

Методы восстановления и визуализации полигональных моделей с помощью карт смещений

Илья Тисевич, Алексей Игнатенко

Лаборатория машинной графики и обработки изображений

Факультет Вычислительной Математики и Кибернетики

МГУ им. М.В. Ломоносова

ilya.t@mail.ru, ignatenko@graphics.cs.msu.ru

Карты смещений и комбинированные карты нормалей-смещений становятся основным инструментом повышения реалистичности визуализации полигональных сцен. В последние годы можно наблюдать активное развитие алгоритмов визуализации реального времени, основанных на данном подходе, например [Wang03] , [Policarpo05], [McGuire05], [Donnelly05], [Tatarchuk06] и другие. Общей идеей этих методов является использование рельефно-высотной информации для получения корректной картины самоперекрывтия и самозатенения имитируемой поверхности при взгляде с любой позиции относительно полигона визуализируемой модели. Как правило, используется подход попиксельной трассировки лучей, принципы которого отражены на рисунке 1. Сначала находится точка пересечения луча, выпущенного из точки наблюдения, с имитируемой поверхностью. Если пересечения не произошло, и луч вышел за пределы полигона, то точка игнорируется, поскольку она будет (или уже была) правильно изображена при просчёте поверхности для соседнего полигона. Затем аналогичным способом с помощью трассировки определяется, затенена ли поверхность в данной точке, по результатам шага проводится вычисление цвета точки с использованием информации о нормалях. Механизм трассировки также позволяет учитывать кривизну поверхности и имитировать разрывы или прозрачные участки в ней.

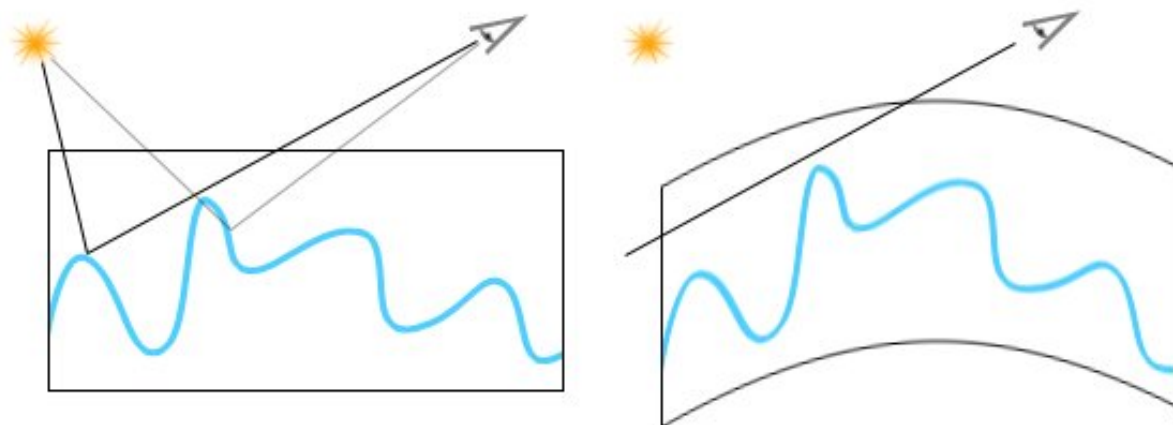


Рисунок 1. Принципы имитации рельефа с помощью карт смещений и трассировки.

