

Метод співвіднесення контурів томографічних зрізів на основі сплайнового подання

Бабков В.С.

Донецький Національний Технічний Університет, кафедра ПМІ
babkov@tr.dn.ua

Abstract

Babkov V. The CT-slices comparison method with spline describing. In the article modified method for CT-spline comparison are described. Method idea is a using quantity characteristic of c-spline for CT-spline comparison.

Постановка проблеми

Як було показано в [1], для подання контурів томографічних зрізів у складі системи реконструкції [2] доцільно використовувати сплайнове подання. У цьому випадку виникає необхідність в прискореному алгоритмі співвіднесення на основі сплайнів, який би мав значні переваги над методом еластичного співвіднесення та іншими методами, застосування яких приводить до великих часових витрат [3].

Аналіз публікацій

Використанню сплайнового подання для представлення контурів зображень на етапах виокремлення ділянок та їх подальшої обробки присвячені праці відомих спеціалістів у галузі обробки зображень у медичній галузі: Т. McInerney, D. Terzopoulos, М. Kass [4-5]. Останні дослідження у цій галузі викладені у роботах [6-7].

Постановка задачі

Метод співвіднесення для піксельного подання контурів вже був запропонований у [8]. Таким чином ставиться задача віднайти метод співвіднесення контурів, оснований на їх характеристиках, який би забезпечував можливість виконання співвіднесення із мінімальними часовими витратами для сплайнового подання контурів .

Опис алгоритму співвіднесення

Як було показано в [8], основними параметрами контуру є його форма та розміри, причому у багатьох випадках, розмір може не враховуватися. Обчислення усереднених параметрів, які характеризують форму (наприклад, радіусів кривизни), дозволяє перейти від необхідності

використовувати при співвіднесенні опис всього контуру до можливості виконувати цей процес на основі простих числових параметрів. Але, як було показано у відповідній роботі, це приводить до обмеженості використання методу, оскільки контури, що співвідносяться, повинні заздалегідь мати певну подобу. Це, в свою чергу, приводить до необхідності попередньої обробки контурів (сортування, класифікації і т.п.). Таким чином потрібно віднайти компромісне рішення, яке дозволило б спростити обчислювальну складність методу співвіднесення, зменшити часові витрати та обсяг даних і, водночас, не приводило б до суттєвих обмежень у застосуванні.

Оскільки параметр „радіус кривизни”, визначений у [8], сам по собі дійсно характеризує форму контуру в локальній точці, спробуємо застосувати саме його, але розширимо його використання від усередненого параметру контуру до розподілу радіусів вздовж його поверхні.

Розглянемо приклад сплайну, що проходить через три точки (рис.1).

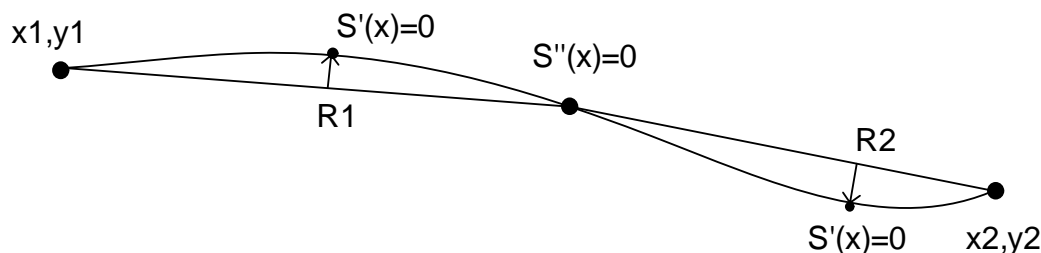


Рисунок 1 – Приклад обчислення параметрів контуру

У даному випадку точки, через які побудовано сплайн, обиралися у відповідності до рекомендацій, зроблених у [1]. Визначимо порядок обробки сплайнів. Будемо вважати, що контур задано множиною сплайнів, що проходять через послідовність точок $T=[(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n), (X_1, Y_1)]$. У цьому випадку ми матимемо послідовність сплайнів виду:

$$\begin{aligned}
 S_1(x) &= s_{3,1}x^3 + s_{2,1}x^2 + s_{1,1}x + s_{0,1} \\
 S_2(x) &= s_{3,2}x^3 + s_{2,2}x^2 + s_{1,2}x + s_{0,2} \\
 &\dots \\
 S_n(x) &= s_{3,n}x^3 + s_{2,n}x^2 + s_{1,n}x + s_{0,n}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

При цьому ієрархічну структуру опису одного контуру можна визначити таким чином: рис. 2.

