

УДК 004.627:004.272.26

С.Ю. Скрупський (канд. техн. наук), А.С. Доля
Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя
кафедра комп'ютерних систем та мереж
e-mail: sskrupsky@gmail.com, andrey-dolia@rambler.ru

ФРАКТАЛЬНЕ УЩІЛЬНЕННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ У РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто фрактальне ущільнення зображень. Проаналізовано його основні параметри та показники результату. Розроблено паралельний алгоритм фрактального ущільнення відеоінформації. Виконано експериментальне дослідження алгоритму у розподіленій комп'ютерній системі. Зроблено висновки стосовно ефективності використання фракталів для компресії відеоінформації у сучасному форматі HDTV.

Ключові слова: фрактали, компресія, відеоінформація, HDTV, розподілена система.

Вступ

Сучасні засоби запису фото - та відеоінформації дозволяють відтворювати зображення у найдрібніших деталях. Чим якісніше відтворюється зображення, тим більше біт потрібно для його кодування, а отже, тим більші обсяги дискового простору воно займає і тим більшу смугу пропускання каналів зв'язку воно використовує при передаванні. Для вирішення зазначених проблем використовують методи ущільнення, такі як дискретне косинусне перетворення (ДКП), фрактальне ущільнення та інші. Порівняно низька обчислювальна складність ДКП зумовлює його поширення у сучасних стандартах компресії, однак, ДКП викликає ефект "блоковості" (помітні викривлення на границях блоків) при ущільненні [1, 2]. Одним з перспективних методів компресії є фрактальне ущільнення зображення, яке, через свою високу обчислювальну складність, не отримало значного поширення [3].

Постановка задачі

Для ущільнення відеоінформації сучасного формату HDTV за допомогою фрактального методу за прийнятний час необхідно використовувати паралельні та розподілені комп'ютерні системи. Ефективне застосування цих систем зумовлює необхідність адаптації алгоритму фрактального ущільнення під багатопроцесорні архітектури, що дозволить скоротити час ущільнення при збереженні якості результату та коефіцієнту ущільнення.

Тому метою даної роботи є дослідження принципів фрактального ущільнення зображення, а також розробка паралельного алгоритму фрактального ущільнення відеоінформації та його випробування у розподіленій комп'ютерній системі.

Сутність фрактального ущільнення зображення

Коротко розглянемо сутність фрактального ущільнення. Поняття "фрактал" використовується для позначення нерегулярних самоподібних структур, при цьому частина фракталу може бути використана для відтворення всього фракталу. Фрактальне ущільнення засновано на тому, що за допомогою тривимірних афінних перетворень (x координата, y координата, яскравість) зображення представляється в більш компактній формі у порівнянні з оригіналом. Нехай R – вихідне зображення, d_i – домени зображення, r_i – ранги зображення. Кожне перетворення w_i трансформує d_i в r_i таким чином:

$$W(R) = \bigcup_i w_i(d_i) = \bigcup_i r_i.$$

Алгоритм фрактальної компресії зображення можна представити наступним чином:

1. Повністю розбити вихідне зображення R на блоки – рангові області r_i ;

2. Для кожної рангової області r_i знайти доменну область d_i (блок більшого розміру) і відображення w_i з такими властивостями:

- а) $w_i(d_i)$ має ту ж форму, розміри і положення, що і r_i ;
- б) коефіцієнт перетворення w_i повинен бути меншим одиниці;
- в) значення перетворення повинно бути якомога меншим.

3. Зафіксувати коефіцієнти афінних перетворень W , розбиття зображення на домени і положення доменних областей d_i [4, 5].

Аналіз результатів порівняння фрактального ущільнення та ДКП з квантуванням, що використовуються стандартом JPEG, дозволяє зробити такі висновки:

- фрактальне ущільнення дозволяє домогтися кращих коефіцієнтів ущільнення при більшій якості результату в порівнянні з ДКП [6];

- на відміну від ДКП, фрактальне ущільнення не викликає ефект "блоковості", що покращує сприйняття зображення;

- висока обчислювальна складність фрактального ущільнення не дозволяє виконувати компресію великих зображень, не кажучи про відеоінформацію, за прийнятний час.

Паралельний алгоритм фрактального ущільнення відеоінформації

Компресію відеоінформації можна розглядати як ієрархічний процес, в якому на кожному рівні ієрархії усувається надлишковість об'єкта. Об'єктом може бути група кадрів тієї чи іншої тривалості, окремий кадр, група блоків у кадрі, чи окремий блок.

