

Оптимизация процесса 3D визуализации модели объектов городской среды сформированной по атрибутивной информации цифровой карты

М.П. Осипов¹, О.А. Чекодаев¹

¹Нижегородский государственный университет, Национальный исследовательский университет, Гагарина 23, Нижний Новгород, Россия, 603950

Аннотация. В работе приведены методы оптимизации процесса визуализации модели городской среды исходя из особенностей её представления. Описаны различные подходы, обеспечивающие уменьшение вычислительной сложности при визуализации трехмерных моделей, способные оптимизировать отображение их геометрии и объем используемой видеопамяти. Рассмотрены методы, позволяющие оптимизировать как сцену в целом, так и отдельные ее компоненты.

1. Введение

Визуализация модели городской среды широко используется для решения различных задач в таких сферах деятельности как строительство, городское управление, образование, культура и т.п. Трехмерная визуализация позволяет пользователю воспринимать информацию в привычной для себя пространственной форме. Её анализ не требует специальных технических знаний, поэтому принятие решений на основе представленной информации происходит значительно быстрее и проще [1]. Наиболее полную информацию об объекте, позволяющую погрузиться в пространство модели, предоставляет визуализация в режиме реального времени, которая накладывает существенные временные ограничения на процесс отрисовки сцены.

2. Формулировка проблемы

Процесс визуализации модели городской среды представляет собой вычислительно сложную задачу. В работе [2] описан метод автоматической генерации трехмерных моделей объектов городской среды по атрибутивной информации с цифровой карты. Поверхность протяженных участков местности с высокодетализированными объектами на ней требует для своего представления огромного количества полигонов. Поэтому возникает необходимость в использовании специальных алгоритмов, оптимизирующих трехмерное представление модели городской среды.

Цель работы состоит в анализе существующих методов оптимизации процесса 3D визуализации, выборе более эффективных подходов и адаптации их под специфику представления трехмерной модели городской среды.

3. Методы оптимизации процесса 3D визуализации модели городской среды

Модель городской среды (рисунок 1) включает в себя цифровую модель рельефа местности и модели объектов городской среды.



Рисунок 1. 3D визуализация модели городской среды.

3.1 Визуализация цифровой модели рельефа местности

3.1.1 Оптимизация геометрии

Существенную вычислительную сложность при визуализации модели городской среды представляет собой процесс отображения модели рельефа, представляющей собой высокодетализированное описание поверхности протяженных участков местности. Вывод на экран сразу всей модели рельефа приведет к заметной потере производительности. В тоже время, при формировании кадра большая часть модели окажется вне поля зрения. Следовательно, необходимо разработать алгоритмы, позволяющие отсекалть те данные, которые в любом случае не будут отображены на экране, тем самым оптимизируя процесс визуализации. Поверхность на заднем плане, вследствие своей удаленности, не требует высокой детализации. Поэтому алгоритм визуализации должен динамически менять уровень детализации модели в зависимости от удаленности от наблюдателя.

Цифровая модель рельефа городской среды строится на основе высотной информации (горизонтали, отметки высот и т.п.), содержащейся в цифровой карте. Поскольку высотная информация представляет собой неравномерное облако точек, аппроксимация поверхности производится с помощью нерегулярной триангуляции (TIN).

Процесс визуализации нерегулярной сети треугольников плохо поддается оптимизации, поскольку в отличие от регулярного представления его сложно распараллелить на многопроцессорных архитектурах. Поэтому предусмотрено преобразование из нерегулярной структуры в регулярную.

Оптимизация процесса визуализации модели рельефа местности зачастую состоит в формировании древовидной структуры из участков поверхности разной степени детализации. Каждое звено дерева аппроксимирует некоторый участок поверхности. Потомки этого звена разбивают участок на части и аппроксимируют их с большей точностью. Процесс продолжается до заданного предела точности аппроксимации. Все иерархические алгоритмы похожи по принципу действия и различаются главным образом сущностями, выбранными за звенья. В частности, алгоритм ROAM [3] подразумевает бинарное дерево треугольников, QuadTree [4] – quadro-дерево квадратов, Chunked LOD [5] – quadro-дерево прямоугольных патчей, представляющих собой отдельные треугольные сетки и т.п. Такие структуры позволяют при визуализации довольно эффективно отсекалть области невидимые наблюдателю, а также убирать лишнюю детализацию на дальних участках модели рельефа. Главный недостаток таких

иерархий состоит в наличии рекурсивности и сложности переноса на GPU. Кроме того, иерархические алгоритмы требуют значительное время на формировании их структуры.

