

МЕТОД ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОКСЕЛИЗАЦИИ САД-МОДЕЛЕЙ С ПЕРЕНОСОМ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТЕКСТА

Агафонов В.В.¹⁻²

Научный руководитель – канд. техн. наук, ст. преподаватель Береснев А.Д.¹

¹Университет ИТМО

²Научно-исследовательский центр «Цифровые космические технологии» ИТМО

agafonov@itmo.ru

Введение

Визуализация и математическое моделирование процессов стали все чаще применяться в различных отраслях, давая специалистам больше возможностей для совершения открытий. Для расчета взаимодействия с ними применяется вокселизация – приведение объекта из гладкой геометрии в дискретную форму. Полученный результат состоит из вокселей, единиц объема в пространстве, имеющих свои характеристики, однако высокая вычислительная сложность процесса остается главной задачей на больших разрешениях моделей.

Для САД-моделей выделяют два типа вокселизации: поверхностная и объемная. Первая обрабатывает только внешние воксели, существенно снижая затраты, используется для решения задач коллизии и контактного воздействия. Объемная вокселизация реализует объект целиком, заполняя его изнутри, что дает возможность воздействия на структуру целиком. Данная работа посвящена именно поверхностной вокселизации моделей, заданных в виде В-Рер или треугольной аппроксимации.

Существуют «классические» подходы к решению задачи вокселизации: глобальный перебор пересечений [1], срезовые алгоритмы [2], GPU-решения [3, 4, 5] и методы на основе пространственных структур [6]. Глобальный тест пересечений нативен и неэффективен при высоких разрешениях. Решение срезом позволяет избежать этого, однако высока вероятность потери вокселей на границе – мы работаем именно с ней. Графические процессоры способны решить проблему скорости за счет параллельных вычислений. Их ограничение – инфраструктура. Большие модели могут попросту не поместиться в память, что значительно снижает эффективность параллельной обработки. Пространственные структуры, такие как, например, октодеревья, локализуют проверки, уменьшая число пустых тестов. Дополнительно можно улучшить результаты за счет использования GPU, ведь октодеревья естественно распараллеливаются. Важная особенность – размер ячейки. Слишком большая приведет к росту кандидатов, следствием чего является потеря скорости, слишком маленькая – к огромным затратам по памяти.

В связи с этим актуальна разработка алгоритма, который совмещает многоуровневое уточнение и локализацию без отдельного построения BVH: иерархия формируется одновременно с вокселизацией.

Основная часть

Алгоритм, основанный на иерархической системе поверхностной вокселизации, где локальный список треугольников, которые пересекают родительский воксель, передается в дочерний уровень для уточнения их положения, позволит существенно сократить количество проверок на тонких уровнях и приводит к одновременному формированию соседства. Важным преимуществом считается сохранение связности после обработки.

Исходная модель аппроксимируется треугольной сеткой STL, затем по всем вершинам строится ограничивающий параллелепипед AABB, который расширяется на небольшой запас, сравнимый с численным допуском или долей размера вокселя, что позволяет уменьшить граничные эффекты. На уже упомянутом параллелепипеде строится равномерная кубическая сетка крупных вокселей, где для каждого вокселя выполняется проверка предиката пересечения с поверхностью модели. [7]

Затем воксели делятся на 8 подвокселей, именно тут и происходит описанная идея – проверка подвокселей на локальном списке родительского вокселя, то есть мы проводим монотонную локализацию кандидатов по мере углубления иерархии. Это дает нам возможность параллельно уточнять оценки нормали, поскольку именно она сохранит геометрическую информативность в конце за счет использования ее как признака локальной согласованности для подавления артефактов тесселяции. [8]

В рамках предложенного подхода для проверки пересечения треугольника и параллелепипеда AABB предполагается использование стандартного теста triangle-AABB overlap, предложенного Т. Айкинином-Меллером [9]. В нашем случае, для поверхностной вокселизации, достаточно установить сам факт пересечения с границей, не решая задачу заполнения внутренности. Ожидаемый выигрыш по числу проверок пересечений относительно базового решения составляет от сотен до десятков тысяч раз из-за того, что число локальных кандидатов на глубоких уровнях значительно меньше общего числа треугольников.

Выводы

Решение за счет сочетания исключения глобальных проверок пересечения и ограничения вычисления позволяет получить значительный прирост эффективности вычисления путем снижения затрат. Дополнительная постройка 6-связного графа смежности делает результат пригодным для инженерных задач и физических симуляций. Также метод может продемонстрировать большие успехи в задачах обхода поверхности.

Литература

1. Kaufman A., Cohen D., Yagel R. Volume graphics // IEEE Computer. 1993. Vol. 26, No. 7. P. 51–64.
2. Delgado Díez S., et al. Optimizing Surface Voxelization for Triangular Meshes with Equidistant Scanlines and Gap Detection // Computer Graphics Forum. 2024. Vol. 43, No. 6. e15195. DOI: 10.1111/cgf.15195.
3. Schwarz M., Seidel H.P. Fast parallel surface and solid voxelization on GPUs // ACM Transactions on Graphics. 2010. Vol. 29, No. 6. Article 179.
4. Петров Д. В., Михелев В. М., Васильев П. В. Применение GPU-вычислений для построения и визуализации воксельных геоделей // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Т. 3. № 3. С. 3–8. DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-1.
5. Fang S., Chen H. Hardware accelerated voxelization // Computers & Graphics. 2000. Vol. 24, No. 3. P. 433–442.
6. Meagher D. Geometric modeling using octree encoding // Computer Graphics and Image Processing. 1982. Vol. 19, No. 2. P. 129–147.
7. Ericson C. Real-Time Collision Detection. Morgan Kaufmann, 2005. P. 169–172.
8. Толоч А.В., Толоч Н.Б. Дифференцирование и интегрирование в функционально-воксельном моделировании // Проблемы управления. 2022. № 5. С. 60–67. DOI: 10.25728/ru.2022.5.5.
9. Akenine-Möller T. Fast 3D triangle-box overlap testing // Journal of Graphics Tools. 2001. Vol. 6, No. 1. P. 29–33.