

Фрактальне стиснення зображень з паралелізацією обчислень

Виконала:

ст.гр. 1КСУА-14мн

Олесенко А.В.

Науковий керівник:

к.т.н.,доц. Софина О.Ю.

Актуальність. У зв'язку з широким розповсюдженням інформації виникають проблеми, пов'язані з її зберіганням та обробкою. Розвиток сучасних інформаційних систем і мереж привів до широкого використання цифрових зображень. Все більшої популярності набувають мультимедійні типи даних – відео-, аудіозаписи й цифрові зображення.

Однією з найбільш актуальних проблем сучасних інформаційних технологій є розробка ефективних методів компресії мультимедійних даних, зокрема – графічної інформації. Цифрові зображення при зберіганні займають великі обсяги пам'яті. Для прикладу, растрове зображення розміром 1024 на 1024 пікселів з глибиною кольору 24 біти займає 3 Мб. Зрозуміло, що зберігання і передача групи зображень у такому вигляді є досить трудомісткою задачею.

Актуальними є дослідження фрактального кодування, особливістю якого є властивість самоподібності зображення. Такі методи забезпечують великі коефіцієнти стиснення, але потребують суттєвого розвитку з одночасним врахуванням багатьох критеріїв (зокрема, швидкості роботи, ступеня стиснення, якості при декомпресії) для того, щоб їх можна було розглядати в якості реальної альтернативи JPEG для багатьох класів зображень, що використовуються в науково-технічній і повсякденній сферах життєдіяльності людини.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення швидкодії процесу стиснення зображень, зменшення обчислювальної складності й збільшення коефіцієнту стиснення шляхом використання паралельних обчислень й фрактального кодування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- аналіз й порівняльна характеристика існуючих алгоритмів та методів стиснення зображень;
- обґрунтування підходу до розробки алгоритму стиснення зображень на основі багатокритеріальної модифікації фрактального кодування;
- розробка 3-рівневої схеми порівняння доменних і рангових блоків;
- аналіз існуючих моделей паралельних систем та розробка моделі розпаралелення процесу співставлення доменних і рангових блоків;
- розробка програмного додатку для реалізації паралельного алгоритму фрактального стиснення зображень;
- аналіз оцінки ефективності, швидкодії й втрат в процесі стиснення.

Об'єкт дослідження - процес обробки зображень.

Предмет дослідження - методи стиснення інформації, моделі паралельних систем, паралельні обчислення.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вперше запропоновано нову математичну модель та обчислювальну схему співставлення доменних і рангових блоків при фрактальному стисненні зображень, яка складається з трьох рівнів порівнянь і яка, на відміну від існуючих методів, забезпечує зменшення обчислювальної складності системи за рахунок використання предметно-залежних евристик та ієрархічного пошуку.

- Запропоновано використання паралельних обчислень в процесі порівняння доменних і рангових блоків при реалізації запропонованої обчислювальної схеми фрактального стиснення зображень, що дасть змогу підвищити швидкодію обчислень.

- Розроблено новий метод фрактального стиснення зображень, який, на відміну від існуючих, має обчислювальну складність, нижчу за $O(N^3)$, а також підвищену швидкодію роботи завдяки застосуванню багатокритеріальних методів вдосконалення організації обчислень.

Вибір напрямку та задач дослідження

Було виявлено недоцільність впровадження окремо взятих паралельних обчислень, оскільки вони впливають лише на швидкість обробки зображення, ніяким чином не впливаючи на сам алгоритм і його обчислювальну складність. Зокрема було досліджено, що фрактальне кодування відноситься до NP-повних задач, а прийнятне рішення таких задач досягається лише при використанні ефективних предметно-залежних евристик.

Для субоптимального виконання фрактального стиснення необхідно обмежити перебір доменних блоків, рангових блоків і відповідностей між ними. Евристики мають відсікати неперспективні способи розбиття зображення на рангові блоки без виконання подальших кроків стиснення, а також при фіксованому розбитті зображення на рангові блоки – відсікати неперспективні підмножини доменних блоків для певного рангового блоку.

