

О.Ю. Келембет, аспір.

Ю.О. Подчашинський, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ФРАКТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І СТИСНЕННЯ КОЛЬОРОВИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ, ЩО МІСТЯТЬ ВИМІРЮВАЛЬНУ ІНФОРМАЦІЮ

Розглянуто можливості використання методів фрактального моделювання і стиснення кольорових відеозображень, що містять вимірювальну відеоінформацію. Розроблено алгоритм фрактального стиснення кольорових відеозображень, який відповідає рекомендаціям міжнародного стандарту ITU-T.81. Наведено результати експериментальних досліджень роботи алгоритму фрактального стиснення.

Постановка задачі в загальному вигляді та її актуальність. В системах технічного зору і автоматизованих вимірювальних системах цифрові відеозображення містять вимірювальну інформацію, що характеризує об'єкти або промислові вироби, які досліджуються або контролюються. Якщо відеозображення ввести в обчислювальне середовище цифрової ЕОМ, то шляхом алгоритмічної обробки цих відеозображень можна отримати кількісні значення геометричних характеристик і кольору об'єктів, що досліджуються або контролюються.

Особливістю цифрових сигналів з відеоінформацією є їх дуже великий обсяг, який складно або неможливо передавати і реєструвати навіть за допомогою сучасних апаратних засобів. Але цифрові відеозображення мають значну інформаційну надмірність. Тому виникає задача розробки і дослідження методів стиснення цифрових відеозображень. Використання стиснення відеозображень дозволяє зменшити потік цифрових даних до рівня, який можна обробляти і реєструвати за допомогою існуючих апаратних засобів. Особливо актуальна задача стиснення відеозображень при розробці автоматизованих систем технічного зору, що працюють в реальному масштабі часу, та при створенні різноманітних баз даних, що містять візуальну інформацію.

Аналіз існуючих рішень в області стиснення відеозображень. Стиснення цифрових відеозображень з високим коефіцієнтом стиснення базується на методах, які передбачають втрату деякої частини інформації, що міститься у відеозображенні [1], [2]. Загальноприйнятим підходом до стиснення цифрових відеозображень є їх стиснення на основі кодування з перетворенням, наприклад, на основі дискретного косинусного перетворення в методі JPEG або wavelet-перетворення [3], [4]. Однак результати багатьох досліджень вказують на переваги методів фрактального моделювання і стиснення відеозображень у порівнянні з вказаними методами [5], [6], [7]. Ці переваги доводяться на прикладі відеозображень, що призначені для візуального сприйняття людиною. Однак застосування стиснення відеозображень в автоматизованих вимірювальних системах потребує проведення додаткових досліджень та розробки алгоритмів стиснення, що враховують особливості цієї області обробки інформації.

Метою проведених досліджень є підвищення ступеня стиснення та точності відновлення відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, на основі подальшого розвитку методів фрактального моделювання та стиснення двовимірних сигналів.

Викладення основного матеріалу досліджень.

Фрактальна модель відеозображень, що містять вимірювальну інформацію. В процесі проведених досліджень розроблено фрактальну модель відеозображень з вимірювальною інформацією. Прикладом таких відеозображень є поверхня виробів з природного каменю, що характеризується певною текстурою, або промислові вироби складної форми, які необхідно розпізнати, визначити їх орієнтацію в просторі та сортувати. Практична потреба в стисненні таких відеозображень виникає при розробці автоматизованої системи контролю якості промислових виробів з природного каменю та при створенні мультимедійних каталогів зі зразками виробів з природного каменю [8], [9]. Вказані відеозображення характеризуються наявністю елементів зі специфічними сутностями в сигналі, що є самоподібними при різних масштабних коефіцієнтах. Це є однією з умов ефективного застосування методів фрактального моделювання і стиснення відеоінформації.

Для даних задач важливими вимогами до фрактальної моделі і алгоритму стиснення відеозображень є:

- досягнення високих ступенів стиснення в процесі кодування;
- досягнення високої точності відновлення інформації в процесі декодування;
- можливість масштабування отриманого відеозображення зі збереженням його основних характеристик.

Проте, зважаючи на значний рівень інформаційної надмірності в таких сигналах, у багатьох випадках є можливість представлення даного сигналу за допомогою деякої моделі, що сприймається як еквівалент даного сигналу, але не є ідентичною до нього. При цьому є можливість представлення цієї моделі в більш компактному вигляді, ніж сам сигнал. Це дозволяє знизити більш ніж на порядок необхідний об'єм цифрової інформації для подання сигналу. Така модель сигналу є основою для розробки алгоритму стиснення цифрових відеозображень.