В даній роботі пропонується здійснити ущільнення окремо кожного кадру відеопослідовності фрактальним методом. Таким чином, буде виконане усунення просторової надлишковості відеоінформації. Часову надлишковість усунути фрактальним методом неможливо, її усувають іншими методами на верхніх рівнях ієрархії системи компресії відеоінформації (наприклад, блоковими методами, методами оптичного потоку, фазової кореляції та ін. [7]).

Для того, щоб отримати прийнятний час ущільнення відеоінформації у форматі HDTV, кожен кадр якої має розміри 1920×1080 пікселів, розпаралелимо послідовний алгоритм фрактального ущільнення зображення. Для цього треба поділити відеоінформацію на кадри (кожний обчислювальний вузол буде працювати зі своїми кадрами) та розподілити кадри по обчислювальних вузлах. Далі кожен обчислювальний вузол після отримання набору кадрів почне виконувати ущільнення кожного кадру. Після цього ущільнені кадри будуть об'єднуватися у відеопослідовність шляхом конкатенації файлів, що містять ущільнені кадри. На останньому кроці отримувані від обчислювальних вузлів відеопослідовності будуть об'єднуватися на головному вузлі аналогічно шляхом конкатенації файлів. Запропонований паралельний алгоритм фрактального ущільнення відеоінформації наведено на рис. 1.

Зазвичай алгоритм фрактального ущільнення має чотири параметри: розмір рангової області, крок пошуку домену, точність пошуку, спосіб пошуку кращого домену. Варіювання цими параметрами дозволяє отримувати результат ущільнення з різними показниками. До основних показників результату ущільнення можна віднести наступні [8]:

- коефіцієнт ущільнення (відношення розміру файлу зображення після ущільнення до розміру файлу зображення до ущільнення) – чим менше, тим краще;

- рівень викривлення, що характеризує якість зображення, може бути оцінений за допомогою метрики PSNR в дБ – чим більше значення PSNR, тим якісніше зображення;

- час ущільнення характеризує часові витрати на ущільнення зображення – чим менше, тим швидше буде отриманий результат.

Шляхом варіювання зазначених параметрів кодера, що здійснює фрактальну компресію відеоінформації за паралельним алгоритмом, експериментально було досліджено вплив кожного з цих параметрів компресії на показники результату ущільнення.

Організація обчислювальних експериментів

У розподілену комп'ютерну систему (рис. 2) надходила відеоінформація для ущільнення. Головний вузол отримував тестові відеопослідовності, розділяв їх на кадри та розподіляв кадри в рівній кількості по обчислювальних вузлах. Обчислювальні вузли виконували ущільнення отримуваних кадрів фрактальним методом. Після цього – об'єднували ущільнені кадри у відеопослідовності, які надсилали до головного вузла, що об'єднував їх у результуючу ущільнену відеопослідовність.

