображення. Для перевірки методу розроблено його програмну реалізацію та експериментально доведено її ефективність на стандартних зображеннях.

Ключові слова: фрактальне кодування, стиснення зображень, комп'ютерна графіка

METHODS AND TOOLS OF INCREASE OF TIMING EFFICIENCY OF FRACTAL IMAGES COMPRESSION

Stanislav Zabara, Dr. habil, Prof. Open University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine. staszabara37@gmail.com

Roman Zubko, Ph.D. Open University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine. rzubko@ukr.net

Abstract: A variant of the modified method is proposed, which will significantly increase the speed of fractal coding. Describes the sequence of steps required to decode the image. To test the method, its software implementation was developed and its effectiveness on standard images was experimentally proved.

Fractal compression is the search for self-similar areas in the image and determining the parameters of affine transformations for them. In the worst case, if you do not use the optimization algorithm, you will need to search and compare all possible fragments of the image of different sizes. Even for small images, given the discreteness, we get an astronomical number of options that are moved. A sharp narrowing of the transformation classes, for example, by scaling only a certain number of times, will not achieve an acceptable time. In addition, the image quality is lost. The vast majority of research in the field of fractal compression is now aimed at reducing the archiving time required to obtain a quality image.

For the fractal compression algorithm, as for other lossy compression algorithms, the mechanisms by which the degree of compression and loss can be adjusted are very important. To date, a fairly large set of such methods has been developed. First, you can limit the number of transformations, deliberately providing a degree of compression not lower than a fixed value. Secondly, it is possible to require that in situations where the difference between the processed fragment and its best approximation is higher than a certain limit value, this fragment must be crushed (it gets several lenses). Third, it is possible to prohibit the fragmentation of fragments smaller than, for example, four points. By changing the thresholds and the priority of these conditions, you can very flexibly control the compression ratio of the image: from bitwise matching, to any degree of compression.

The coding process requires a very large amount of computation. It takes millions, even billions of iterations to find fractal images in an image. Depending on the resolution and content of the raster input, image quality, compression time, and file size, the process of compressing a single image can take from a few seconds to several hours (or more) even on a very fast computer.

Key words: fractal coding, image compression, computer graphics

Вступ

Особливості сприйняття інформації органами чуття людини дозволяють застосовувати різні методи стиснення зображень з деяким, інколи значним, зменшенням обсягів інформації. Це важливо при створенні потужних носіїв даних та передачі цих даних в глобальних комп'ютерних мережах. Пов'язано це з тим, що для зберігання зображень представлених в цифровій формі, необхідні досить великі об'єми пам'яті, а при передачі їх по каналах зв'язку витрачається значний час.

Найбільш перспективним для подальшого розвитку, вдосконалення та практичного використання в комп'ютерних технологіях, на наш погляд, є фрактальний алгоритм. Він має декілька унікальних особливостей та переваг: відновлення зображення відбувається набагато швидше, відсутні спотворення на границі різких переходів кольорів, можливість використання

даного методу для стиснення зображень, які готують для якісного друку, а також масштабування зображень.

В результаті аналізу аспектів та особливостей застосування фрактального методу стиснення зображень, можемо зробити висновки, що він здатний забезпечити найкраще співвідношення ступеня стиснення і якості відновленого зображення. Стало зрозуміло, що в процесі перетворення звичайних растрових зображень у фрактальні дані відразу ж реалізуються кілька суттєвих переваг. Наприклад, розмір фізичних даних, які використовуються для запису фрактальних кодів, значно менший розміру початкових растрових даних. Саме ця відмінність фрактальної технології, що називається фрактальним стисненням, викликала найбільший інтерес у сфері формування і відтворення комп'ютерних зображень.

Основним недоліком фрактального методу є низька швидкість стиснення. Вона пов'язана з тим, що для отримання високої якості зображення, для кожного рангового блоку необхідно виконати перебір всіх доменних блоків. Для кожного доменного блоку необхідно виконати не менше восьми афінних перетворень. Ця проблема розв'язана тільки частково. Внаслідок відмічених недоліків, цей метод застосовувався на практиці порівняно рідко.

