

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ ВОКСЕЛЬНЫХ СЕТОК В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ

Б.В. Критский

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.Москва

boris.v.kritskiy@gmail.com

В настоящее время наблюдается значительный интерес к разработке вычислительных ядер программ–симуляторов, адаптированных для использования представления геометрии расчетной области и полей свойств воксельных (декартовых ортогональных структурированных с постоянным шагом) сеток. Не в последнюю очередь это связано с развитием средств и методов компьютерной томографии, результатом которой является вокальное представление среды или материала.

Для сеток рассматриваемого типа естественно использование классической ИК индексации ячеек. Вместе с этим, чаще всего расчетная область содержит большое число неактивных ячеек, которые дополняют реальную расчетную область до полного «куба» ячеек, но расчет в которых непосредственно не производится. Такие ячейки называются неактивными. Для областей со сложной геометрией число неактивных ячеек может быть велико, а их распределение – неоднородно.

Эффективная структура данных в таких случаях должна обеспечивать хранение только активных ячеек и возможность закругления сетки в местах их скопления для уменьшения необходимого количества вычислений – с сохранением ИК индексации.

Вопрос эффективного хранения активных ячеек неоднократно рассматривался в литературе. Одним из подходов к его решению является структура данных OpenVDB [1, 2], изначально предложенная для задач визуализации. Данная структура данных представляет собой статическое дерево, где каждый уровень является регулярной сеткой заранее определенного размера. Ячейка сетки на каждом уровне хранит подсетку и/или данные. В итоге получается блочная структура, блоки которой можно хранить в памяти или подгружать с диска по необходимости. Для экономии памяти «активность» каждого элемента определяется битовой маской и в памяти хранятся только активные узлы дерева. Статичность структуры дерева имеет свои достоинства и недостатки. С одной стороны, она позволяет разрешить множество условных переходов на этапе компиляции, что делает работу данной структуры довольно быстрой. С другой стороны, для быстрого доступа блоки данных должны быть достаточно большими, что приводит к определенным проблемам с измельчением сетки – без дополнительных ухищрений оно получается довольно грубым. Также сложно решается вопрос распараллеливания с использованием методов деления области, поскольку для хранения дополнительных ячеек приходится сильно расширять расчетную область из-за

того, что длина уровня по каждому измерению должна соответствовать степени двойки.

С другой стороны, для реализации AMR удобно использовать структуры данных типа двоичного дерева, реализованные, например, в библиотеке p4est [3]. В ней данные хранятся, по сути, на неструктурированной сетке, поэтому подобный подход требует хранения довольно большого объема дополнительной информации. Однако он более удобно распараллеливается с использованием MPI, а также позволяет измельчать сетку последовательно, что является очевидным преимуществом.

Основной целью настоящей работы является создание структуры данных, требующей, с одной стороны – хранения минимальной дополнительной информации, а с другой – обеспечивающей быстрый прямой доступ к данным на различных уровнях измельчения сетки. Для достижения поставленной цели реализована структура данных типа двоичного дерева с использованием битовых масок. Данная структура данных позволяет хранить разреженные данные с возможностью адаптивного измельчения или закругления сетки. Помимо этого, она обеспечивает хранение множества уровней в едином массиве данных, то есть возможность сохранять одновременно данные в грубой ячейке и данные на ее измельчении. Для создания новой структуры были использованы основные идеи, лежащие в основе структур данных OpenVDB и p4est. В работе дается описание предложенной структуры данных, а также предварительные результаты тестирования ее возможностей. На рис. 1 показаны фрагмент воксельной сетки для ядра и пример измельчения сетки.

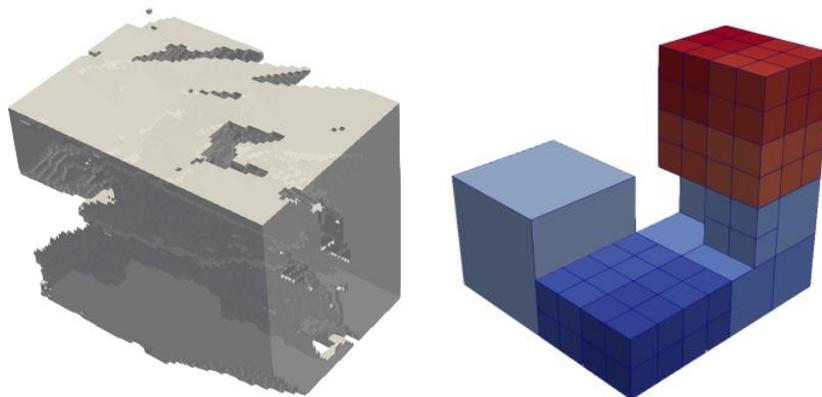


Рис. 1. Фрагмент воксельной сетки для ядра и пример измельчения сетки.

Список литературы:

1. Museth K. VDB: High-Resolution Sparse Volumes with Dynamic Topology // ACM Transactions on Graphics. 2013. 32(3)
2. Museth K. DB+Grid: A Novel Dynamic Blocked Grid for Sparse High-resolution Volumes and Level Sets // ACM SIGGRAPH 2011 Talks.
3. Burstedde C., Wilcox L.C. and Ghattas O. p4est: Scalable Algorithms for Parallel Adaptive Mesh Refinement on Forests of Octrees // SIAM Journal on Scientific Computing. 2011. V. 33. No. 3. P. 1103–1133.