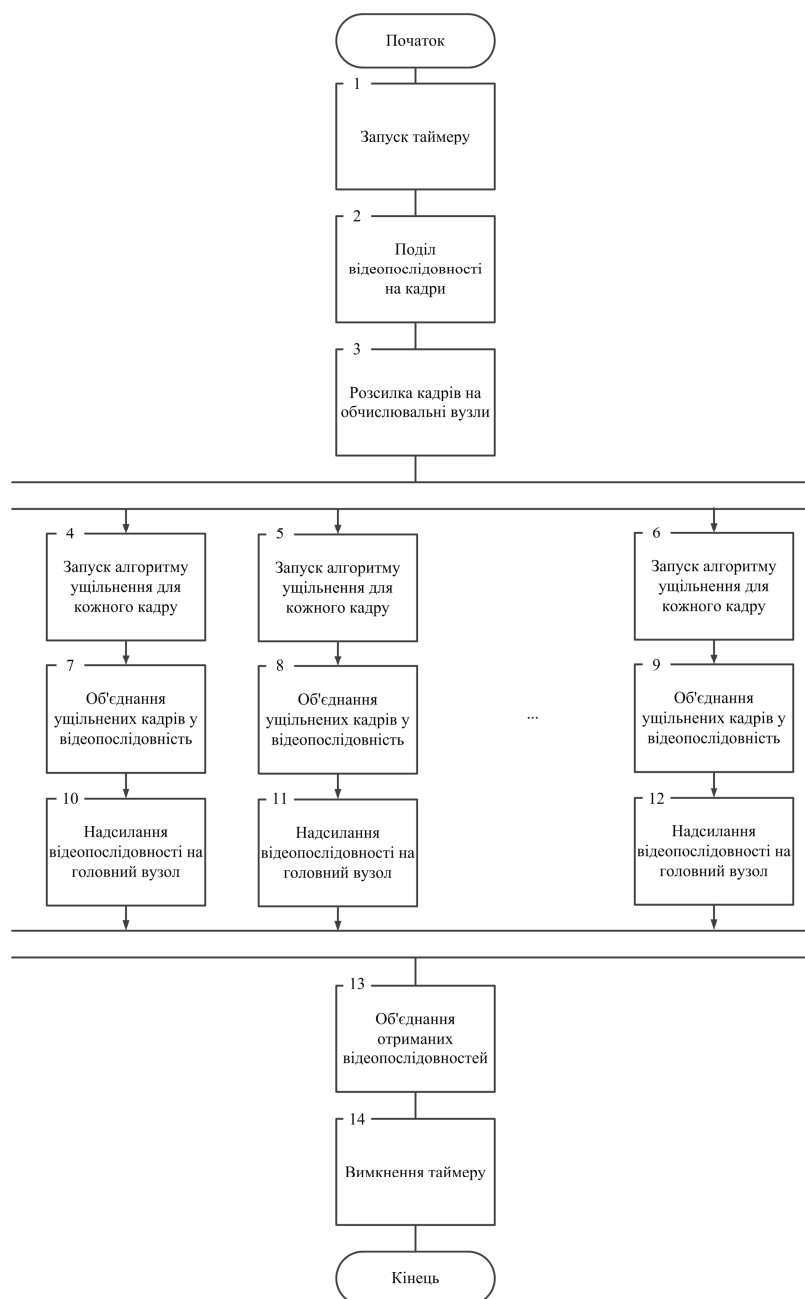


Рисунок 1 – Запропонований алгоритм фрактального ущільнення відеоінформації

Задіяні в експериментах 8 обчислювальних вузлів розподіленої системи мали двоядерний процесор Intel Celeron E1200 з оперативною пам'яттю 1 ГБ DDR-2 800 МГц. Середовище передачі даних – Fast Ethernet. На вузлах була встановлена операційна система MS Windows XP SP3. Жодного middleware не було використано, замість цього виконувалась власна реалізація алгоритму фрактального ущільнення відеоінформації. Для керування

обчислювальними вузлами був задіяний пакет Microsoft PsTools. Для поділу відеопослідовності на кадри був використаний пакет YUVTools [9].

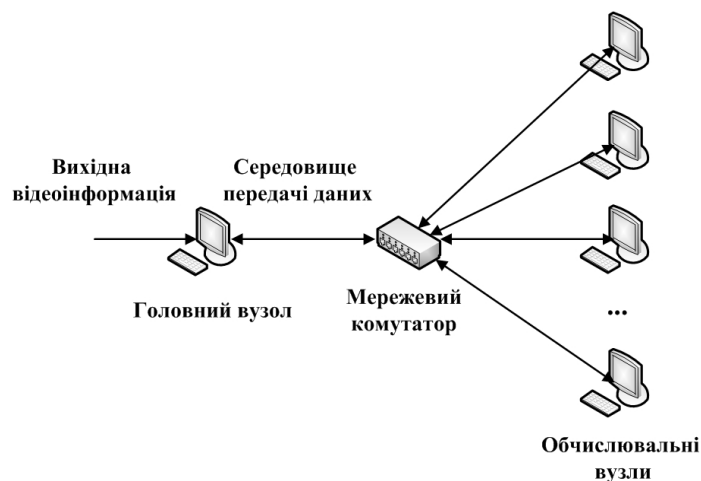


Рисунок 2 – Розподілена комп'ютерна система фрактального ущільнення відеоінформації

Для керування обчислювальним процесом були написані скрипти для batch-інтерпретатора операційної системи. Синтаксис задавання параметрів фрактального ущільнення:

{*,*,*,*},

де 1-й параметр відповідає розміру рангової області;

2-й параметр – крок пошуку домену;

3-й параметр – точність пошуку;

4-й параметр – спосіб пошуку кращого домену (1 – повний перебір варіантів для кожного рангового блоку; 0 – пошук, що задовольняє максимальному середньоквадратичному відхиленню).

