КІБЕРНЕТИКА
та КОМП'ЮТЕРНІ
ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.932 DOI:10.34229/2707-451X.20.3.8

П.Ю. САБЕЛЬНІКОВ

АПРОКСИМАЦІЯ КОНТУРУ ОБ'ЄКТА У ЗОБРАЖЕННІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕКТОРНИХ ОПЕРАЦІЙ

Запропоновано удосконалений метод кусково-лінійної апроксимації контурів об'єктів у зображеннях, який дозволяє застосовувати на всіх етапах комп'ютерної обробки даних паралельні обчислення з використанням векторних операцій.

Ключові слова: *зображення, контур об'єкта, кусково-лінійна апроксимація, паралельні обчислення, векторні операції.*

Вступ. Паралельно з розвитком теоретичних основ, методів та алгоритмічної бази обробки цифрових зображень йде вдосконалення засобів сприйняття й оброблення відеоданих. Тобто відбувається взаємний вплив: з одного боку, техніка надає нові можливості для адаптації існуючих або розробки нових методів і алгоритмів для ефективнішого використання апаратних засобів, а з іншого − нові інформаційні потреби предметних областей вказують напрямки та стимулюють розвиток технічних засобів.

Одним з напрямків, пов'язаних з ідентифікацією, аналізом форми об'єктів, їх розміру, орієнтації, маркування та інших геометричних характеристик, є контурний аналіз [1, 2].

У літературі описано різні методи апроксимації контурів прямими лініями. Наприклад, у [3] наведено відомості про модифікований метод найменших квадратів, а у [4] про метод Форсена. Критерій апроксимації: відстань від кожної точки ділянки контуру, що апроксимується, до апроксимувального відрізка не повинна перевищувати похибку апроксимації. У роботі [5] пропонується метод, заснований на обчисленні растра для кожного початкового вузла апроксимації, у межах якого знаходиться апроксимувальна лінія, доки він не стане порожнім. Обчислення проводять послідовно для всіх точок контуру, не повертаючись для аналізу до попередніх точок, тому обчислювальна складність алгоритму пропорційна кількості точок у контурі. За похибку апроксимації обрано міжпіксельну відстань. Для застосовування довільної похибки апроксимації за цим методом введено додаткові умови [6], щоб коректно прийняти рішення про кінцеву точку апроксимувального відрізка, що відбивається на практичній реалізації методу.

Мета роботи – удосконалення методу кусково-лінійної апроксимації контурів об'єктів у зображеннях, що дозволить застосовувати на всіх етапах обробки паралельні обчислення з використанням векторних операцій.

Удосконалений метод кусково-лінійної апроксимації контуру засновано на відомому методі [5] з пошуком вузлів апроксимації, які належать контуру. За похибку апроксимації приймається довільна похибка ε. При цьому кількість вузлів апроксимації має бути якомога меншою.

Суть методу, що пропонується, полягає у послідовному пошуку можливих напрямків і кінцевих точок апроксимувального відрізка прямої лінії, що виходить з чергової початкової точки A_0 (рисунок). Операції проводяться над векторами, кількість компонентів яких дорівнює кількості оброблювальних пристроїв у векторному процесорі.

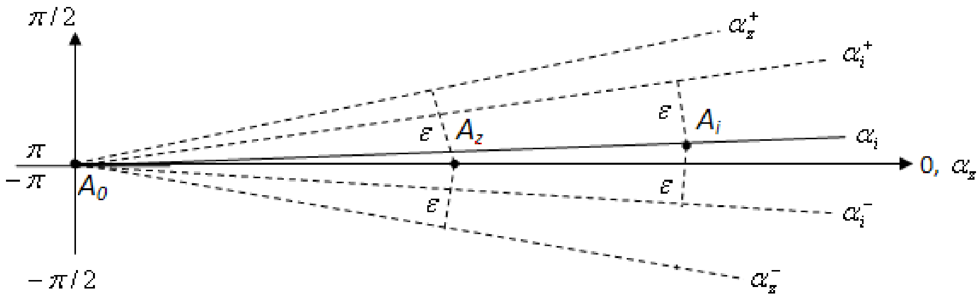

РИСУНОК. Приклад кусково-лінійної апроксимації

Метод передбачає таку послідовність дій.

