

ПОСТРОЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ИЗОПОВЕРХНОСТЕЙ СКАЛЯРНЫХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА НЕНАПРАВЛЕННОЙ МАРКИРОВКИ

Белоус Н.В., Кобзарь Г.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Пропонується використання алгоритму ненаправленого маркірування для ефективного побудування локальних ізоповерхонь скалярних полів, що підвищує швидкість побудови відносно найбільш ефективного алгоритму на основі РОТ, та забезпечую часткову побудову ізоповерхонь та також облік внутрішнього об'єму.

Введение. Построение изоповерхностей - одно из важнейших средств визуализации многомерных скалярных полей. Процесс построения направлен на выделение контура постоянной скалярной величины. Таким образом, обеспечивается эффективное выявление внутренних структур поля, таких как границы различных тканей в томографии, ударной волны в экспериментах с жидкостями и изменения трехмерных контуров (поверхностей) в процессе физических симуляций.

Со времени публикации алгоритма бегущих кубов [1] было предложено множество способов построения изоповерхностей, поскольку наборы точек таких поверхностей являются входными данными для этого алгоритма. Результат работы алгоритма - трехмерные полигональные модели, т.е. представление изоповерхностей в форме, позволяющей наиболее эффективно визуализировать внутренние структуры поля.

Основной задачей подготовки к работе алгоритма является выделение набора активных ячеек (параллелепипеды, каждый из которых состоит из восьми ограничивающих вершин дискретного скалярного пространства), которые пересекаются изоповерхностью. Последние исследования направлены на уменьшения объема данных и вычислений, необходимых для построения изоповерхностей, поскольку объемы входных данных иногда не позволяют разместить все значения скалярных полей в памяти вычислительных машин.

Предложены методы, более чувствительные к размеру поверхности, чем к объему полного набора данных [2]. Более прогрессивные методы позволяют восстанавливать только необходимые участки изоповерхности [3,4]. Наиболее эффективный метод основан на применении Устойчивого октантного дерева (РОТ), которое позволяет очень эффективно выделять активные ячейки. В самом худшем случае вычислительные затраты такого алгоритма будут $O(\log N + K)$ (где N – количество всех ячеек, а K – количество активных ячеек), а объем необходимой памяти - $O(N)$.

Все эти методы рассчитаны на выделение всех поверхностей, соответствующих заданному изоуровню и дальнейшее повышение эффективности ограничивается самой постановкой задачи. Однако в медицинских исследованиях чаще всего необходимо строить не все изоповерхности трехмерных данных томографии, а лишь поверхности, соответствующие исследуемому органу или части тела. Подобные задачи возникают и в других сферах, где необходимы локальные исследования изоповерхностей многомерных данных.

Предлагается использовать алгоритм ненаправленной маркировки [5] для построения локальных частей изоповерхности, поскольку применение этого алгоритма позволит свести вычислительные затраты к $O(K)$, что является более эффективным решением задачи построения локальной части изоповерхности.

1 Алгоритм ненаправленной маркировки

Алгоритм ненаправленной маркировки представляет собой модификацию алгоритма быстрого марша, предназначенного для решения более узко специализированной задачи построения скалярного поля T , представляющее решение так называемого Эikonального уравнения:

$$|\nabla T|,$$

где T – скалярное поле, $T=0$ в точках распространения.

Поле T является аппроксимацией расстояния до точек распространения. Алгоритм ненаправленной маркировки отбрасывает процесс вычисления поля T путем нахождения минимальных значений, оставляя процесс последовательного расширения последовательности за счет соседних точек.

Алгоритм ненаправленной маркировки основан на использовании последовательности точек (описанных лишь своими координатами в исходном объеме данных), представляющей линию фронта

распространения от исходных точек - очага распространения. Для простоты будем называть ее последовательностью линией распространения (ПЛР).

ПЛР может быть модифицирована только двумя способами: добавление новой точки в конце последовательности и удаление точки в ее начале. Тогда алгоритм можно описать в виде следующего набора правил.

а) В начальном состоянии ПЛР представляет собой последовательность начальных точек.

б) Каждый следующий шаг представляет собой добавление 4-х соседних точек в конец ПЛР.

г) После того как все 4 точки окружения проанализированы, рассматриваемая точка удаляется из ПЛР.

д) Шаги в) и г) выполняются до тех пор, пока ПЛР содержит хотя бы одну точку.

Пример работы алгоритма показан на рис. 1.

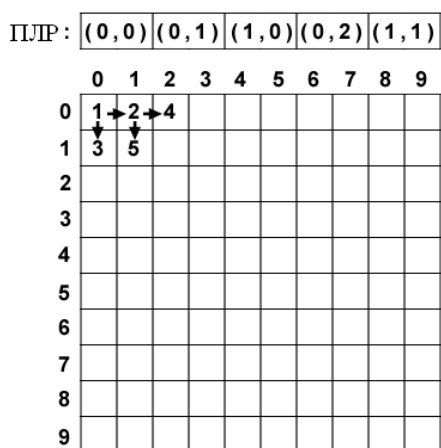


Рис. 1 –Пример построения ПЛР

2 Построение локальной части изоповерхности в трехмерном измерении

Предлагаемое применение алгоритма ненаправленной маркировки является интерактивным процессом, т.е. требует указания начальной ячейки для распространения со стороны пользователя. Далее алгоритм автоматически обходит все активные ячейки локальной части изоповерхности, проходящей через указанную ячейку, начиная с нее.

Очевидно, описанный для двухмерного случая алгоритм несложно модифицировать к работе в трехмерном измерении. Для этого изменяется лишь пункт б) добавления соседних точек. Кроме того, на этом же этапе соседние ячейки анализируются на предмет активности

и добавляются в ПЛР только в том случае, если действительно являются активными.

В результате алгоритм обходит только точки исследуемой локальной части изоповерхности, что сводит время работы алгоритма к $O(K)$, где K – количество ячеек искомой части изоповерхности.

Специфика алгоритма также позволяет исследовать структуру внутреннего объема построенной изоповерхности, так как последующее расширение «внутри» позволяет эффективно быстро измерить объем и восстановить скелет [5].

Заключение

Таким образом, предлагаемое применение алгоритма ненаправленной маркировки для построения локальных частей изоповерхности позволяет свести вычислительные затраты к $O(K)$, что является более эффективным решением задачи построения изоповерхности по сравнению с алгоритмом POT, а также обеспечивает учет внутреннего объема построенных изоповерхностей для дополнительных исследований.

Перечень ссылок

1. W. E. Lorensen and H. E. Cline., Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm // ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1987, vol. 21(4), pp.163-169.
2. A. Mascarenhas, M. Isenburg, V. Pascucci, and J. Snoeyink, Encoding volumetric grids for streaming isosurface extraction // 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT 2004), 2004, pp. 665-672.
3. S. Parker, P. Shirley, Y. Livnat, C. Hansen, and P.-P. Sloan, Interactive ray tracing for isosurface rendering // IEEE Visualization, 1998, pp. 233-238.
4. Q. Shi, J. JaJa, Isosurface extraction and spatial filtering using Persistent OcTree (POT) // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 12(5), 2006, pp. 1283-1290.
5. Белоус Н.В., Кобзарь Г.А., Маркировка компонентов бинарных изображений с параллельным выделением их контура и скелета // Компьютерное моделирование и интеллектуальные системы: сборник научных трудов / Под ред. Д.М. Пизы, С.О. Субботина. – Запорожье: ЗНТУ, 2007. - С. 17 – 22.

Поступила 12.05.2007 г.