УДК 681.3

МЕТОДЫ СИНТЕЗА РЕАЛИСТИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕЛЬЕФОВ И ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ТРЕХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

Лисеенко В.В., Зори С.А.
Донецкий национальный технический университет
кафедра прикладной математики и информатики
E-mail: liseenko.vitaliy.vladimirovich@gmail.com, zori@pmi.dgtu.donetsk.ua,

Аннотация

Лисеенко В.В., Зори С.А. Методы синтеза реалистичных изображений рельефов и ландшафтов для параллельных вычислительных систем трехмерной компьютерной графики. *Рассматривается актуальность и постановка задачи синтеза изображений рельефов и ландшафтов для систем компьютерной графики. Анализируются основные современные методы построения изображений рельефов и ландшафтов для дальнейшего исследования эффективности их реализации на параллельных вычислительных системах.*

Введение

В сложных высоко реалистичных системах виртуальной реальности одной из задач синтеза визуальной обстановки является генерация изображений рельефов местности.

Технологии синтеза изображений рельефов и ландшафтов необходимы во многих сферах человеческой деятельности, так как область применения техник визуализации очень широка. Основные области применения можно определить следующие:

1) Представление топографических данных в гео-информационных системах.
2) Тренажеры-симуляторы (авиационные, наземного автомобильного транспорта, поездов), которые включают в себя моделирование рельефа.
3) Программы для проектирования ландшафтного дизайна и строительства.
4) Различные компьютерные и видео игры, связанные с визуализацией рельефов.
5) Системы виртуальной и расширенной реальности.

Существует большое количество методов для синтеза реалистических изображений рельефов и ландшафтов, эффективность использования и реализации которых сегодня существенно повышается в связи с наличием высокопроизводительных GPU и новейших технологий вычислений общего назначения на них (CUDA (NVidia), FireStream (ATI) и пр.).

Постановка задачи

С геометрической точки зрения рельеф может быть представлен как трехмерная поверхность общего вида. Наиболее естественным способом задания такой поверхности является двумерная векторная функция $\rho = R^2 \to R^3$, которую можно задать параметрически: $\rho(i, j) = [x(i, j), y(i, j), z(i, j)]$. Наиболее естественным векторным форматом являются TINs, кусочно-линейно аппроксимирующие моделируемый рельеф ρ сетью треугольников. Растровые форматы, являющиеся двумерными сеточными функциями с регулярным шагом, типично представлены картами высот (цифровые модели местности – ЦММ) $h: R^2 \to R$, такой что $\rho(x, z) = [x, h(x, z), z]; x, z \in [0, W], y \in [0, H]$, где W и H – ширина и высота карты высот соответственно и де-факто есть основным входным форматом.

Основной задачей является построение достаточно точной полигональной аппроксимации входных данных, удовлетворяющим некоторым критериям аппроксимации, в однородном пространстве и последующая ее визуализация. Выделяют два класса критериев:

видозависимые (VD) и видонезависимые (VI). Ошибки, внесенные алгоритмом построения аппроксимаций, оцениваются пошагово, и общая ошибка алгоритма рассматривается как средняя ошибка, либо как максимальная ошибка. При визуализации типично рассматривается не вся модель, а только ее часть, ограниченная четырехмерным кубом, проекция которого на изначальное трехмерное пространство представлена так называемой усеченной пирамидой видимости.

Для выполнения задач визуализации в реальном времени необходима скорость смены кадров в пределах 25-50 FPS. Современные графические системы на базе ПК могут обеспечить производительность синтеза на уровне 10^8 треугольников в секунду, что является недостаточным для моделирований реальных ЦММ большого объема. Следовательно, для увеличения производительности методов визуализации необходимо максимально эффективно применять распараллеливание большинства вычислений.

Таким образом, задачу синтеза реалистичных изображений рельефов и ландшафтов можно представить следующим образом:

1. В мировой системе координат задана карта высот с регулярным шагом (ЦММ);
2. Необходимо построение точной полигональной аппроксимации по карте высот;
3. Визуализация результатов (рис. 1) полигональной аппроксимации с учетом эффектов освещения и затенения.

