Параллельный алгоритм решения уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области с поддержкой MPI и Cuda вычислений

Балыков Глеб Александрович

Аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

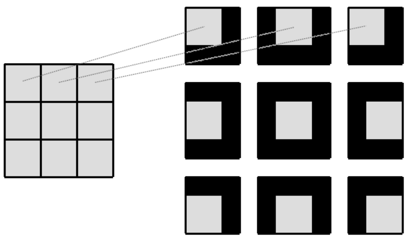
E-mail: g.balykov@yandex.ru

Метод конечных разностей во временной области (FDTD) широко применяется для моделирования в вычислительной электродинамике и заключается в численном решении уравнений Максвелла путем нахождения приближенного решения на каждом шаге по времени. Данный метод был создан К.Йи в 1966 году [1] и до сих пор существенно улучшается для удовлетворения нужд исследователей. Высоко-параллельные программы, которые используют метод конечных разностей во временной области, позволяют проводить моделирование сложных структур на больших разностных сетках с требуемой производительностью и точностью. В данной работе описывается параллельный алгоритм решения уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области в декартовых координатах для различных размерностей пространства и описывается метод сравнения различных распределений вычислительных узлов (виртуальных топологий) с целью выбора виртуальной топологии с наименьшим вычислительным временем. По описываемому алгоритму разработана программа, позволяющая проводить вычисления как на центральных процессорах в системах с поддержкой MPI (Message Passing Interface), так и на графических ускорителях NVidia с поддержкой Cuda [2].

Будем считать, что в одномерном пространстве задана ось Ox, в двумерном — оси Ox и Oy, в трехмерном — оси Ox, Oy, Oz. В пространстве вводится разностная сетка Йи и ее точки распределяются между всеми вычислительными узлами. В одномерном случае имеется только один способ распределения точек разностной сетки между вычислительными узлами — разбиение оси Ox на промежутки, на которых разные вычислительные узлы будут проводить вычисления. В этом случае вычислительные узлы будут производить обмены данными друг с другом вдоль оси Ox. Будем такую виртуальную топологию называть 1D-X. Таким же образом можно проводить разбиения осей Oy и Oz. Комбинируя разбиения осей Ox, Oy, Oz друг с другом можно получить, что для двумерного случая имеется три различных варианта виртуальных топологии: 1D-X, 1D-Y и 2D-XY, а для трехмерного случая — семь вариантов: 1D-X, 1D-Y, 1D-Z, 2D-XY, 2D-YZ, 2D-XZ, 3D-XYZ.

Ставится задача выбора такой виртуальной топологии для заданного числа вычислительных узлов и размеров разностной сетки Йи, чтобы вычислительное время было минимальным. Исходя из алгоритма конечных разностей во временной области [3], на вычислительное время влияет как объем данных для проведения вычислений на одном вычислительном узле, так и объем данных для обмена между узлами, которые определяются размером части разностной сетки Йи, сопоставленной вычислительному узлу.

Иллюстрации



Виртуальная топология 2D-XY в двумерном пространстве. Слева показана разностная сетка Йи, справа - ее распределение между 9 вычислительными узлами. Серым обозначены данные сетки Йи, сопоставленные вычислительному узлу, черным обозначены буферы данных каждого вычислительного узла, в которых содержатся данные, полученные от соседних вычислительных узлов.

Литература

1. Yee K. Numerical solution of initial boundary value problems involving maxwell's equations in isotropic media // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1966. Vol. 14, № 3, P. 303-307.
2. GitHub Repository «fdtd3d»: `https://github.com/zer011b/fdtd3d`
3. Taflove A, Hagness S. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Boston: Artech House, 2000.