Параметри ущільнення обиралися послідовним підбором за критерієм відношення часу ущільнення до прийнятної візуальної якості стисненої відеопослідовності. В результаті було обрано три варіанти параметрів ущільнення: {8, 64, 0.005, 1}, {8, 32, 0.005, 1}, {8, 8, 0.005, 0}.

Для експериментів використані HD-відеопослідовності з числа загальноприйнятих для тестування методів ущільнення відеопослідовностей, наприклад, [10, 11], а саме: "Riverbed", "Rush_hour", "Blue_sky". Для того, щоб отримати співвідносні результати між кожною відеопослідовністю, вони були скорочені до 30 кадрів (88,9 МБ) кожна шляхом відсічення кадрів з кінця. Всі відеопослідовності мали роздільну здатність кадру 1920×1080 пікселів та не супроводжувалися аудіо доріжкою.

Далі наведено середні значення результатів багаторазових експериментів на одному, двох, чотирьох та восьми вузлах розподіленої системи при ущільненні описаних вище тестових відеопослідовностей.

Результати експериментів

Якість ущільнених відеопослідовностей оцінювалася за допомогою метрики PSNR. Усереднені по всіх кадрах значення PSNR для тестових відеопослідовностей наведено на рис. 3. Порівняння коефіцієнтів ущільнення тестових відеопослідовностей в залежності від параметрів компресії наведено на рис. 4.

Експериментальне порівняння параметрів фрактального ущільнення відеоінформації за часом ущільнення, що виконується за допомогою паралельного алгоритму на одному, двох, чотирьох та восьми вузлах, наведено на рис. 5–8. Графік прискорення обчислювального процесу та графік ефективності розподіленої системи наведено на рис. 9 та 10 відповідно.

