

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник, С.О. Сідченко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ЗНИЖЕННЯ ЧАСУ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Проводиться аналіз основних підходів, що забезпечують зниження часу обробки зображень з використанням ортогональних перетворень.

дискретне косинусне перетворення, ортогональне перетворення, цифрова обробка даних

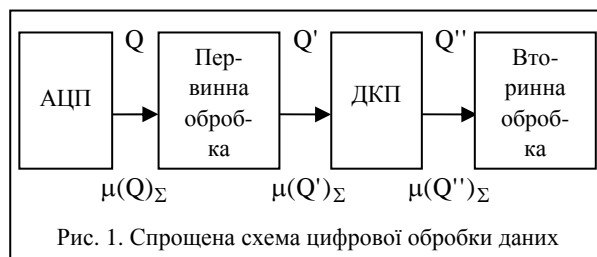
Вступ

В даний час бурхливий розвиток одержали інформаційні технології, що включають у себе цифрову обробку зображень. Причому дані технології мають як спільні, так і принципово відмінні підходи до зниження часу обробки даних. Усе їхнє різноманіття не задовольняє всім запитам користувачів і створює проблему вибору для вирішення конкретних завдань.

Метою статті є проведення аналізу основних підходів, що забезпечують зниження часу обробки зображень з використанням ортогональних перетворень, для виявлення їхніх переваг і недоліків.

Виклад основного матеріалу

У загальному випадку обробка даних містить такі основні перетворення як: формування цифрового представлення даних; первинна обробка даних; переведення у форму більш зручну для наступного аналізу; вторинна обробка (відпрацьовування прикладного аспекту). На рис. 1 наведена спрощена схема цифрової обробки даних.



На початковому етапі з виходу аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для первинної обробки подається оцифроване зображення з кількістю елементів, рівним Q . У загальному випадку кількість елементів зображення дорівнює добутку кількості рядків $L_{\text{ряд}}$ на кількість стовпців $L_{\text{стов}}$:

$$Q = L_{\text{ряд}} \times L_{\text{стов}} \quad (1)$$

При цьому кількість операцій $\mu(Q)_{\Sigma}$, необхідних для його первинної обробки, складається із суми кількості операцій додавання/вирахування $\mu(Q)_{\text{дод./вир.}}$ і множення/ділення $\mu(Q)_{\text{множ./діл.}}$:

$$\mu(Q)_{\Sigma} = \mu(Q)_{\text{дод./вир.}} + \mu(Q)_{\text{множ./діл.}} \quad (2)$$

У результаті первинної обробки кількість елементів зображення може змінитися і стати рівною Q' . Для формування представлення зображення більш зручного для наступних прикладних завдань воно переводиться в частотно-спектральну область. Для цього над окремими фрагментами зображення виконується двовимірне ортогональне перетворення (наприклад, двовимірне косинусне перетворення (ДКП)). Сумарна кількість операцій буде дорівнювати $\mu(Q')_{\Sigma}$.

У залежності від типу прикладних завдань для подальшого аналізу використовується різна кількість компонентів трансформанти ортогонального перетворення. Значить у загальному випадку на виході ортогонального перетворення утвориться Q'' елементів і виконується нерівність $Q' \neq Q''$.

На кінцевому етапі здійснюється вторинна обробка зображення із сумарною кількістю операцій $\mu(Q'')_{\Sigma}$.

Використання ортогональних перетворень (ОП) у процесі цифрової обробки зображень обумовлено особливостями побудови технологій фільтрації сигналів, розпізнавання образів і стиску даних. Також на виконання ОП приділяється до 70 % часу від усіх часових витрат на цифрову обробку зображень. Це викликано тим, що зображення в цифровому вигляді являють собою двовимірні масиви великої розмірності. Кількість елементів у кадрі зображення досягає величини порядку 10^{11} пікселів. Тому організація ОП навіть на основі заздалегідь відомого набору базисних функцій зв'язана з виконанням великої кількості операцій.

Існує три основних підходи, що забезпечують зниження часу обробки зображень з використанням ОП [1 – 3].

Перший підхід полягає в зменшенні часу виконання двовимірного ОП на основі використання властивостей базисних функцій [1]. Дані властивості полягають в наявності симетрії між компонентами базисних функцій і можливості виявити арифметичні операції, що дублюються. Урахування таких

особливостей дозволяє скоротити кількість арифметичних операцій на виконання ОП.

