

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Проведено експериментальний аналіз різних методів стиснення цифрованих зображень, та запропоновано метрику оцінки рівня деталізації зображень

Постановка проблеми

Зорові образи для людини є основою сприйняття навколишнього світу. Тому цілком очікувано цифровані зображення (ЦЗ) протягом останнього десятиріччя зайняли значну частину інформаційного простору. З одного боку, цьому сприяли розвиток Інтернет, поряд з доступністю все більш потужних комп'ютерів та прогресом в технологіях виробництва цифрових камер, сканерів, принтерів, тощо. З іншого – свій внесок зробили методи стиснення ЦЗ.

Вирішення задачі зменшення обсягу ЦЗ при збереженні якісного зорового сприйняття стало потужним стимулом розвитку інформаційних технологій, зорієнтованих і на пересічних користувачів, і на фахівців з конкретних предметних галузей. Проте, не ставлячи під сумнів успіхи розробників методів стиснення ЦЗ (як з втратами, так і без втрат), варто відмітити, що за однакових умов, різні зображення отримують різний рівень стиснення після застосування компресії (обумовимо, що тут та у подальшому викладені будемо розуміти під «ЦЗ» в першу чергу фотореалістичні зображення).

Різний рівень стиснення ЦЗ об'єктивно може бути пояснений факторами, які потребують ідентифікації та аналізу. Деякі з цих факторів відомі та очевидні. Наприклад, наявність кластерів пікселів в ЦЗ, що мають однаковий колір. А деякі, можливо, ще потребують досліджень на основі систематизації апостеріорної інформації про обробку ЦЗ зазначеними методами.

Тому проблематику даної роботи визначимо потребою у виявленні «особливостей» ЦЗ, що сприяють більшому

ступеню компресії, хай навіть за відомими методами стиснення.

Аналіз досліджень та постановка задачі

Загально відомо, що методи стиснення ЦЗ поділяються на дві групи, стиснення з втратами, та стиснення без втрат. Методи стиснення без втрат дають більш низький коефіцієнт стиску, проте зберігають точне значення пікселів вихідного зображення. Методи стиснення із втратами надають високі коефіцієнти компресії, але не дозволяють відтворити вихідне зображення з точністю до інтенсивності кольорових складових піксела. Проте, при погляді на фотореалістичне ЦЗ людське око не сприйме всі відтінки кольорів, отже, деякі деталі можуть бути проігноровані без суттєвого спотворення зображення. Тому й при стисненні ЦЗ з втратами буде відкинута частина інформації не помітна для спостерігача, або ж така дія не зробить істотного впливу на сприйняття інформації на загал.

Сучасні методи стиснення із втратами дозволяють досягти коефіцієнта десятикратного стиснення без значного погіршення якості зображення. Найбільш відомим методом стиснення ЦЗ із втратами є алгоритм JPEG на основі дискретного косинусного перетворення, яке застосовується до блоків, що не перекриваються, розміром 8x8 пікселів [1; 2]. До основних недоліків даного методу відносяться: розпад кодованого зображення на окремі блоки по 8x8 пікселів при великих коефіцієнтах стиснення; прояви ефекту Гіббса; незадовільний опис нестационарного сигналу коефіцієнтами Фур'є-перетворення. Для подолання зазначених недоліків був запропонований стандарт стиснення зо-

бражень JPEG2000, основу якого становить вейвлет-претворення [1; 3]. У цьому випадку все зображення розкладається по базисним вейвлет-функціям, локалізованим як у часовій, так й у частотних областях, що надає можливість створювати відповідні алгоритми швидкого вейвлет-перетворення. У вейвлет-коефіцієнтах утворюються довгі ланцюжки нулів, що йдуть підряд, які ефективно стискаються ентропійними кодерами [2, 4]. В сучасних додатках орієнтованих на масового користувача стандартом стиснення залишається JPEG, який і використовувався для аналізу в даній статті.

Архіватори [1, 2] (засоби, що працюють на основі методів стиснення без втрат) досить універсальні і стискають усі типи ЦЗ, хоча у них коефіцієнт стиснення порівняно не великий (приблизно до 2-х разів). І це в той час, коли алгоритми стиснення з втратами оперують з коефіцієнтами 10-200 разів. Основним недоліком архіваторів при обробці ЦЗ є неспроможність стиснення не послідовних даних, чим пояснюється малий коефіцієнт компресії.