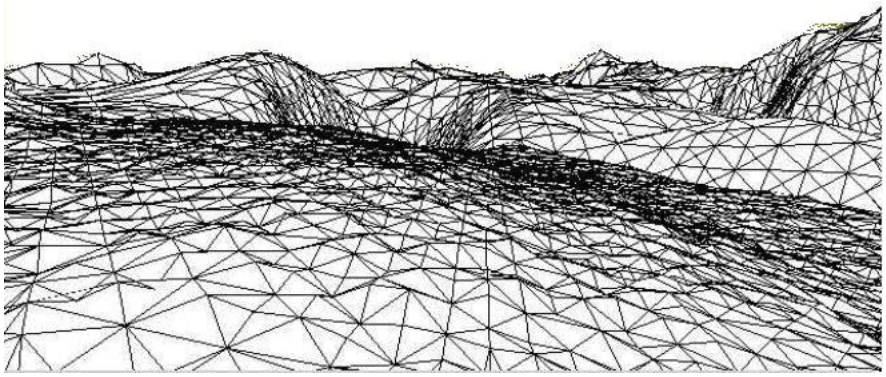

Рис. 1 – Результат визуализации

Анализ алгоритмов визуализации рельефов

Прямое решение - т.е. визуализация полигональной сетки рельефа, неявно заданной картой высот, аппаратно-программными средствами целевой платформы не является эффективным решением задачи как минимум по двум причинам: недостаток вычислительной мощности для визуализации необходимого количества треугольников и уменьшение скорости построения кадра при увеличении размера карты высот.

Эти требования приводят к необходимости построения упрощенной полигональной модели. Такое упрощение возможно за счет: отбрасывания полигонов, не попадающих в VF; отбрасывания полигонов, полностью перекрытых другими полигонами, находящимися ближе к наблюдателю; представления некоторых участков рельефа с меньшей детализацией (уровни детализации LOD).

Целевая полигональная сеть может быть построена из композиции как отдельных треугольников, так и связных семейств треугольников, называемых заплатками или патчами, что является более эффективным подходом. Типичные структуры данных, с использованием которых может быть реализовано построение LOD:

- сеть треугольников со вспомогательной информацией в виде дерева либо другой структуры данных;
- множество одноразмерных заплаток, размещенных мозаичным способом;
- дерево, типично бинарное дерево треугольников или квадродерево квадратов, содержащее в узлах треугольники или заплатки (патчи);

- множество концентрических симметричных тесселированных фигур, типично окружностей или квадратов с вырезанным центром.

Иррегулярные сети треугольников. Наиболее обобщенными LOD-алгоритмами можно считать алгоритмы построения аппроксимаций, выраженные в терминах TIN, т.е. редуцирующие входную TIN путем сокращения количества содержащихся в ней треугольников на основании некоторых критериев, которые типично выражены в требованиях на количество треугольников в целевой TIN либо в значении максимально допустимой ошибки аппроксимации. Принципиально, алгоритмы упрощения полигональных моделей можно разделить на 3 подкласса: прореживание вершин**,** кластеризация вершин**,** итеративное удаление граней.

Техники с ограниченной адаптивностью. Метод тайловых блоков использует множественные представления частей рельефа, типично квадратные блоки, обработанные и сохраненные предварительно. В момент визуализации, на основании VD-параметров, из сохраненных блоков собирается соответствующая аппроксимация. Поскольку различные участки рельефа могут быть визуализированы с использованием блоков различной структуры, на их границах могут образовываться разрывы.

Техника геометрического мипмаппинга (GeoMipmaps) [1] обобщает этот подход, используя аналогию с текстурным мипмаппингом. Для каждого квадратного блока предварительно создается цепочка уровней детализации (блоки), геометрические данные которых перераспределяются для эффективной RT-визуализации. Выбор визуализируемого уровня детализации делается на основе расстояния до наблюдателя и предварительно рассчитанной оценки экранной ошибки. Разрывы на границах блоков устраняются динамической коррекцией индексирования вершин, расположенных на границе блока с большей детализацией, обеспечивающей исключение вершин, вызывающих разрывы.