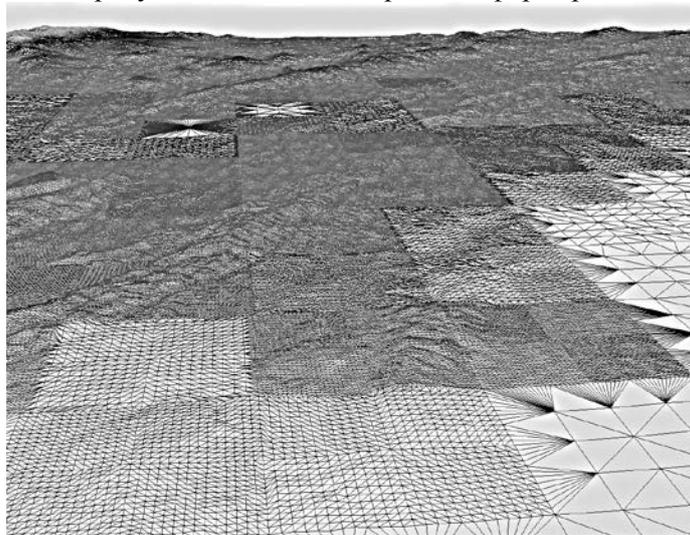


Рисунок 2. Визуализация цифровой модели рельефа с помощью методов Displacement Mapping.

Техника Displacement Mapping [6], позволяет перенести задачу оптимизации модели на графический процессор. В отличие от иерархических методов Displacement Mapping с использованием аппаратной тесселяции все расчеты производит на GPU и минимально нагружает центральный процессор. Также значительно сокращается время на подготовку данных. Поэтому процесс визуализации протяженных моделей рельефа городской среды был оптимизирован с помощью методов Displacement Mapping с использованием аппаратной тесселяции (рисунок 2).

3.1.2 Оптимизация материалов

Подстилающая поверхность характеризует верхнюю часть земной коры. В качестве подстилающей в городской среде могут выступать объекты, обозначающие территорию с покрытием, озелененную территорию, площади, дворы и т.п. Они полностью повторяют геометрические особенности рельефа местности, поэтому целесообразно представлять их не отдельным объектом, а частью цифровой модели местности и обозначать с помощью текстуры.

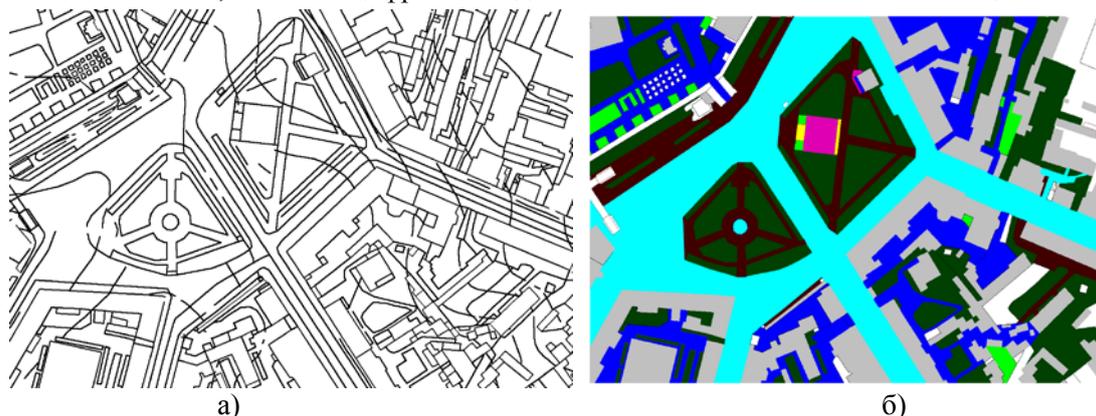


Рисунок 3. Фрагмент цифровой карты (а) и маска (б), составленная по ее данным.

Для передачи высоко детализированной информации о подстилающей протяженной местности потребуется текстура сверх больших размеров. Информация об элементах подстилающей хранится в цифровой карте в виде набора описывающих их характеристик. То есть все элементы подстилающей типизированы и их цвет в каждой точке поверхности может формироваться в момент визуализации. Для этого был разработан алгоритм, который заранее

на основе информации цифровой карты формирует маску, в виде графического файла с размерами кратными размерам электронной карты (рисунок 3).



Рисунок 4. 3D сцена городской среды с подстилающей сформированной по маске из рисунка 3.

Каждый пиксель маски покрывает определенную область местности и содержит информацию о типе покрытия подстилающей соответствующей области. Информация о текстуре определенного типа подстилающей хранится в текстурном атласе в виде набора тайлов. Таким образом, цвет в каждой точке подстилающей может быть вычислен на этапе визуализации во фрагментном шейдере на основе информации карты-маски и текстурного атласа (рисунок 4). Исходя из этого принципа был разработан алгоритм текстурирования подстилающей, который позволил не формировать заранее текстуру всей подстилающей и существенно экономить память.

