

ОПЫТ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ EULER

П.С. Банников, В.Г. Бойков
ЗАО «АвтоМеханика», г. Москва

Программный комплекс (ПК) EULER предназначен для математического моделирования динамического поведения системы тел в трёхмерном пространстве [1]. Объектами моделирования могут быть механические системы из различных областей техники, например: автомобилестроения, авиации, ракетно-космической техники, машиностроения, робототехники, станкостроения и т.д.

При решении практических задач в ПК EULER приходится сталкиваться с моделированием систем, состоящих из сотен и более тел. Время расчета одной траектории движения подобных систем может составлять десятки часов на современном персональном компьютере, что существенно ограничивает возможности их всестороннего исследования и проведения оптимизации параметров. Поэтому ускорение вычислений является весьма актуальной задачей.

Основное время вычислений затрачивается на многократный расчет динамического состояния механической системы, которое в общем случае включает три этапа: расчёт положений тел, расчёт скоростей и расчёт ускорений. На этих этапах формируются и решаются системы линейных уравнений. В ряде случаев системы решаются многократно с различными правыми частями. Число уравнений в зависимости от задачи колеблется от десятка до нескольких тысяч. Системы уравнений решаются при помощи LU-разложения, что является ресурсоёмкой операцией.

Для решения поставленной задачи предложено использовать распараллеливание на многоядерных процессорах. В качестве тестового примера для оценки эффективности распараллеливания вычислений использовалась прямоугольная сетка одинаковых тел, соединённых шаровыми шарнирами. Движение системы происходит под действием гравитации. Модель сетки тел представлена на рис. 1.

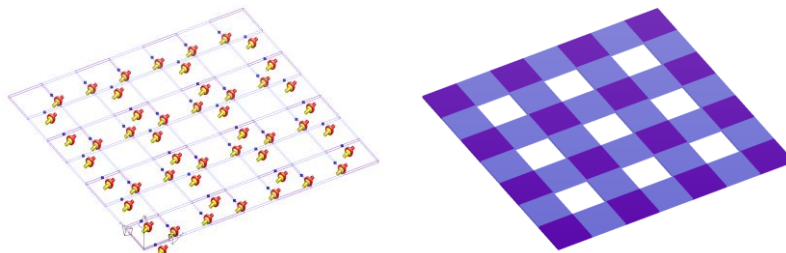


Рис. 1. Тестовый пример – сетка тел

Время выполнения различных этапов алгоритма расчёта (последовательная версия) отображено в таблице 1.

Таблица 1. Расчёт тестового примера (последовательная версия)

Этап	Время выполнения, с		
	7x7 (*)	11x11 (**)	15x15 (***)
Формирование значений матрицы	0.88	2.39	5.08
LU-разложение матрицы	0.9	4.48	14.38
Решение системы	0.11	0.41	1.11
Обновление значений датчиков	1.46	2.22	4.12
Прочее	2.2	4.82	9.53
Общее время расчёта примера	5.55	14.32	34.22
(*) Сетка 7x7 – 40 тел; (**) Сетка 11x11 – 96 тел; (***) Сетка 15x15 – 176 тел.			

Ввиду того, что большинство современных ПК имеют многоядерные процессоры, для распараллеливания была выбрана технология OpenMP.

Основные усилия были направлены на распараллеливание формирования значений матрицы и её LU-разложения. В таблице 2 отражены времена выполнения тех же этапов расчёта на 4 ядрах процессора Intel Core i7.

Таблица 2. Расчёт тестового примера (параллельная версия)

Этап	Время выполнения, с		
	7x7	11x11	15x15
Формирование значений матрицы	0.38	0.95	2.02
LU-разложение матрицы	0.57	2.5	7.43
Решение системы	0.13	0.52	1.32
Обновление значений датчиков	1.57	2.59	4.97
Прочее	1.95	4.35	8.23
Общее время расчёта примера	4.6	10.91	23.97

Следует особо отметить тот факт, что замеры времени производились на всех *физических*, а не *логических* ядрах процессора Intel Core i7. Технология Intel Hyper-Threading предоставляет 8 логических ядер взамен 4 физических, однако исследования показали значительное ухудшение производительности при распараллеливании LU-разложения – главного компонента вычислений – на 8 ядрах.

Список литературы

1. Бойков В.Г., Юдаков А.А. Моделирование динамики системы твёрдых и упругих тел в программном комплексе EULER // Информационные технологии и вычислительные системы. 2011. № 1. С. 42-52.