Модель \hat{x} сигналу x у даному випадку повністю описується деяким стискаючим фрактальним перетворенням T , для якого дана модель сигналу є нерухомою точкою:

$$x \rightarrow \hat{x} = T^{\infty} x.$$

Процес відновлення моделі сигналу \hat{x} є процесом знаходження нерухомої точки заданого стискаючого перетворення T та може бути виконаний за ітеративним алгоритмом:

$$x_n = T x_{n-1},$$

де x_0 – довільна початкова точка множини всіх можливих сигналів I .

Вибір положення початкової точки впливає лише на кількість ітерацій алгоритму, що необхідні для отримання нерухомої точки перетворення.

У даному випадку стискаюче фрактальне перетворення T має такі особливості:

- використовується схема сегментації відеозображення на основі квадродерева;
- клас перетворень обмежено базовим типом афінних перетворень вигляду

$T(u) = s \cdot u + o \cdot 1$, де s – параметр масштабування, o – параметр зсуву;

– множина доменних блоків складається зі всіх можливих доменних блоків відеозображення з кроком вибірки, що знаходиться в певному діапазоні параметра масштабування (наприклад, можна обрати крок вибірки 2 для масштабного коефіцієнта, що знаходиться в діапазоні $(1/3) \leq k \leq 4$);

- використовується схема класифікації доменних блоків.

Оцінка похибок відтворення вимірювальної інформації, які є результатом стиснення відеозображень. Виникнення суттєвих викривлень цифрових відеозображень в процесі стиснення призводить до некоректної роботи автоматизованої вимірювальної системи. Тому величина викривлень повинна бути обмежена максимальною допустимою похибкою відтворення вимірювальної інформації після стиснення. Критерії оцінки похибок повинні враховувати особливості вимірювальної інформації, що міститься на відеозображенні.

Універсальним кількісним критерієм оцінки абсолютних значень похибок на цифрових відеозображеннях є використання середньоквадратичної похибки [2], [7]:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_{ij}^*)^2},$$

де u_{ij} – дискретні значення амплітуди відеосигналу для початкового відеозображення розміром $m \times n$ дискретних точок; u_{ij}^* – дискретні значення амплітуди відеосигналу для відеозображення, відновленого після стиснення.

Відносне значення похибок може бути оцінене на основі пікового співвідношення сигнал/шум за напругою відеосигналу:

$$\Psi_{PSNR} = 20 \lg \frac{U_{\max}}{\Delta},$$

де U_{\max} – максимальний діапазон значень амплітуди відеосигналу для множини дискретних точок початкового відеозображення.

Зауважимо, що в даному випадку шум – це викривлення початкового відеозображення, що виникли в результаті стиснення, а сигнал – це корисний відеосигнал, що містить вимірювальну інформацію про об'єкти, наявні на відеозображенні.

При вимірюванні показників кольору об'єктів доцільно зробити безпосереднє обчислення вказаних похибок для кожного з каналів кольорового відеозображення з наступним визначенням максимального або середнього значення похибок серед каналів.

Якщо вимірюються геометричні характеристики об'єктів, що досліджуються або контролюються, то похибка геометричних вимірювань, що виникла при стисненні відеозображень, може бути оцінена таким чином [10]:

1. Розраховуються значення похибки відтворення амплітуди відеосигналу на основі відношення сигнал/шум.

2. Визначається форма перепадів відеосигналу в області контурів, що утворюють межі об'єктів на відеозображенні. Ця форма перепадів апроксимується лінійною функцією, що має певний кут нахилу.

3. На основі лінійної форми перепадів відеосигналу виконується перерахунок похибки, визначеної в п. 1, в похибку визначення координат точок та інших геометричних характеристик об'єктів на відеозображенні.

Розробка алгоритму фрактального стиснення відеозображень, що містять вимірювальну інформацію. Алгоритм фрактального стиснення базується на фрактальній моделі відеозображень, що містять вимірювальну інформацію. Він відповідає рекомендаціям міжнародного стандарту ITU-T.81. Використання фрактального перетворення є більш ефективним для задачі стиснення, ніж використання дискретного косинусного перетворення. Отже, очікуваний ступінь стиснення повинен бути вищим.