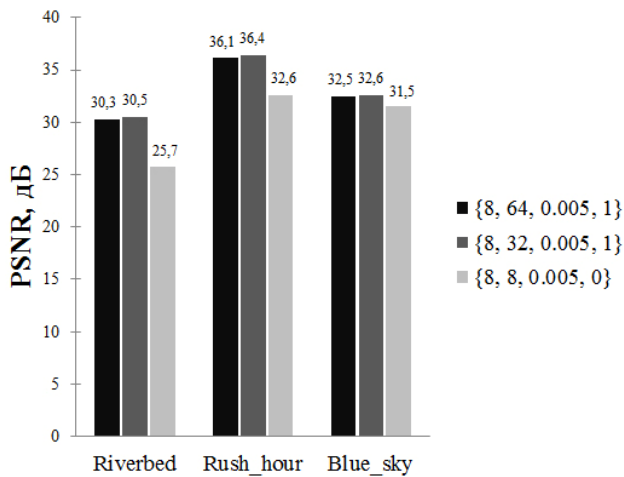


Рисунок 3 – Усереднені по всіх кадрах PSNR для тестових відеопослідовностей

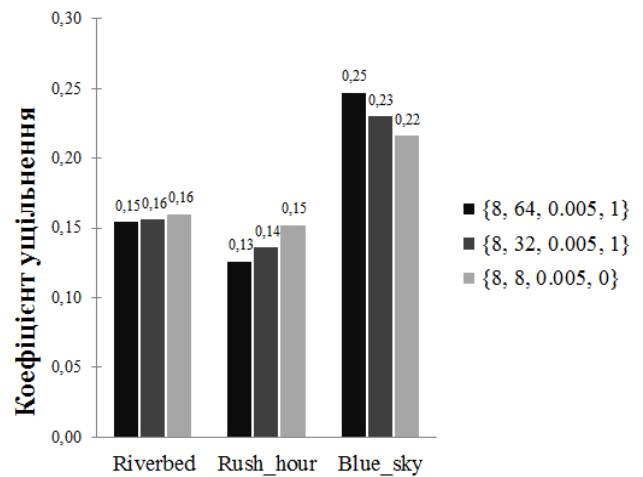


Рисунок 4 – Коефіцієнти ущільнення тестових відеопослідовностей

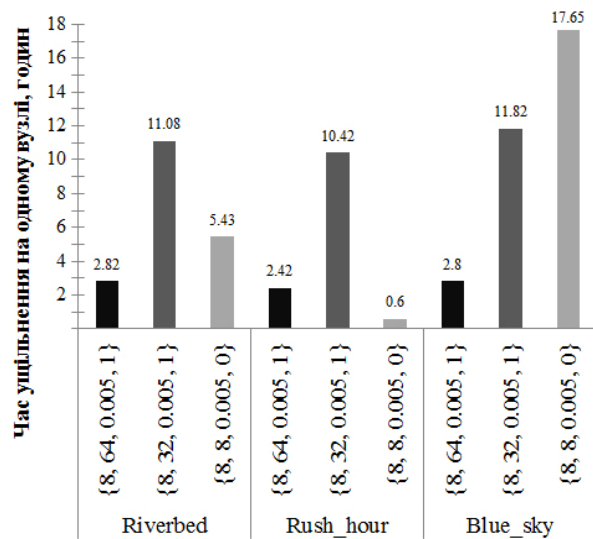


Рисунок 5 – Час ущільнення на одному вузлі

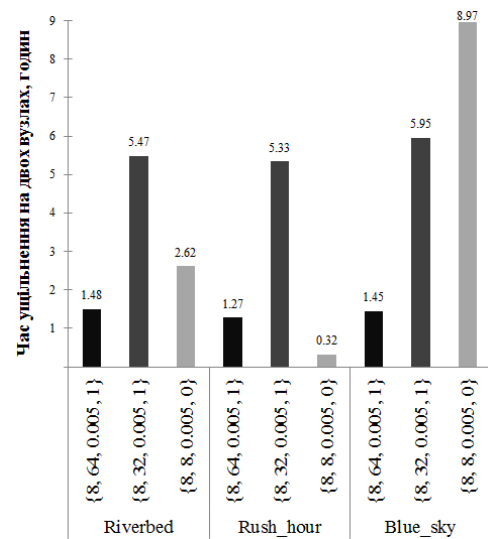


Рисунок 6 – Час ущільнення на 2х вузлах

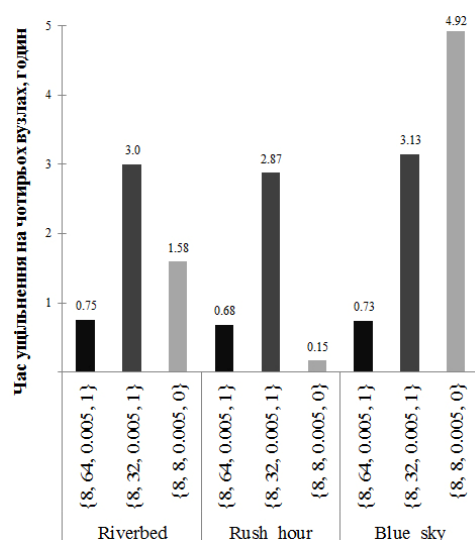


Рисунок 7 – Час ущільнення на 4х вузлах

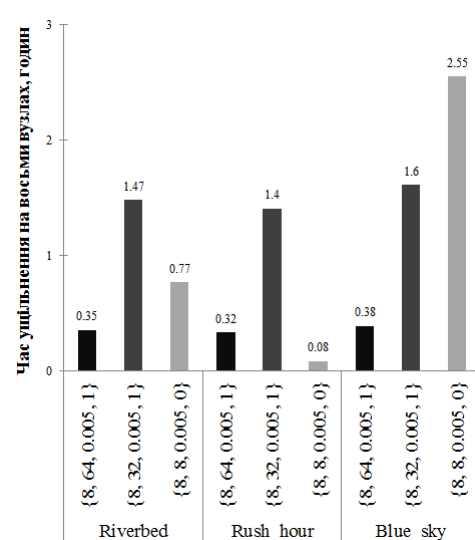


Рисунок 8 – Час ущільнення на 8ми вузлах

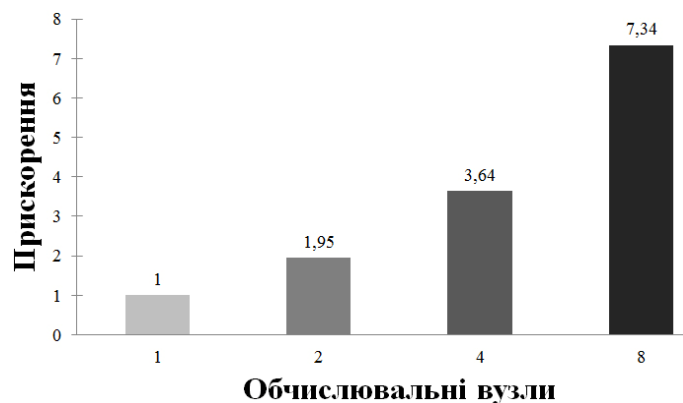


Рисунок 9 – Графік прискорення процесу ущільнення відеоінформації фрактальним методом