Пропонуються варіанти зменшення обчислювальної складності та підвищення швидкодії стиснення зображень з використанням фрактальної графіки. Це дозволить зменшити час стиснення зображень без суттєвого погіршення якості. Розглянуті практичні питання розробки і побудови ефективних модифікованих методів фрактального стиснення зображень. Основна увага приділяється поліпшенню часової ефективності базового методу фрактального стиснення і розширенню горизонтів його практичного застосування. Ефективність фрактального кодування, з точки зору співвідношення якості зображення і швидкості стиснення, порівнянн з кращими сучасними методами компресії. Це робить фрактальне стиснення найбільш придатним для застосування в різних додатках, де стиснення не вимагається виконувати в реальному часі.

Для перевірки методу розроблено його програмну реалізацію та експериментально доведено її ефективність на стандартних зображеннях.

Розробка модуля стиснення зображень фрактальним методом

Безпосередньо фрактальне стиснення зображень - це фактично останній етап кодування зображення. Він найбільш повільний, порівняно з двома попередніми етапами (обробкою модифікованим методом покращення часової ефективності та побудовою списку доменних блоків), а тому заслуговує на особливу увагу, так як це дослідження спрямоване на покращення побудови системи IFS-функцій при кодуванні зображень фрактальним методом.

Процес кодування зображення фрактальним методом розіб'ємо на декілька етапів:

- Зображення розбивається на області, що примикають одна до одної, розміром $N \times N$ (рангові області).

- Для кожної рангової області підбирається така доменна область з попередньо вибраних та побудованих шляхом використання дерева пошуку (на відміну від класичного фрактального стиснення, коли для кожного рангового блоку перебираються всі доменні блоки), яка після афінних перетворень найбільш точно апроксимує рангову область. На практиці застосовується вісім варіантів відображення одного квадрата в інший з використанням афінних перетворень. Це повороти зображення на кути 90, 180, 270 (-90) градусів відносно його центра і перетворення симетрії відносно ортогональних осей, які проходять через центр фрагмента перпендикулярно його сторонам.

- Точність апроксимації визначається за допомогою середньоквадратичного критерію:

$$F = \sum_{i,j} (Sd_{ij} + O_{ij} - r_{ij})^2, \quad (1)$$

де d_{ij} - значення, отримані в результаті усереднення по фрагментах з розмірами 2×2 елементів доменної області, що приводить її розмір до розміру рангової області;

r_{ij} - значення елементів рангової області. Зміщення O_{ij} може бути як константою так і описуватись поліномами першого, другого, третього порядків.

У вихідний файл записуються такі параметри:

- координати доменної області з найменшим значенням $F_{\min}$;
- значення для O і S , отримані згідно формул, зазначених нижче;
- номер афінного перетворення:

$$O = \frac{1}{n^2} \left(\sum_{i,j}^n r_{ij} - S \sum_{i,j}^n d_{ij} \right) , \quad (2)$$

$$S = \frac{n^2 \sum_{i,j}^n r_{ij} d_{ij} - \sum_{i,j}^n r_{ij} \sum_{i,j}^n d_{ij}}{n^2 \sum_{i,j}^n d_{ij}^2 - \left(\sum_{i,j}^n d_{ij} \right)^2} . \quad (3)$$

Розробка модуля декопресії зображень фрактальним методом

Декодування стисненого зображення носить ітераційний характер і складається з таких етапів:

1. Створюються два зображення однакового розміру А і Б. Розмір цих зображень не обов'язково рівний розміру початкового зображення, початковий рисунок областей А і Б може бути будь-яким.
2. Зображення Б розбивається на доменні області у відповідності до процесу стиснення. Зображення А розбиваються на рангові області також у відповідності до процесу стиснення.
3. Кожен ранг зображення А отримується апроксимацією відповідного домена зображення Б.
4. Міняються зображення А і Б місцями.
5. Повторюються пункти 2-4 доти, поки зображення А і Б не будуть відрізнятися.
6. Відновлення стисненого зображення носить ітераційний характер, і закінчується після 15-20 ітерацій, тому що подальші ітерації покращення зображення не дають.

Експериментальні дослідження модифікованого методу фрактального стиснення зображень

Покрокове відновлення стисненого піктонового зображення модифікованим фрактальним методом показано на рис.1.



