

# ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧАХ РАДИАЦИОННОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

А.С. Болдарев, С.Н. Болдырев, О.Г. Ольховская, А.С. Минкин

Современные задачи импульсной энергетики относятся к наиболее сложным как в теории, так и в практике численного моделирования. Применение современных высокопроизводительных компьютерных систем и параллельных вычислительных технологий является насущной необходимостью при решении подобных задач. Значительная доля численных исследований в данной области связана с компьютерным моделированием пинчей, образующихся в результате электрического взрыва холодной материи. Целью исследований является изучение сложных и разномасштабных нелинейных процессов, протекающих в ходе сверхмощных электрических разрядов и в нестационарных течениях сильноизлучающей многозарядной плазмы, а также многопараметрическая оптимизация экспериментальных схем. Вычислительные задачи такого рода известны своей сложностью и трудоёмкостью, поэтому применение высокопроизводительных вычислительных технологий для их решения крайне актуально. В данной работе мы рассмотрим использование различных подходов в организации параллельных вычислений применительно к задачам радиационной гидродинамики и на примере разрабатываемого в ИММ РАН программного комплекса MARPLE.

К числу самых распространённых технологий распараллеливания применительно к газодинамике, гидродинамике и, в частности, МГД относится геометрический параллелизм, т.е. разделение данных в соответствии с их расположением в расчётной области. В нашем случае определённая специфика внедрения параллелизма в существующий программный комплекс связана с объектно-ориентированным характером кода MARPLE, в котором существенно используются такие свойства языка C++ как полиморфизм, инкапсуляция данных, наследование классов, параметрическое программирование. В целях обеспечения постановки задач в произвольных областях, работы с нерегулярными расчётными сетками и возможными динамическими изменениями таких сеток, разработаны специальные структуры данных, основанные на концепции топологического комплекса. Часть этих структур требует пересмотра и доработки для организации параллельных вычислений и обменов данными между процессорами, а также обеспечения балансировки загрузки в ходе расчётов при сохранении объёмов межпроцессорных коммуникаций на невысоком уровне.

Другим базовым подходом в распараллеливании является разделение исходной задачи на составляющие подзадачи, характеризующиеся различными наборами управляющих параметров. Одним из важных требований, предъявляемых к разрабатываемому нами коду, является корректное и в достаточной степени точное моделирование переноса радиационной энергии, включая детальную передачу спектра излучения. Исходя из этого, весь исследуемый спектр делится на некоторое количество спектральных полос (от нескольких десятков до сотен), и необходимо рассчитать поле излучения с учётом углового распределения для каждого из выбранных диапазонов. Это приводит к тому, что расчёт переноса энергии излучения становится одним из наиболее трудоёмких шагов в моделировании радиационной гидродинамики. Указанная модель с разделением спектра на диапазоны предполагает выполнение больших объёмов однородных вычислений с разными наборами коэффициентов прозрачности и излучательной способности вещества для всех учитываемых диапазонов. Нами было принято решение проводить эти вычисления в параллельном режиме на различных процессорах, с последующим сбором результатов путём суммирования плотностей потоков радиационной энергии по всем диапазонам, используя тот факт, что все полосы спектра вносят однородный и независимый вклад в общий энергетический баланс.

Наконец, мы также рассматриваем возможность разделения общей вычислительной задачи на другом уровне, в соответствии с множеством исследуемых в ней различных физических процессов. Таким образом, мы рассчитываем использовать распределение расчётов различных процессов по отдельным группам процессоров, на которых, в свою очередь, могут применяться различные численные методы и разностные схемы, методики распараллеливания и схемы построения итераций. Фактически, в определённом смысле расщепление по физическим процессам уже применяется в последовательных кодах, когда уравнения, соответствующие разным процессам, решаются поочерёдно в рамках одного итерационного цикла или шага по времени, при этом зачастую различными методами. Мы предполагаем развить этот подход и выполнять соответствующие расчёты в параллельном режиме.

Применение параллельных вычислительных технологий в расчётах переноса энергии излучения позволило нам уменьшить общее время вычислений в 2-4 раза на небольших бюджетных кластерах из 10-20 процессоров, при неполном распараллеливании всего кода. Это уже является существенным и положительным практическим результатом, поскольку для оптимизации экспериментальных схем как правило требуется проводить большое количество однотипных расчётов с различными параметрами. Одновременно с этим, другим заметным достижением яв-

ляется тот факт, что число спектральных диапазонов при параллельных расчётах может быть значительно увеличено, поскольку эффективность распараллеливания на этом шаге вычислений может быть очень высокой. Такое более подробное описание спектра, конечно же, напрямую сказывается на качестве и точности численных результатов.

#### БЛАГОДАРНОСТИ:

Работа выполняется при поддержке ОМН РАН (гос. контракт 10002-251/ОМН-03/026-023/240603-806) и РФФИ (грант № 08-01-00644).

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. J.P. Chittenden, et al. // Plasma Physics and Controlled Fusion, 2004. Vol.46, No.12B.
2. В.А. Гасилов и др. // Математическое моделирование, 2003. Т.15, №9.
3. С. Hughes, Т. Hughes. Parallel and Distributed Programming Using C++. Addison-Wesley, 2004.
4. V.A. Gasilov, et al. MAPRLE simulations of the plasma MFC scheme. Известия высших учебных заведений, "Физика", 2006, Т. 49, № 11, С.189-192.