

## ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ В ШЕСТИМЕРНОМ МЕТОДЕ SPK

*Аникеев Федор Александрович*<sup>1</sup>

1: *Аспирант, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

2: *Младший научный сотрудник НИИСИ РАН, Москва, Россия*

*E-mail: snowfed@gmail.com*

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по поиску новых источников энергии. Одним из наиболее перспективных направлений является управляемый термоядерный синтез (УТС). Международным сообществом с участием России реализуется проект строительства реактора-токамака ITER [1], который призван показать экономическую целесообразность использования термоядерной энергии в промышленных масштабах.

Для решения многомерных кинетических уравнений, описывающих кулоновские столкновения частиц в плазме, может быть применена модификация метода сглаженных частиц (SPH, [2, 3]), которая называется SPK (Smoothed Particle Kinetics), [4]. Одной из составляющих метода SPK является поиск соседей, находящихся в заданной окрестности точки. В шестимерном пространстве поиск соседей может занимать много времени, так как общее количество частиц измеряется миллионами, а число соседей – тысячами.

Существует два основных подхода для поиска соседей: метод, основанный на разбиении пространства на ячейки равного размера, и метод, основанный на построении KD-деревьев. В данной работе рассматривается первый метод, потому что он допускает полное распараллеливание и хорошо работает с данными как малых, так и больших размерностей. Известно большое количество реализаций метода ячеек в двумерном и трехмерном случаях. Однако для шестимерного пространства потребовалось существенное развитие метода, особенно его параллельной модификации.

Параллельный алгоритм разрабатывался для современных параллельных вычислительных систем, состоящих из многоядерных узлов, каждый из которых содержит нескольких графических ускорителей. Алгоритм реализован программно в специальном модуле общего назначения на комбинации языков Fortran 2008, C++11 и OpenCL C. Применялись технологии MPI и OpenMP.

Для сокращения времени работы модуля предложен ряд приё-

мов, таких как сжатие данных при взаимодействии с графическими ускорителями, пересортировка частиц в соответствии с их расположением в ячейках, пакетная обработка данных. Основная часть модуля написана на языке Fortran. Имеется возможность решать задачи разных размерностей. Работа с графическими ускорителями реализована на языках C++ и OpenCL C.

Расчеты проводились на гибридной суперЭВМ НИИСИ РАН. Продемонстрирована высокая масштабируемость алгоритма. Показана пригодность данной вычислительной установки для быстрого поиска ближайших соседей в методе сглаженных частиц при решении шестимерных кинетических уравнений.

В заключение автор выражает признательность своему научному руководителю профессору Ф. С. Зайцеву за помощь в проведении исследований.

### Литература

1. Страница проекта ITER: <http://www.iter.org>
2. Monaghan J. J. Smoothed particle hydrodynamics. // Rep. Prog. Phys. 2005, V. 68, P. 1703-1759.
3. Liu M. B., Liu G. R. Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH): an Overview and Recent Developments. // Arch. Comput. Methods. Eng. 2010, V. 17, P. 25-76.
4. Zaitsev F. S. Mathematical modeling of toroidal plasma evolution. English edition. Moscow: MAKS Press, 2014, 688 p.