ВІЗУАЛІЗАЦІЯ R-ФУНКЦІЙ В ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ЗІ СПІЛЬНОЮ ПАМ'ЯТТЮ

Ігнатченко М. С., Кудін О. В., к.ф.-м.н., доцент

Запорізький національний університет, Україна

Abstract. The use of numerical methods for solving boundary value problems requires the creation of discrete models of geometric regions of complex shape. The automatic generation of mesh can be divided into two independent problems: creating a formal description of the initial geometric region and building its discrete model based on this description. The most difficult is precisely the first problem. A universal way of formally describing geometric regions of arbitrary shape is to use R-functions, which allow using logical operations of inversion, conjunction, and disjunction over elementary mathematical relations to construct implicit functions that uniquely describe the boundary of an arbitrary geometric object.

This paper proposes a parallel algorithm for constructing and visualizing implicit R-functions in shared-memory computing systems. The algorithm was implemented using the C++ Standard library (C++11 version). The software was implemented and a number of computational experiments were carried out, which showed the effectiveness of the proposed algorithm on computers with various types of processors.

Ключові слова: R-ФУНКЦІЯ, ДИСКРЕТНА МОДЕЛЬ, ПАРАЛЕЛЬНИЙ АЛГОРИТМ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЗІ СПІЛЬНОЮ ПАМ'ЯТТЮ.

Практичне застосування чисельних методів для розв'язання крайових задач потребує створення дискретних (сіткових) моделей геометричних об'єктів складної форми. Проблему автоматичної генерації сіткової моделі можна поділити на дві окремі задачі: 1) формальний опис вихідного геометричного об'єкту та 2) побудову відповідної дискретної моделі за цим описом [1-3].

Найбільш складним є перший етап, особливо для геометричних об'єктів нетипової або складної форми. Універсальним та природним підходом до параметричного опису геометричного об'єкту будь-якої форми є використання апарату R-функцій [4], які дозволяють за допомогою логічних операцій інверсії, кон'юнкції та диз'юнкції над елементарними математичними

співвідношеннями будувати неявні функції, що однозначно описують границю геометричної області довільної форми. Однак, геометричне моделювання із застосуванням R-функцій є досить складним процесом, оскільки в силу їх неявної природи навіть візуалізація таких функцій є непростою задачею. Найбільш відомою програмною системою візуалізації R-функцій є РАНОК [5, 6]. Проте ця програма використовує послідовні рекурсивні алгоритми і є досить повільною. Таким чином, виникає задача створення ефективних алгоритмів візуалізації неявних функцій із застосуванням можливостей сучасної багатопроцесорної (багатоядерної) обчислювальної техніки.

Для візуалізації геометричних об’єктів, описаних за допомогою неявних функцій, в першу чергу необхідно отримати певний набір опорних точок, що належать границі вихідного об’єкту, а потім на цьому наборі побудувати воксельне [6] або гранично-елементне представлення об’єкту, зручне для подальшої візуалізації. Задача ефективного пошуку множини точок, в яких R-функція приймає нульові значення, на сьогодні є актуальною й вимагає розробки відповідних підходів і алгоритмів.

Для отримання такої множини пропонується застосувати метод паралельної декомпозиції «Розділяй і володарюй» [7]. Згідно з ним вихідна задача пошуку множини граничних точок, поділяється на певну сукупність підзадач, які розв’язуються паралельно, а отримані результати згодом об’єднуються. Після отримання кінцевої множини граничних точок (в яких R-функція приймає нульове значення), для швидкої візуалізації поверхні об’єкту аналогічним чином застосовується паралельна версія алгоритму Marching Cubes [8]. Розроблений асинхронній алгоритм було програмно реалізовано із застосуванням стандартної бібліотеки C++ (версія C++11). Приклад візуалізації за його допомоги R-функції «Чашка» [5] наведено на рис. 1.

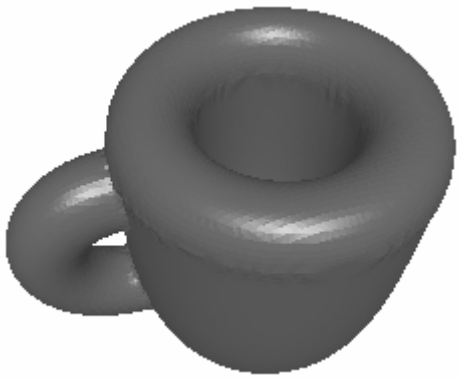

Рисунок 1 – Приклад візуалізації геометричного об’єкта «Чашка»

Для тестування алгоритму на комп'ютері з процесором AMD Ryzen 7 2700X Eight-Core Processor (тактова частота 3.70 ГГц) і об'ємом оперативної пам'яті 32 Гбайт під управлінням операційної системи Windows 10 було проведено обчислювальний експеримент. Для пошуку границі області застосовувалася опорна сітка, що складалася з 300x300x300 вузлів. Час роботи алгоритму для побудови зображення геометричної області «Чашка» при різній кількості задіяних обчислювальних потоків наведено на рис. 2.