Рис. 1. Процес декодування піктонового зображення

Проведемо апробацію методу підвищення часової ефективності фрактального стиснення зображень на прикладі. Для оцінки якості відновленого зображення будемо використовувати метрики PSNR (peak signal-to-noise ratio) і SSIM (structure similarity), які найбільш часто використовується для вимірювання рівня спотворень при стисненні зображень.

Величина PSNR - пікове відношення сигналу до шуму, позначає співвідношення між максимумом можливого значення сигналу і потужністю шуму, що спотворює значення сигналу. Дана метрика зазвичай вимірюється в децибелах. Більшому значенню PSNR відповідає краща якість зображення на тлі шуму. SSIM - індекс структурної подібності, є одним з методів

вимірювання схожості між двома зображеннями. Тобто повне зіставлення та вимірювання якості на основі не стисненого вихідного зображення.

Зобразимо графічно залежність часу стиснення від кроку домену для різних розмірів рангового блоку півтонового зображення. Будемо використовувати блоки розміром 4x4, 8x8 та 16x16 пікселів (рис. 2).



Рис. 2. Залежність

часу стиснення від кроку домену для різних розмірів рангового блоку півтонового зображення (4x4, 8x8, 16x16)

Виконаємо дослідження модифікованого методу фрактального стиснення півтонового зображення з розміром рангового блоку 4x4 використовуючи різний крок домену від 1 до 20 (рис. 3). При кроці домену 10 і більше – значно погіршується якість зображення.

Крок домену 1	Крок домену 2	Крок домену 3
Крок домену 4	Крок домену 6	Крок домену 8

