

УДК 621.377

Шутко М.О., д.т.н., проф. ;
Гуйда О.Г., ст. викл.

СПЛАЙН-КОМПРЕСІЯ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Розглянуто метод побудови двовимірної сплайн-функції для апроксимації телевізійних зображень. Розроблено двовимірний сплайновий розклад, який застосовано для стиснення телевізійних зображень.

Рассмотрен метод построения двумерной сплайновой функции для аппроксимации телевизионных изображений. Разработано двумерное сплайновое разложение, которое применено для сжатия телевизионных изображений.

The method of construction of two-dimensional spline function is considered for approximation of television images. Two-dimensional spline decomposition that is applied for the compression of television images is worked out.

Вступ. На сьогоднішній день значна частина радіотехнічних та телевізійних сигналів обробляється у цифровому вигляді. Для одержання необхідної якості сигналу та компактного представлення інформації використовують фільтрацію та технології стиснення. Використання цих технологій дозволяє знизити вимоги до систем передачі та прийому інформації, апаратної частини пристроїв обробки та обсягу носіїв інформації. Розвиток технологій призвів до зростання обчислювальної потужності і зниження вартості цифрових пристроїв обробки телевізійних зображень. Це дає можливість реалізувати складні алгоритми обробки цифрового відео і забезпечити більшу ефективність обробки.

Всі методи стиснення інформації ґрунтуються на положенні, що потік даних завжди містить надлишкові елементи. Стиснення досягається за рахунок пошуку та кодування надлишкових елементів.

Потік телевізійних зображень містить істотну кількість надлишкової інформації, яка може бути усунена практично без помітних для людського ока викривлень. Розрізняють часову та просторову надлишковість відеоданих. Часова надлишковість характеризується значною кореляцією (подібність) між сусідніми кадрами (рух об'єктів, зміна освітленості, переміщення відеокамери і її фокусу та ін.), особливо при великій частоті кадрів. Просторова надлишковість характеризується високою залежністю величин пікселів, розміщених один біля одного (зміна текстури або структури в середині кадру, кількості і форми об'єктів, кольору та ін.). Типовий відеокодек використовує як просторову, так і часову надлишковість відеоданих, а також властивості зорової системи людини. Оскільки людський зір менш чутливий до кольору предметів, ніж до їх

яскравості, то сигнали кольоровості зображень зазвичай оцифровують з удвічі нижчим розділенням, ніж сигнал яскравості.

Аналіз досліджень та публікацій. До різних сфер використання цифрового відео висувалися різні вимоги до стиснення, які привели до формування ряду стандартів стиснення з різними сферами застосування:

- необхідність стиснення для відеоконференцій привело до виникнення стандартів ITUH.261 для ISDN-відеоконференцій, для відеоконференцій в телефонних мережах і H.263 для відеоконференцій в мережах АТМ і по широкосмугових каналах;

- необхідність стиснення відеопослідовностей для зберігання на CDROM (з умовою забезпечення 1.2 Мбіт/с для відео-потoku і 256 кбіт/с для аудіо) привела до виникнення початкового стандарту ISO MPEG-1;

- для віщання і зберігання на DVD, з бітрейтом від 2 до 15 Мбіт/с для відео і аудіо, був розроблений стандарт ISO MPEG-2;

- необхідність кодування окремих аудіо-візуальних об'єктів як природного походження, так і синтезованих, привела до створення ISO MPEG-4. Цей стандарт включає декілька частин, в яких розглядається, окрім кодування відео, аудіокодування, кодування об'єктів і так далі. До відео відносяться частини 2 (ISO 14496-2 або MPEG-4 Part 2) і 10 (ISO 14496-10 або MPEG-4 Part 10);

- необхідність кодування метаданих, що описують властивості мультимедійних даних, привела до появи MPEG-7;

Більш детальний огляд сучасних стандартів приводиться в [1,2].

