

01, март 2019

УДК 519.683.4

Разработка параллельной реализации алгоритма генерации геометрически-адаптивных регулярных сеток на основе библиотеки MPI и OPENMP

Гавриленко М. А., магистр

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Прикладная математика и компьютерные науки»
mag.mathem@gmail.com*

*Научный руководитель: Захаров А.А., к.ф.-м.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
azaharov@bmstu.com*

Аннотация: Разработан параллельный алгоритм генерации геометрически-адаптивных регулярных сеток на основе библиотек MPI и OPENMP. Также разработаны алгоритмы разделения обрабатываемых данных, пересылок узлов сетки между процессорами, перенумерации узлов, объединения файлов с результатами для построения сетки. В ходе вычислительных экспериментов получено, что при большом количестве генерируемых узлов максимальное ускорение алгоритма достигается при задании максимальном количестве как MPI процессоров, так и OPENMP нитей.

Ключевые слова: ускорение (acceleration), эффективность (efficiency), адаптивные сетки (adaptive grids).

Введение

При большом количестве разбиений генерация геометрически-адаптивных регулярных сеток [1] становится достаточно трудоемкой задачей, и возникает необходимость в распараллеливании используемых алгоритмов [2].

В данной работе производится разработка параллельного алгоритма программы генерации геометрически-адаптивных регулярных сеток на основе библиотек MPI и OpenMP [3], а также оценка эффективности распараллеливания на высокопроизводительном вычислительном сервере кафедры ФН-11 «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н. Э. Баумана, обладающем следующими характеристиками: 40 шестиядерных процессоров, 2.5 TFlop/s, 960 Гб ОЗУ.

Программная реализация проводилась в средах разработки Qt Creator и Visual Studio 2015 на языке программирования C++.

Для оценки эффективности распараллеливания используются такие понятия, как параллельное ускорение и эффективность (1), [4]:

$$S_p = \frac{T_1}{T_p}, \quad (1)$$

$$E = \frac{S_p}{p} 100.$$

где T_1 и T_p – время работы на 1 и на p процессорах соответственно, S_p – ускорение на p процессорах, E – эффективность.

Основная проблема разработки параллельной реализации алгоритма генерации геометрически-адаптивных регулярных сеток на основе библиотеки MPI заключалась в распараллеливании тех фрагментов кода, где необходимо организовать доступ текущего процессора к узлам-соседям, часть из которых может находиться в другом адресном пространстве, на другом процессоре. Список соседних узлов необходим для определения узлов, которые должны участвовать в численном дифференцировании. Также были выявлены такие проблемы, как: правильная организация пересылок данных с характеристиками узлов между процессорами, корректная нумерация узлов при выводе сетки в файлы, слияние выведенных в файлы данных для дальнейшего построения сетки.

Для решения возникших в процессе разработки проблем были разработаны несколько алгоритмов, а именно:

- алгоритм разделения данных при генерации узлов сетки;
- алгоритм пересылок узлов между процессорами для получения соседних узлов в сетке, включающий в себя блокирующие и неблокирующие процедуры отправки данных, получения, упаковки, коллективного сбора и рассылки;
- алгоритм перенумерации узлов при выводе в файлы только поверхностной сетки;
- алгоритм объединения файлов специального формата (.msh), полученных в результате работы программы генерации адаптивных сеток.

Блок-схемы алгоритмов пересылок узлов между процессорами, перенумерации узлов при выводе в файлы поверхностной сетки и объединения файлов формата (.msh) представлены на рис. 1, рис. 2 и рис. 3 соответственно.

