

УДК 004.932:004.627

О.А. Смірнов, О.П. Доренський, О.М. Дреєв

Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ СТИСНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ

У статті здійснено аналіз методів стиснення (кодування) зображень без втрат та з частковою втратою якості; характеристик найпоширеніших графічних форматів даних; ортогонального та дискретного ортогонального перетворення, їх особливостей. Розглянуто складові вибору ортогонального перетворення для розробки ефективного методу стиснення і відновлення зображень.

Ключові слова: стиснення зображення, графічні формати, ортогональне перетворення.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогодні основну частку інформації, що передається та зберігається в інфокомунікаційних системах, складають статичні цифрові зображення і мультимедіа. При цьому обсяги цього виду даних невпинно зростають. Тому досить гостро постає задача стиснення зображень і відеоінформації. Застосування процесу стиснення за рахунок обробки та перетворення забезпечує суттєве зменшення навантаження на канали передачі даних або зменшення об'єму пам'яті носіїв (запам'ятовуючих пристроїв), необхідної для зберігання даних. З цього випливає, що на даний час є актуальною задача дослідження й детального аналізу існуючих методів стиснення зображень та відеоданих з метою їх вдосконалення, а також розробки нових, більш ефективних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачі стиснення і, відповідно, відновлення зображень присвячено дослідження [1-4, 6-17]. У цих публікаціях обґрунтовується суттєвий недолік графічних файлів – їх значний об'єм – та, як наслідок, необхідність застосування методів компресії (від англ. compression, стиснення) у якості одного з найважливіших засобів забезпечення оптимального й ефективного функціонування інформаційно-комунікаційних систем; наголошується на актуальності розробки більш ефективних методів стиснення зображень і вдосконаленні вже існуючих. На останнє і спрямовані вказані праці. Проте тільки у роботах [3, 4] здійснено дослідження деяких алгоритмів стиснення зображень, а саме: RLE, LZ, LZW, Хаффмана, JBIG, DEFLATE, JPEG, фрактального та рекурсивного (хвильового) кодування. Тож, аналіз існуючих процесів стиснення зображень цифровими методами на даний час є не вирішеною і актуальною задачею.

Метою роботи є аналіз процесів стиснення і відновлення зображень на основі цифрових методів, результати якого у подальшому будуть використані при

розробці ефективного методу стиснення і відновлення зображень для заданих характеристик зображень.

Основна частина

Цифрові методи стиснення і відновлення зображень перевершують аналогові за гнучкістю та ефективністю [9]. Їх основною перевагою є скорочення об'єму переданої інформації завдяки її кодуванню [10]. Процес кодування зображення ґрунтується на його представленні у вигляді послідовності символів або цифр, який здійснюється на формалізованій мові.

На рис. 1 наведено класифікацію основних методів кодування зображень [11].

Необхідно відзначити, що останнім часом розробки в царині цифрової обробки зображень привели до створення цілого ряду графічних форматів і стандартів на основі методів кодування зображень (найбільш поширеними серед них є BMP, GIF, TIFF, JPEG і MPEG) [12].

Під графічним форматом розуміють схему представлення зображення. Крім самого зображення файл графічного формату, зазвичай, містить інформацію про розмір, фізичний розмір, ім'я, дату створення тощо. Часто унікальність формату полягає тільки в можливості зберігання додаткової інформації (наприклад, спеціальний формат для зберігання фотографій, отриманих із супутника або сучасного фотоапарата, містить, крім самого зображення, таку специфічну інформацію, як час і дату фотографування, вид обладнання, яким був проведений знімок, місце тощо) [13].

Методи стиснення з частковою втратою якості (англ. Lossy compression) ефективно функціонують на всьому діапазоні зображення [9]. При їх застосуванні відновлений файл зображення відрізнятиметься від оригіналу, проте є корисним для використання [3]. Основна особливість методів компресії з частковою втратою якості визначається забезпеченням прийнятої якості відновлення зображення при максимальному ступені стиснення.