Якщо ставиться задача перейти від спрощеного узагальненого параметру форми контуру (радіусу) до такої форми подання, яка б характеризувала розподіл радіусів вздовж контуру, то найпростішим варіантом було б використання вектору радіусів, порядок елементів у

якому відповідав би порядку викривлених ділянок у контурі, а перехід від одного елемента до іншого означав би зміну характеру викривлення (згиб, вгнутість, опуклість). Пояснимо формування подібного вектору на рис.3.

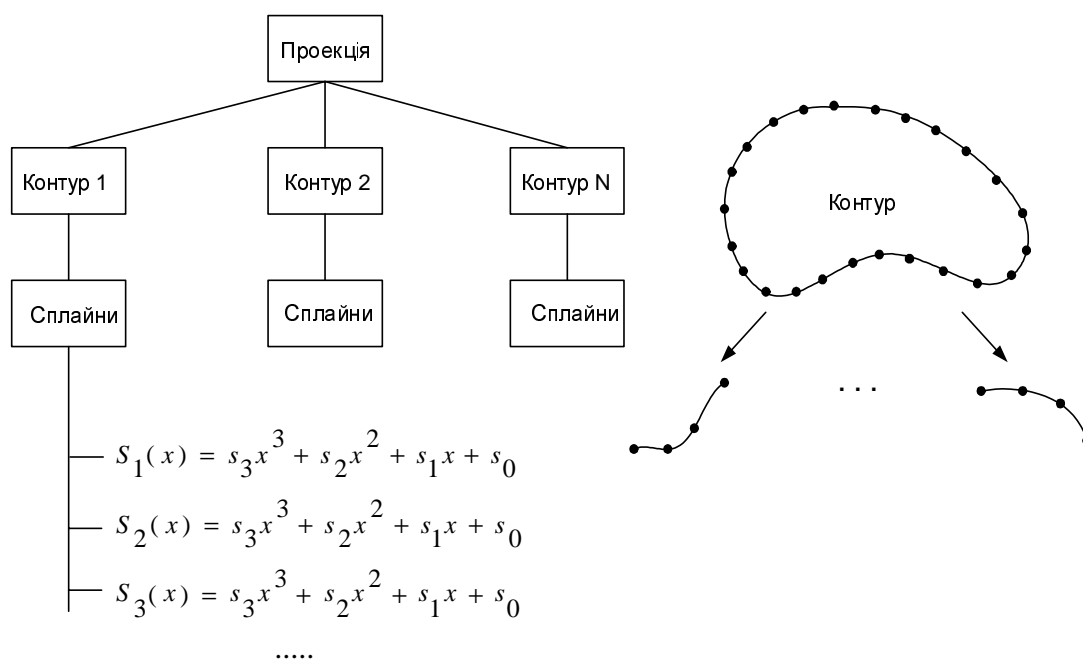


Рисунок 2 – Ієрархічна структура опису контуру

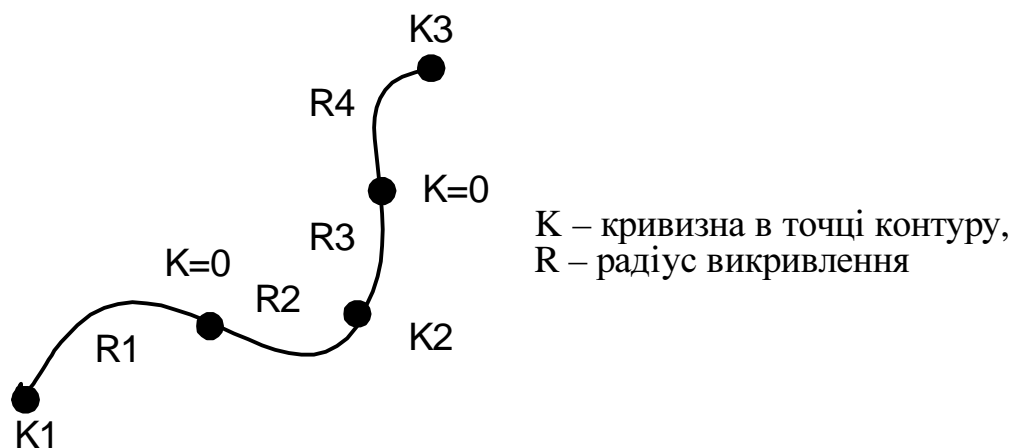


Рисунок 3 - Формування вектору опису форми контуру

У даному випадку компоненти вектора являють собою кривизну у характерних точках контуру (другу похідну) та радіус кривизни, що чергуються.

$$H = [K_1, R_1, K_0, R_2, K_2, R_3, K_0, R_4, \dots, K_N], \quad (2)$$

де

K_i - кривизна у точці i ;

R_i - радіус кривизни у точці i (див. 8).