3.2 Визуализация объектов городской среды

3.2.1 Оптимизация геометрии

При отображении модели городской среды наибольшую вычислительную нагрузку составляет визуализация зданий, растительности, малых архитектурных форм и т.п. Оптимизация процесса визуализации таких объектов состоит в отсеке данных, не попавших в область видимости (рисунок 5). Древовидная сегментация сцены позволяет произвести процесс отсека более эффективно. В рамках работы были реализованы алгоритмы сегментации сцены на основе окто деревьев, k-d деревьев и R-деревьев [7]. Экспериментально установлено, что для объектов городской среды наиболее подходит сегментация сцены на основе R-дерева. Исходя из характера расположения объектов городской среды, подобраны оптимальные параметры сегментации. Установлено, что для типичного расположения объектов городской среды оптимальным с точки зрения производительности будет ограничение на количество объектов в узле дерева от 8 до 20.

В условиях отображения городской среды значительная часть объектов попадет в область видимости камеры (frustum culling), но не будет видна при визуализации, поскольку полностью перекрывается другими объектами. Технология на основе когерентного иерархического отсека (coherent hierarchical culling) [8] позволяет эффективно, путем анализа предыдущего кадра отсека «перекрытые» объекты и не обрабатывать их при визуализации. В комбинации с деревьями сцен это позволяет создать весьма эффективный способ отсека – обход сцены совершается иерархически. Внутренние узлы содержат в себе объекты и другие узлы, что позволяет проверять на видимость и отсека сразу большое число объектов.

Объекты на заднем плане, вследствие своей удаленности, не требуют высокой детализации [9]. Реализована возможность ассоциации различных уровней детализации модели с одним объектом. Тем самым, в случае наличия нескольких моделей одного объекта разной

детализации, уровень детализации визуализируемой группы объектов, содержащихся в узле сцены, будет зависеть от степени удаленности наблюдателя от этого узла.



Рисунок 5. Отсечение объектов 3D сцены не попавших в область видимости путем использования сегментации сцены на основе R-дерева.

Сгенерированная модель городской среды характеризуется большим количеством идентичных объектов. В качестве таких объектов могут выступать растительность (деревья, кустарники) и объекты малых архитектурных форм (киоски, ларьки, скамейки, фонари уличного освещения и т.п.). Для визуализации большого количества таких повторяющихся объектов на сцене была использована технология *Geometry Instancing* [8], которая позволила визуализировать множество копий объекта за один цикл отрисовки. Такой подход сокращает обмен информацией между CPU и GPU, тем самым значительно увеличивая скорость визуализации большого количества идентичных объектов без потери качества.

3.2.2 Оптимизация материалов

Принцип формирования модели городской среды по атрибутивной информации с цифровой карты подразумевает создание однотипных объектов, имеющих различное геометрическое представление, но характеризующиеся одинаковым типом материала поверхности. Примером таких объектов могут выступать здания и сооружения. Для того чтобы сократить количество обращений к графическому процессору реализован алгоритм, который объединяет объекты, использующие один материал. Процесс разделен на три этапа. Сначала в момент подготовки данных осуществляется контроль за тем, чтобы материалы и текстуры не дублировались в памяти. Затем после формирования дерева сцены в каждом его узле, содержащем объекты сцены, происходит объединение объектов с одинаковым материалом. Наконец, в процессе визуализации по дереву сцены перед формированием каждого кадра происходит группировка по материалам объектов, отображаемых в текущем кадре. Чтобы минимизировать этот процесс предлагается использовать следующий подход. Перед визуализацией сцены происходит группировка всех объектов сцены по материалам. В результате, к каждому материалу привязывается список объектов его использующих. Список формируется один раз за весь процесс визуализации. Перед формированием каждого кадра в процессе визуализации происходит обход по дереву сцены и объекты, направляемые на отрисовку, получают флаг видимости. Тем самым для каждого материала имеем набор объектов готовых к отрисовке в текущем кадре.

Процесс объединения производится между объектами, имеющими общий материал. Модели объектов городской среды зачастую имеют общий тип материала поверхности. Отличие составляет лишь карта цвета (например, текстура фасада здания). Поэтому текстуры объектов с одинаковым типом материала объединяются в один текстурный атлас [10]. Тем самым, при визуализации модели городской среды содержащей десятки тысяч зданий использование трехэтапного авторского алгоритма оптимизации материалов сокращает количество уникальных материалов до нескольких десятков.