Геометрические карты отсечения (Geometry Clipmaps) [2]– современный подход в визуализации, позволяет перенести существенную часть процесса построения LOD на аппаратные блоки видеоадаптера. VD-аппроксимация визуализируемого ландшафта кешируется в LVM как мипмап-пирамида, каждый следующий уровень которой представляет участок карты высот, охватывающий в 2 раза большую площадь. В процессе передвижения камеры, уровни пирамиды сдвигаются, а недостающие данные инкрементно загружаются в LVM.

Иерархическая триангуляция на основе квадродеревьев и бинарных деревьев треугольников. Основная идея описываемых алгоритмов в создании иерархии полурегулярных сеток LOD посредством итеративных детализации или огрубления базовых геометрических моделей. Детализация заключается в итеративной бисекции основания равнобедренного прямоугольного треугольника, порождающей два подобных треугольника меньших размеров. При огрублении используется обратный процесс – пары прямоугольных треугольников итеративно объединяются.

Работа [3] вводит представление рельефа с использованием пространственного разбиения на основе квадродерева, каждый уровень которого представлен регулярной сеткой с фиксированным числом узлов. Корень дерева задает всю обрабатываемую карту высот, каждый следующий уровень представляет одну четверть от площади предыдущего уровня. В процессе визуализации производится обход квадродерева, в ходе которого принимаются решения об использовании необходимого уровня для визуализации участка аппроксимируемой поверхности. Для устранения разрывов на границах блоков используются вертикальные многоугольники (стенки).

Некоторые работы основаны на введении дополнительных ограничений и правил, контролирующих итеративные разбиения. Разбиение квадродерева ограничивалось таким образом, что иерархические уровни листьев дерева, представляющих соседние области, не

должны различаться более чем на один. Такие разбиения получили название ограниченные квадродеревья триангуляции (RQT, рис. 2).

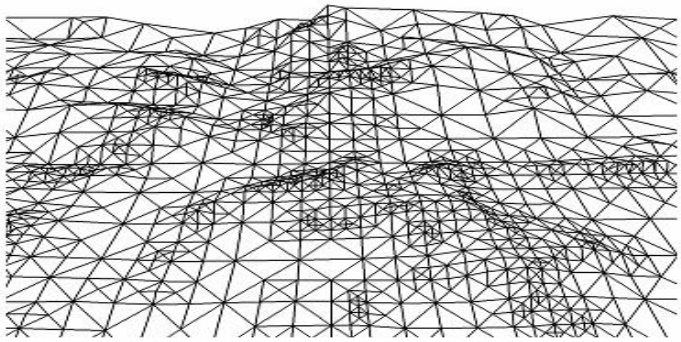

Рис. 2 – Триангуляция на основе RQT

Классическим алгоритмом, использующим иерархическую триангуляцию на основе бинарных деревьев треугольников, является ROAM [4]. Он основан на бинарном дереве треугольников, которое является специальным случаем итеративной бисекции основания треугольника по базовой вершине. В процессе операции детализации, пара треугольников разбивается по общей базовой вершине, находящейся на смежных основаниях (рис. 3).

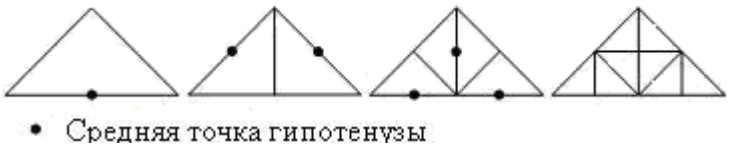

Рис. 3 – Итеративная бисекция основания

Алгоритм триангуляции ROAM основан на поддержании двух очередей с приоритетами – очереди разбиений и очереди объединений. В момент визуализации из этих очередей производится выборка и поддерживаемое бинарное дерево обновляется соответствующе, что позволяет эффективно использовать межкадровую когерентность обрабатываемых данных и обновлять конечные полосы треугольников инкрементально. Приоритеты разбиений и объединений основаны на оценке ошибки, определенной на множестве треугольников.

Кластерные триангуляции. В связи с увеличением мощности GPU и постоянным увеличением обрабатываемых данных, необходимо применять новые алгоритмы построения рельефов, позволяющих использовать всю мощность GPU. Предложено несколько современных техник, уменьшающих среднее время обработки примитивов, с помощью предварительной их композиции в кластеры (патчи), организованные для эффективной визуализации. Основной чертой этих подходов является использование так называемой кластерной триангуляции (рис. 4), смещающий примитивную единицу построения LOD от вершин или треугольников до блоков, представляющих непрерывную часть рельефа.