В то время как перечисленные методы основаны на подходе имитации рельефа поверхности без изменения геометрических параметров полигональной модели, современные аппаратные ускорители графики позволяют проводить полноценное восстановление моделей. Недавно анонсированный интерфейс Direct3D 10 вводит понятие геометрического шейдера — микропрограммы аппаратного ускорителя графики, позволяющей производить широкий набор действий над входной полигональной моделью в режиме реального времени [DirectX Dev]. Геометрический шейдер получает в качестве входных параметров один полигон модели и любые численные данные, заранее заданные пользователем, а на выходе генерирует набор из нуля или более полигонов. При этом шейдер имеет полный доступ к привычным по программам пиксельного шейдера операциям текстурной выборки. Это позволяет не только использовать карты смещений или карты нормалей, но также передавать практически любые данные, преобразованные к текстурному представлению. Несмотря на то, что такая идея с первого взгляда кажется недостаточно гибкой, текстурные представления с успехом используются для хранения пространственных деревьев, ограничивающих объёмов, геометрических моделей и других нетривиальных наборов данных в алгоритмах трассировки лучей, реализованных на аппаратных ускорителях графики. Благодаря этим особенностям становится возможным средствами геометрического шейдера подразбивать (в том числе адаптивно) визуализируемую поверхность и применять к ней карту смещений, корректно восстанавливая векторы нормалей для обеспечения верного расчёта освещения. Сжатие полигональных моделей — ещё одна задача, которая может быть решена с помощью карт смещений, однако очень важным является алгоритм восстановления и качество восстановленной модели.

Мы предлагаем быструю и эффективную методику восстановления полигональных моделей с помощью карт смещений, использующую адаптивное подразбиение полигонов и специальный механизм псевдонимов вершин. Алгоритм позволяет избежать размножения идентичных вершин при подразбиении, разрывов в поверхности модели (в случае фильтрации или сжатия карт смещений с потерями), а также ошибочного восстановления нормалей.

Результат восстановления во многом зависит от того, насколько удачно было проведено подразбиение модели. Неадаптивные методы могут привести к крайне избыточному усложнению модели, поэтому при подразбиении важно учитывать степень и особенности упрощения модели, применённого перед построением разностной карты смещений. В зависимости от характера ретриангуляции, нужно выбрать одну из возможных схем подразбиения (рисунок 2).

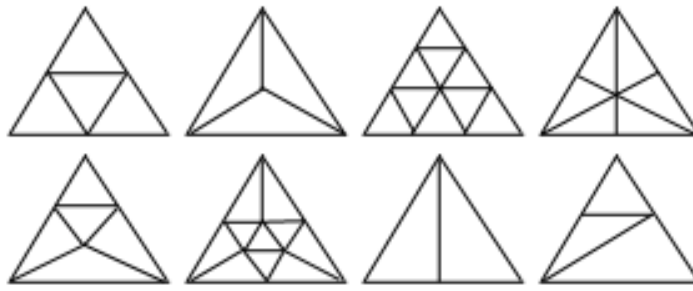


Рисунок 2. Возможные образцы подразделения.

Каждая из показанных схем обладает своими особенностями. Некоторые из них насыщают новыми вершинами только рёбра исходного треугольника, другие могут быть настроены на насыщение рёбер на первых шагах подразделения и насыщение центральных областей на последующих. Один из приведённых образцов добавляет новую вершину только в центр треугольника на любой глубине рекурсивного применения. Некоторые методы подразделения при очень похожих визуальных результатах отличаются затратами памяти, поэтому предпочтения — максимальное качество восстановления или очень хорошее качество при заметно меньшем размере — тоже влияют на конечный выбор. Проанализировав карту смещений и геометрические параметры модели, можно определить какие области поверхности приоритетны для насыщения в каждом треугольнике, и исходя из этого выбрать образец. Разумно комбинировать методы на различных шагах подразделения, в зависимости от размеров и формы исходного треугольника, а также в зависимости от особенностей карты смещений. После применения набора фильтров, например, с круговым ядром свёртки, выбирающим максимальное значение смещения, и последующим размытием, можно получить изображение, характеризующее сложность рельефа в каждой области. При подразбиении треугольника можно произвести выборку из этой карты в точках, соответствующих вершинам треугольника и его центру (либо по любому другому образцу), и определить, насколько интенсивно требуется его подразбить.