Виходячи з пріоритетності стиснення ЦЗ при низькому рівні втрат або за відсутності останніх, можливі два шляхи вирішення даної задачі: або розробка нових методів орієнтованих на конкретні вузькоспеціалізовані типи зображень; або вдосконалення існуючих методів шляхом розробки та впровадження нових технологій, в склад яких може входити декілька різних методів як стиснення, так і попередньої обробки ЦЗ.

В контексті другого підходу актуальним є потреба проведення експериментального дослідження задля аналізу існуючих методів стиснення ЦЗ при низькому рівні втрат та дослідження можливих технологій для підвищення рівня компресії.

Таблиця 1. Результати експериментального дослідження

№	% стиснення з КМА 1 ітерація	PSNR з КМА 1 ітерація	% стиснення з КМА 2 ітерації	PSNR з КМА 2 ітерації	% стиснення з КМА 3 ітерації	PSNR з КМА 3 ітерації	% стиснення JPEG,	PSNR JPEG	% стиснення WinRAR,
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	11,47	55,91	52,64	45,54	57,37	43,91	79,78	46,28	64,04

Виклад основного матеріалу

Для проведення досліджень було сформовано вибірку ЦЗ у форматі BMP та обсягом 100. Спеціальних умов до розмірів, деталізації та сюжетного наповнення ЦЗ, що підлягали обробці, не надавалось. Єдине на що автори звертали увагу – за можливості не спотворення ЦЗ будь-якими артефактами, що ідентифікуються візуально. Суть експерименту полягала в послідовному застосуванні до кожного ЦЗ відомих та поширених методів стиснення. Якість роботи методів оцінювалась за двома показниками: відсоток стиснення та відносна якість відтворення (*PSNR*). Результати експерименту зведено в таблицю (табл. 1) та наведено на графіках (рис. 1-5).

В першій колонці таблиці (табл. 1) подано нумерацію ЦЗ, що аналізувались (за браком місця всі дані не наводяться). В колонках з другої по сьому наведено відсоток стиснення методом Хаффмана після використання однієї, двох та трьох ітерацій кратномасштабного аналізу (КМА) за функціями Хаара [2, 3] і перетворенням систем представлення кольору з *RGB* в *YUV* та *PSNR* відтвореного після стиснення зображення відповідно:

$$PSNR = 10 \cdot \lg \frac{255^2}{\sigma_{\varepsilon}^2}$$

де σ_{ε}^2 – дисперсія похибки відтворення. В даному контексті варто нагадати відомий факт що, привнесені зміни в зображенні майже не сприймаються людським оком, якщо рівень *PSNR* більший 35 [5].

В восьмій та дев'ятій колонках подано відсоток стиснення алгоритмом *JPEG* найкращої якості (відносно *PSNR*) та саме відповідне значення *PSNR*. В десятій колонці наведено відсоток стиснення архіватором *WinRAR*.

продовження табл. 1

2	13,47	55,92	28,96	43,57	33,33	42,20	83,46	50,00	56,50
3	36,24	49,97	55,37	44,56	60,65	43,46	93,84	49,58	59,67
4	35,33	49,97	53,36	44,69	57,92	42,97	69,59	47,92	61,85
5	49,90	55,80	66,48	52,68	70,85	51,32	61,45	48,38	88,74
6	25,07	50,20	38,18	44,73	41,49	43,08	61,97	44,85	26,41
...
94	32,44	49,96	49,71	49,35	52,75	46,99	66,22	46,33	62,54
95	28,24	54,81	51,52	55,80	55,72	52,12	68,29	48,30	54,42
96	26,33	55,66	44,84	55,55	51,14	51,87	85,65	54,59	57,74
97	10,05	55,75	51,42	55,68	53,88	52,63	78,34	51,19	60,26
98	28,38	49,80	55,80	49,69	56,76	45,12	84,30	52,38	57,82
99	32,25	49,96	49,04	49,65	53,05	46,11	75,71	46,49	60,03
100	38,47	55,81	51,42	55,31	54,66	52,31	66,22	46,33	47,56

Для наочності результати табличних даних представлено на графіках (рис. 1-5).