1. Довільно вибирається початкова точка A_0 першої апроксимувальної лінії.

2. Цикл 1. Початкова точка чергової апроксимувальної лінії A_0 приймається за початок координат. Промінь, що проходить через точки A_0 і A_z першої групи точок, обирається за вісь *x*. A_z – це найближча до A_0 точка, в порядку обходу контуру, на відстані більш ніж ε. Тому $(\alpha_z^+ - \alpha_z^-) < \pi$.

3. Цикл 2. Для чергової групи точок ділянки контуру від A_z до A_i у новій системі координат з використанням векторних операцій обчислюються вектори кутів променів, які виходять з точки A_0:

$$V\alpha = (\alpha_z, ..., \alpha_i),\ V\alpha^+ = (\alpha_z^+, ..., \alpha_i^+),\ V\alpha^- = (\alpha_z^-, ..., \alpha_i^-).$$

Вхідними даними є вектори координат точок контуру. Перед обчисленням інтегральних векторів екстремумів для груп точок, починаючи з другої, за перші компоненти чергових векторів кутів променів беруться мінімальні значення від α_z^+ і $r\alpha_i^+$ та максимальні від α_z^- і $r\alpha_i^-$, де $r\alpha_i^+, r\alpha_i^-$ – компоненти інтегральних векторів, обчислені для попередньої групи.

4. За оригінальним методом обчислюються інтегральні вектори максимумів і мінімумів кутів променів (метод векторного обчислення надано далі):

$$R\alpha^+ = (r\alpha_z^+, ..., r\alpha_i^+),\ R\alpha^- = \{r\alpha_z^-, ..., r\alpha_i^-\},$$

де $r\alpha_m^+ = \min_{j=z}^{m}(\alpha_j^+),\ r\alpha_m^- = \max_{j=z}^{m}(\alpha_j^-),\ m = z \dots i$.

5. Обчислюється результуючий вектор *R*:

$$R = (R\alpha^- \le R\alpha^+) \wedge ((V\alpha << 1) \ge R\alpha^-) \wedge ((V\alpha << 1) \le R\alpha^+),$$

де $\le$, $\ge$ – операції порівняння компонентів, які знаходяться в однаковій позиції векторів, <<1 – операція зсуву компонентів вектора на одну позицію ліворуч. Починаючи від точки A_0 першої апроксимувальної лінії, у змінній *k* зберігається глобальний номер точки контуру, який відповідає позиції останньої одиниці праворуч в *R*, якщо така одиниця існує. Цей номер вказує на ймовірну позицію найдальшої кінцевої точки, для якої виконується друга умова апроксимації $(r\alpha_{k-1}^+ \ge \alpha_k \ge r\alpha_{k-1}^-)$.

6. Перевіряється перша умова існування апроксимувальної лінії:

$$(R\alpha^{-} \le R\alpha^{+}) = (1,1,...,1).$$

Якщо так, береться наступна група точок контуру, починаючи з останньої точки попередньої групи, яка вважається початковою точкою групи A_z . Виконуються дії, починаючи з п. 3, як і для попередньої групи точок.

Якщо ні, номер k відповідає позиції найдальшої кінцевої точки чергової апроксимувальної лінії. Відповідно, ця точка буде початковою точкою A_0 наступної апроксимувальної лінії.

7. Дії повторюються з п. 2 до повернення в точку A_0 першого апроксимувального відрізка прямої лінії.

Для спрощення обчислень, щоб уникнути операцій *arcsin, arccos,* замість векторів значень кутів використовуються вектори значень синусів та косинусів цих кутів.

Обчислення інтегральних векторів екстремальних значень послідовності чисел

На етапі 4 використовується запропонований метод паралельного обчислення інтегральних векторів екстремальних значень послідовності чисел $R\alpha^{+}$, $R\alpha^{-}$, які обчислюються за допомогою векторних операцій, що пришвидшує обчислювальний процес. Він полягає у такому.