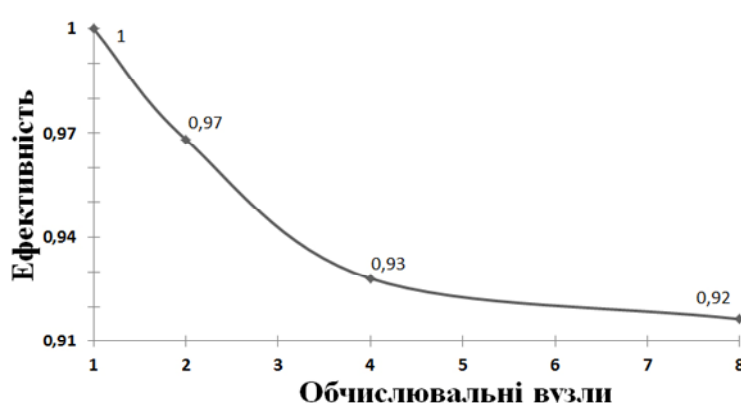


Рисунок 10 – Графік ефективності розподіленої системи ущільнення відеоінформації фрактальним методом

Висновки

Прискорення обчислювального процесу зростає майже лінійно зі збільшенням кількості обчислювальних вузлів. Втрати продуктивності зумовлені комунікаційними накладними витратами. Зі зменшенням кроку пошуку домену час ущільнення зростає. Спосіб пошуку кращого домену впливає на час ущільнення в залежності від конкретної відеопослідовності. Одночасно з цим, повний перебір доменів завжди дає кращий за якістю результат у порівнянні з пошуком за середньоквадратичним відхиленням. Параметри фрактальної компресії в цілому не суттєво впливають на коефіцієнти ущільнення, розбіжність яких зумовлена особливостями конкретних відеопослідовностей. При цьому коефіцієнтів ущільнення, яких вдалося досягти при фрактальній компресії відеоінформації з прийнятною якістю, не достатньо для зберігання ущільненої відеоінформації у форматі HDTV. Однак, за допомогою фрактального ущільнення можна виконувати компресію інтракадрів відеопослідовностей. Подальші дослідження будуть спрямовані на отримання кількісних показників ефективності паралельної компресії відеопослідовностей фрактальним методом у порівнянні з вейвлетним перетворенням.

Перелік використаної літератури

1. Скрупский С.Ю. Методы компрессии видеоинформации / С.Ю. Скрупский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". – 2011. – № 21 (183). – С. 122–130.
2. Проведенные в МГУ сравнения видеокодексов [Электронный ресурс] / CS MSU Graphics & Media Lab (Video Group). – Режим доступа: \www/ URL: http://www.compression.ru/video/codec_comparison/.

3. Чернов А.В. Быстрый поиск опорных фрагментов при фрактальном кодировании изображений / А.В. Чернов // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 100–105.
4. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии: учебное пособие / С. Уэлстид; перевод с англ. – М.: Триумф, 2003 – 320 с.
5. Тропченко А.Ю. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: учебное пособие / А.Ю. Тропченко, А.А. Тропченко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.
6. Илюшин С.В. Фрактальное сжатие телемедицинских изображений / С.В. Илюшин, С.Д. Свет // Электросвязь. – 2009. – № 4. – С. 36–40.
7. Обзор блочных методов оценки движения в цифровых видеосигналах / [С.В. Гришин, Д.С. Ватолин, А.С. Лукин, С.Ю. Путилин, К.Н. Стрельников] // Программные системы и инструменты. Тематический сборник. – 2008. – №9. – С. 50–62.
8. Скрупский С.Ю. Параметры компрессии видеoinформации в распределенных системах / С.Ю. Скрупский, Н.В. Луценко, Л.С. Скрупская // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – №2 (25). – С. 137–143.
9. YUVTools Sunray Image [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.sunrayimage.com/>.
10. Xiph.org Test Media [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/ URL: <http://media.xiph.org/video/derf/>.
11. YUV Video Sequences [Электронный ресурс] / Arizona State University. – Режим доступа: \www/ URL: <http://trace.eas.asu.edu/yuv/>.