Постановка задачі. Всі розглянуті вище стандарти використовують метод компенсації руху на основі блоків розміром 16x16 або 8x8 пікселів, для усунення часової надлишковості та дискретне косинусне перетворення (ДКП) для усунення просторової надлишковості. У більш нових версіях стандартів реалізована можливість використання дискретного вейвлет перетворення, що підвищує вимоги до апаратного забезпечення.

Як різновид вейвлетів можна розглядати і сплайни. Слайнимають добре розвинену теорію і відомі хорошими наближуючи ми властивостями, у ряді ситуацій мають кращі апроксимаційні властивості, які забезпечують мінімально можливу при даній розмірності похибку оперують простотою та ефективністю розрахунків. При їх застосуванні істотно зменшується обсяг обчислень.

Сплайн-компресія телевізійних зображень. Значним кроком у сфері застосування сплайнів для оброблення сигналів став розвиток вейвлет методів. Відповідно до цих методів сплайни є одним з багатьох можливих локальних вейвлет базисів. Вейвлет методи розроблені саме для алгоритмів реального часу і використовуються для стиснення та згладжування даних. Методи надзвичайно швидко розвиваються і популярні завдяки наявності міцної теоретичної основи та можливості оброблення складних сигналів, тому сфера їх застосування досить широка.

Переваги сплайнів не проявилися суттєвіше тому, що вейвлет методи використовують лише двократну інтерполяцію і вимагають ортогональності базисів. На малих проміжках інтерполяції зі сплайнами успішно конкурують інші локальні функції. Фактично використовується в основному лише локальність сплайнового базису, в той час, як два інші фактори сплайнів – гладкість та здатність наближати на значних проміжках – не є принциповими для вейвлет методів.

При обробці інформації потрібно вирішувати задачі наближення функцій кількох змінних. Розглянемо вирішення цієї задачі для функції двох змінних за допомогою алгоритмів для одномірних сплайнів[1,4]. Часто для вирішення цієї задачі використовують метод кінцевих елементів, ідеї якого у більшості схожі зі сплайн-методами. Однією зі складностей цього метода є розбиття наближуваної області на ділянки.

Нехай маємо деяку наближувану залежність двох змінних $f(x, y)$, яка представлена на ділянці $x \in [a_1, b_1]$, $y \in [a_2, b_2]$ відліками у вузлах прямокутної сітки:

$$f_k = f(x_i, y_j), \quad i = \overline{0, R}, \quad j = \overline{0, M}, \quad k = \overline{0, L}.$$

Будемо наближувати $f(x, y)$ двовимірним сплайном $S(x, y)$, що є тензорним добутком одновимірних сплайнів $S(x)$ і $S(y)$:

$$S(x, y) = S(x) * S(y)$$

Отже для тензорних сплайнів R фрагментів по осі x , M по осі y :

$$S3d(x, y) = \sum_{i=0}^R ax_i \cdot fx(x) \otimes \sum_{j=0}^M ay_j \cdot fy(y)$$

$$S3d(x, y) = \sum_{j=0}^M \sum_{i=0}^R a_{i,j} \cdot f_{i,j}(x, y)$$

$$S3d(x, y) = \sum_{k=0}^K a_k \cdot f_k(x, y)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{F} * \mathbf{A}$$

Запишемо

$$\mathbf{S} = [\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2, \dots, \mathbf{S}_R] \quad \mathbf{S}_i = [s_1, s_2, \dots, s_{Ni}]$$

$$\mathbf{A} = [\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \dots, \mathbf{A}_R] \quad \mathbf{A}_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iM}]$$

$$F = \begin{array}{cccccc|cc}
 fy2(y)F2 & fy3(y)F3 & fy4(y)F4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 fy1(y)F1 & fy2(y)F2 & fy3(y)F3 & fy4(y)F4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & fy1(y)F1 & fy2(y)F2 & fy3(y)F3 & fy4(y)F4 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & fy3(y)F3 & fy4(y)F4 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & fy2(y)F2 & fy3(y)F3
 \end{array} \tag{1}$$

Елементи матриці є блочні матриці зі структурою аналогічною структурі блоків в матриці планування одномірного сплайна. Тобто з ненульовими елементами $fx1(x), fx2(x), fx3(x), fx4(x)$ (складові функції форми одномірного сплайна). Подальше розв’язання нормальної системи рівнянь як звичайно, але з блочними матрицями. При програмуванні зберігати матриці не доцільно. Краще парами: індекси та значення ненульових елементів.

