

УДК 621.377 (045)

¹А.М.Негода, здобувач, ²М.О. Шутко, д.т.н., ³О.О.Калганова, к.т.н.**СТИСНЕННЯ ВІДЕО ДАНИХ НА ОСНОВІ КАСКАДНОГО ВЕЙВЛЕТ РОЗКЛАДУ**

Институт інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail:negoda@nevo.com.ua

*Розглянуто метод каскадного вейвлет розкладу для стиснення відеоданих. Отримана програмна реалізація даного методу в середовищі Matlab. Проведено порівняльний аналіз методів стиснення.***Ключові слова:** алгоритми стиснення, дискретне косинусне перетворення, дискретне вейвлет-перетворення, цифрове відео, цифрове фото, каскадний вейвлет розклад.

Вступ. Сучасні системи передавання і зберігання цифрових фотографій, цифрового відео та інші використовують алгоритми стиснення зображень.

Стиснення даних є надзвичайно важливим і актуальним практичним завданням у зв'язку з інтенсивним розвитком комп'ютерних засобів комунікації. На сьогодні це одне з надзвичайно важливих завдань для науковців усього світу, оскільки функціонування супутникових систем цифрового телебачення, цифрових фото- і відеокамер, відеотелефонів, інтернет-систем відеоконференцій неможливе без стиснення відеозображень.

Стиснення відео було б неможливе, якби кожен кадр був унікальним, а розміщення пікселів – повністю випадковим, але це не так. Тому можна стискати, по-перше, саме зображення – наприклад, фотографія блакитного неба без сонця фактично зводиться до опису граничних точок і градієнта заливки. По-друге, можна стискати схожі сусідні кадри. Зрештою алгоритми стиснення картинок і відео схожі, якщо розглядати відео як тривимірне зображення з часом як третю координату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основною складністю при роботі з цифровим відео є великі об'єми дискового простору, необхідного для зберігання навіть невеликих фрагментів. Причому навіть застосування сучасних алгоритмів стиснення не змінює ситуацію кардинально. При записі на один компакт-диск "у побутовій якості" на нього можна помістити кілька тисяч фотографій, приблизно 10 годин музики й усього півгодини відео. Відео "телевізійного" формату 720x576 пікселів з частотою 25 кадрів за секунду в системі RGB вимагає потоку даних приблизно в 240 Мбіт/с (тобто 1.8 Гбіт/хв). При цьому алгоритми стиснення зображень, орієнтовані на окремі кадри, не поліпшують ситуації, оскільки навіть при зменшенні потоку в 10 раз він становить досить великі розміри.

У результаті переважна більшість сучасних алгоритмів стиснення цифрового відео є алгоритмами із втратою даних. При стисненні використовується кілька типів надлишковості:

- 1) **когерентність областей зображення** - мала зміна кольорів зображення в сусідніх пікселях (властивість, що використовують всі алгоритми стиснення зображень із втратами);
- 2) **надлишковість у колірних площинах** - використовується більша важливість яскравості зображення для сприйняття;
- 3) **подібність між кадрами** - використання того факту, що на швидкості 25 кадрів у секунду, як правило, сусідні кадри майже не змінюються.

Перші два пункти використовуються також в алгоритмах стиснення графіки. Використання подібності між кадрами в найпростішому й найбільш часто використовуваному випадку означає кодування не кожного нового кадру, а його різниці з попереднім кадром. Для відео типу "голова яка говорить" (передача новин, відеотелефони) велика частина кадру залишається незмінною й навіть такий простий метод дозволяє значно зменшити потік даних. Більш складний метод полягає в знаходженні для кожного блоку в кадрі, який стискується, найменш відмінного від нього блоку в кадрі, який використовується в якості базового. Далі кодується різниця між цими блоками. Цей метод істотно більш ресурсномісткий.

Постановка задачі. В якості основної технології стиснення відео зображень прийнято 3GP-формат, який є подальшим розвитком формату H.263. даний формат призначений для передачі зображень по каналам зв'язку зі швидкістю меншою 64 Кбіт/с, забезпечує високий ступінь стиску зображення, але дає погану якість на рухомих об'єктах. З математичної точки зору його алгоритм стиснення схожий на алгоритм стиснення JPEG, але не дивлячись на високоефективну компресію, має ряд негативних характеристик. Так, при високому ступені стиснення на зображенні з'являється ефект видимої "блочності", а при пошкодженні даних відеоряд взагалі розпадається.

Враховуючи специфіку передачі потокового відео в системах зв'язку (низька пропускна здатність каналу, висока ймовірність виникнення помилок при передачі, малий об'єм пам'яті мобільного терміналу) досить перспективним являється використання дискретного вейвлет перетворення (ДВП) для стиснення відеоряду. Відкритим залишається питання розробки ефективних методів та алгоритмів вейвлет компресії.