Напрямком досліджень було обрано аналіз та розробку багатокритеріального алгоритму фрактального кодування, який враховуватиме такі основні критерії як швидкодія обробки зображень, коефіцієнт стиснення, якість відтвореного зображення і обчислювальна складність самого алгоритму.

Метою досліджень є розробка програмного додатку, який являтиме собою реалізацію запропонованого алгоритму і дозволить досягти підвищення швидкодії й забезпечення оптимальних рівнів компресії і якості зображень на практиці.

Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- визначити оптимальну структуру розбиття зображення на доменні і рангові блоки;
- обрати найбільш доцільні предметно-залежні евристичні й на їх основі розробити схему порівнянь доменних і рангових блоків;
- проаналізувати існуючі моделі систем паралельних обчислень й побудувати модель розпаралелення процесу співставлень доменів з ранговими блоками.

Оцінка кількості операцій в класичному фрактальному алгоритмі

Нехай $\{R_i\}_{i=1}^{N_R}$ - набір розбиттів зображень на рангові блоки

N_R - кількість можливих розбиттів

R_i - i -ий варіант розиття, $R_i = \left\{ r_j^{(i)} \right\}_{j=1}^{n_r^{(i)}}$

$r_j^{(i)}$ - j -ранговий блок, що відповідає i -му розбиттю

$n_r^{(i)}$ - загальна кількість рангових блоків для i -го розбиття

$D_i = \left\{ d_j^{(i)} \right\}_{j=1}^{n_d^{(i)}}$ - множина доменних блоків

$d_j^{(i)}$ - j -ий доменний блок, що відповідає розбиттю R_i

$n_d^{(i)}$ - загальна кількість доменних блоків для R_i

Розглянемо випадок повного перебору, при якому кожен ранговий блок порівнюється з кожним доменним.

Нехай N_{rd} - кількість операцій, необхідних для порівняння двох блоків. Тоді необхідно буде виконати $N_{op} = \sum_{i=1}^{N_R} n_r^{(i)} n_d^{(i)} N_{rd}$ операцій.

Основна складність фрактального стиснення полягає в тому, що значення N_R і $\overline{n_d}$ можуть експоненціально зростати при збільшенні розміру зображення, що і зумовлює NP-повноту даної задачі. Тому необхідно розглянути такі способи розбиття на блоки і їх порівняння, щоб величини N_R і $\overline{n_d}$ зростали поліноміально.

Розглянемо випадок, де розмір доменних блоків по відношенню до рангових є константним. Нехай розмір зображення дорівнює N . Тоді кількість n_r рангових блоків розміром k , що покривають зображення, буде $\left(\frac{N}{k}\right)^2$. Кількість доменів n_d однакового розміру пропорціональна N^2 (залежністю від k на даному етапі можна знехтувати в силу взаємного перекриття доменів). Кількість операцій, необхідних для порівняння одної пари блоків, пропорціональна k^2 . Таким чином, нескладно переконатись, що кількість операцій, необхідних для пошуку оптимальних доменів для всіх рангових блоків, пропорціональна N^4 , що є неприйнятним для практики.

Принцип МДО в оцінці якості стиснення зображень

Принцип МДО формулюється наступним чином: «Серед множини моделей слід обирати ту, котра дозволяє мінімізувати суму: довжини опису моделі (в бітах); довжини даних, описаних цією моделлю». Оптимальне стиснення досягається при побудові моделі, критерієм вибору якої і слугує кінцева довжина опису.

Під моделлю слід розуміти певну інформаційну структуру, котра являє собою закодоване (стиснене) зображення, отримане в результаті роботи того чи іншого різновиду алгоритму компресії.

L_{img} - довжина опису моделі (обсяг стисненого зображення)

L_{loss} - довжина даних, описаних за допомогою моделі (обсяг втрат).