Рис. 1. Класифікація методів кодування зображень

Вони також забезпечують значно ефективніше стиснення, ніж безвтратні методи, оскільки високий ступінь стиснення досягається за рахунок зниження якості зображення під час його відновлення в порівнянні з якістю оригіналу. Кінцева мета методів стиснення з втратами – оптимізація якості зображення під вимоги системи обробки й передачі зображень при задоволенні як “об’єктивних”, так і “суб’єктивних” критеріїв якості відновлюваних зображень [16].

На сьогодні існують методи, які дозволяють регулювати ступінь стиснення в залежності від необхідної якості відновлення зображення. Тому відновлене зображення може практично не змінитися по відношенню до вихідного, а може і спотворитися до невпізнаності.

Характерним недоліком методів стиснення з частковою втратою якості є їх висока обчислювальна складність. Проте цей недолік фактично усувається завдяки потужним обчислювальним можливостям сучасної комп’ютерної техніки.

Методи стиснення з частковою втратою якості реалізовані в таких форматах, як JPEG, JPEG2000, ART, FIF, PCD. Характеристики найпоширеніших в даний час форматів графічних даних [4] подано в табл. 1.

Використання методів з частковою втратою якості призвело до широкого поширення методів

кодування з перетворенням як основної складової методів стиснення і відновлення зображень.

Під час кодування з перетворенням використовують перетворення груп відліків для декореляції зображення (ослаблення кореляційних зв’язків між елементами зображення).

Результатом ортогонального перетворення блоку зображення є матриця коефіцієнтів перетворення – трансформанта. Стиснення зображення здійснюється шляхом відбору коефіцієнтів перетворення, які суттєво не впливають на відновлення вихідного зображення.

Тобто здійснюється фільтрація елементів трансформанти кожного блоку зображення, тим самим зменшується обсяг трансформанти, який зберігається [14].

З метою вибору ортогонального перетворення для розробки ефективного методу стиснення і відновлення зображень об’єктів проведемо класифікацію ортогональних перетворень [15]. В залежності від базисних функцій їх можна розділити на наступні класи:

- ортогональні перетворення, базисні функції яких не залежать від статистики вихідного сигналу;
- ортогональні перетворення, базисні функції яких залежать від статистики вихідного сигналу.

Дослідження ортогональних перетворень, які віднесено до першого класу, вказує на їх значно ме-

нші часові характеристики в порівнянні з перетвореннями, що належать до другого класу. Це пов'язано з тим, що під час використання ортогональних перетворень другого класу для кожного сигналу обчислюється власний ортогональний базис. Це характеризується високою обчислювальною

складністю й відсутністю швидких алгоритмів перетворення. Незважаючи на те, що ортогональні перетворення, базисні функції яких залежать від статистики вихідного сигналу, є оптимальними [16], тривалий час обробки не дозволяє їх використовувати під час стиснення і відновлення зображень.

Таблиця 1

Зведені характеристики графічних форматів

Найменування формату	Розширення	Режими, які підтримуються (біт/піксель)	Алгоритми стиснення, які підтримуються
Portable Network Graphics	PNG	1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 48	Deflate
Graphic Interchange Format	GIF	1, 2, 4, 8	LZW
Tagged Image File Format	TIF, TIFF	1, 8, 12, 15, 16, 24, 32	LZW, JPEG та ін.
Microsoft Windows Bitmap	BMP, RLE	1, 2, 4, 8, 24	RLE
Intel Leaved Bitmap	ILBM, LBM	1, 2, 4, 8, 24	RLE
True Vision (Targa)	TGA	8, 15, 24, 32	RLE
PC Paintbrush Picture	PCX	1, 2, 4, 8, 24	RLE
HSI JPEG	HSI, JPG	8	LZW + JPEG
Joint Potographic Expert Group	JPG, JPEG	24	JPEG
Fractal Image Format	FIF	Адаптивно залежать від фрактальної функції	FIF
Kodak Photo CD	PCD	24	Chroma/2
Encapsulated Post Script	EPS, EPSI, EPI	1, 2, 4, 8, 24, 32	JPEG, RLE
Dr.Halo CUT	CUT	1, 2, 4, 8	Hi
IBM Picture Maker PIC	PIC	1, 2, 4, 8	Hi
Macintosh PICT	PICT	1, 2, 4, 8	Hi

Ортогональні перетворення, базиси яких не залежать від вихідного сигналу, можна розділити на такі дві групи [14]:

- ортогональні перетворення з базисами на основі гармонійних базисних функцій;
- ортогональні перетворення з базисами на основі частково-постійних базисних функцій.