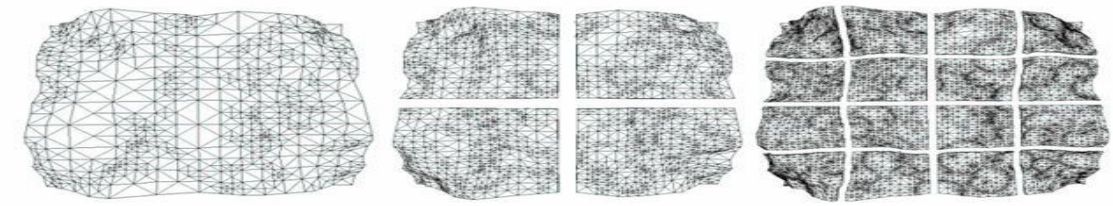

Рис. 4 – 3 уровня иерархии кластеров

Алгоритм RUSTIC [5] является расширением ROAM, в рамках которого предлагается использовать заранее подготовленные бинарные поддеревья треугольников. CABTT [6] использует похожую идею кеширования поддеревьев ROAM, создаваемых по мере необходимости. Кластеры треугольников, динамически формируемые на основании триангуляции вышеописанных поддеревьев, могут быть закешированы в LVM как

вершинные массивы, организованные в полосы треугольников. Chunked LOD [7] – алгоритм, который удовлетворяет поставленной задаче в полной мере. При организации параллельной потоковой загрузки данных с постоянного носителя, обеспечивается выполнение требований жесткого реального времени при визуализации рельефа практически не ограниченного размера.

Выводы

В ходе проведения исследования проблемы были проанализированы существующие решения задачи реализации синтеза реалистичных изображений рельефов и ландшафтов. С точки зрения поставленной задачи, наибольшее соотношение скорость/качество при визуализации статического рельефа показывают алгоритмы, использующие иерархическую триангуляцию на основе квадродеревьев и бинарных деревьев треугольников, а также их дальнейшая трансформация в алгоритмы кластерных триангуляций, которые можно распараллелить и реализовать с использованием современных высокопроизводительных параллельных вычислительных систем.

Дальнейшими задачами данного исследования будут являться:

1) детальный анализ алгоритмов синтеза и их характеристик с целью определения возможности их глубокого распараллеливания;

2) исследование возможности реализации алгоритмов, дающих наиболее реалистичные изображения, на параллельных архитектурах вычислительных систем, включая архитектуры GPU современных видеокарт ПК, и оценка ее эффективности;

3) создание прототипа программной модели синтеза реалистичных изображений рельефов и ландшафтов с использованием параллельных архитектур GPU и анализ характеристик процесса синтеза в сравнении с «классическим» решением задачи.

Литература

1. Willem H. de Boer: Fast Terrain Rendering Using Geometrical MipMapping, E mersion Project, October 2000.
2. Losasso F. and Hoppe H. Geometry clipmaps: terrain rendering using nested regular grids. ACM Trans. Graph., 23(3):769–776, 2004.
3. Lindstrom, P., Koller, D., Hodges, L.F., Ribarsky, W., Faust, N., Turner, G.: Level-of-detail management for real-time rendering of phototextured terrain. Tech. rep., Graphics, Visualization, and Usability Center, Georgia Tech (1995). TR 95-06
4. Duchaineau, M., Wolinsky, M., Sigeti, D.E., Miller, M.C., Aldrich, C., Mineev-Weinstein, M.B.: ROAMing terrain: Realtime optimally adapting meshes. In: Proceedings IEEE Visualization, pp. 81–88 (1997)
5. Pomeranz, A.A.: ROAMusing surface triangle clusters (RUSTiC). Master’s thesis, University of California at Davis (2000)
6. Levenberg, J.: Fast view-dependent level-of-detail rendering using cached geometry. In: Proceedings IEEE Visualization, pp. 259– 266. Computer Society Press (2002)
7. Ulrich, T.: Rendering massive terrains using chunked level of detail. In: Super-size-it! Scaling up toMassive VirtualWorlds (ACM SIGGRAPH Tutorial Notes). ACM SIGGRAPH (2000)