$L = L_{img} + L_{loss}$ - критерій МДО.

Відповідно, оптимальна модель зображення знаходиться як компроміс між величиною стиснення і якістю відновленого зображення, що знаходить об'єктивний вираз в критерії МДО.

Розбиття на доменні і рангові блоки

Зображення розбивається на рангові блоки однакового розміру r і на всі можливі доменні блоки розміром $2r$. Дана множина доменів називається основною. Далі формується додаткова множина доменів наступним чином: для кожного з «основних» доменів будується сім трансформацій, а саме: повороти блоку на 90° , 180° і 270° , відображення блоку відносно вертикальної осі симетрії і повороти отриманого відображеного блоку також на 90° , 180° і 270° . В результаті поєднання основної і додаткової множин доменів формується розширена множина доменних блоків. Для кожного рангового блоку проводиться пошук серед розширеної множини доменів. Для цього кожному ранговому і доменному блоку присвоюється індекс і дескриптор.

Індексація блоків

З метою обчислення індексу для кожного блоку b обчислюється матриця B його двовимірного дискретного косинусного перетворення (ДКП). Запропоновано наступний алгоритм розрахунку індексу з використанням отриманих ДКП-матриць:

а) Розглядається «верхній лівий кут» матриці B , яка відповідає поточному блоку b (підматриця $\hat{B} = \{B_{ij}\}_{i,j=\overline{1,3}}$).

б) 2.2 Згідно з порядком вибору елементів для обчислення індексу, який наведений на рисунку 1, оцінюються елементи цієї підматриці з 1-го до t -го (де t – обрана розмірність індексу, $t \in [1,8]$). Якщо поточний елемент менший за нуль, то відповідному розряду індексу в двійковому представленні, починаючи зліва, присвоюється значення 0, якщо більший або рівний нулю – значення 1.

	1	5	
2	4	6	
3	7	8	

- Порядок вибору елементів для обчислення індексу

Обчислення дескрипторів

Для обчислення дескрипторів використовується двовимірне дискретне вейвлет-перетворення Хаара. Запропоновано наступний алгоритм формування дескриптора (для блока b розміром $p \times p$ пікселів, де $p=2q$, $q \in \mathbb{N}$):

1 Обчислюється коефіцієнт $e_1 = \frac{1}{p^2} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p b_{ij}$.