До першої групи належать перетворення Фур'є, дискретно-косинусне перетворення, перетворення Хартлі та ін. Їх базисні функції представлено тригонометричними функціями косинуса і синуса. Прикладом другої групи є ортогональні перетворення Уолша-Адамара, Хаара тощо.

У свою чергу ортогональні перетворення з гармонійними базисними функціями можна розділити на [14]:

- ортогональні перетворення в комплексно-дійсній області;
- ортогональні перетворення в дійсній області.

Прикладом ортогонального перетворення в комплексно-дійсній області є перетворення Фур'є і його модифікації. Як приклад перетворення, заснованого на другій групі базисів, можна навести перетворення Хартлі і дискретно-косинусне перетворення.

Під час кодування з перетворенням зображення представляється в іншому вигляді: спочатку в деякому блоці даних беруться лінійні комбінації відліків (коефіцієнти), а потім відібрані для передачі коефіцієнти фільтруються [17].

Адаптація методу стиснення і відновлення зображень на основі ортогонального перетворення

досягається за рахунок вибору типу перетворення і критерію для відбору й фільтрації коефіцієнтів.

Існує ще безліч методів кодування, які або не можливо з достатньою визначеністю віднести до одного з основних класів, або вони є поєднанням методів, що входять в ці класи.

Вибір ортогонального перетворення для розробки ефективного методу стиснення і відновлення зображень [18] ґрунтується на трьох складових:

- вибір оптимального перетворення, що здійснює декореляцію зображень;
- вибір методів кодування коефіцієнтів перетворення, що дозволяють істотно скоротити обсяг інформації з найменшим погіршенням якості зображення під час його відновлення;
- використання принципів психофізичного кодування.

Переваги застосування методу кодування на основі ортогонального перетворення впливають з властивостей самого перетворення, тобто особливо-

стей розподілу енергії серед його коефіцієнтів. Завдяки цим особливостям двовимірний спектр зображення більш зручний для кодування, ніж зображення у вихідному просторовому поданні. Внаслідок кореляційних зв'язків між елементами вихідного зображення енергія його спектру може концентруватися у відносно невеликій кількості відліків [19].

Під час реалізації метода кодування з перетворенням зображення ділиться на блоки, після чого здійснюється перетворення кожного з них у набір “більш незалежних” коефіцієнтів. Після цього коефіцієнти фільтруються і кодуються для подальшої передачі.

Прийняті приймачем коди декодуються у коефіцієнти перетворення. Відповідно для відновлення елементів зображення над коефіцієнтами виконується зворотне перетворення [14].

На рис. 2 наведено процес кодування з перетворенням.