Перед початком стиснення задаються такі параметри алгоритму:

- максимальне значення похибки відновлення відеозображення Δ_{\max} ;
- мінімальний рівень розбиття квадродерева I_{\min} для забезпечення початкового розподілу відеозображення на блоки (початкової сегментації);
- максимальний рівень розбиття квадродерева I_{\max} для забезпечення ефективного розподілу відеозображення на блоки (розмір блоків 2×2 дискретні точки є мінімально допустимим);
- рівень квантування параметрів масштабу та зміщення для обраного класу афінних перетворень.

Розроблений алгоритм фрактального стиснення відеозображень наведений на рис. 1.

Початкове відеозображення $IRGB$, що представлено в колориметричній системі RGB , перетворюється у відеозображення I_{YUV} , що представлено в колориметричній системі $YUV 4:2:0$. Символ \cup на рисунку відображає той факт, що кольорове зображення складається з трьох окремих компонентів (каналів) відповідно до обраної колориметричної системи. Для кожного з каналів відеозображення I_k , $k = 1, 2, 3$, виконується окремо процедура фрактального перетворення сигналу T з отриманням його фрактальної моделі C'_k . Сукупність фрактальних моделей трьох каналів відеозображення C' підлягає процедурі ентропійного кодування $Enc(C')$. Результат C є загальною фрактальною моделлю початкового відеозображення, яка побудована за допомогою розробленого алгоритму.

Відновлення стиснутого відеозображення відбувається за подібною схемою, але у зворотному порядку.

Алгоритм фрактального перетворення для кожного каналу кольорового відеозображення побудований на основі методів, наведених в [5]. В алгоритмі враховані особливості відеозображень, що містять вимірювальну відеоінформацію.

На першому кроці алгоритму відбувається початковий розподіл відеозображення на блоки (початкова сегментація) для досягнення мінімального рівня глибини сегментації I_{\min} . Для кожного з отриманих рангових блоків r_i виконується його класифікація та пошук оптимального домену $d_{i,opt}$ і вектора коефіцієнтів перетворення $w_{n,i}$, які забезпечують мінімум похибки Δ . Якщо $I = I_{\max}$ або $\Delta < \Delta_{\max}$, то обчислений вектор коефіцієнтів перетворення зберігається як елемент фрактальної моделі сигналу. В іншому випадку виконується розширення множини рангових блоків шляхом квадродеконпозиції даного рангового блока. Алгоритм фрактального перетворення відеосигналу наведено на рис. 2.