Представлення двовимірних сплайнів через тензорний добуток одномірних дозволяє відносно просто отримувати аналітичні залежності та будувати алгоритми на основі відомих одномірних. Основним їх недоліком є неможливість локальної оптимізації сітки і високі ступені поліномів. Обмеженням при їх використанні є вимога до регулярності сітки вузлів інтерполяції.

Далі для побудови двовимірного сплайну за методом найменших квадратів, необхідно розв’язати систему нормальних рівнянь:

$$(\mathbf{Y} - \mathbf{FA})^T (\mathbf{Y} - \mathbf{FA}) = \min$$

$$\mathbf{F}^T \mathbf{FA} = \mathbf{F}^T \mathbf{Y}$$

$$\mathbf{A} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{Y} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{B}$$

Де \mathbf{F} - матриця планування двовимірного сплайну; \mathbf{Y} - вектор вхідних значень; \mathbf{A} - вектор оцінюваних параметрів (ординат вузлів “склейки” сплайну).

Як говорилося вище, телевізійні зображення двовимірний сигнал розмірності $N \times N$ або $N \times M$. Хоча двовимірні сигнали і можливо обробляти за допомогою одномірних систем, в цілому віддають перевагу використанню двовимірних систем. Багато основоположних ідей одномірної обробки легко узагальнюються на випадок двовимірної обробки. В той же час деякі досить важливі поняття, що відносяться до одномірних систем, неможливо безпосередньо використовувати для двовимірних систем.

Розглянемо метод побудови двовимірного сплайнового аналізу для компресії телевізійних зображень.

Нехай початкові дані представлені матрицею $N \times N$ дискретних відліків. Побудова двовимірного сплайну відбувається за рахунок тензорного добутку одномірних сплайн-функцій. Однак така процедура займає багато часу через складність перемноження матриць. Адже множення великих матриць потребує багато операцій множення, додавання. Тому вигідніше апроксимувати сплайном спочатку дані по рядках матриці, а потім по стовпцях. Згідно з формулами (1) знаходимо спочатку функцію $f_i(n)$ по рядках, а потім $f_j(n)$ по стовпцях.

Розглянемо спочатку приклад сплайн-розкладу із кратністю 2:

1. Аналогічно до одномірного випадку, розглянутого в підрозділі 3.3, проводимо апроксимацію даних сплайном, щоб мати $N/2$ вузлів "склейки" сплайна. Так само проріджуємо точки по всіх n рядках.

2. Повторюємо таку процедуру по всіх n стовпцях. Тобто кількість коефіцієнтів зменшується з N^2 до $N^2/4$. Сплайн будується так, щоб сума квадратів відхилень сплайна від апроксимованих точок була мінімальною.

3. Відновлюємо повну матрицю за допомогою інтерполяції сплайном (формула (1)) отриманих вузлів "склейки" спочатку по стовпцях, потім по рядках.

4. Для збереження інформації про похибки знаходимо різниці між значеннями початкової та нової матриць у $N \times N$ точках. Значна частина таких різниць буде достатньо мала щоб можна було ними знехтувати. Встановлюється поріг, нижче якого значення різниць приймаються рівними нулю. Кількість вагомих (тобто ненульових) деталізуючих коефіцієнтів першого рівня позначимо Δ_1 .

Тоді результатом першого кроку стиснення буде $N^2/4 + \Delta_1$ значень, які потрібно зберігати для можливого відновлення початкової функції.

5. Знову аналогічно апроксимуємо дані, отримані після першого кроку. Тоді замість $N^2/4$ значень матимемо $N^2/16 + \Delta_2$. І після другого кроку маємо для зберігання $N^2/16 + \Delta_2 + \Delta_1$ коефіцієнтів.

