

Интерактивная визуализация изоповерхностей для динамически изменяющихся скалярных полей

Максим Казаков
Московский Физико-Технический Институт
Москва, Россия

Аннотация

В данной работе рассматривается вопрос использования поверхностей постоянного значения скалярных функций в R^3 для задания сложных геометрических сцен в системах виртуальной реальности и предложен метод интерактивной визуализации таких геометрических объектов, базирующийся на Marching Cubes. Предложенный метод позволяет строить поверхность постоянного значения с различной степенью детализации в разных её частях в зависимости от расстояния до наблюдателя и интерактивно перестраивать его при перемещении. Кроме того, данный метод предоставляет возможность обработки изменения значений функции и соответствующей перестройки поверхности с темпами, близкими к интерактивным, что предоставляет возможности по визуализации сложных, динамически изменяющихся сцен в системах виртуальной реальности.

Ключевые слова: Визуализация изоповерхностей, упрощение геометрического представления, Marching Cubes.

1. ВВЕДЕНИЕ

Методы визуализации скалярных функций, заданных в трёхмерном пространстве, могут использоваться не только в научной визуализации, но и в системах виртуальной реальности, где для задания геометрической оболочки может быть использовано функциональное представление геометрических объектов. Функциональное представление задаёт геометрический объект как поверхность постоянного значения для некоторой вещественной функции, заданной в R^3 , которая, в свою очередь, является комбинацией набора других вещественных функций. В рамках функционального представления, или F-гер, существует набор теоретико-множественных операций, позволяющих строить функции, поверхности постоянного значения которых являются объединением, пересечением и т.д. поверхностей постоянного значения для других функций, что позволяет строить сложные геометрические объекты из набора примитивов. Кроме того, такая простая операция, как прибавление константы к функции, позволяет в некоторых случаях существенным образом изменить форму геометрического объекта при

минимуме затрат на изменение его функционального представления. Детальное описание операций над геометрическими объектами, заданными с помощью функционального представления, можно найти в [3]. Использование такого подхода для задания геометрической оболочки в системах виртуальной реальности обладает рядом достоинств: простота модификации геометрии, возможность внесения в неё локальных изменений (это удобно при моделировании образования “выемок” как результата воздействия пользователя), простота определения пересечения с геометрической оболочкой, зависимость формы объекта от времени, задаваемой как зависимость от времени визуализируемой функции т.д. В тоже время имеется и ряд недостатков: сложность задания реальных объектов, большой объём вычислений при использовании сложных функций, а также далёкие от интерактивных времена визуализации поверхностей постоянного значения.

Последняя проблема особенно существенна при использовании функционального представления в системах виртуальной реальности для задания геометрического окружения. Она связана с несколькими обстоятельствами:

- такие методы построения и полигонализации изоповерхности, как Marching Cubes, генерируют достаточно большое число полигонов, вполне способное перегрузить доступные графические платформы;
- при использовании большинства существующих методов упрощения полигональных моделей создание упрощённого представления требует длительного по времени шага предварительной обработки исходной модели, что делает невозможным их применение для интерактивной визуализации изменяющихся моделей.

2. ИНТЕРАКТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИЗОПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СКАЛЯРНЫХ ПОЛЕЙ

Рассматриваемый в данной работе метод должен был решить задачу визуализации геометрической оболочки в системе виртуальной реальности, задаваемой поверхностью постоянного значения для скалярного поля, заданного на равномерной кубической сетке. В связи с этим требовалось:

- для сокращения числа полигонов строить поверхность с различной степенью детализации в зависимости от расстояния до наблюдателя;
- обрабатывать изменения в исходных данных и визуализировать их с интерактивным темпом для обеспечения возможности модификации геометрической оболочки.