Нехай вхідний вектор $A = (a_0, a_1, \ldots, a_{n-1})$ з кількістю компонентів n заноситься в результуючий вектор T. Послідовно, крок за кроком, здійснюється операція вибору екстремальних значень між компонентами, які знаходяться в однаковій позиції вектора T і цього ж вектора, зсунутого праворуч на 2^{i-1} позицій. Результат записується у вектор T ($T = extrem(T,(T>>2^{i-1}))$), де *extrem* це min або max, i – номер кроку, що змінюється в діапазоні від 1 до $Ceil(log_2 n)$, функція $Ceil(C)$ повертає найближче до C ціле число, яке є не меншим C ($\ge C$), $>>2^{i-1}$ – операція зсуву компонентів вектора праворуч на 2^{i-1} позицій. При зсуві праворуч звільнені позиції заповнюються значеннями крайніх лівих компонентів цього вектора.

Обґрунтування коректності методу обчислення інтегрального вектора екстремальних значень послідовності чисел

Перевірка коректності методу здійснюється за рахунок дослідження номерів компонентів вектора, значення яких крок за кроком обчислюються в довільній позиції вектора T. Розглянемо варіант обчислення інтегрального вектора мінімальних значень послідовності чисел $A = (a_0, a_1, \ldots, a_7)$.

Після занесення послідовності чисел A у вектор T в позиції t_j буде компонент a_j. На кожному наступному кроці, згідно з методом, у цій позиції матимемо мінімальне значення результату попереднього кроку і такого ж результату з позиції, індекс якої на 2^{i-1} менший, що відповідає операції зсуву вектора на 2^{i-1} позицій праворуч:

0) $t_j = a_j$,

1) $t_j = \min(a_j, a_{j-1})$,

2) $t_j = \min(\min(a_j, a_{j-1}), \min(a_{j-2}, a_{j-3}))$,

3) $t_j = \min(\min(\min(a_j, a_{j-1}), \min(a_{j-2}, a_{j-3})), \min(\min(a_{j-4}, a_{j-5}), \min(a_{j-6}, a_{j-7})))$.

Оскільки операція обчислення екстремуму асоціативна, дужки можна розкрити. За j можна взяти номер довільного елемента, результатом буде екстремум від значень усіх попередніх елементів, включаючи цей елемент (елементи з від'ємним індексом дорівнюють a_0). Що і потрібно було довести. Метод може бути реалізований на спеціалізованому векторному процесорі [7], або програмно з використанням векторних команд універсальних процесорів.

Висновки. Запропоновано удосконалений метод кусково-лінійної апроксимації контурів і метод обчислення інтегральних векторів екстремальних значень послідовності чисел, які реалізуються із застосуванням векторних операцій та надають можливість прискорити розв'язання задач контурного аналізу, а також інших подібних задач у режимі реального часу. Виграш у швидкості обчислень пропорційний кількості даних, які може одночасно обробити векторний процесор. Наявність розвинутих підсистем із сотнями різноманітних векторних команд у процесорах фірм Intel та ARM дозволяє на практиці використовувати запропоновані методи обчислень.

Список літератури

1. Фурман Я.А., Юрьев А.Н., Яншин В.В. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1992. 248 с. https://www.twirpx.com/file/260742/
2. Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К. и др. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов. Под ред. Я.А. Фурмана. 2-е изд., испр. М.: *Физматлит*, 2003. 592 с. https://www.twirpx.com/file/190580/
3. Мельник Э.И. Выделение прямых и дуг окружностей в технических чертежах. *Автоматизация обработки и распознавания изображений*. Минск: ИТК АНБ, 1995. С. 147–154.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений Т. 2. М.: Мир, 1982. 480 с. https://www.twirpx.com/file/73664/
5. Бутаков Е.А., Островский В.И., Фадеев И.Л. Обработка изображений на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1987. 240 с. http://computersbooks.net/books/photoshop/butakov-ea/1987/files/obrabotkaizobrageniynaevm1987.djv
6. Боюн В.П., Сабельніков П.Ю., Сабельніков Ю.А. Апроксимація замкненого контурного зображення багатокутником. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2013. С. 89‒97. http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/69713
7. Сабельніков П.Ю. Векторний операційний пристрій: пат. України на винахід №120139. Ін-т кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. МПК G06F 7/00. № a2018 00961; заявл. 02.02.2018; опубл. 10.10.2019. Бюл. № 19. 5 с. https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=262085