Стиснення відео даних на основі каскадного вейвлет розкладу. Процес вейвлет перетворення заключається в послідовному розкладанні сигналу (кадру, двовимірного зображення) на низькочастотну та високочастотну складові. Даний процес являється рекурсивним і його можна повторювати декілька разів, поступово збільшуючи ступінь компресії зображення.

На відміну від форматів відео стиску MPEG і H.263 (в яких використовується дискретне косинусне перетворення (ДВП)), при підвищенні ступеню стиснення кадр не розпадається на квадратні блоки, а лише втрачає різкість і "акуратність" контурів, що візуально сприймається набагато краще.

Вейвлетним аналізом є особливий тип лінійного перетворення сигналів та фізичних даних про процеси й фізичні властивості природних середовищ і об'єктів, що відображаються цими сигналами. Базис власних функцій, по якому проводиться вейвлетне розкладання сигналів, має багато специфічних властивостей і можливостей. Вейвлетні функції базису дозволяють сконцентрувати увагу на тих або інших локальних особливостях аналізованих процесів, які не можуть бути виявлені за допомогою традиційних перетворень Фур'є і Лапласа. Принципове значення має можливість вейвлетів аналізувати нестационарні сигнали зі зміною компонентного вмісту в часі або в просторі.

Одна з головних і особливо плідних ідей вейвлетного представлення сигналів на різних рівнях декомпозиції (розкладання) полягає в розділенні функцій наближення до сигналу на дві групи: що апроксимує - грубу, з достатньо повільною часовою динамікою змін, і що деталізує - з локальною і швидкою динамікою змін на фоні плавної динаміки, з подальшим їх дробленням і деталізацією на інших рівнях декомпозиції сигналів (кратномасштабний аналіз).

Розглянемо побудову каскадного вейвлет розкладу. Маємо простір V^0 . Процес розкладання простору V^0 в ортогональну суму представлено виразом: $V^0 = W^{-1} \oplus W^{-2} \dots \oplus W^{-k} \oplus V^{-k}$,

для конкретного елемента простору V^0 з координатами $\{c_n^0\}$ складається в послідовному виконанні операцій $c_k^j = \sum_{n \in Z} c_n^{j+1} \overline{h_{n-2k}}$ і $d_k^j = \sum_{n \in Z} c_n^{j+1} \overline{g_{n-2k}}$, для $j = -1, -2, \dots, -k$.

Тепер розглянемо зворотню задачу – реконструкції функції по відомих коефіцієнтах по базису вейвлетів, тобто по відомих коефіцієнтах $\{c_n^j\}$, $\{d_n^j\}$ ($j = -1, -2, \dots, -k$), $n \in Z$ потрібно відновити $\{c_n^0\}$.

Таким чином формула реконструкції має вигляд $c_k^{j+1} = \sum_{n \in Z} c_n^j h_{k-2n} + \sum_{n \in Z} d_n^j g_{k-2n}$.

Приведений алгоритм називається каскадним. Якщо в послідовності $\{h_n\}$ лише N не дорівнює нулю, то знаючи коефіцієнти $\{c_n^j\}$ для знаходження одного коефіцієнта $\{d_n^{j-1}\}$ необхідно N операцій множення і $N-1$ операція додавання. В той же час, якщо враховувати виходячи із послідовності $\{c_n^0\}$, то враховуючи збільшення носія базисних вейвлетів вдвічі при зменшенні індексу j на одиницю, отримуємо, що затрати розрахунку одного коефіцієнту зростають вдвічі.

На основі розробленого каскадного вейвлет розкладу розроблено метод стиснення відео даних, що дає можливість покращити якість компресії у порівнянні з ДКП при однаковому ступені стиснення.

Отримана програмна реалізація даного методу в середовищі Matlab.

Опишемо процедуру фільтрації для кожного рівня декомпозиції. Через $\tilde{m}_{i,j}^k$ позначимо коефіцієнти ортогональної масштабуючої функції яка відповідає k -тій ітерації.

Прийmemo: $h_{i,j}^0 = \tilde{m}_{i,j}^0$ та $h_{v,\mu}^k = \sum_{i,j} \tilde{m}_{i,j}^k \tilde{m}_{i-2v, j-2\mu}^{k-1}$ ($k > 0$).

Для кожного k випишемо коефіцієнти в відповідності з формулами:

$$g_{v,\mu}^{k,1} = (-1)^\mu h_{v-1,\mu}^k, \quad g_{v,\mu}^{k,2} = (-1)^v h_{v,\mu}^k, \quad g_{v,\mu}^{k,3} = (-1)^{v+\mu} h_{v-1,\mu}^k.$$

Процедура першої декомпозиції для коефіцієнтів $c_{v,\mu}$ має вигляд:

$$c_{v,\mu}^{1,0} = \sum_{i,j} c_{v-i, \mu-j} h_{i,j}^0, \quad c_{v,\mu}^{1,1} = \sum_{i,j} c_{v-i, \mu-j} g_{i,j}^{0,1}, \quad c_{v,\mu}^{1,2} = \sum_{i,j} c_{v-i, \mu-j} g_{i,j}^{0,2}, \quad c_{v,\mu}^{1,3} = \sum_{i,j} c_{v-i, \mu-j} g_{i,j}^{0,3}.$$