6. Відповідно третій крок дасть $N^2/64 + \Delta_3 + \Delta_2 + \Delta_1$ значень.

Після будь-якого кроку ми можемо відразу ж відновити початкові дані.

Для повного відновлення сигналу потрібно зберігати вузли склейки останнього шару розкладу та ненульові відліки деталізуючих коефіцієнтів.

Неважко побачити, що аналогічно до наведеного алгоритму можна побудувати алгоритм з іншою кратністю. Наприклад наведемо алгоритм з дробним кроком, тоді кількість коефіцієнтів буде:

$$I. \frac{N^2}{(2,83)^2} + \Delta_1 = \frac{N^2}{8} + \Delta_1.$$

$$\text{II. } \frac{N^2}{(2,83)^4} + \Delta_2 + \Delta_1 = \frac{N^2}{64} + \Delta_2 + \Delta_1. ($$

Таким чином бачимо, що в другому випадку досягнуто того ж ступеня стиснення для апроксимуючих коефіцієнтів $\left(\frac{N^2}{64}\right)$, що і в першому, але замість трьох кроків виконується два, що скорочує витрати часу на обчислення та зменшує кількість деталізуючих коефіцієнтів. Однак збільшення кроку призводить до збільшення амплітуд деталізуючих коефіцієнтів, тобто компресія зображення проводиться грубіше.

Тому для порівняння якості стиснення першим і другим методами потрібно провести експериментальну оцінку.

У даній роботі запропонований метод для стиснення порівнювався із стисненням на основі вейвлета Добеші 5-го порядку (застосування якого показало найкращі результати серед інших вейвлетів) за наступним алгоритмом:

- 1) розкладання на апроксимуючі і деталізуючі коефіцієнти;
- 2) обнуління малих деталізуючих коефіцієнтів (ДК) і пониження розрядності (квантування) тих ДК, що залишилися, до однакових середньо квадратичних відхилень між оригіналом та відновленими стиснення зображень запропонованим і вейвлет методами;

Для експериментальної оцінки можливостей розробленого алгоритму та порівняння його з відомими розглянемо приклад кольорового фотозображення (Рис1):



Рис 1 Приклад кольорового зображення для порівняння методів компресії: а) оригінал 512*512, розмір 786,486 КБ; б) вейвлет-метод – 41,306 КБ; в) запропонований – 38,873 КБ

При СКВ 11,4 градацій сірого для обох прикладів коефіцієнти стиснення виявилися такими:

- 1) 19,04 разів (вейвлет-метод);
- 2) 20,23 рази для методу сплайн апроксимації.

Висновки.

1. Розглянуто метод побудови двовимірної сплайн-функції для апроксимації телевізійних зображень.

2. Розроблено двовимірний сплайновий розклад, який застосовано для стиснення яскравісної та різнісних компонент телевізійного зображення (кадру).

3. Проведений порівняльний аналіз показав, що запропоновані алгоритми дозволяють зменшити час основної операції декомпресії на 30-40%, в порівнянні з «найшвидшою» на сьогодні технологією ДКП, тому вони можуть успішно застосовуватись для інтернет-систем передачі відеозображень в режимі on-line.

Використані джерела інформації:

1. Гуйда О.Г. Аспекти використання сплайнів в технологіях обробки сигналів // "Електроніка та системи управління" – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту "НАУ-друк", 2010.– №3(25) – С. 18-22.
2. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. / Д. Ватолін, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: "Диалог-МИФИ", 2002. – 381 с.
3. Ричардсон Я. Вידеокодирование H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. // – М. – Техносфера. - 2004. – 368 с.
4. Сплайни в цифровій обробці даних і сигналів / Шутко М.О., Шелевицький І.В., Шутко В.М., Колганова О.О. – Кривий Ріг: "Видавничий дім", 2008. – 231 с.

Рецензент: д.т.н. Лисенко О.І.