References

1. Skrupsky, S.Y. (2011), "Video compression methods", *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: "Obchysliuvalna tekhnika ta avtomatyzatsiia"*, no. 21 (183), pp. 122-130.
2. Conducted in MSU video codecs comparison by CS MSU Graphics & Media Lab (Video Group (2012) Electronic Resources, available at http://www.compression.ru/video/codec_comparison/.
3. Chernov, A.V. (2005), "Fast search of reference fragments in fractal image coding", *Kompiuternaia optyka*, no. 28, pp. 100-105.
4. Uelstyd, S. (2003), *Fraktaly i vejvlety dlya szhatiya izobrazhenij v dejstvii*, Triumf, Moscow, Russia.
5. Tropchenko, A.Y. and Tropchenko, A.A. (2009) *Metody szhatiya izobrazhenij, audiosignalov i video*, SPbGU ITMO, St. Petersburg, Russia.
6. Ilyushin, S.V. (2009), "Fractal compression telemedicine images", *E'lektrosvyaz'*, no. 4, pp. 36-40.
7. Grishin, S.V., Vatinin, D.S., Lukin, A.S. (2008) "Overview of block motion estimation methods in digital video signals", *Programmnye sistemy i instrumenty*, no. 9, pp. 50-62.
8. Skrupsky, S.Y., Lucenko, N.V., Skrupskaya, L.S. (2011), "Video compression parameters in distributed systems", *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, no. 2 (25), pp. 137-143.
9. YUVTools Sunray Image (2013) Electronic Resources, available at <http://www.sunrayimage.com> (Accessed 20 May 2013).
10. Xiph.org Test Media (2013), available at <http://media.xiph.org/video/derf> (Accessed 12 May 2013).
11. YUV Video Sequences provided by Arizona State University (2013), available at <http://trace.eas.asu.edu/yuv> (Accessed 14 May 2013).

Надійшла до редакції:
20.02.2014

Рецензент:
канд. техн. наук, проф. Турупалов В.В.

С.Ю. Скрупский, А.С. Доля

Запорожский национальный технический университет

Фрактальное сжатие видеoinформации в распределенных компьютерных системах. Рассмотрено фрактальное сжатие изображений. Проанализированы его основные параметры и показатели результата. Разработан параллельный алгоритм фрактального сжатия видеoinформации. Выполнено экспериментальное исследование алгоритма в распределенной системе. Сделаны выводы об эффективности применения фракталов для компрессии видеoinформации в формате HDTV.

Ключевые слова: фракталы, компрессия, видеoinформация, HDTV, распределенная система.

S.Y. Skrupsky, A.S. Dolya

Zaporizhzhya National Technical University

Fractal compression of videoinformation in distributed computer systems. The article deals with fractal compression of images and videoinformation. The actuality of fractal compression application has been substantiated. The fractal image compression method has been considered. The analysis of the main parameters of the compression such as size of rank area, step of domain search, search accuracy and search method; and the indicators of compression outcome as follows: compression ratio, distortion level and compression time has also been performed. Besides the parallel algorithm of fractal videoinformation compression that enables the use of parallel and distributed computer architectures has been developed. In the algorithm, each frame of the video sequence is separately compressed by the fractal method. The experimental investigation of the algorithm in a distributed computer system which, by varying the parameters of the encoder, allows us to estimate the acceleration of the computational process, the effectiveness of the computer system, the quality of the result (with objective metric PSNR) and the compression ratio, has been performed. The experiments have been implemented on generally accepted HDTV-videosequences for testing methods of compression, such as "Riverbed", "Rush hour", "Blue sky", using known packages PsTools and YUVTools. The experimental results have been clearly presented in the form of graphs. Finally, conclusions have been drawn about the effectiveness of fractals to compress video in a modern HDTV format. The directions for further investigations in the field of fractal videoinformation compression have been outlined.

Keywords: fractals, compression, videoinformation, HDTV, distributed system.



Скрупский Степан Юрьевич, Украина, закончил Запорожский национальный технический университет, канд. тех. наук, старший преподаватель кафедры компьютерных систем и сетей Запорожского национального технического университета (ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина). Основное направление научной деятельности – компрессия видеoinформации на высокопроизводительных компьютерных системах.



Доля Андрей Сергеевич, Украина, закончил Запорожский национальный технический университет, магистр кафедры компьютерных систем и сетей Запорожского национального технического университета (ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина). Основное направление научной деятельности – фрактальная компрессия видеoinформации.