Нехай для кожного еталонного контуру, що бере участь у співвіднесенні, вже розрахований еталонний вектор He . Тоді пошук найбільш відповідного контуру можна представити як пошук мінімальної різниці між всіма параметрами контурів (кривизна у відповідних точках та радіус). Математично це можна записати наступним чином:

$$L = \min\left(\sum_{j=1}^N |H[j] - He[j]|\right), \quad (3)$$

де

H - вектор вхідного контуру;

He - вектор еталонного контуру;

N - кількість характерних точок контуру.

L - характеристика відмінності контуру.

У результаті серед всіх контурів обирається той, для якого відмінність є мінімальною. Схематично процес співвіднесення можна показати так: рис. 4.

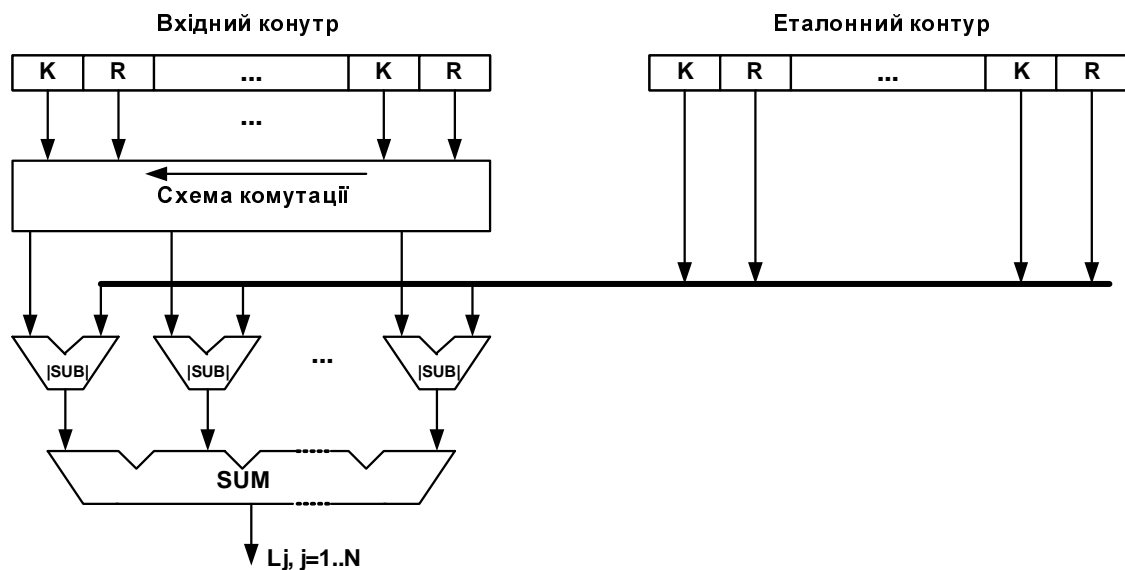


Рисунок 4 – Схема співвіднесення контурів

Якщо говорити про вибір не одного контуру, а про пошук еталонної моделі, що найбільш подібна до набору вхідного даних, то загальний алгоритм співвіднесення буде наступний.

1. Розрахунок параметрів всіх вхідних контурів [8].

2. Для першого вхідного контуру застосовується схема співвіднесення з усіма еталонними контурами і в результаті обчислюється параметр L .
3. П. 2 повторюється для всіх вхідних контурів у результаті отримується множина

$$P = [S_1, S_2, \dots, S_R],$$

де

R - кількість еталонних моделей;

r – номер моделі $r \in [1..R]$;

S_r - кількість вхідних контурів, що були визнані за результатами співвіднесення найближчими до контурів моделі з номером r .

4. Визначається r_{max} – номер моделі, для якого S_r – максимальне
5. r – результат (номер моделі, яка найближча до набору вхідних контурів).