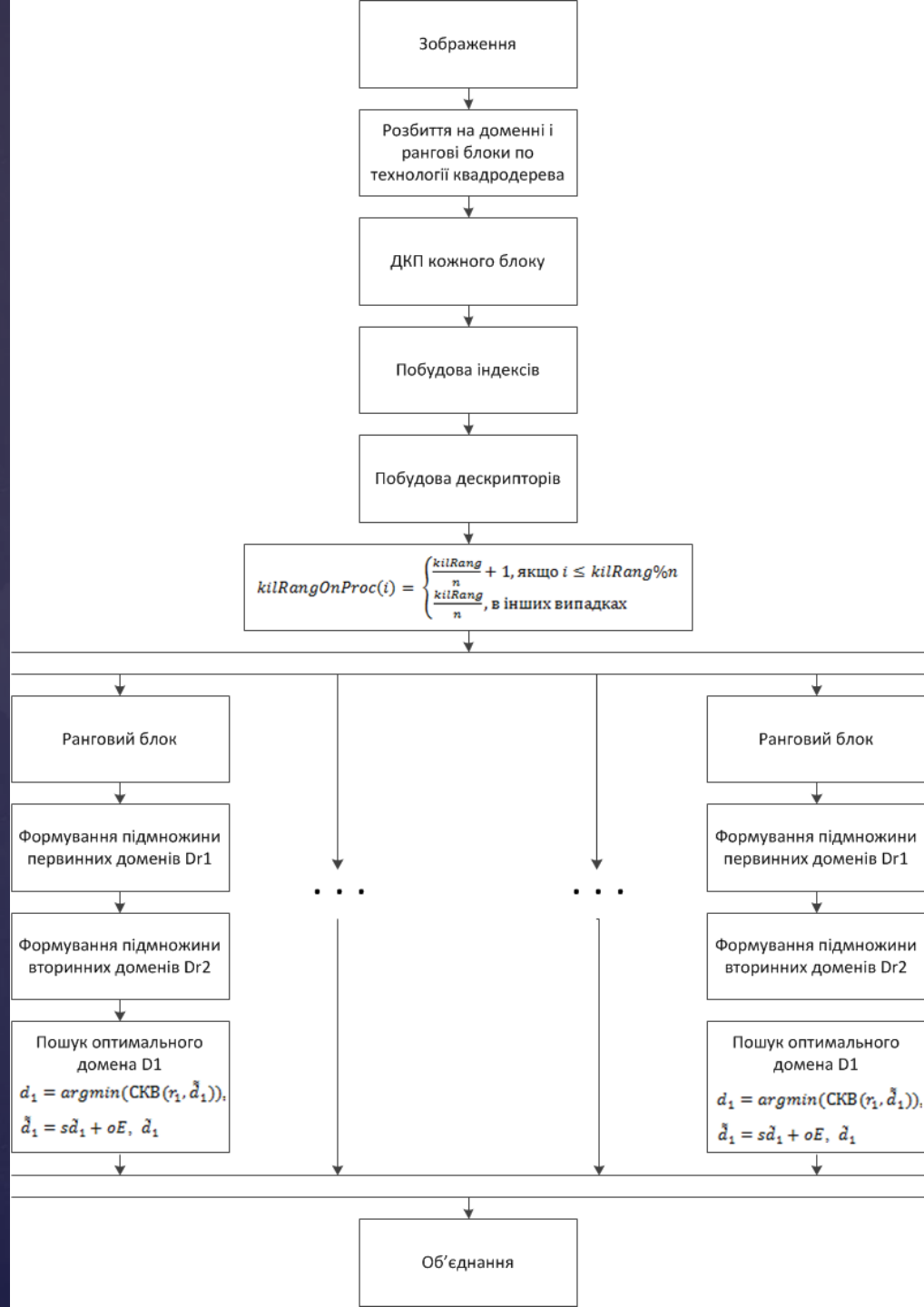
2 Блок розбивається на чотири рівних підблоки b_2 , b_3 , b_4 і b_5 .