4. Низкоуровневая оптимизация

На данный момент производительность GPU обогнала производительность CPU и темпы роста только увеличиваются. Поэтому целесообразно максимально перенести вычислительную нагрузку процесса визуализации на GPU, а также минимизировать объем данных пересылаемых между CPU и GPU, так как это заведомо является узким местом в производительности системы. Изготовители видеоадаптеров в рамках спецификации OpenGL (DirectX) предоставляют широкие возможности эффективного использования возможностей оборудования для 3D визуализации. В частности, в процессе визуализации модели городской среды для выгрузки на видеоустройство данных о геометрии модели городской среды были использованы технологии Vertexbufferobjects (VBO), IndexBufferObject (IBO), VertexArrayObject (VAO); для ускорения загрузки текстур в видеопамять - аппаратное сжатие текстур; для избегания излишней синхронизации CPU и GPU - тройная буферизация; для сокращения количества обращений от CPU к GPU - MultiDrawIndirect, для формирования подстилающей - программируемый конвейер (programmable pipeline), Uniform buffer (UBO), Shader Storage Buffer (SSBO) и т.п. [11].

5. Заключение

В работе представлены методы и алгоритмы оптимизации процесса визуализации модифицированные с учетом особенностей модели городской среды. Осуществлена их программная реализация, которая была включена в созданную при непосредственном участии авторов систему разработки 3D приложений для геоинформационных систем [12]. Такой подход позволил существенно оптимизировать процесс визуализации модели городской среды. Проведенные экспериментальные исследования показали, что использование предложенных алгоритмов оптимизации обеспечивает в среднем десятикратное увеличение производительности процесса визуализации модели объектов городской среды.

6. Литература

- [1] Vasin, Yu.G. Development of Interactive Virtual Models of the Urban Landscape of the Historical Center of Nizhni Novgorod / Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, T.N. Tomchinskaya // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2011. – Vol. 21(2). – P. 351-353.
- [2] Osipov, M.P. Algorithms of automation of 3D modeling of urban environment objects using attributive information from a digital map / M.P. Osipov, O.A. Chekodaev // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 2212. – P. 359-365.
- [3] Duchaineau, M. Roaming terrain: real-time optimally adapting meshes / M. Duchaineau, M. Wolinsky, D.E. Sigeri // Proceedings of IEEE Visualization. – Phoenix, 1997. – P. 81-88.
- [4] Pajarola, R. Large scale terrain visualization using the restricted quadtree triangulation / R. Pajarola // Proceedings of IEEE Visualization, 1998. – P. 19-26.
- [5] Ulrich, T. Rendering massive terrains using chunked level of detail control // SIGGRAPH Course Notes. – 2002. – Vol. 3(5). –P. 14.
- [6] Doggett, M. Adaptive view dependent tessellation of displacement maps / M. Doggett, J. Hirche // Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS workshop on Graphics hardware (HWWS '00). – 2000. – P. 59-66.
- [7] Suhaibah, A. Review of Spatial Indexing Techniques for Large Urban Data Management / A. Suhaibah, U. Uznir, A. Francois, M. Darka, A.R. Alias // Workshop Conference: International Symposium & Exhibition on Geoinformation (ISG). – Malaysia, 2013. –23 p.
- [8] Pharr, M. GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-purpose Computation / M. Pharr, R. Fernando // Addison-Wesley Professional, 2005. – 814 p.
- [9] Gong, J. An adaptive control method of lods for 3D scene based on r-tree index / J. Gong, Q. Zhu, H. Zhang, X. Li, D. Zhou // Acta Geodaetica et Cartographica Sinica. – 2011. – Vol. 4. – P. 531-534.

- [10] Dai, X. A multi-texture automatic merging approach for the 3D city models / X. Dai, H. Xiong, J. Gong // Geomatics and Information Science of Wuhan University. – 2015. – Vol. 40(3). – P. 347-352.
- [11] OpenGL Wiki [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.khronos.org/opengl/wiki/Main_Page.
- [12] Гатченко, В.С. Проектирование системы разработки 3D приложений в геоинформационных системах / В.С. Гатченко, М.П. Осипов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT): сборник статей VII международной заочной научно-технической конференции. – Поволжский государственный университет сервиса, 2017. – С. 169-174.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-11-00068).

Optimization of the process of 3D visualization of the objects model of the urban environment generated on the basis of the attribute information of the digital map

М.П. Osipov¹, О.А. Chekodaev¹

¹Nizhni Novgorod State University, National Research University, Gagarina 23, Nizhni Novgorod, Russia, 603950

Abstract. The paper presents methods for optimizing the process of visualization of the urban environment model based on the characteristics of its presentation. Various approaches are described which provide a reduction in computational complexity in visualizing three-dimensional models that can optimize the display of their geometry and the amount of video memory used. Methods are considered that allow optimizing both the scene as a whole and its individual components.