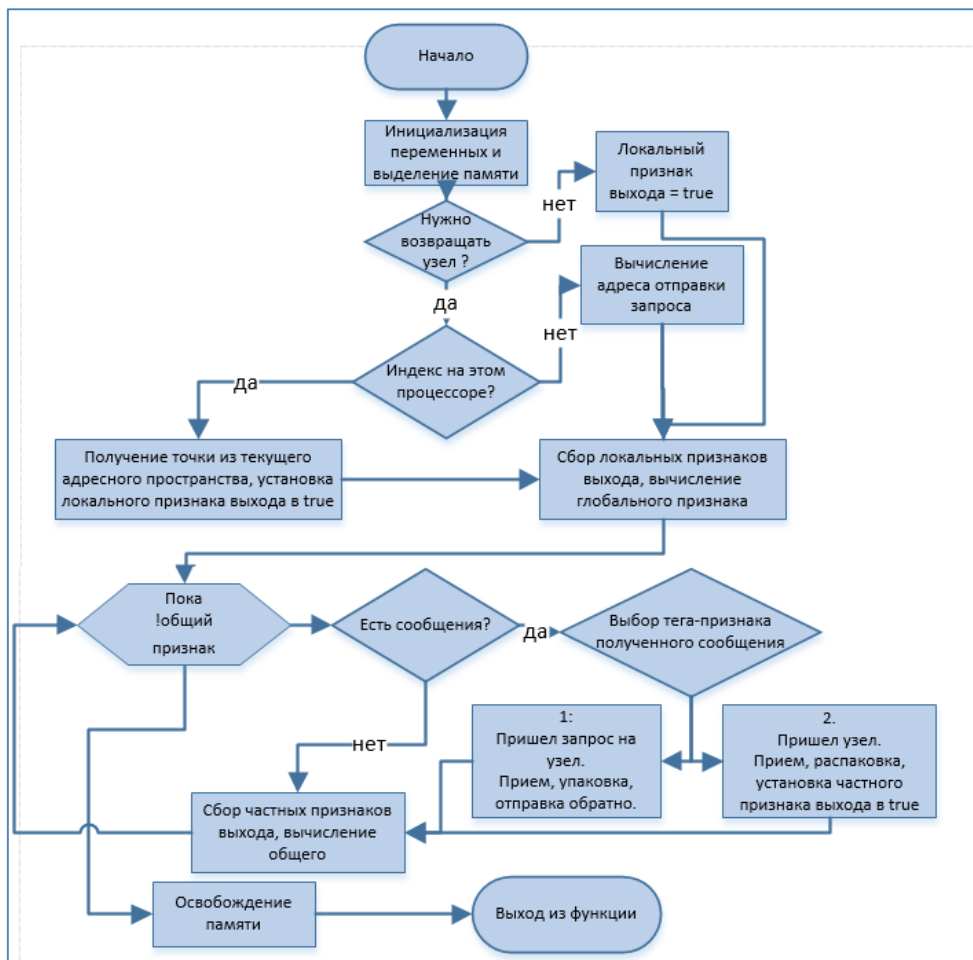


Рис. 1. Блок-схема алгоритма пересылок узлов между процессорами для получения соседних узлов в сетке

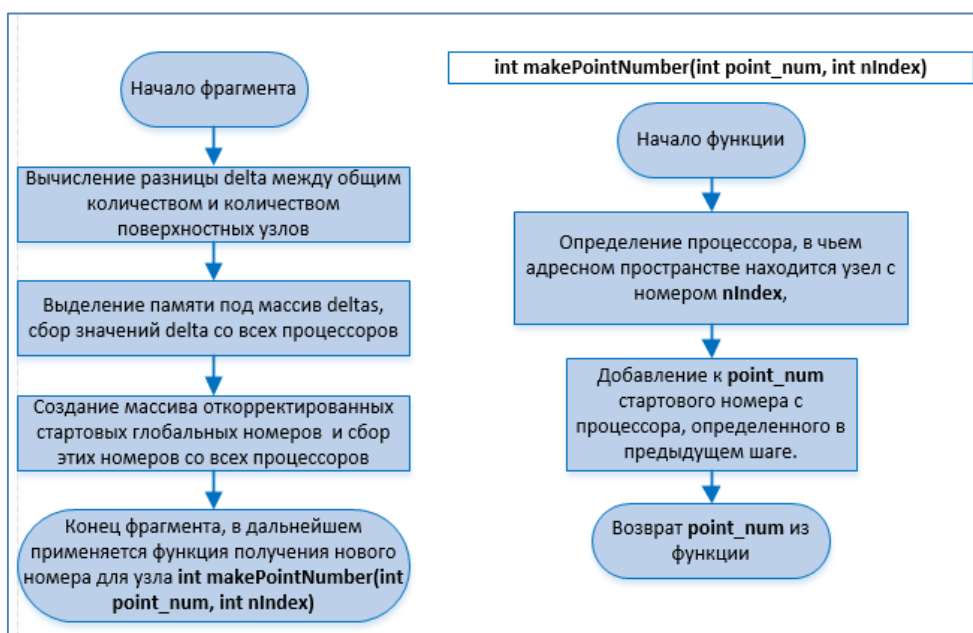


Рис. 2. Блок-схема алгоритма перенумерации узлов при выводе в файлы только поверхностной сетки