Основная идея используемого метода упрощения геометрического представления состоит в выделении на исходной сетке набора вложенных областей, в которых генерация геометрического представления происходит с различной степенью детализации. Ячейки в таких областях содержат подмножество узлов исходной сетки и имеют в 2^n раз больший размер, чем ячейки исходной сетки. Это приводит к сокращению числа полигонов в такой области в среднем в 4^n раз по отношению к поверхности, построенной на исходной сетке. При этом также происходит упрощение геометрии, поскольку исчезают детали с характерным размером 2^{n-1} , а также упрощение топологии, поскольку к таким деталям можно отнести и отверстия, и выемки в поверхности, построенной на исходной сетке.

При построении поверхности постоянного значения метод осуществляет стыковку её участков на границе областей.

Положение этих областей изменяется вместе с положением наблюдателя, обеспечивая тем самым соответствующее изменение степени детализации частей поверхности постоянного значения.

Результат работы метода упрощения полигонального представления для участка тестовой сцены показан на рис. 1.

Кроме проблемы упрощения полигонального представления существовала ещё проблема обработки и визуализации изменений визуализируемой функции. Фактически она сводилась к обработке изменений значений в узлах сетки. Для её эффективного решения был использован тот факт, что построенная с помощью метода Marching Cubes поверхность постоянного значения состоит из набора полигональных участков, генерируемых для каждой из ячеек сетки, пересекаемых поверхностью постоянного значения. Это позволяет для каждого узла сетки, значение в котором изменяется, определить набор участков поверхности, затрагиваемых этим изменением, и ограничить число затрагиваемых ячеек как $8 \cdot n$, где n – число узлов сетки, затронутых изменениями (один узел может содержаться 8ю ячейками). Если узлы разделяют общие ячейки, то константа перед n становится меньше. Таким образом, перестраивать поверхность можно за время, пропорциональное объёму изменений.

Реализация рассмотренного в данной работе метода позволила на доступной вычислительной платформе (Pentium II 300 MHz, 128 Mb RAM, Diamond Viper 330 AGP, 4.3 Gb HD) показала возможность интерактивной визуализации поверхности постоянного значения для скалярной функции заданной на сетке размером

128x128x128, при этом в область видимости попадал участок сетки размером 25x25x25.

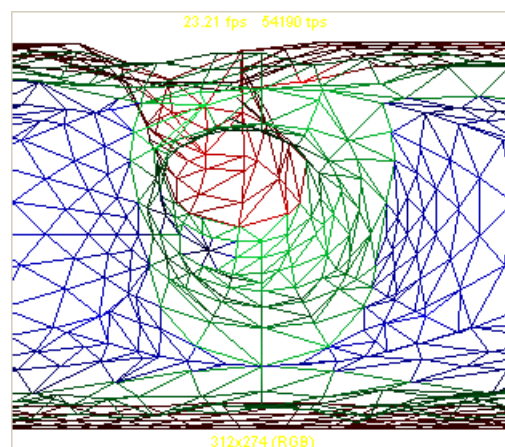


Рис. 1

3. ЛИТЕРАТУРА

[1] Lorensen, Cline. "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", Computer Graphics, Vol. 21.

[2] He, Hong, Varshney, Wang. "Controlled Topology Simplification", IEEE Trans. on Visualization & Computer Graphics, Vol. 2 No. 2 1996

[3] Pasko A., Adzhiev V., Sourin A., Savchenko V. Function representation in geometric modeling: concepts, implementation and applications, The Visual Computer, vol.11, # 8, 1995, pp. 429-446.

Автор:

Максим Казаков - студент Московского Физико-Технического Института.
 Адрес: 141700, г. Долгопрудный Московской обл. МФТИ-7
 Телефон: (095) 4087227
 E-mail: max@crec.mipt.ru

Interactive isosurface visualization for dynamically changing scalar fields

Abstract. This paper concerns geometric scene construction by isosurfaces of scalar functions in the virtual environments. It describes the method of interactive visualization of such geometrical objects based on Marching Cubes algorithm and features LOD surface generation and interactive isosurface changes visualization.

Key-words: Marching Cubes, isosurface visualization, LOD rendering, virtual environments