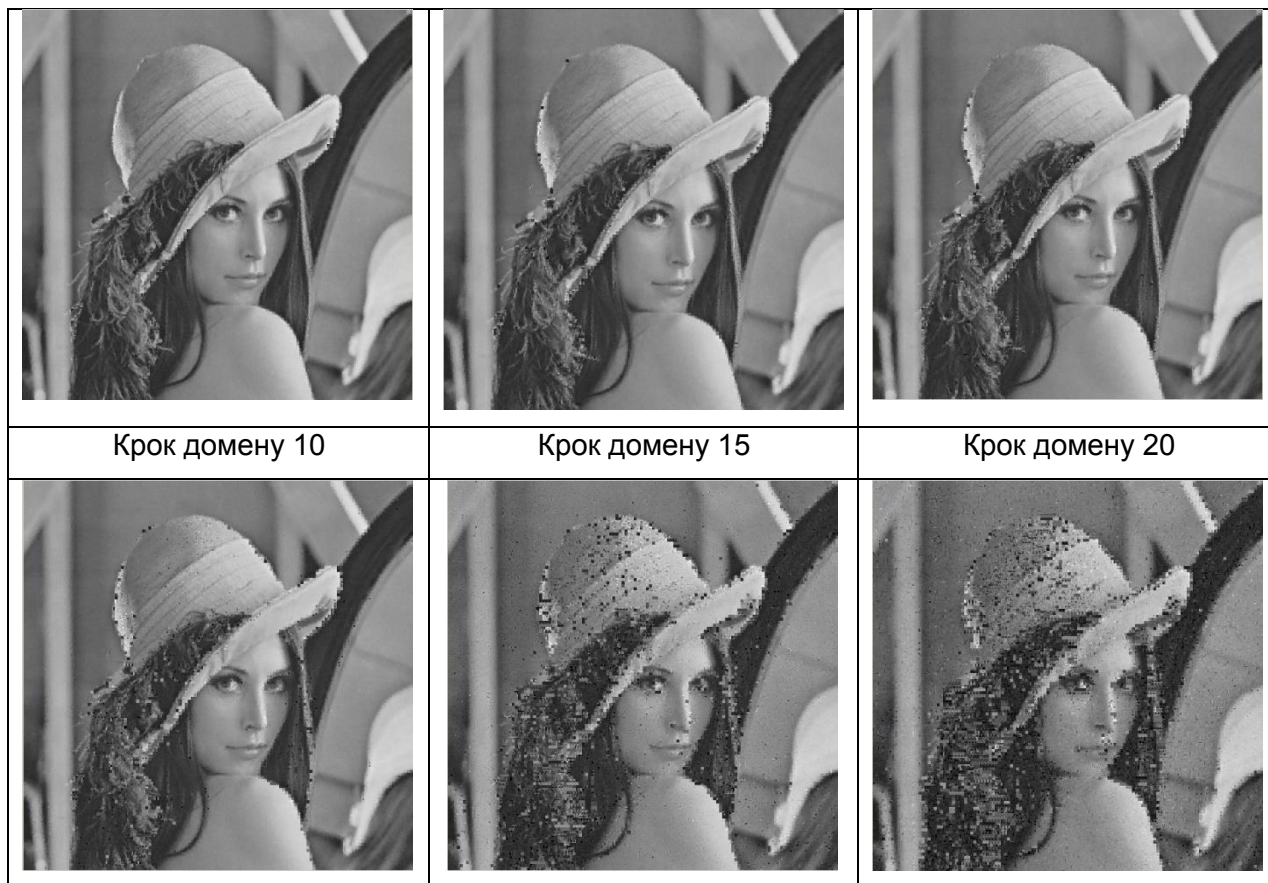


Рис. 3. Стиснення півтонового зображення з розміром рангового блоку 4x4

На рис 4 надано графічне зображення процесу стиснення та декомпресії кольорового зображення:

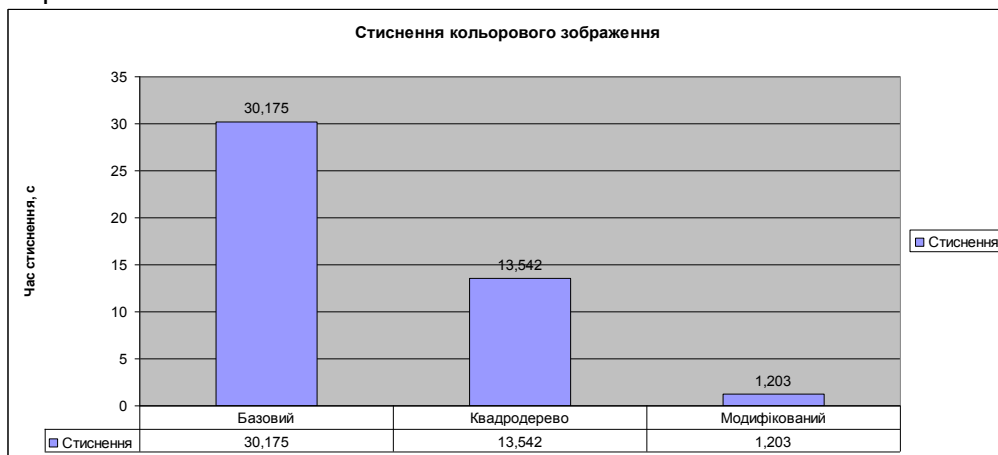


Рис. 4. Час стиснення кольорового зображення

Модифікований метод дозволяє стискати зображення з мінімальними часовими витратами без суттєвих втрат якості. На рис. 5 показано залежність часу стиснення кольорового зображення та метрики PSNR.