Експериментальне дослідження запропонованого алгоритму

Оцінимо аналітично часові параметри модифікованого алгоритму. Час співвіднесення одного вхідного контуру з усіма еталонами:

$$T = \sum_{r=1}^R M_r * N_r * T_{cn}, \quad (4)$$

де

M_r - кількість контурів у моделі r ;

N_r - кількість точок у контурах моделі r ;

R - кількість еталонних моделей;

T_{cn} - час виконання одного співвіднесення.

Час співвіднесення Q вхідних контурів з усіма еталонами:

$$T = Q * \sum_{r=1}^R M_r * N_r * T_{cn} + T_{pmax}, \quad (5)$$

де

T_{pmax} - час вибору максимального значення з множини P .

Час співвіднесення Q вхідних контурів шляхом деформації:

$$T = Q * \sum_{r=1}^R M_r * T_{def} * Step_r, \quad (6)$$

де

T_{def} - час виконання одного кроку деформації;

$Step_r$ - кількість кроків деформації для моделі r .

Якщо враховувати результати часових оцінок при сплайновому та піксельному поданні [1], то час витрачений на ітераційну деформацію більший за час порівняння числових параметрів контуру у відповідності до рис. 4.

Для отримання експериментальних даних стосовно часових характеристик модифікованого алгоритму були використані наступні вхідні умови:

- 3 вхідні контури (рис. 5);
- деформація відбувалася методом еластичного співвіднесення за допомогою змійки (snake) [5];
- використовувався комп'ютер під керуванням ОС Windows XP з процесором AMD64 – 1.8 ГГц та оперативною пам'яттю обсягом 256 Мб.

Результати експерименту наведено на рис. 6.

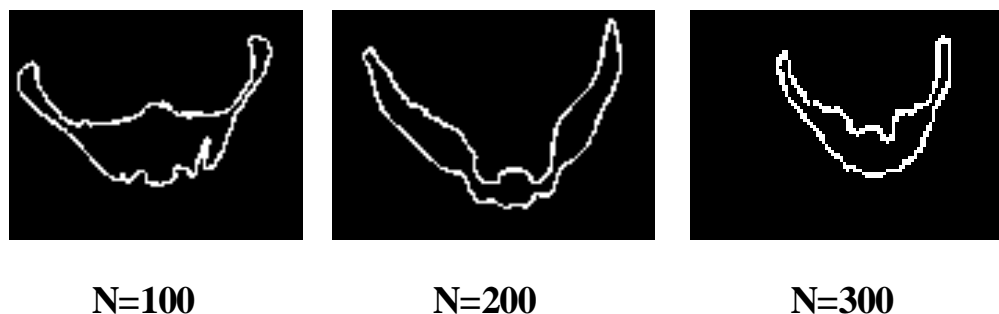


Рисунок 5 – Вхідні контури для експерименту ($R=10$, $Q=100$)

Якщо проаналізувати результати експерименту, то можна зробити висновок, що застосування числових параметрів при співвіднесенні контурів зменшує час співвіднесення у середньому в 10-15 разів. Окремо стоїть питання про обмеження застосування запропонованого методу.

Як видно з формул 4-6, при співвіднесенні контури повинні мати однакову кількість характерних точок. У реальних зображеннях досягти цього досить складно. Тобто підготовка контурів (preprocessing) буде складатися з наступних етапів:

- початкова взаємна орієнтація контурів;
- усереднення кількості характерних точок;
- інтерполяція сплайнами.

Таким чином, етап попередньої обробки вимагатиме деякого часу, в залежності від кількості контурів та складності їх форми (чим складніша форма – тим більша кількість характерних точок): $T' = f(M, N)$.