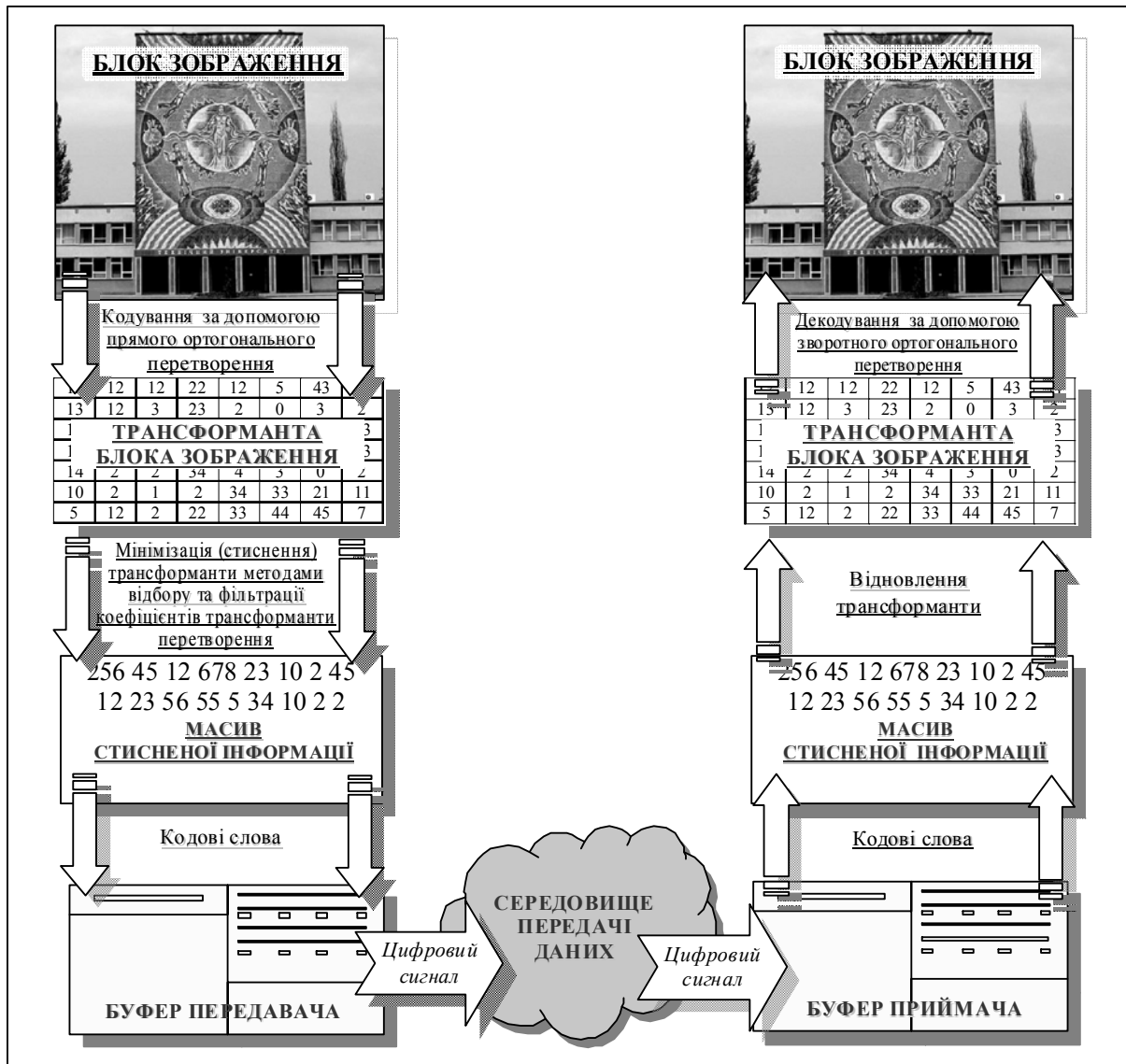


Рис. 2. Процес кодування з перетворенням

Під час розробки метода стиснення/відновлення зображень на основі ортогонального перетворення слід так само врахувати ряд особливостей [10, 11]:

– під час розбиття вихідного зображення на блоки й роздільного їх кодування, що зберігається за рахунок зв'язку між ними, надмірністю зазвичай нехтують, тому зі статистичного погляду їх розмір доцільно збільшувати; однак, для того, щоб спростити реалізацію та використовувати локальні зміни статистики зображень, необхідно зменшувати їх розмір;

– з практичних міркувань бажано, щоб переважна частина енергії блоку зображення зосереджувалася в меншій кількості коефіцієнтів;

– під час вибору ортогонального перетворення слід враховувати складність його технічної реалізації.

Впровадження цифрових пристроїв обробки інформації допускає використання виключно дискретного варіанту ортогональних перетворень [17].