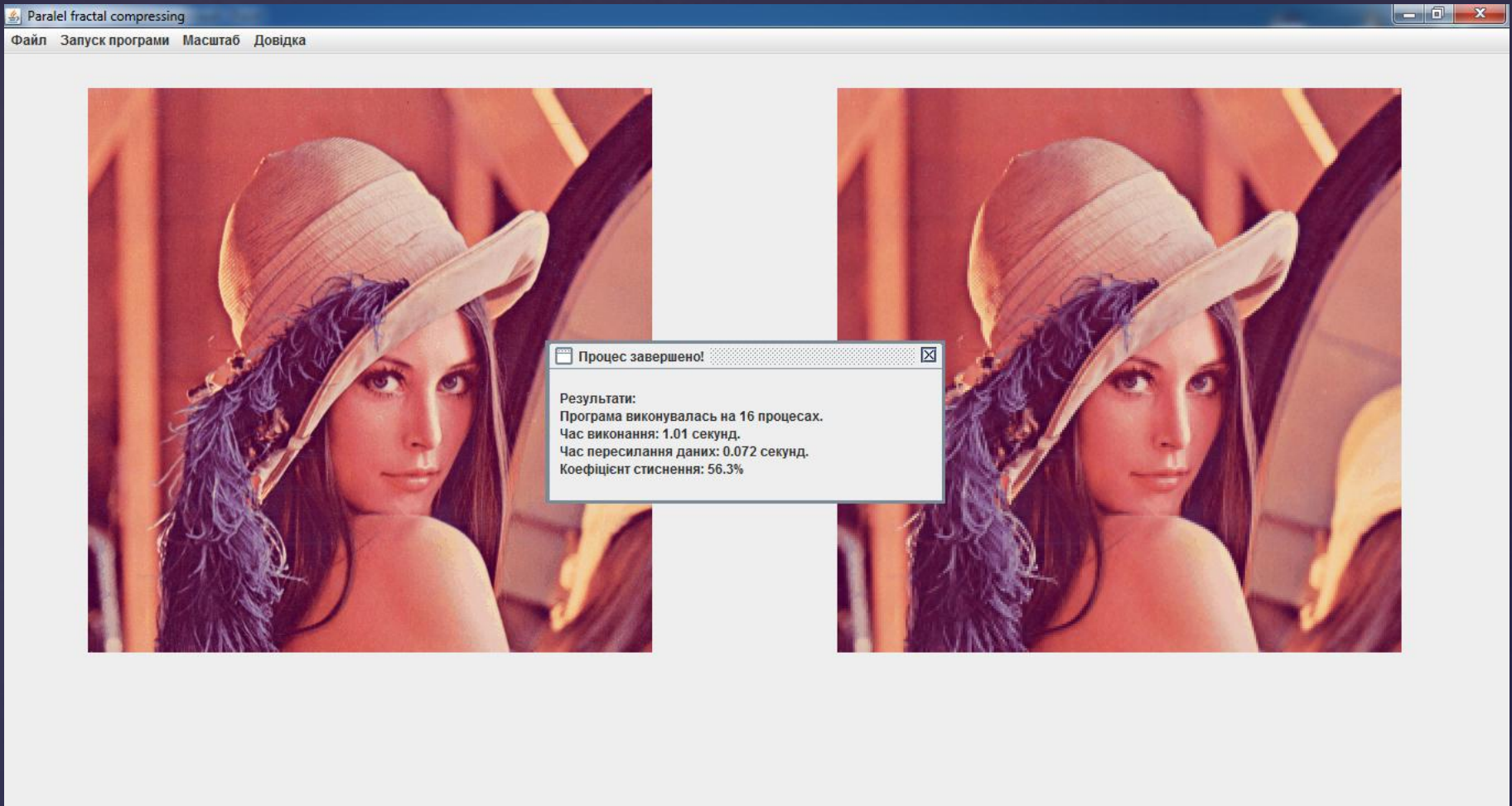
3 Послідовно обчислюються коефіцієнти

$$e_2 = e_1 - \frac{1}{q^2} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q b_{ij}, \quad e_3 = e_1 - \frac{1}{q^2} \sum_{i=1}^q \sum_{j=q+1}^q b_{ij},$$
$$e_4 = e_1 - \frac{1}{q^2} \sum_{i=q+1}^q \sum_{j=1}^q b_{ij}, \quad e_5 = e_1 - \frac{1}{q^2} \sum_{i=q+1}^q \sum_{j=q+1}^q b_{ij},$$

що відповідають під блокам b_2 , b_3 , b_4 і b_5 .

Формується вектор $e = [e_2 \ e_3 \ e_4 \ e_5]$, який і буде шуканим дескриптором.