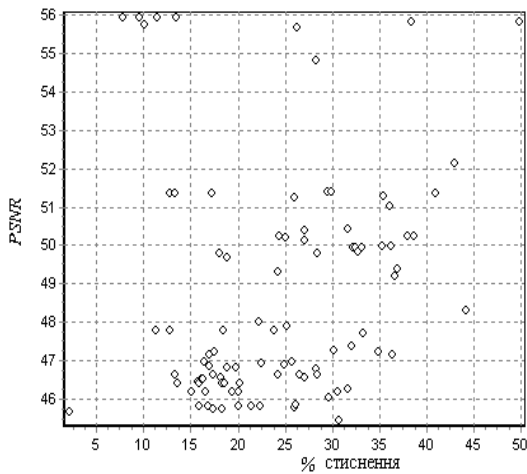


Рис.1. Кореляційне поле даних колонок 2 та 3 таблиці

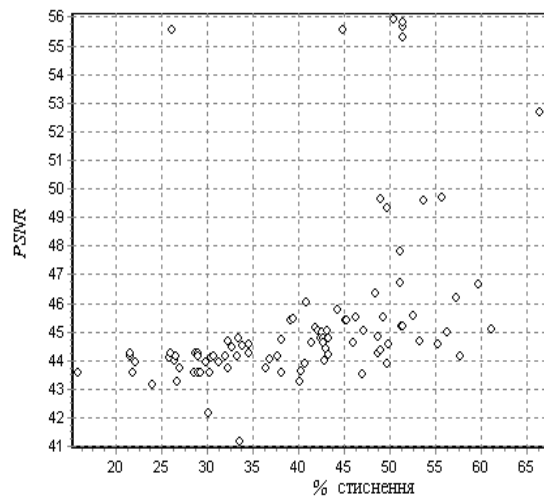


Рис.2. Кореляційне поле даних колонок 4 та 5 таблиці

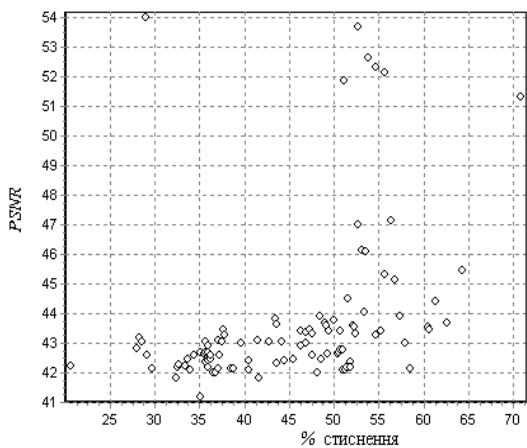


Рис.3. Кореляційне поле даних колонок 6 та 7 таблиці

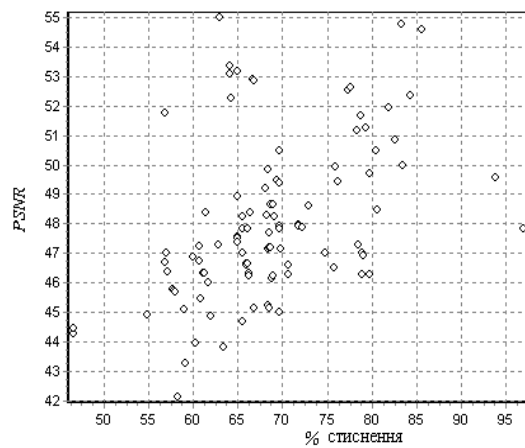


Рис.4. Кореляційне поле даних колонок 8 та 9 таблиці

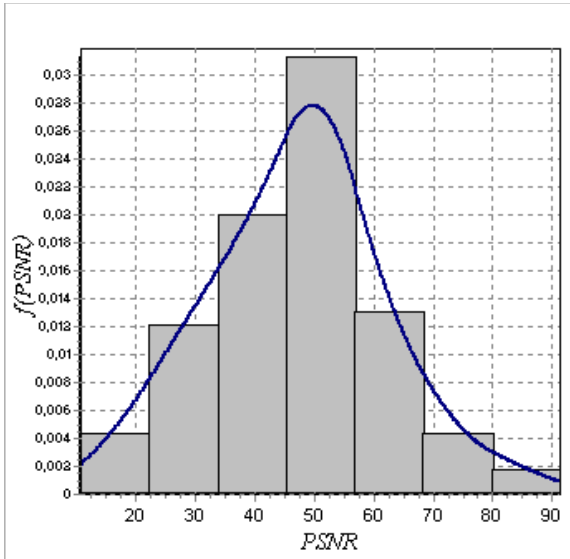


Рис. 5. Щільність розподілу PSNR та нормована гістограма частот при використанні WinRAR (колонка 10 таблиці)

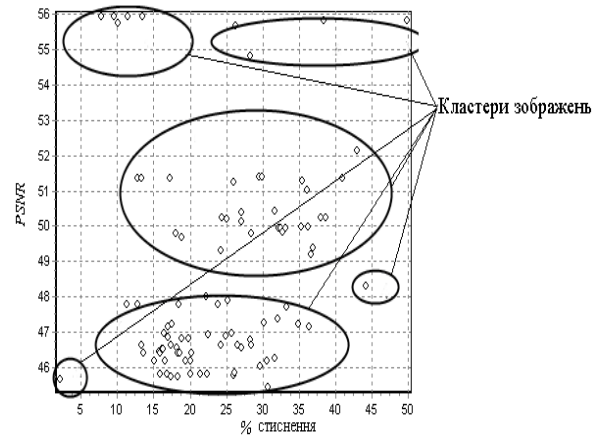


Рис.6. Кореляційне поле ступеня стиснення та PSNR

Виходячи з аналізу результатів (рис. 1-5, табл. 1) можна зробити такі висновки.

Дані, отримані на основі *JPEG*-компресії помітно більш однорідні, що може слугувати підтвердженням «стійкості» роботи алгоритму.

При схожому рівні *PSNR*, алгоритм *JPEG* в даному експерименті забезпечує кращий ступінь стиснення.

Збільшення кількості ітерацій КМА з однієї до двох призводить до «більшого» зростання відсотку стиснення, ніж при збільшенні кількості ітерації з двох до трьох. При цьому *PSNR* в прийнятних межах, проте спадає майже лінійно зі зростанням кількості ітерацій КМА.

Залежно від типу зображення та його деталізації змінюється відсоток стиснення та *PSNR*, що може бути обумовлено властивостями конкретних ЦЗ на які варто звернути окрему увагу (або при розро-

бці спеціалізованих методів стиснення, або при розробці технологій на основі відомих).

Звертає увагу наявність кластерів окремих зображень (рис. 6). Причини утворення таких кластерів не є очевидними, проте можна відмітити, що в межах кластеру залежність відсотка стиснення від *PSNR* візуально не спостерігається.

Розглянемо питання впливу рівня деталізації зображення на відсоток стиснення та *PSNR*. Рівень деталізації обумовлений станом його високочастотної складової. Вочевидь (рис. 7) зображення з низькою деталізацією мають слабо виражену високочастотну складову на відміну від зображень з середньою та високою деталізацією (в якості високочастотного фільтра для отримання зображень на зразок наведених (рис. 7) використовувалися фільтри з роботи [6]).