Дискретне ортогональне перетворення і відповідне зворотне перетворення [17] визначається наступними виразами:

$$Y(p) = \frac{1}{D} \cdot \sum_{m=0}^{D-1} X(m) \cdot W(p, m), \quad p = \overline{0, D-1}; \quad (1)$$

$$X(m) = \sum_{p=0}^{D-1} Y(p) \cdot W(p, m), \quad m = \overline{0, D-1}, \quad (2)$$

де $X(m)$ – m -й відлік вихідного дискретного сигналу; $Y(p)$ – p -й коефіцієнт перетворення; $W(p, m)$ – m -й відлік p -ї базисної функції ортогонального перетворення; D – кількість відліків у вихідному сигналі або в блоці вихідного сигналу під час поблочної обробки; $\frac{1}{D}$ – коефіцієнт нормування, який у деяких ортогональних перетвореннях може бути відсутнім.

Базисні функції $W(p, m)$ ортогонального перетворення повинні відповідати вимогам попарно ортогональності та ортонормованості.

При цьому всю множину попарно ортогональних і ортонормованих функцій утворює ортогональний базис [18].

Відліки базисних функцій d зручно представляти у вигляді матриці $W(d) = [w_{i,j}]$. У цьому випадку вираз прямого і зворотного перетворень варто записувати в матричному вигляді [14]:

$$Y(d) = \left\langle \frac{1}{D} \right\rangle \cdot X(d) \cdot W(d); \quad (3)$$

$$X(d) = Y(d) \cdot W^T(d), \quad (4)$$

де $W(d)$ – матриця відліків базисних функцій ортогонального перетворення розмірності $N \times N$; $X(d)$ –

вектор з D відліків вихідного блоку зображення під час поблочної обробки; $Y(d)$ – вектор з L коефіцієнтів перетворення.

Вирази (3) і (4) описують відповідно пряме та зворотне перетворення.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день існує безліч ортогональних перетворень, властивості яких і визначають їх спрямованість для різних методів обробки зображень.

Для оцінки ефективності методів стиснення і відновлення зображень на основі ортогональних перетворень використовуються такі параметри [18]: σ – середньоквадратичне відхилення; $K_{ст}$ – коефіцієнт стиснення; $t_{пр}$, $t_{пр}^{(-1)}$ – час виконання прямого і зворотного перетворення відповідно.

Середньоквадратичне відхилення σ (СКВ) є кількісною оцінкою якості, характеризує похибку відновленого зображення та визначається виразом:

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot \sum_{RGB} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (x_{i,j}^{(B)} - x_{i,j}^{(H)})^2}{M \cdot N}}, \quad (5)$$

де $x_{i,j}^H$ – елемент вихідного зображення; $x_{i,j}^B$ – елемент відновленого зображення; N, M – розмірність зображення по вертикалі і горизонталі відповідно; \sum_{RGB} – підсумовування за трьома кольорними компонентами R, G і B .

Середньоквадратичне відхилення визначається як властивостями ортогонального перетворення, так і характеристиками алгоритму стиснення [15]. Під час розробки методів стиснення і відновлення зображень на основі ортогональних перетворень необхідно забезпечити мінімальне значення цього показника.

Час виконання прямого і зворотного перетворення $t_{пр}$, $t_{пр}^{(-1)}$ залежить від кількості арифметичних операцій, які виконуються під час двовимірного перетворення блоку зображення, складності алгоритму виконання та продуктивності обчислювальної системи.

Коефіцієнт стиснення $K_{ст}$ визначається відношенням обсягу вихідного зображення до обсягу стисненого [4] і визначається виразом:

$$K_{ст} = \frac{V_{вих}}{V_{ст}}, \quad (6)$$

де $V_{вих}$ – об'єм вихідного зображення; $V_{ст}$ – об'єм зображення в стисненому вигляді.

Слід зазначити, що для обробки зображень найбільш широке застосування отримали перетворення Фур'є, дискретно-косинусне перетворення,

перетворення Хаара, перетворення Уолша-Адамара, перетворення Карунена-Лоева [14, 20].