Інтерфейс програми

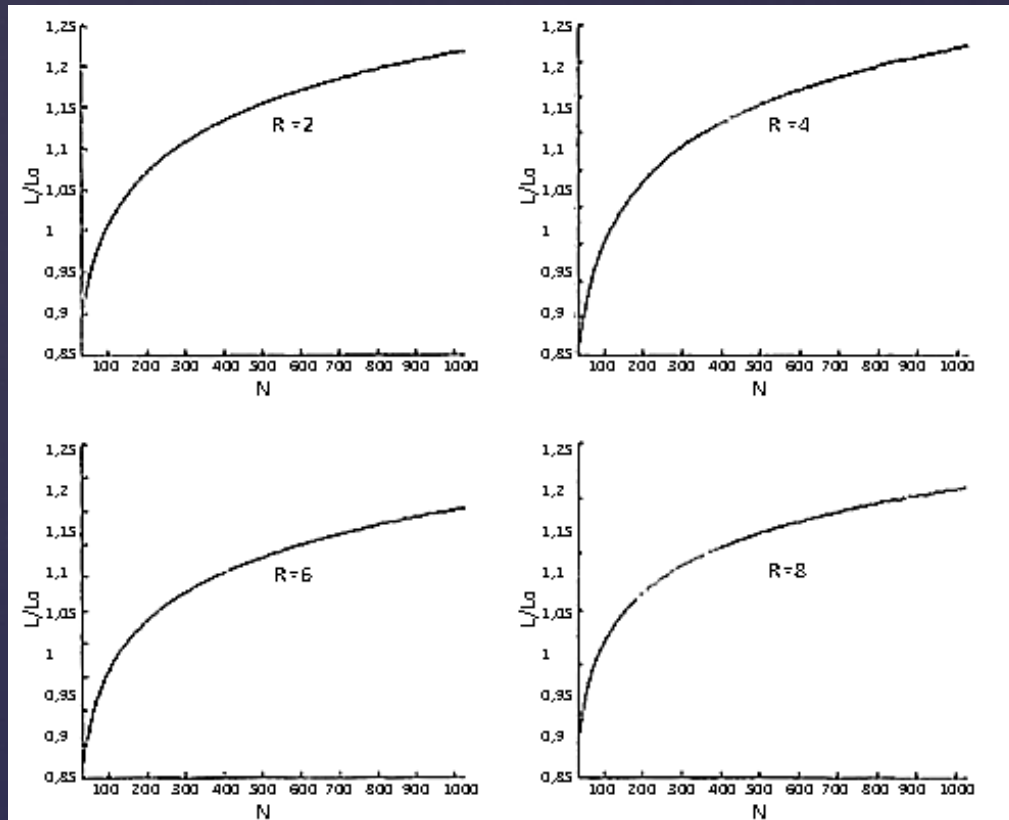
Результати

Емпіричні характеристики класичного алгоритму

Була сформована тестова вибірка:

- наземні зображення сцен штучних об'єктів;
- наземні зображення природних об'єктів;
- аерокосмічні зображення;
- астрономічні зображення;
- зображення неструктурованих (хаотичних) об'єктів, таких, як хмари або дим.

Залежність коеф. стиснення від розміру зображення для різних значень r



Відношення розміру стисненого файлу до розміру вихідного файлу росте як логарифм від розміру зображення і може перевищувати одиницю. Таким чином, для кожного розміру рангового блоку існує максимально-допустимий розмір зображення, який дозволяє здійснювати його стиснення.

Результати тестування класичного алгоритму з використанням рангових блоків різних розмірів

r	t	σ	$\log_2 \sigma$	H	PSNR	L_{img}	L_{loss}	L
Aerial								
4	317.09	6.061	2.599	4.567	32.480	125023	263088	388111
6	287.57	12.330	3.624	5.603	26.312	55486	322720	384316
8	215.85	17.670	4.143	6.131	23.186	31165	353151	378206
10	200.18	22.478	4.490	6.494	21.096	19916	374064	393980
12	176.05	27.060	4.758	6.772	19.312	13810	390068	403878
16	155.46	34.948	5.127	7.159	16.915	7744	412350	420094
Cloud								
4	325.49	0.809	-0.305	1.633	47.505	125023	94069	219092
6	286.71	1.122	0.166	2.155	44.667	55480	124106	179592
8	204.43	1.450	0.536	2.489	42.438	31165	143882	175042
10	198.61	1.752	0.809	2.755	40.797	19916	158704	178620
12	174.00	2.088	1.062	2.984	39.272	13810	171868	185678
16	152.83	2.714	1.441	3.3339	37.038	7744	192327	200071