При цьому кількість елементів зображення, що обробляються, незмінна, а сумарна кількість операцій на цифрову обробку зображення μ_{Σ} зменшується за рахунок зниження кількості операцій при виконанні двовимірного ОП $\mu(Q')_{\Sigma}$:

$$Q = Q' = Q'',$$

$$\mu_{\Sigma} \downarrow \text{ за рахунок того, що } \mu(Q')_{\Sigma} \downarrow. \quad (3)$$

В основі даного підходу лежать такі методи як алгоритм швидкого перетворення Фур'є, алгоритм Ендрюса, алгоритм Виноградова. Дане направлення є найбільш проробленим у теоретичному плані. У результаті чого досягнутий певний граничний рівень подальшої мінімізації кількості операцій на виконання ортогонального перетворення. Кількість типових арифметичних операцій, що відповідають даному підходові, представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількість типових арифметичних операцій для ДКП

Дійсні операції	
додавання/вирахування	множення/ділення
$2n^2 \log_2 n^2$	$2n^2 \log_2 n^2$

Як впливає з аналізу даних таблиці 1, реалізація двовимірного ОП на базі швидких алгоритмів дозволяє істотно скоротити кількість арифметичних операцій щодо матричного послідовного способу в $\frac{n^2}{2 \log_2 n^2}$ разів.

У той же час, на обробку зображень великих розмірів починаючи з 10 Мпкселів, час обробки на універсальних обчислювальних засобах досягає десятків секунд. Оцінка швидкого виконання ДКП наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінка швидкого виконання ДКП для універсального процесора Intel Pentium IV

Розмірність зображення	Розмірність масивів ДКП		
	8x8	16x16	32x32
800x600	0,019	0,026	0,032
1024x768	0,032	0,042	0,053
1600x1200	0,077	0,103	0,129
2048x1536	0,126	0,169	0,211
5120x5120	1,053	1,404	1,755
9420x9420	3,565	4,754	5,942

Отже, з огляду на сучасні умови, пов'язані з ростом об'ємів відеоданих, впливає, що дане направлення не вирішує проблеми, яка складається в забезпеченні своєчасного доведення інформації.

Другий підхід базується на використанні властивостей трансформант ОП, що полягають в тому, що [2]:

– основна частина енергії вихідного фрагменту зображення концентрується у відносно малій кількості компонентів трансформанти. У деяких випадках високочастотні компоненти приймають значення близькі до нуля;

– існує можливість проведення додаткового зменшення динамічного діапазону високочастотних компонентів трансформанти ОП. Така властивість базується на особливості зорової системи, що полягає у меншому сприйнятті погрішності в області високочастотних складових.

Спираючись на дані властивості подальшу обробку можна здійснювати для найбільш значимих компонентів трансформанти. За рахунок чого скорочується кількість даних, що обробляються:

$$Q = Q', \text{ але } Q' > Q''$$

$$\mu_{\Sigma} \downarrow \text{ за рахунок того, що } \mu(Q'')_{\Sigma} \downarrow. \quad (4)$$

З іншого боку даний підхід має істотний недолік, що полягає в тому, що відкидання високочастотних складових супроводжується втратою частини інформації. Методики, що дозволяють достовірно оцінити важливість інформації, що втрачається, відсутні. Значення пікового відношення сигнал/шум знаходиться на рівні 10 – 15 дБ.

У табл. 3 наведені значення середньоквадратичного показника погрішності для різних режимів квантування компонент ДКП.

Таблиця 3

Значення середньоквадратичного показника погрішності для різних режимів квантування компонент ДКП

Параметр квантування	Значення середньоквадратичного показника погрішності
2	2.0484
3	3.4424
5	5.3662
7	6.6685
11	7.9611
13	8.473
15	8.8814

Існує широкий спектр додатків таких як: дистанційне зондування Землі, аерокосмічний моніторинг, інформатизація катастрофо-кризових галузей, довгострокове збереження життєво-необхідної відеоінформації. Для них пріоритетною вимогою є забезпечення високої вірогідності інформації. У цьому випадку не допускаються неконтрольовані втрати інформації. Тому другий підхід в обробки даних має обмежене практичне застосування.

У відповідності зі схемою, представленої на рис. 1, **третій підхід** щодо зниження часу цифрової

обробки сигналів полягає в попередньому зменшенні кількості елементів, що подаються на вхід блоку ОП. Даний підхід використовується в технології гібридного представлення даних [3] (рис. 2).

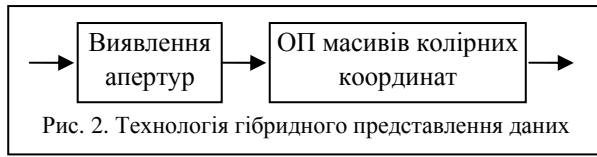


Рис. 2. Технологія гібридного представлення даних

Суть даного представлення полягає в тому, що для елементів оцифрованого сигналу виконується первинна обробка, що складається з виявлення апертур (послідовність елементів, значення яких знаходяться в інтервалі еквівалентності). У результаті виявлення апертур формується два масиви. Елементами першого масиву є кольорні координати апертур. Другий масив утворюється на основі значень довжин апертур. При цьому передбачається, що сумарна кількість кольорних координат буде меншою за кількість елементів у вихідному оцифрованому сигналі. У цьому випадку на виконання ОП масиву кольорних координат буде потрібно менша кількість операцій:

$$Q > Q', \text{ але } Q' = Q'';$$

$$\mu_{\Sigma} \downarrow \text{ за рахунок того, що } (\mu(Q)_{\Sigma} + \mu(Q'')_{\Sigma}) \downarrow, \quad (5)$$

де Q' – кількість апертур у зображенні.