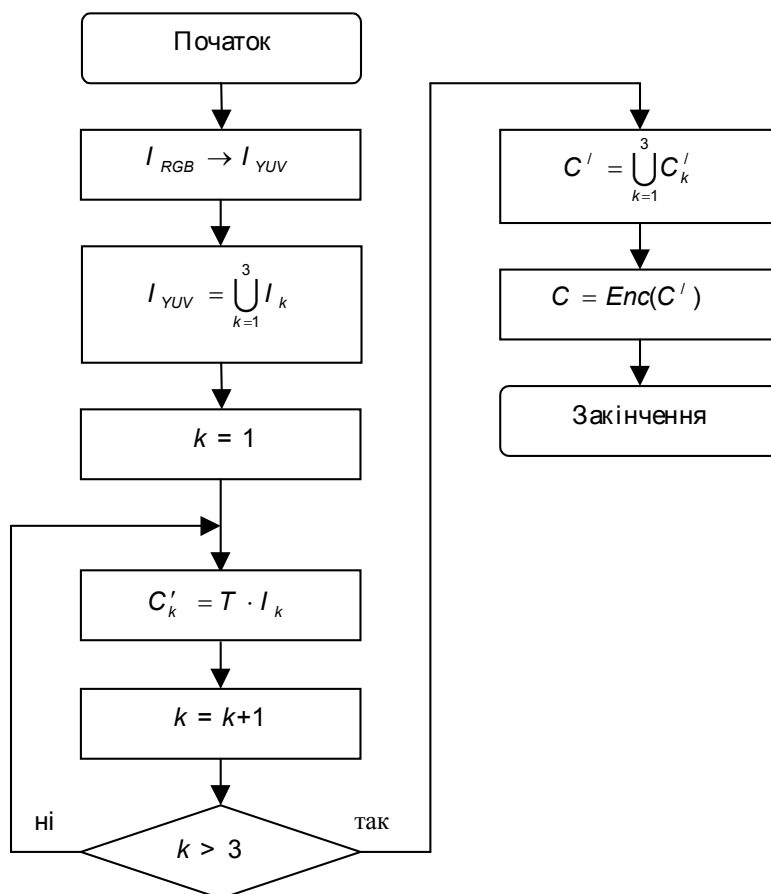


Рис. 1. Алгоритм фрактального стиснення відеозображень

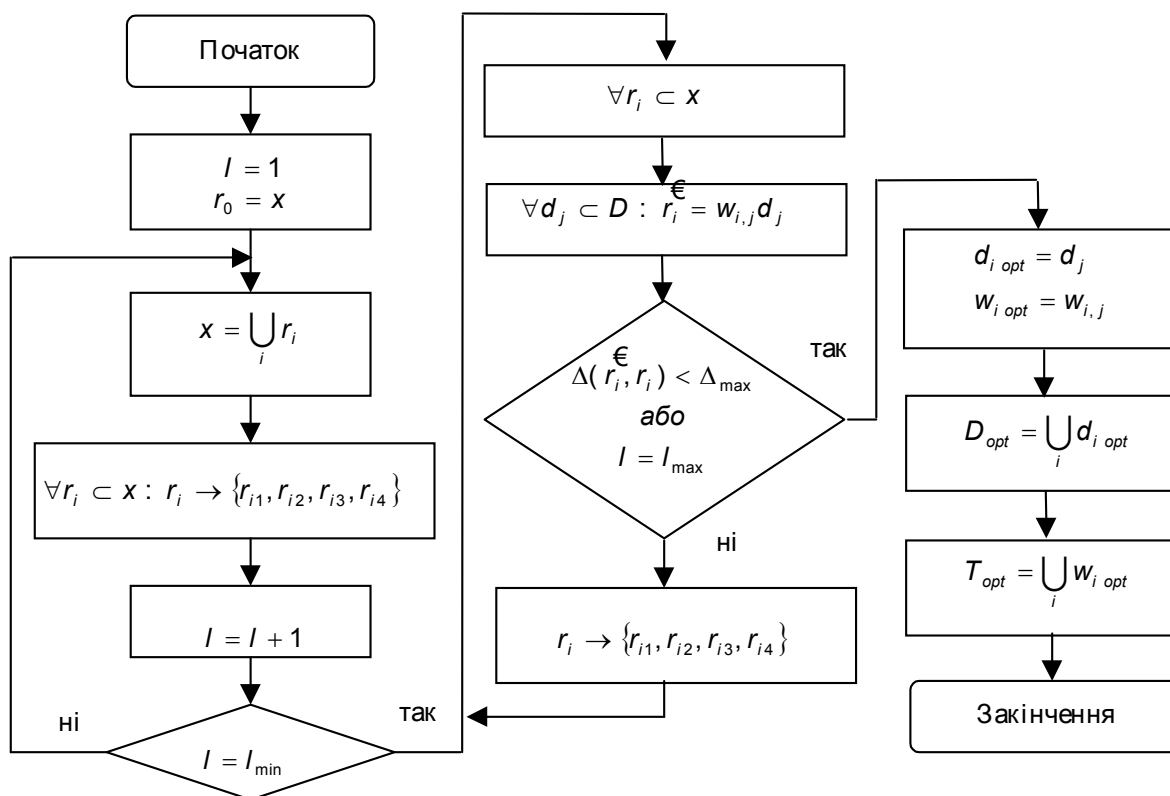


Рис. 2. Алгоритм перетворення відеосигналу на основі фрактального кодування

Відновлення відеозображення на основі його фрактальної моделі виконується шляхом обчислення фіксованої точки заданого перетворення $I = T^{\infty} x$, де x – деякий довільний початковий вектор. Параметром алгоритму виступає кількість ітерацій відновлення відеозображення. Іншим варіантом є використання критерію відстані між наближеннями до початкового відеозображення на попередній та наступній ітерації алгоритму відновлення $d(T^{*k} x, T^{*k-1} x) \leq \Delta$. Проте обчислювальна складність алгоритму в цьому випадку значно зростає. Тому було використано варіант алгоритму, для якого задається кількість ітерацій. Цю кількість потрібно обирати з урахуванням необхідної точності відновлення відеозображень після стиснення.

Для зменшення статистичної надмірності фрактальної моделі відеозображення, що отримана в результаті стиснення, пропонується використовувати алгоритм адаптивного арифметичного кодування.