Результати тестування класичного алгоритму для зображень різного розміру

N	t	σ	$\log_2 \sigma$	H	PSNR	L_{img}	L_{loss}	L
Aerial								
60	0,82	32,365	5.016	7.009	16,685	3022	25233	28255
120	16,04	21,336	4.415	6.429	21,547	13014	92574	105588
Cloud								
60	0,82	3,343	1.742	3.587	35,133	3023	12913	15936
120	15,97	1,720	0.789	2.705	40,903	13014	38951	51965
180	87,24	1,146	0.198	2.147	44,429	30421	69578	99999
240	286,70	1,121	0.166	2.155	44,665	55485	124105	179590

Як бачимо:

- час стиснення дійсно збільшується як N^4 для кожного фіксованого розбиття на рангові блоки;
- якість відновленого зображення збільшується зі зменшенням розміру рангових блоків;
- розмір стисненого зображення збільшується зі зменшенням розміру рангових блоків;
- мінімум критерію МДО як компромісу між інформаційними втратами і ступенем стиснення досягається для деяких проміжних розмірів рангових блоків;
- оптимальний розмір блоків відрізняється для різних зображень і візуально пов'язаний з їх деталізованістю.

Тестування модифікованого алгоритму

N	t	Σ	$\log_2 \sigma$	H	PSNR	L_{img}	L_{loss}	L
Aerial								
60	0,09	35,010	5,130	7,118	16,120	3022	25626	28648
120	0,48	24,425	4,610	6,616	20,373	13014	95273	108287
180	1,68	16,261	4,023	6,006	23,906	30421	194581	225002
240	3,93	14,431	3,851	5,823	24,943	55485	335408	390893
Cloud								
60	0,09	4,021	2,008	3,803	33,532	3023	13659	16682
120	0,50	1,992	0,995	2,902	39,628	13014	41788	54802
180	1,74	1,312	0,393	2,331	43,251	30421	75539	105960
240	4,01	1,235	0,306	2,284	43,780	55485	131567	187052

З таблиці бачимо, що швидкість роботи не тільки вища, порівняно з класичним алгоритмом (в 30 разів на зображеннях розміром 120 пікселів), але й має інакшу залежність від розміру зображення, внаслідок чого на зображеннях розміром 60 пікселів досягається 8-кратний вииграш, а на зображеннях розміром 240 пікселів – уже 70-75 кратний вииграш.

Таким чином, забезпечується обчислювальна складність менша, ніж $O(N^3)$, при якій на зображеннях розміром 240 пікселів мав би спостерігатись 32-кратний вииграш в швидкодії), тобто є прийнятною. Вииграш в швидкодії порівняно з класичним алгоритмом суттєво зростає при збільшенні розміру зображення N , тоді як програш в якості стиснення від N залежить мало (для зображень з дрібними деталями) або не залежить зовсім.

Результати тестування модифікованого фрактального алгоритму і JPEG

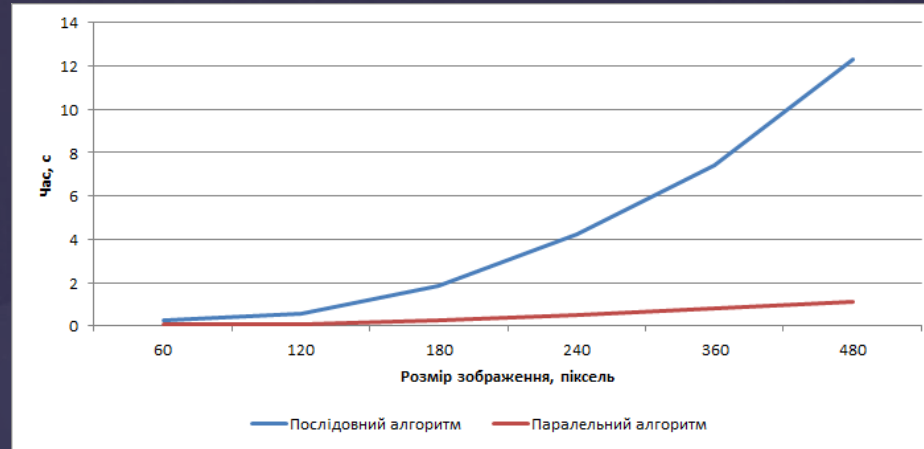
Зображення	Критерій мінімальної довжини опису L	
	фрактальний алгоритм	JPEG
Aerial	377150	371450
Cloud	168054	169789
House	322447	324814
Lena	253993	291224
Moon	282950	280237
Peppers	251347	288828