Однак, реалізація третього підходу в обробки даних на основі попереднього виявлення апертур має наступні недоліки:

1) при обробці реалістичних повнокольорних зображень, що характеризуються нестационарністю розподілу і низьких значень довжин апертур, з'являється проблема, яка пов'язана з вибором кількості розрядів на представлення довжин апертур. З одного боку, для збільшення ступеня стиску і скорочення кількості елементів, що обробляються, необхідно вибирати значення максимальної довжини апертури ℓ_{\max} як можна великим. При цьому для зображень з короткими апертурами відбудеться: збільшення об'ємів масивів довжин апертур і знизиться коефіцієнт стиску аж до збільшення первинного об'єму; кількість апертур буде прагнути до вихідної кількості елементів, тобто $Q' \approx Q$. З іншого боку зменшення кількості розрядів на представлення довжин апертур приводить до розбивки довгих апертур на декілька більш коротких апертур. Цифровий об'єм $V(Q')$ зображення з урахуванням виявлення апертур розраховується за формулою

$$V(Q') = Q' \ell_{\log_2 \ell_{\max}} + Q' b,$$

де $\ell_{\log_2 \ell_{\max}}$, b – кількість розрядів на представлення відповідно довжини і кольорної координати апертури.

Оскільки апріорно характеристики зображення невідомі, то неадекватний вибір величини ℓ_{\max} призведе до зниження коефіцієнту стиску аж до збільшення первинного об'єму зображення (до 2,5 разів) і до того, що $Q' \approx Q$;

2) апертурні методи скорочують статистичну і психовізуальну надмірність, а ефективність методів, що використовують ОП, залежить від кількості цих видів надмірності в масивах, що обробляються. Масиви кольорних координат мають меншу кореляцію в порівнянні з масивами вихідних даних. Це приводить до збільшення значень високочастотних складових. Звідси, ступінь стиску при додатковому застосуванні методів за допомогою ОП буде менше, ніж при їхньому використанні для вихідних зображень (до 70 %);

3) апертурні методи мають слабку завадостійкість до помилок у каналі зв'язку. Для моделі дискретно-симетричного каналу з імовірністю помилки $p_0 = 10^{-4}$ відношення сигнал/шум на прийомному боці не перевищує 10 дБ [3]. Для забезпечення заданих 40 дБ необхідно збільшити довжину стиснутих кодових комбінацій до 40 % [3].

Недоліки технології, що лежить в основі третього підходу обробки зображень, обмежили її практичне застосування.

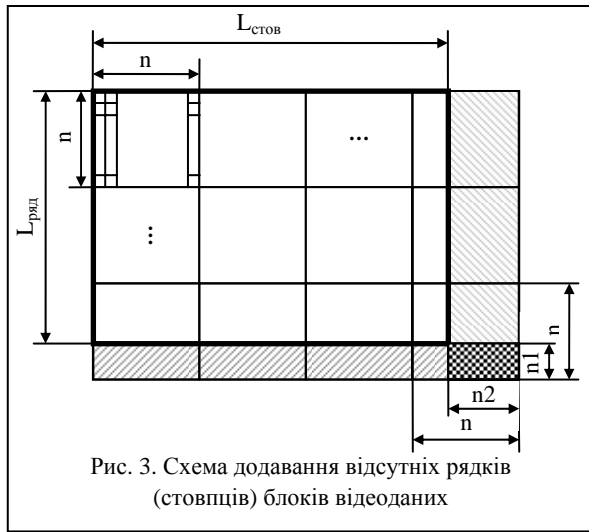
Для розглянутих підходів існує загальний недолік, викликаний невідповідністю між розмірами зображення $L_{\text{ряд}} \times L_{\text{стов}}$ і розмірами блоків відеоданих $n \times n$, для яких виконується ортогональне перетворення. З одного боку лінійний розмір n блоку відеоданих повинний бути кратний ступеню 2. Дана вимога необхідна для виконання швидкого ОП (враховуються властивості симетричності базисних функцій двовимірних ОП). З іншого боку існують різні технології знімання і збору відеоданих (борт космічного апарату, борт безпілотного і пілотованого літального апарату, наземні системи відеофотозйомки). Велика розмаїтість систем збору інформації приводить до появи зображень, різних розмірів. При цьому може створитися ситуація коли кількість рядків і/або стовпців не буде кратна розміру n локального блоку відеоданих, тобто буде виконуватися одна або дві наступні умови:

$$L_{\text{ряд}} - \left\lfloor \frac{L_{\text{ряд}}}{n} \right\rfloor n \neq 0; \quad (6)$$

$$L_{\text{стов}} - \left\lfloor \frac{L_{\text{стов}}}{n} \right\rfloor n \neq 0. \quad (7)$$