Висновки

Здійснений у роботі аналіз процесів стиснення і відновлення зображень на основі цифрових методів показав, що з метою розробки ефективного методу стиснення і відновлення зображень для конкретних характеристик зображень, що відновлюються, необхідно провести відповідне дослідження ортогональних перетворень.

Список літератури

1. Загребнюк В.І. Палітровий формат цифрових кольорових зображень з адаптивною довжиною коду / В.І. Загребнюк // Вісник ДУІКТ. – 2012. – Т.10, №4. – С. 65-69.
2. Загребнюк В.І. Стискуюче відображення для кодування цифрових зображень / В.І. Загребнюк // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012, № 1 – С. 82-88.
3. Гриньов Д.В. Методи стиснення зображень в системах цифрової обробки даних / Д.В. Гриньов, З.З. Закиров // Системи обробки інформації. – 2010. – Вип. 2 (83). – С. 66-70.
4. Зубко Р.А. Алгоритми стиснення зображень / Р.А. Зубко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/2 (61). – С. 40-44.
5. Ватолин В. Методи сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / В. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 384 с.
6. Юдін О.К. Розробка сучасних стандартів стиснення відеоданих / О.К. Юдін, К.О. Курін // Захист інформації. – № 3. – 2010. – С. 74-81.
7. Бомба А.Я. Застосування арифметичного кодування у растровому графічному форматі PNG / А.Я. Бомба, О.В. Шпортько // Вісник Нац. ун-ту водного господарства та природокористування: серія "Технічні науки". – Вип. 2 (50). – 2010. – С. 246-247.
8. Удовенко С.Г. Модифицированный метод предиктивного кодирования для сжатия графической информации / С.Г. Удовенко, А.А. Шамраев, Е.О. Шамраева,

- С.Д. Лукьяненко // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 5 (95). – С. 227-230.
9. Сэмолон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэмолон. – М.: Физматлит, 2004. – 317 с.
10. Соболев Н.А. Общая теория изображений / Н.А. Соболев. – М.: Архитектура-С, 2004. – 672 с.
11. Соифер В.А. Методы компьютерной обработки изображений / В.А. Соифер. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
12. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
13. Климов А.С. Форматы графических файлов / А.С. Климов. – К.: НИИПФ "ДиаСофт Лтд.", 1995. – 480 с.
14. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ. / Н. Ахмед, К.Р. Рао. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
15. Бондарев В.Н. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: Учеб. пособ. для вузов / Бондарев В.Н., Тресер Г., Чернега В.С. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
16. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. / Д. Даджион, Р. Марсеро. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
17. Абламейко С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский – М.: Амадфея, 2000. – 304 с.
18. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт – М.: Мир, 1982. – 312 с.
19. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений / Н.Н. Красильников. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
20. Дуденко С.В. Двумерное смещенное дискретное преобразование Хартли / С.В. Дуденко, М.М. Колмиков, К.А. Вельчев // Збірник наук. праць Харківського ун-ту Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – 2008. – Вип. 1 (16). – С. 62-64.

Надійшла до редколегії 22.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. І.В. Рубан, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СЖАТИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ

А.А. Смирнов, А.П. Доренский, А.Н. Дреев

В статье осуществлен анализ методов сжатия (кодирования) изображений без потерь и с частичной потерей качества; характеристик распространенных графических форматов данных; ортогонального и дискретного ортогонального преобразования, их особенностей. Рассмотрены составляющие выбора ортогонального преобразования для разработки эффективного метода сжатия и восстановления изображений.

Ключевые слова: сжатие изображения, графические форматы, ортогональное преобразование

ANALYSIS OF THE PROCESS AND RESTORATION OF IMAGE COMPRESSION BASED DIGITAL METHODS

O.A. Smirnov, O.P. Dorensky, A.M. Dreyev

The paper analyzes methods of compression (coding) images without loss and partial loss of quality, the most common characteristics of image data formats; orthogonal and discrete orthogonal transform their features. The components of the choice of orthogonal transformation for the development of effective methods of compression and image restoration.

Keywords: image compression, image formats, orthogonal transformation.