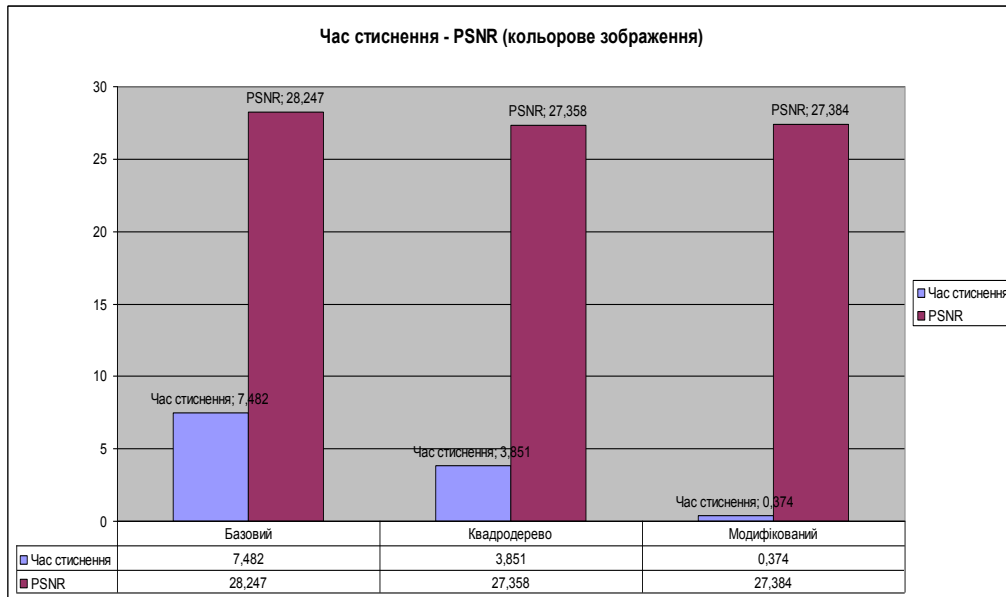


Рис. 5. Час стиснення - PSNR (кольорове зображення)

На рис. 6 показано залежність часу стиснення кольорового зображення та метрики SSIM.



Рис. 6. Час стиснення - SSIM (кольорове зображення)

На рис 7. графічно показано залежність часу стиснення від кроку домену для різних розмірів рангового блоку кольорового зображення. Використовуються блоки розміром 4x4, 8x8 та 16x16 пікселів.

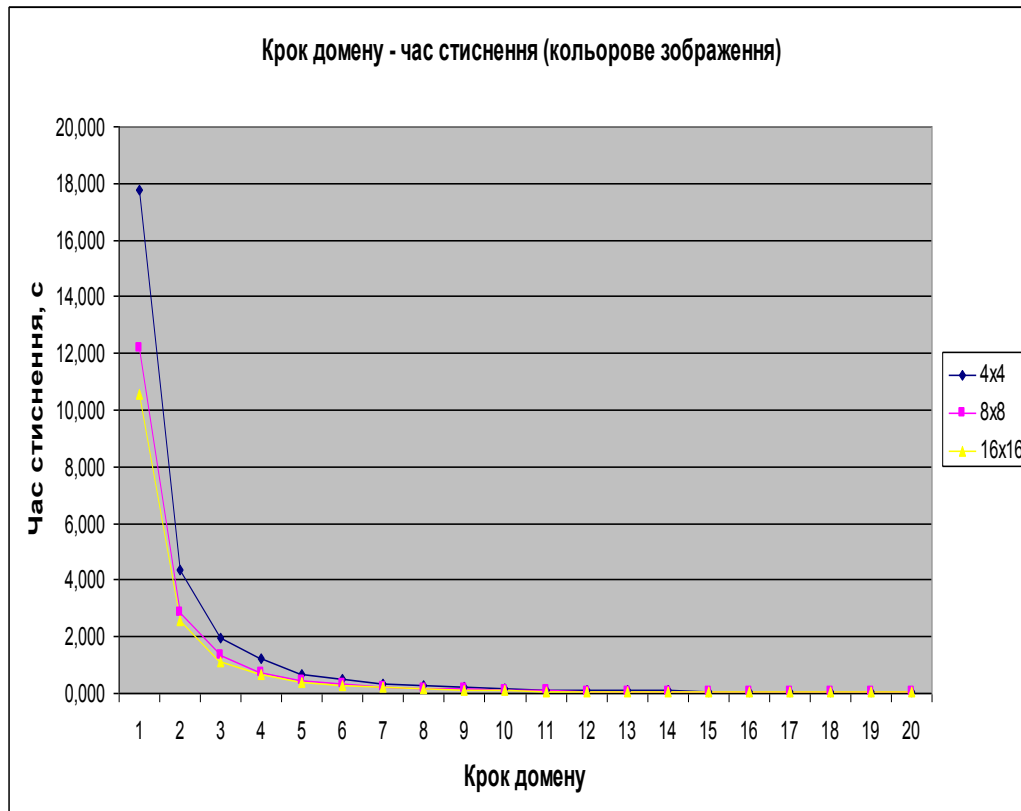


Рис. 7. Залежність часу стиснення від кроку домену для різних розмірів рангового блоку кольорового зображення (4x4, 8x8, 16x16)