Результати експериментальних досліджень фрактального алгоритму стиснення. Роботу алгоритму фрактального стиснення відеозображень було експериментально перевірено на наборах відеозображень різних типів (табл. 1). Серед них були як відеозображення загального змісту (типи 1 і 2), так і відеозображення, що містять вимірювальну інформацію (типи 3 і 4). В ході досліджень використовувалися кольорові відеозображення розміром 512x512 дискретних точок, глибиною кольору 24 біти, представлені у стандартній колориметричній системі RGB. Для оцінки результатів використовувалися такі критерії: ступінь стиснення та співвідношення корисний сигнал/шум, який виникає в результаті стиснення.

Таблиця 1

*Результати експериментальних досліджень розробленого алгоритму
фрактального стиснення*

Тип відеозображення	Розроблений алгоритм фрактального стиснення		Метод JPEG	
	сигнал/шум, дБ	стиснення, разів	сигнал/шум, дБ	стиснення, разів
1. Природні об'єкти (ландшафти, біологічні об'єкти)	108,36	45,45	105,70	25,81
2. Штучні об'єкти (архітектурні споруди)	105,33	45,37	102,48	26,61
3. Промислові вироби складної форми	101,98	63,16	101,16	42,50
4. Поверхня виробів з природного каменю	97,05	30,30	101,26	17,32

Для порівняння також виконано стиснення цих відеозображень за методом JPEG. Параметри методу JPEG підбиралися таким чином, щоб забезпечити відношення сигнал/шум не гірше, ніж 100 дБ. Як бачимо з таблиці, розроблений алгоритм фрактального стиснення має перевагу до 1,5 раза за ступенем стиснення відеозображень у порівнянні з методом JPEG за умови приблизно однакового рівня похибок.

Отримано експериментальну залежність похибок, які є результатом стиснення, від кількості ітерацій фрактального алгоритму, що виконуються при відновленні відеозображення (рис. 3). У даному випадку це є відеозображення поверхні виробів з природного каменю.

На рис. 4 наведено усереднені для всіх 4 типів відеозображень показники похибок, що виникають при стисненні відеозображень. Ступінь стиснення виражено у вигляді кількості біт інформації, що в середньому використовуються для кодування одного елемента початкового відеозображення.

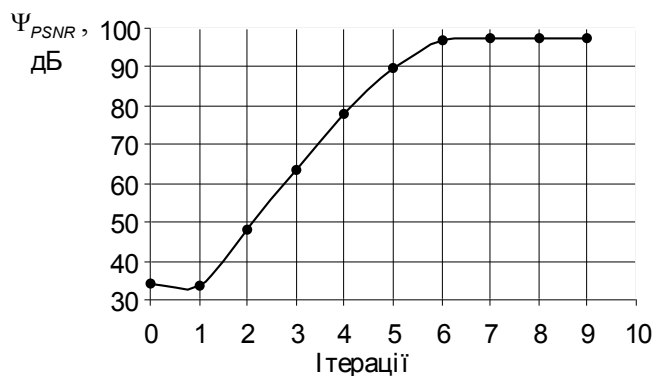


Рис. 3. Експериментальна залежність похибок, які є результатом стиснення, від кількості ітерацій фрактального алгоритму

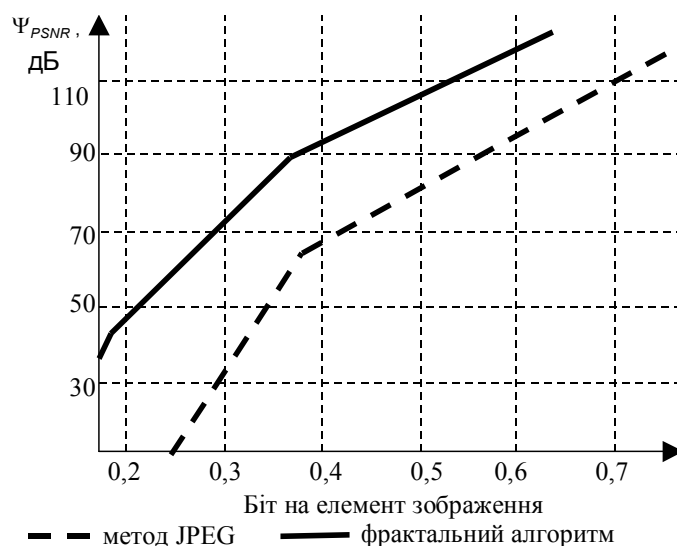


Рис. 4. Усереднені показники похибок, що виникають при стисненні відеозображень за фрактальним алгоритмом

Висновки. Результати досліджень свідчать про можливість використання фрактальних моделей двовимірних сигналів в алгоритмах стиснення відеозображень, що містять вимірювальну інформацію. Розроблений алгоритм фрактального стиснення забезпечує ступінь стиснення відеозображень приблизно в 1,5 раза кращу, ніж метод стиснення JPEG за умови приблизно однакової точності відновлення відеозображень.