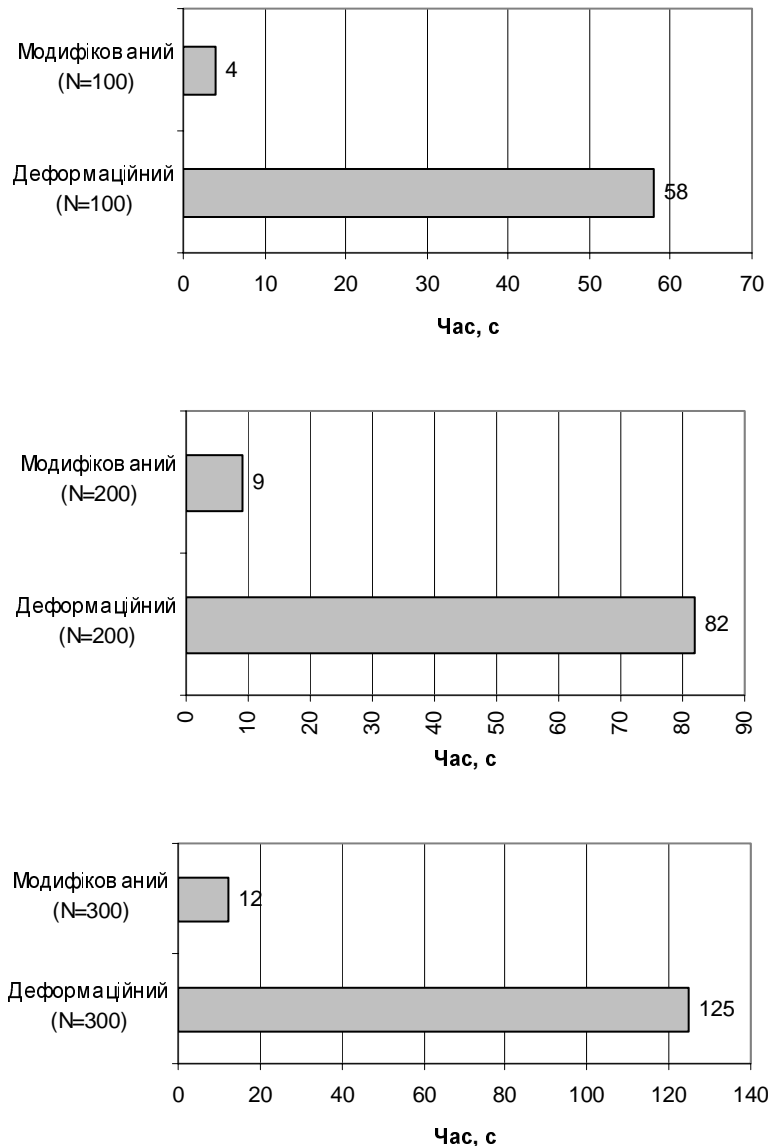


Рисунок 6 – Результати експерименту

Висновки

В результаті проведення досліджень запропоновано модифікований алгоритм для співвіднесення контурів при слайновому поданні. Запропонований алгоритм відрізняється тим, що контури характеризуються вектором числових параметрів (кривизна та радіус кривизни) і порівняння зводиться до розрахунку відмінності між векторами. Для алгоритму аналітично та експериментально отримані оцінки часових характеристик. Згідно з експериментом час співвіднесення зменшується в середньому в 10-15 разів, але алгоритм накладає обмеження на кількість характерних точок контуру та взаємну орієнтацію контурів перед співвіднесенням.

Подальшим напрямком дослідження є розробка архітектури спецпристрою для реалізації запропонованих алгоритмів та впровадження алгоритму до складу програмної системи для реконструкції моделей органів в комп'ютерній томографії.

Література

1. В.С. Бабков Застосування сплайнів для подання контурів в методах обробки томографічних зображень. Наукові праці Донецького національного технічного університету, Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”, випуск 70, 2003 р., 30-38 сс.
2. В.С.Бабков, Реконструкція 3D-моделей органів в комп'ютерній томографії при обмеженому об'ємі вхідних даних. Наукові праці ДонНТУ. Серія “Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем”. Випуск 52 – Донецьк: ДонНТУ. 2002. 100-105 сс.
3. Christopher Lee Wyatt, Extending the geometric deformable model for use in medical image analysis. PhD dissertation. Wake forest university, Winstone-Salem, North Carolina. 2000. – 56 p.
4. McInerney T., Terzopoulos D Deformable Models in Medical Image Analysis: A Survey. Medical Image Analysis, 1996, 1(2):91–108
5. Kass M. et al. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4):321–331
6. Zhiyong Xie and Gerald E. Farin Image Registration Using Hierarchical B-Splines, IEEE Transaction on visualization and computer graphics, vol. 10, no. 1, Jan/Feb 2004: 85-94
7. Gregory M. Nielson ν -Quaternion Splines for the Smooth Interpolation of Orientations, IEEE Transaction on visualization and computer graphics, vol. 10, no. 2, Mar/Apr 2004: 224-229
8. В.С. Бабков, Застосування методу “деформованих моделей” для реконструкції органів в КТ за умови обмеженої кількості вхідної інформації. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Спеціальний випуск за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції “ІКТ-2002”. – 207-214 сс.