В табл.1 наведено час стиснення кольорового зображення

Таблица 1

Час стиснення кольорового зображення модифікованим методом у відповідності з кроком домену та розміром рангового блоку

Крок домену	Розмір рангового блоку		
	4x4	8x8	16x16
Час стиснення, с			
1	17,740	12,157	10,531
2	4,368	2,846	2,589
3	1,941	1,336	1,133
4	1,203	0,715	0,649
5	0,688	0,448	0,410
6	0,488	0,319	0,291
7	0,355	0,230	0,214
8	0,262	0,183	0,166
9	0,212	0,141	0,124
10	0,173	0,111	0,105
11	0,139	0,094	0,083
12	0,123	0,080	0,073
13	0,103	0,071	0,061
14	0,093	0,058	0,056
15	0,075	0,050	0,048
16	0,065	0,045	0,044
17	0,053	0,038	0,037
18	0,055	0,035	0,034
19	0,048	0,034	0,028
20	0,042	0,028	0,028

На рис .8 наведено порівняння методів стиснення для півтонового зображення

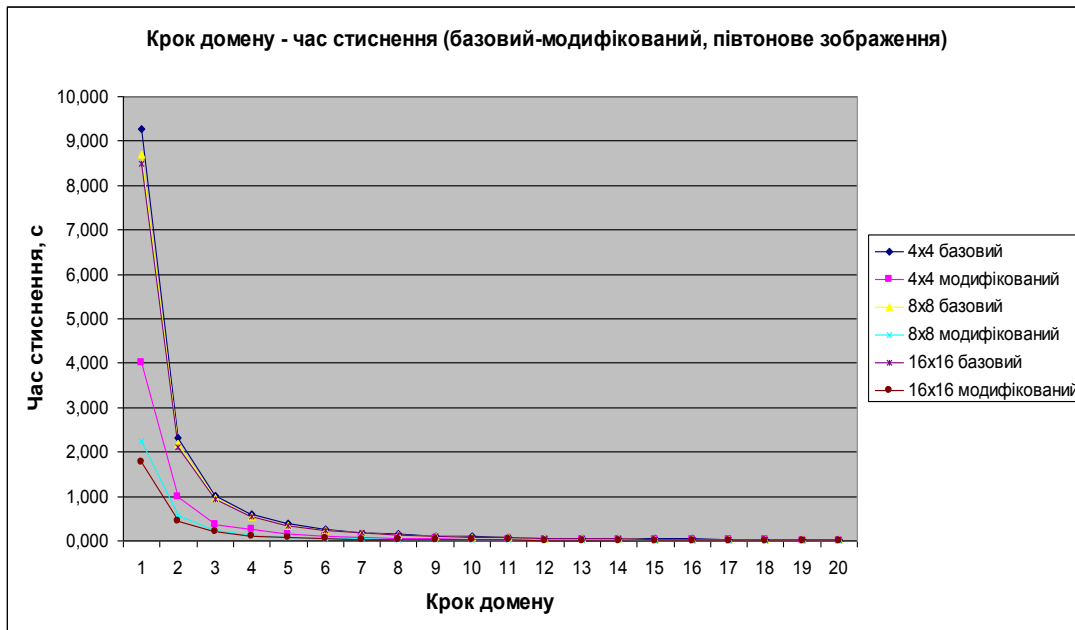


Рис. 8. Порівняння методів стиснення для півтонового зображення

В табл.2 наведений час стиснення півтонового зображення базовим та модифікованим методами.

Таблица 2.
Час стиснення півтонового зображення базовим та модифікованим методами у відповідності з кроком домену та розміром рангового блоку