Отримані результати можуть бути застосовані при розробці автоматизованих систем контролю та управління, які використовують алгоритмічні методи обробки відеозображень і вимірювальної інформації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
2. Прэнт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 792 с.
3. Wallace G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication of the ACM, 1991. – Vol. 34. – № 4. – P. 31–44.
4. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.

5. Шульгин В.И. Основы теории передачи информации. Часть 1. Экономное кодирование: Учебное пособие. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет “Харьковский авиационный институт”, 2003.
6. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. – М.: Издательство МГУ, 2002.
7. Fisher Y. (editor). Fractal Image Compression: Theory and Application. – New York: Springer-Verlag, 1995.
8. Купкін Є.С., Подчашинський Ю.О. Автоматизована система для визначення характеристик текстури поверхні облицовального каменю // Вісник Технологічного університету Поділля (Хмельницький державний університет). – 2004. – № 2. Частина 1. Том 1 / Технічні науки. – С. 21–24.
9. Криворучко А.О., Купкін Є.С., Подчашинський Ю.О., Ремезова О.О. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеоінформації в гірничо-геологічній галузі // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2005. – № 1(32). – С. 107–117.
10. Подчашинський Ю.О. Метод розрахунку похибок геометричних вимірювань при стисненні цифрових зображень // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2000. – № 15. – С. 125–132.

КЕЛЕМБЕТ Олександр Юрійович – аспірант кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- фрактальне стиснення відеозображень;
- математичне моделювання.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 24.05.2005

Келембет О.Ю., Подчашинський Ю.О. Фрактальне моделювання і стиснення кольорових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію

Келембет А.Ю., Подчашинский Ю.А. Фрактальное моделирование и сжатие цветных видеоизображений, содержащих измерительную информацию

Kelembet A.Yu., Podchashinsky Yu.A. Fractal modelling and compression of colour videoimages with a content of a measuring information

УДК 004.932:531.7

Фрактальне моделювання і стиснення кольорових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію / О.Ю. Келембет, Ю.О. Подчашинський // Вісник ЖДТУ. – 2005. – № 3(34) / Технічні науки. – С. ??-??. – Бібліогр.: 10 назв.

Розглянуто можливості використання методів фрактального моделювання і стиснення кольорових відеозображень, що містять вимірювальну відеоінформацію. Розроблено алгоритм фрактального стиснення кольорових відеозображень, який відповідає рекомендаціям міжнародного стандарту ІТУ-Т.81. Наведено результати експериментальних досліджень роботи алгоритму фрактального стиснення.

УДК 004.932:531.7

Фрактальное моделирование и сжатие цветных видеоизображений, содержащих измерительную информацию / А.Ю. Келембет, Ю.А. Подчашинский // Вісник ЖДТУ. – 2005. – № 3(34) / Технічні науки. – С. ??-??. – Бібліогр.: 10 назв.

Рассмотрены возможности использования методов фрактального моделирования и сжатия цветных видеоизображений, содержащих измерительную информацию. Разработан алгоритм фрактального сжатия цветных видеоизображений в соответствии с рекомендациями международного стандарта ІТУ-Т.81. Приведены результаты экспериментальных исследований работы алгоритма фрактального сжатия.

УДК 004.932:531.7

Fractal modelling and compression of colour videoimages with a content of a measuring information / A.Yu. Kelembet, Yu.A. Podchashinsky // Вісник ЖДТУ. – 2005. – № 3(34) / Технічні науки. – Р. ??-??. – Refs.: 10 titles.

The possibilities of use of methods of fractal modelling and compression of colour videoimages containing a measuring information are considered. The algorithm of fractal compression of colour videoimages in the correspondence with the recommendations of the international standard ІТУ-Т.81 is developed. The outcomes of experimental researches of work of algorithm of fractal compression are reduced.