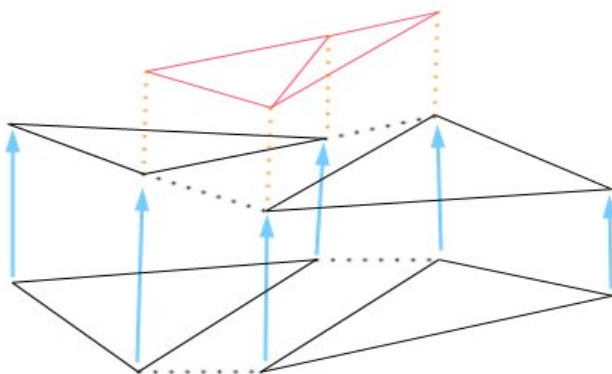


Рисунок 3. Проблема разрывов в поверхности.

При последующем применении карты смещений могут возникнуть проблемы с целостностью поверхности результирующей модели и восстановлением корректных направлений векторов нормалей. При отображении в текстурное пространство, вершины, образующие смежные рёбра соседних треугольников, могут соответствовать различным точкам на карте

смещений. В этом случае, в результате работы антиалиасинга при построении карты смещений, либо в результате сжатия изображения карты с потерями или его фильтрации при применении, смежным вершинам могут соответствовать различные значения смещения. Это неизбежно приведёт к появлению «щелей» между треугольниками восстановленной модели. Они могут быть устранены при помощи различных нетривиальных алгоритмов восстановления целостности модели, которые, тем не менее, иногда неверно справляются с задачей [Botsch06]. Рисунок 3 наглядно иллюстрирует ситуацию нарушения целостности и возможное решение проблемы — использование полигональных «заплаток». Несмотря на то, что такой метод является очень простым, он приводит (в среднем) к троекратному увеличению числа полигонов модели, при этом неровности поверхности всё равно будут заметны при умеренном приближении, поскольку «заплатки», находясь под острым углом к поверхности, будут освещены отлично от исходных полигонов.

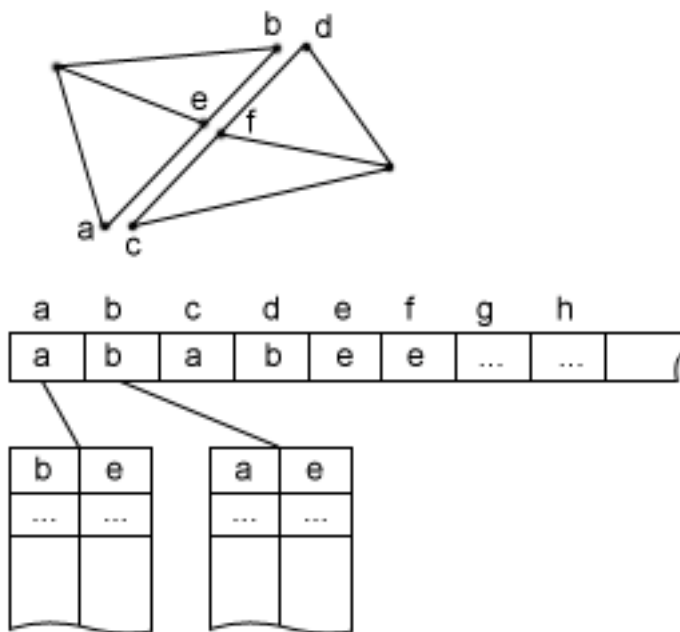


Рисунок 4. Механизм псевдонимов вершин.

Для избежания появления разрывов в модели и последующего корректного восстановления непрерывного поля нормалей, мы предлагаем механизм псевдонимов вершин. Задачей этого алгоритма является хранение и поддержание информации обо всех дубликатах вершин, их смежности и их исходных сущностях.