а) низька деталізація



б) середня деталізація



в) висока деталізація

Рис.7. Приклади високочастотної складової зображень різних груп

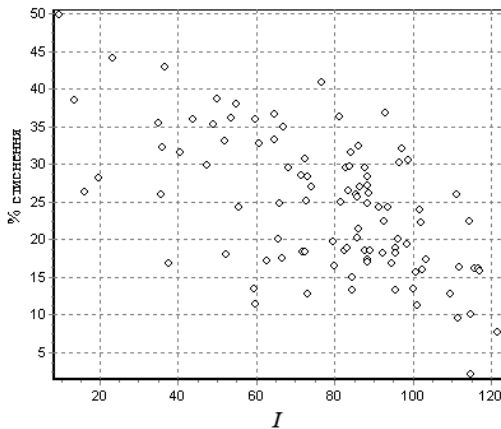
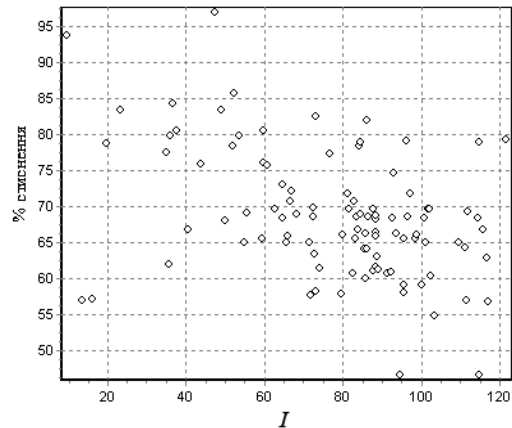
За простішу метрику для визначення загальної деталізації зображень пропонується наступна статистика. Нехай маємо ЦЗ представлене в кольоровому просторі RGB. Позначимо $\{p_{ij}^r\}$, $\{p_{ij}^g\}$, $\{p_{ij}^b\}$ послідовність кольорових складових растру

(простору RGB) зображення після високочастотної фільтрації, де $i = \overline{1, W}$; $j = \overline{1, H}$; W – ширина ЦЗ в пікселях; H – висота. Тоді в якості статистики, що визначає міру деталізації запропонуємо таку величину:

$$I = \frac{1}{3WH} \left(\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H p_{ij}^r + \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H p_{ij}^g + \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H p_{ij}^b \right)$$

Стосовно статистики I можна зазначити, що при високій деталізації значення інтенсивності високочастотної складової ЦЗ вочевидь вище ніж при низькій. На графіках (рис. 8-10) подано кореляційні поля даних про загальний відсоток стиснення та статистики I . На відміну від попередніх графіків (рис. 1-5), візуально ідентифіковано загальну одно-

рідність результатів спостереження, при цьому має місце статистично значущий лінійно регресійний зв'язок між відсотком стиснення та рівнем деталізації, що визначається статистикою I (відповідні статистично значущі коефіцієнти лінійної кореляції для даних на графіках (рис. 8-10) такі: -0,5997; -0,4245; -0,5121).

Рис.8. Кореляційне поле статистики I та відсотка стиснення зображення за використання КМАРис.9. Кореляційне поле статистики I та відсотка стиснення зображення за використання JPEG

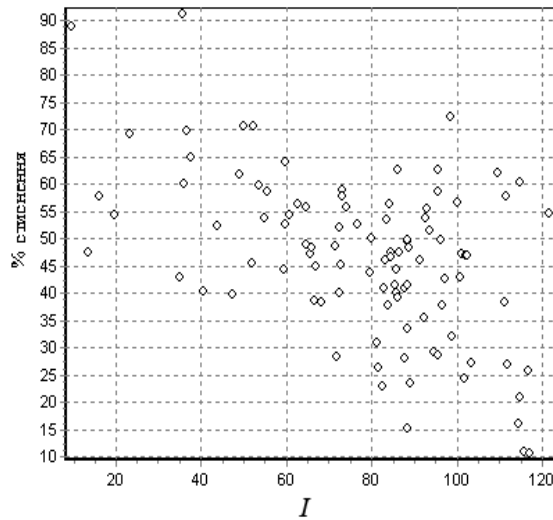


Рис.10. Кореляційне поле статистики I та відсотка стиснення зображення за використання RAR