Крок домену	Розмір рангового блоку					
	4x4 базовий	4x4 модифікований	8x8 базовий	8x8 модифікований	16x16 базовий	16x16 модифікований
	Час стиснення, с					
1	9,275	4,020	8,686	2,251	8,491	1,783
2	2,316	0,984	2,183	0,564	2,122	0,440
3	1,017	0,374	0,958	0,241	0,933	0,196
4	0,597	0,252	0,540	0,139	0,537	0,114
5	0,380	0,155	0,348	0,086	0,339	0,073
6	0,260	0,111	0,237	0,062	0,229	0,049
7	0,188	0,083	0,173	0,045	0,187	0,038
8	0,149	0,062	0,137	0,037	0,134	0,030
9	0,115	0,052	0,105	0,027	0,103	0,021
10	0,092	0,038	0,085	0,023	0,081	0,018
11	0,078	0,029	0,072	0,022	0,069	0,015
12	0,065	0,030	0,059	0,016	0,058	0,013
13	0,054	0,026	0,049	0,015	0,048	0,011
14	0,048	0,023	0,044	0,016	0,043	0,010
15	0,042	0,016	0,038	0,009	0,037	0,011
16	0,039	0,015	0,035	0,009	0,034	0,010
17	0,035	0,014	0,030	0,008	0,030	0,007
18	0,029	0,015	0,027	0,007	0,026	0,006
19	0,026	0,013	0,023	0,007	0,022	0,005
20	0,021	0,011	0,019	0,006	0,019	0,006

Порівняння методів стиснення для півтонового зображення. Використовуються розміри рангового блоку 4x4, 8x8 та 16x16 пікселів. Крок домену змінюється від 1 до 20 (рис. 8).

Висновки

Проведено стислий аналіз варіантів підвищення швидкодії побудови систем ітеруючих функцій фрактального кодування зображень, їх ефективності та можливості практичного застосування. Розглядаються теоретичні аспекти підвищення ефективності стиснення зображень фрактальним методом. Пропонуються варіанти суттєвого підвищення швидкості фрактального стиснення. Основні зусилля були спрямовані на вивчення, аналіз і подальший розвиток підходів, що використовуються для стиснення зображень та дозволяють зменшити кількість надлишкових даних.

Запропоновано варіант модифікованого методу, який дозволить суттєво підвищити швидкодію фрактального кодування. Описана послідовність кроків, необхідних для декодування зображення. Виконано програмну реалізацію для стиснення зображень фрактальним методом, яке відповідає вимогам сучасного інтерфейсу. Наведені часові характеристики процесу стиснення зображення фрактальним методом та проведені аналогії з існуючими програмними еквівалентами. Програмний варіант, який розроблено у середовищі об'єктно-орієнтованого візуального програмування, дозволяє кодувати зображення, первинний формат яких містить кольорову палітру і має глибину кольору 24 біт на піксель. Також є можливість кодувати зображення, первинний формат яких містить палітру, яка складається з 256 відтінків сірого, тобто має глибину кольору 8 біт на піксель.

Як вхідні дані для кодування програма використовує зображення представлені у форматі BMP (Bitmap Picture), а після кодування створює новий файл, у якому зображення представляється у власному форматі FCF (Fractal Coding File).

Література

1. Fisher Y. "Fractal Image Compression: Theory and Application to Digital Images", Springer Verlag, 1995- 452 p.
2. Ватолин Д. С. Алгоритмы сжатия изображений – М.: МГУ, 1999.- 231с.
3. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ - МИФИ, 2002. - 384 с.
4. Барнсли М., Ансон Л. Фрактальное сжатие изображений // Мир ПК. 1992. - № 10. - С. 52-58.
5. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии. Учеб. пособ. – М.: Триумф, 2003. – 336с.
6. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. Учеб. пособ. - М.: Триумф, 2003. – 320с.

References

1. Fisher Y. "Fractal Image Compression: Theory and Application to Digital Images", Springer Verlag, 1995- 452 p.
2. Vatolin D. S. Algoritmy szhatija izobrazhenij – M.: MGU, 1999.- 231s.
3. Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Jukin V. Metody szhatija dannyh. Ustrojstvo arhivatorov, szhatie izobrazhenij i video. – M.: DIALOG - MIFI, 2002. - 384 s.
4. Barnsli M., Anson L. Fraktal'noe szhatie zobrazhenij // Mir PK. 1992. - № 10. - S. 52-58.
5. Miano Dzh. Formaty i algoritmy szhatija izobrazhenij v dejstvii. Ucheb. posob. – M.: Triumf, 2003. – 336с.
6. Ujelstid S. Fraktaly i vejvlety dlja szhatija izobrazhenij v dejstvii. Ucheb. posob. - M.: Triumf, 2003. – 320с.