Тому дана невідповідність є невідповідністю кратності розмірності. Воно приводить до появи неповних блоків відеоданих (рис. 3). Причому максимальна кількість відсутніх рядків (стовпців) дорівнює $(n - 1)$. Для вирішення даної невідповідності в

існуючих форматах представлення зображень здійснюється додавання відсутніх рядків (стовпців) блоків відеоданих (рис. 3).



Найбільш розповсюдженими є такі підходи щодо формування відсутніх елементів:

1) відсутні елементи замінюють нульовими елементами. З одного боку це дозволяє знизити кількість додаткових операцій, а з іншого боку знижується кореляція між елементами зображень. Наслідком чого є зниження переваг за рахунок виконання ОП (збільшуються значення високочастотних складових, відбувається розконцентрація енергії по компонентах трансформанти);

2) значення відсутніх елементів визначаються, як рівні середнім значенням, отриманим на основі існуючих елементів блоку. У відмінності від першого варіанту це підвищує кореляцію між елементами усередині блоку. Однак збільшується кількість додаткових операцій.

Сумарна кількість елементів, що додаються, буде дорівнювати:

– величині v_1 , якщо виконується умова (6):

$$v_1 = n_1 L_{\text{стов}}, \quad (8)$$

де n_1 – кількість рядків, що додаються, рівне

$$n_1 = n - L_{\text{ряд}} + \left[\frac{L_{\text{ряд}}}{n} \right] n;$$

– величині v_2 , якщо виконується умова (7):

$$v_2 = n_2 L_{\text{ряд}}, \quad (9)$$

де n_2 – кількість стовпців, що додаються, рівне

$$n_2 = n - L_{\text{стов}} + \left[\frac{L_{\text{стов}}}{n} \right] n;$$

– величині v у випадку, коли відразу виконуються умови (6) і (7), тобто виконується одночасно невідповідність розмірності рядків і стовпців:

$$v = v_1 + v_2 + n_1 \times n_2, \quad (10)$$

де $(n_1 \times n_2)$ – кількість елементів на перетинанні рядків і стовпців зображення, що додаються.

Значення величин v_1 , v_2 і v для різних розмірів кадрів наведені у табл. 4. В останніх двох стовпцях наведені величини збільшення (у %) об'єму зображення і кількості операцій на виконання ОП.

Таблиця 4
Питоме збільшення об'єму зображення в залежності від його розміру

L_ряд x L_стовп	v_1	v_2	v	$\Delta V, \%$	$\Delta Q, \%$
850x620	$3,72 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^3$	$7,14 \cdot 10^3$	1.356	1.356
1620x1250	$5 \cdot 10^3$	$9,72 \cdot 10^3$	$1,47 \cdot 10^4$	0.728	0.728

Аналіз даних у табл. 4 показує, що в результаті рішення задачі невідповідності кратності розмірів за рахунок додавання відсутніх рядків і стовпців відбувається збільшення первинного обсягу зображень до 2% і підвищення кількості операцій на ортогональне перетворення до 2%.

Висновки

Можливості існуючих підходів щодо цифрової обробки зображень, не адекватні сучасним вимогам процесів функціонування інформаційних систем:

– існуючі швидкі алгоритми виконання ОП для зображень з розмірами, починаючи з 10 Мпкселів, затрачають на універсальних обчислювальних засобах час обробки порядку десятків секунд;

– використання властивостей трансформант ОП для зменшення кількості даних, що обробляються, приводить до неконтрольованих втрат інформації;

– попередня обробка на основі урахування апериодичних властивостей зображень знижує ефективність усього процесу цифрової обробки (збільшується вихідний об'єм зображення, знижуються достоїнства трансформації зображень, зменшується завадостійкість даних);

– існує невідповідність кратності розмірів зображення і розмірів трансформант, що приводить до збільшення часу обробки і підвищенню вихідного цифрового об'єму зображення.

Список літератури

1. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
2. Прэнт У. Цифровая обработка изображений: Том 1, 2. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
3. Свириденко В.А. Анализ систем со сжатием данных. – М.: Связь, 1978. – 183 с.

Надійшла до редколегії 5.12.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Поляков, Київський університет управління транспортом, Київ.