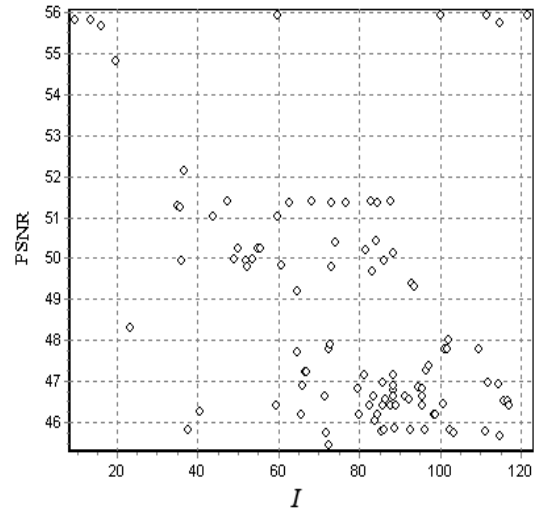


Рис.11. Кореляційне поле статистики I та PSNR за використання KMA

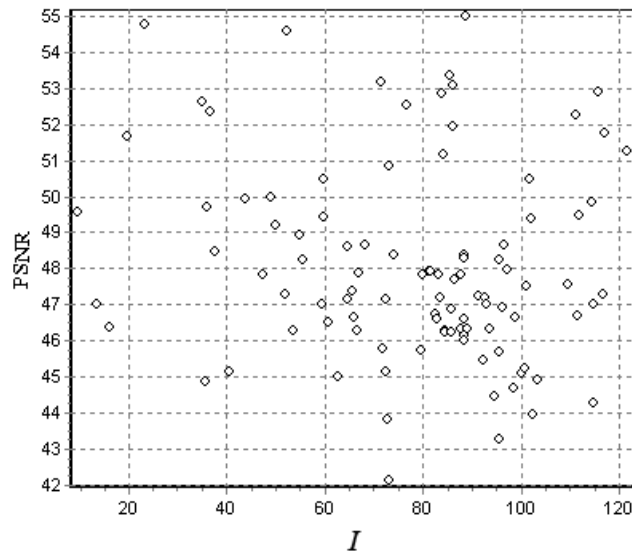


Рис. 12. Кореляційне поле статистики I та PSNR за використання JPEG

Отже, можна говорити про те, що рівень стиску лінійно спадає при збільшенні деталізації ЦЗ. Більш детальний аналіз моделі такої залежності для різних типів стиснення (архіватори, *JPEG*, та інші) має бути проведений на більших обсягах даних.

Також варто відмітити, що залежності між *PSNR* та інтенсивністю не спостерігається (рис.11, 12) та у межах кластерів не ідентифікується.

Висновки

Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що ЦЗ з низькою деталізацією мають більш високий рівень стиску за методами, що аналізувались. Вартим уваги є припущення, що після обробки ЦЗ, наприклад, операторами лінійної низькочастотної фільтрації, слід очікувати їх більший рівень компресії. Тому перспективним є зосередити подальші дослі-

дження в напрямку пошуку інваріантних перетворень ЦЗ («згладжування»-«контрастування»), що при використанні разом з розглянутими методами стиснення дозволить підвищити відсоток стиску. При цьому можливо очікувати статистично не значущу втрату якості ЦЗ (за *PSNR*), про що свідчать дані з наведених графіків (рис.11, 12) про відсутність залежності між деталізацією та втратами.

Список літератури:

1. Мюррей Д.Д. , Райнер У. Ван. Енциклопедия форматов графических файлов [Текст] / Д.Д. Мюррей, У.Ван. Райнер – Киев: 1997. – 159 с.
2. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений [Текст] / Д.С. Ватолин. -М: Издательский отдел факультета Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ им. М.В.Ломоносова, 1999. – 59 с.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам [Текст] / И.Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
4. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии [Текст] / Дж. Миано – М.: Издательство Триумф, 2003. – 336 с.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2006. – 259 с.
6. Приставка П.О. Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів [Текст] / П.О.Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць: – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2006. – С. 3-14.
7. Приставка П.О. Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів [Текст] / П.О.Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць: – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2007. – С. 15-22.
8. Мاستрюков Д. Алгоритмы сжатия информации [Текст] / Д. Мاستрюков. –Монитор, 1994. - С. 15-20.
9. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования [Текст] / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин - СПб: ВУС, 1999.- 203 с.
10. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
11. Климов А.С. Форматы графических файлов. – С.-Петербург: ДиаСофт, 1995. – 480 с.
12. Матвеев С. Форматы графических файлов. // Открытые системы. - 1997. – №4. – С.12-15.
13. Ефимов В.М., Золотухин Ю.Н., Колесников А.Н. Оценка эффективности некоторых алгоритмов сокращения избыточности информации при абсолютной точности воспроизведения. // Автометрия. - 1991. – № 6. – С. 50-55.
14. Александров В.В Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных. - Л.: Наука, 1983. – 205с.

Подано до редакції 22.12.2010