Рисунок 2 – Час роботи алгоритму при різній кількості задіяних потоків

З наведеного графіку видно, що час роботи паралельного алгоритму логарифмічно зменшується при зростанні кількості використаних потоків до того моменту, коли їх кількість не стане рівною кількості фізичних ядер процесора (AMD Ryzen 7 – 8).

Таким чином, розроблений паралельний алгоритм візуалізації тривимірних геометричних областей, описаних за допомогою R-функцій, є простим і легким в практичній реалізації, а також характеризується високою швидкістю роботи. Його застосування дає можливість досліднику підвищити ефективність своєї роботи при геометричному моделювання об'єктів складної форми для подальшої побудови їх дискретних представлень. Перспективою розвитку цього алгоритму є його адаптація для застосування на мультикомп'ютерах.

Література

1. Чопоров С. В., Гребенюк С. Н., Гоменюк С. И. Функциональный подход к геометрическому моделированию технических систем. Запоріжжя: ЗНУ, 2016. 177 с.

2. Чопоров С. В., Гоменюк С. И., Алатамнех Х. Х., Оспищев К. С. Методы построения дискретных моделей: структурированные и блочно-структурированные сетки. *Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки*. Запоріжжя: ЗНУ, 2016. № 1.С. 272–284.

3. Чопоров С. В., Лисняк А. А., Борисовская Ю. А., Козлова О. С., Снежкова Л. С. Методы построения дискретных моделей: неструктурированные сетки. Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки. Запоріжжя: ЗНУ, 2016. № 2. С. 237–250.

4. Рвачев В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. Киев: Наукова думка, 1982. 106 с.

5. Толок А. В., Мыльцев А. М., Корогод В. Л. Аналитическое моделирование на основе графических преобразований в системе РАНОК. Вісник Запорізького національного університету: Фізико-математичні науки. Запоріжжя: ЗНУ, 2006. № 1. С. 124–133.

6. Толок А. В. Функционально-воксельный метод в компьютерном моделировании. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2016. 112 с.

7. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. Москва: Вильямс, 2005. 1296 с.

8. William E. L., Harvey E. C. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. Computer Graphics. Vol. 21 (4). 1987. P. 163–169.

References

1. Choporov S. V., Grebenyuk S. N., Homeniuk S. I. (2016). Functional approach to geometric modeling of technical systems. Zaporizhzhya: ZNU. (in Russian).

2. Choporov S. V., Homeniuk S. I., Alatamneh H. H., Ospischev K. S. (2016). Methods for constructing discrete models: structured and block-structured grids. *Visnik Zaporizkogo nacionalnogo universitetu.: Zbirnik naukovih statej. Fiziko-matematichni nauki*. Zaporizhzhya: ZNU. Vol. 1. pp. 272–284. (in Russian).

3. Choporov S. V., Lisnyak A. A., Borisovskaya Y. A. , Kozlova O. S., Snezkova L. S. (2016). Discrete Model Building Methods: Unstructured Grids. *Visnik Zaporizkogo nacionalnogo universitetu.: Zbirnik naukovih statej. Fiziko-matematichni nauki*. Zaporizhzhya: ZNU. Vol. 2. P. 237–250. (in Russian).

4. Rvachev V. L. (1982). Theory of R-functions and Applications. Kyiv: Naukova Dumka. (in Russian).

5. Tolok A. V., Mylcev A. M., Korogod V. L. (2006). Analytical modeling based on graphic transformations in the RANOK system. *Visnik Zaporizkogo nacionalnogo universitetu.: Zbirnik*

naukovih statej. Fiziko-matematichni nauki. Zaporizhzhya: ZNU. Vol. 1. P. 124–133. (in Russian).

6. Tolok A. V. (2016). Functional voxel method in computer simulation. Moscow: FIZMATLIT. (in Russian).

7. Kormen T., Lejzerson Ch., Rivest R., Shtajn K. (2005). Algorithms: construction and analysis. Moscow: Vilyams. (in Russian).

8. William E. L., Harvey E. C. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. Computer Graphics. Vol. 21 (4). 1987. P. 163–169.