Одержано 14.08.2020

Сабельніков Павло Юрійович,
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.
http://www.nas.gov.ua/UA/PersonalSite/Pages/default.aspx?PersonID=0000018440
pavelsabel@gmail.com

УДК 004.932

П.Ю. Сабельников

Аппроксимация контура объекта в изображении с применением векторных операций

Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев
Переписка: pavelsabel@gmail.com

Введение. Одним из направлений, связанных с идентификацией, анализом формы объектов, их размера, ориентации, маркировки и других геометрических характеристик, является контурный анализ.

В литературе описаны различные методы аппроксимации контуров. Предлагаемый метод основан на известном методе. Его суть заключается в последовательном поиске возможных направлений и конечных точек аппроксимирующих отрезков прямых линий, принадлежащих контуру. Количество узлов аппроксимации должно быть как можно меньшим. Вычисления проводят только для очередной точки контура, не возвращаясь для проверки критерия аппроксимации ко всем предыдущим точкам. Вычислительная сложность алгоритма пропорциональна количеству точек в контуре.

Цель работы − предложить метод кусочно-линейной аппроксимации контуров объектов в изображениях, который позволит применять на всех этапах компьютерной обработки параллельные вычисления с использованием векторных операций.

Результаты. В работе предложен усовершенствованный метод кусочно-линейной аппроксимации замкнутого контура объекта в изображении многоугольником, вершинами которого являются непосредственно точки этого контура. Критерий аппроксимации: расстояние от каждой точки аппроксимируемого участка контура до аппроксимирующего отрезка не должно превышать погрешность аппроксимации. Метод ориентирован на параллельные вычисления с использованием векторных операций.

Также предложен метод параллельного вычисления интегральных векторов экстремальных значений последовательности чисел для реализации параллельных вычислений с использованием векторных операций на всех этапах аппроксимации.

Выводы. Предложены методы, которые реализуются с применением векторных операций и предоставляют возможность ускорить решение задач контурного анализа, а также других подобных задач в режиме реального времени. Выигрыш в скорости вычислений пропорционален количеству данных, которые может одновременно обработать векторный процессор. Наличие развитых подсистем векторных команд в процессорах компаний Intel и ARM позволяет на практике использовать предложенные методы вычислений.

Ключевые слова: изображение, контур объекта, кусочно-линейная аппроксимация, параллельные вычисления, векторные операции.

UDC 004.932

P. Sabelnikov

Approximation of the Contour of an Object in an Image Using Vector Operations

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv
Correspondence: pavelsabel@gmail.com

Introduction. One of the directions associated with identification, analysis of the shape of objects, their size, orientation, marking and other geometric characteristics is contour analysis.

Various methods for contour approximation are described in the literature. The proposed method is based on a well-known method. Its essence lies in the sequential search for possible directions and end points of approximating straight line segments belonging to the contour. The number of approximation nodes should be as small as possible. The calculation is carried out only for the next point of the contour, without returning to check the criterion of approximation to all previous points. The computational complexity of the algorithm is proportional to the number of points in the contour.

The purpose of the paper to propose a method of piecewise linear approximation of the contours of objects in images, which will allow to use the parallel computations at all stages of computer processing using vector operations.

Results. The paper proposes an improved method for piecewise linear approximation of a closed contour of an object in an image by a polygon, the vertices of which are directly the points of this contour. Approximation criterion: the distance from each point of the approximated section of the contour to the approximating segment should not exceed the approximation error. The method is focused on parallel computing using vector operations.

A method for parallel computation of integral vectors of extreme values of a sequence of numbers for the implementation of parallel computations using vector operations at all stages of approximation is also proposed.

Conclusions. Methods are proposed that are implemented using vector operations and provide an opportunity to speed up the solution of contour analysis problems, as well as other similar problems in real time. The gain in computing speed is proportional to the amount of data that a vector processor can simultaneously process. The presence of developed subsystems of vector instructions in Intel and ARM processors makes it possible to use the proposed computation methods in practice.

Keywords: image, object contour, piecewise linear approximation, parallel computations, vector operations.