Аналогічно отримуємо коефіцієнти k-го рівня декомпозиції:

$$c_{v,\mu}^{k,0} = \sum_{i,j} c_{v-i,\mu-j}^{k-1,0} h_{i,j}^{k-1}, \quad c_{v,\mu}^{k,1} = \sum_{i,j} c_{v-i,\mu-j}^{k-1,0} g_{i,j}^{k-1,1}, \quad c_{v,\mu}^{k,2} = \sum_{i,j} c_{v-i,\mu-j}^{k-1,0} g_{i,j}^{k-1,2}, \quad c_{v,\mu}^{k,3} = \sum_{i,j} c_{v-i,\mu-j}^{k-1,0} g_{i,j}^{k-1,3}.$$

Формули реконструкції мають вигляд:

$$c_{v,\mu}^{k-1,0} = \sum_{i,j} c_{i,j}^{k,0} h_{i-2v,j-2\mu}^k + \sum_{i,j} c_{i,j}^{k,1} g_{i-2v,j-2\mu}^{k,1} + \sum_{i,j} c_{i,j}^{k,2} g_{i-2v,j-2\mu}^{k,2} + \sum_{i,j} c_{i,j}^{k,3} g_{i-2v,j-2\mu}^{k,3}.$$

Приведемо фрагмент псевдокоду який відповідає розрахунку декомпозиції:

```
for(y=0;y<Y;y++)
for(x=0;x<X;x++)
{s0=s1=s2=s3=0;
  for(j=0;j<J;j++)
    for(i=0;i<I;i++)
      {s0+=c(i,j)*h(i-2*x,j-2*y);
        s1+=(-1)^j*c(i,j)*h(i-1-2*x,j-2*y);
        s2+=(-1)^i*c(i,j)*h(i-2*x,j-2*y);
        s3+=(-1)^{i+j}*c(i,j)*h(i-1-2*x,j-2*y); }
  w[0]=s0;
  w[1]=s1;
  w[2]=s2;
  w[3]=s3; }
```

Наведемо фрагмент псевдокоду для розрахунку реконструкції:

```
for(y=0;y<Y;y++)
for(x=0;x<X;x++)
{s=0;
  for(j=0;j<J;j++)
    for(i=0;i<I;i++)
      {s+=w[0]*h(x-2i,y-2j);
        s+=w[1]*(-1)^j*h(x-1-2i,y-2j);
        s+=w[2]*(-1)^i*h(x-2*i,y-2*j);
        s+=w[3]*(-1)^{i+j} *h(x-1-2*i,y-2*j); } }
```

Для експериментальної оцінки можливостей розробленого методу та порівняння його з відомими розглянемо приклад зображення рис. 1:

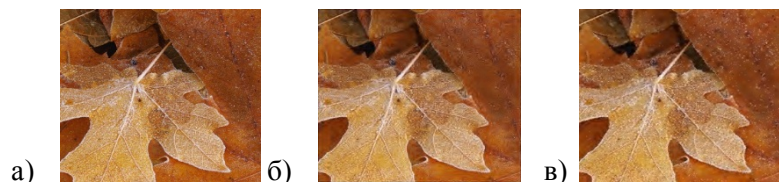


Рис. 1. Тестове зображення закодоване різними методами:
а) Оригінал 512*512, розмір 786,486 КБ; б) ДКП – 41,306 КБ;
в) Запропонований – 38,873 КБ

Висновки.

1. Побудовано каскадний алгоритм вейвлет розкладання який дозволяє істотно прискорити кодування сигналу;
2. На основі розробленого каскадного вейвлет розкладу розроблено та програмно реалізовані метод стиснення відео даних, що дають можливість покращити ефективність компресії на 5-10% у порівнянні з ДКП.

Список літературних джерел

1. Селомон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Селомон– М.: Техносфера, 2004, – 368 с.
2. Чичева М. А. Эффективный алгоритм дискретного косинусного преобразования четной длины / М. А. Чичева // Компьютерная оптика. – 1998. – № 18 – С. 147 – 149.
3. Чуи К. Введение в вейвлеты / Чуи К. – М.: Мир, 2001. – 412 с.
4. Негода А.М. Аналіз сучасних алгоритмів стиснення відео // “Електроніка та системи управління” – К.: НАУ, 2010.– №3(25) – С. 23-27.
5. Шелевицький І.В., Барабанов Ю.М., Гуйда О.Г., Негода А.М., Кушнір О.М. Аналіз втрат при компресії відеозображень // “Вісник Інженерної академії” – Миколаїв.: Видавництво Національного університету кораблебудування ім.адм. Макарова, 2010.– №2. – С. 145-149.