Результати порівняння алгоритму JPEG і модифікованого алгоритму фрактального стиснення

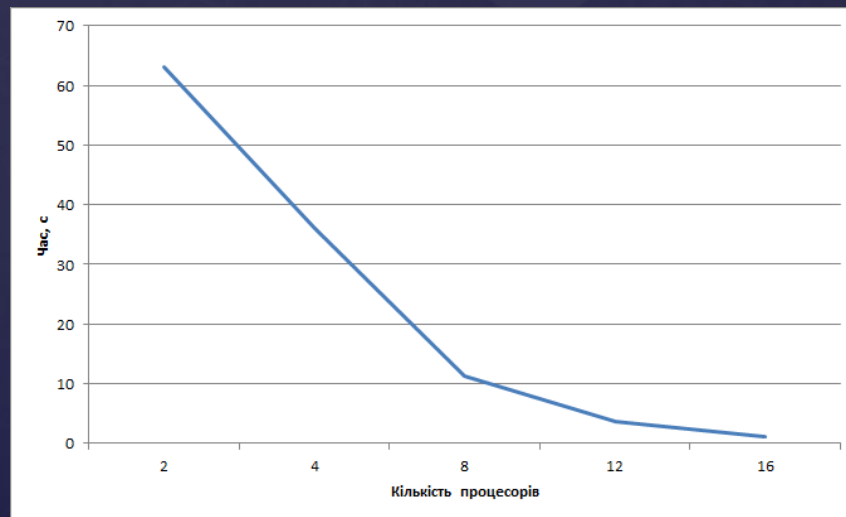
Вибірка зображень	Коефіцієнт стиснення	
	фрактальний алгоритм	JPEG
a) Аерокосмічні	0,794±0,049	0,793±0,026
b) Хмари	0,376±0,023	0,385±0,034
c) Наземні (будинки)	0,706±0,024	0,722±0,033
d) Обличчя	0,559±0,016	0,622±0,018
e) Поверхні планет	0,645±0,061	0,644±0,072
f) Овочі	0,558±0,026	0,615±0,024

Тестування модифікованого алгоритму фрактального кодування з паралелізацією обчислень

Залежність швидкодії від розміру зображення



Залежність швидкодії від кількості процесорів



Висновки

Основна ідея даної роботи полягала в розробці модифікованого алгоритму фрактального кодування з паралелізацією обчислень, який дає змогу досягти прийнятних коефіцієнтів стиснення, враховуючи швидкість виконання алгоритму, яка є допустимою на практиці. З цією метою було розроблено 3-рівневу схему співставлення доменних і рангових блоків, що базується на предметно-залежних евристичних правилах. Таким чином було досягнуто зменшення обчислювальної складності системи за рахунок відсікання неперспективних порівнянь блоків. Також було проаналізовано різні моделі систем паралельних обчислень й створено модель розпаралелення процесу співставлення блоків.

З метою коректної оцінки результатів роботи розробленого алгоритму було здійснено порівняння його результатів з класичним фрактальним алгоритмом і алгоритмом JPEG. Вдалось досягти обчислювальної складності меншої, ніж $O(N^3)$ і підвищення швидкодії на 60-75% з введенням кожного додаткового процесору, що є підставою вважати дану розробку корисною та перспективною.

Дякую за увагу!