При использовании такого метода, все операции с вершинами на этапах подразделения модели, применения карты смещения и восстановления векторов нормалей проводятся

через буфер псевдонимов, который хранит информацию о копиях вершин. Буфер строится следующим образом: для исходной модели создаётся адаптивное октодерево, глубина ветвей и размеры ограничивающих объёмов которого зависят от набора параметров всей модели целиком и её участков в каждой точке пространства. Например, такие параметры как удлинённость модели, положение конкретного участка относительно геометрического центра ограничивающего объёма и средневзвешенного геометрического центра модели влияют на характеристики узлов октодерева. После построения дерева, в каждом его листе производится поиск идентичных вершин, информация о которых сохраняется в буфере псевдонимов. Исходной (оригинальной) вершиной считается первая из найденных

идентичных копий. При подразбиении модели, в буферах смежности, соответствующих оригинальным вершинам, сохраняется информация о смежных рёбрах и наличии на них вершин, порождённых подразбиением (рисунок 4). Это позволяет поддерживать консистентность информации о копиях для вновь добавленных вершин и рёбер.

При применении карты смещений, информация о псевдонимах используется для получения значений смещения для всех копий вершины, усреднения (или выбора по любому другому правилу) и применения полученного значения ко всем идентичным вершинам, что позволяет синхронизировать все перемещения вершин-близнецов.

Аналогичным образом строится непрерывное поле нормалей для восстановленной модели. Псевдонимы используются для учёта направлений векторов нормалей смежных треугольников. Пример работы алгоритма показан на рисунке 5. Для упрощённой модели кролика был построен буфер псевдонимов, произведено подразбиение и смещение вершин в соответствии с прилагающейся картой, после чего были полностью восстановлены нормали результирующей модели.

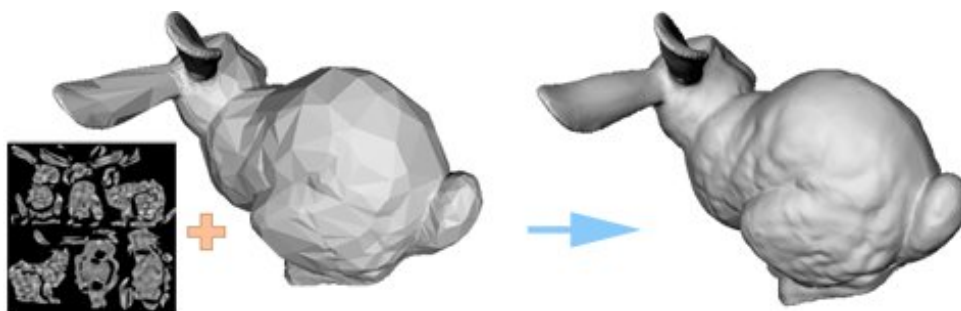


Рисунок 5. Результат работы алгоритма.

Список литературы

- [Wang03] Lifeng Wang, Xi Wang, Xin Tong, Stephen Lin, Shimin Hu, Baining Guo, Heung-Yeung Shum. *View-Dependent Displacement Mapping*. 2003. SIGGRAPH, pp. 334—339.
- [Policarpo05] Fabio Policarpo, Manuel M. Oliveira, João Comba. *Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces*. ACM SIGGRAPH 2005 Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, Washington, DC, April 3—6, 2005, pp. 155—162.
- [McGuire05] Morgan McGuire, Max McGuire. *Steep Parallax Mapping*. I3D 2005 Poster.
- [Donnelly05] William Donnelly. *Per-Pixel Displacement Mapping with Distance Functions*. 2005. In GPU Gems 2, M. Pharr, Ed., Addison-Wesley, pp. 123—136.
- [Tatarchuk06] Natalya Tatarchuk. *Dynamic Parallax Occlusion Mapping with Approximate Soft Shadows*. 2006. In Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (SI3D '06), pp. 63—69.
- [DirectX Dev] Microsoft DirectX Developer Center. <http://msdn.microsoft.com/directx/>
- [Botsch06] Mario Botsch, Mark Pauly, Christian Rossl, Stephan Bischoff, Leif Kobbelt. *Geometric Modeling Based on Triangle Meshes*. 2006. SIGGRAPH, ISBN:1-59593-364-6.