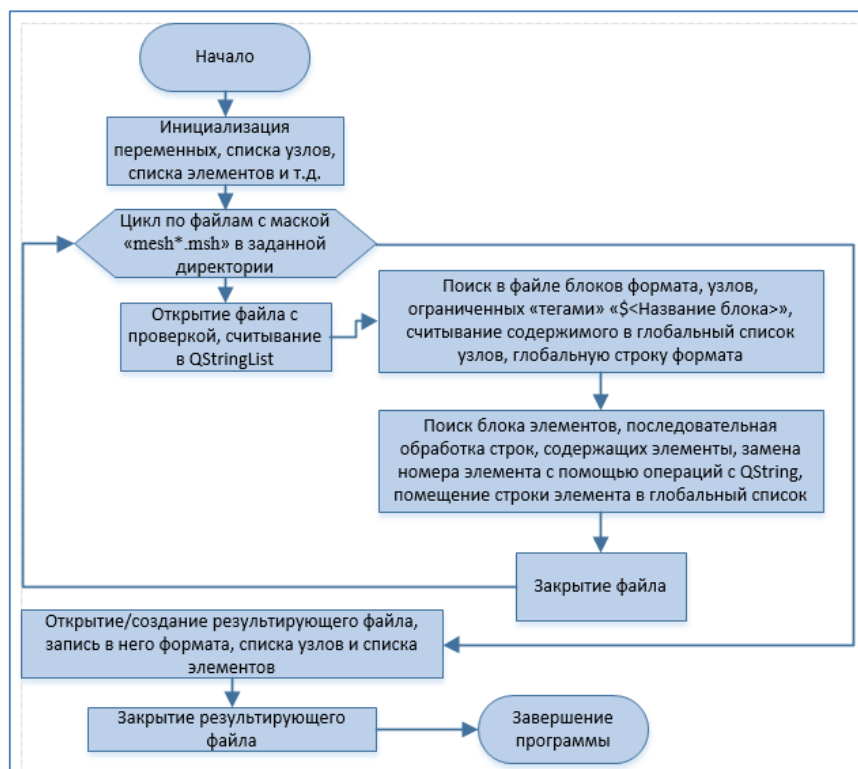


Рис. 3. Блок-схема алгоритма объединения файлов специального формата (.msh), полученных в результате работы программы генерации адаптивных сеток

В результате работы программы генерации адаптивных сеток, использующей библиотеки MPI и OPENMP, и программы слияния файлов на высокопроизводительном вычислительном сервере кафедры ФН-11 «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н. Э. Баумана были получены сетки областей, изображенных на рис. 4-6.

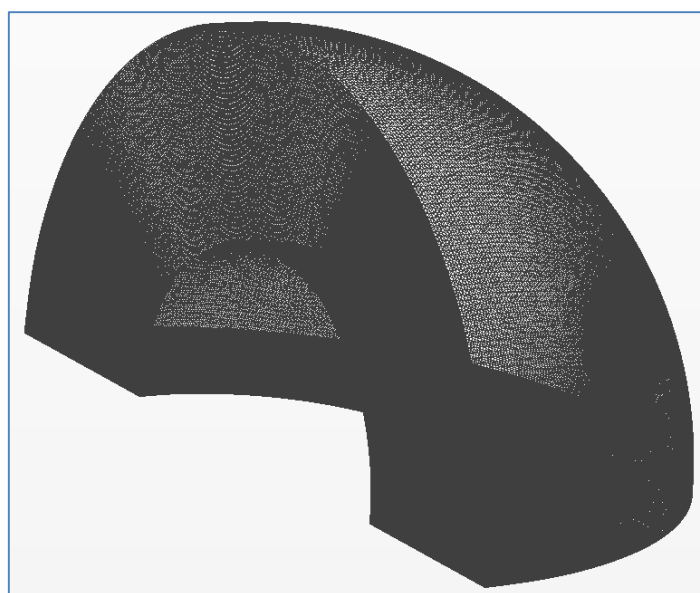


Рис. 4. Поверхностная сетка для сегмента полой сферы (общее количество узлов внутренней и поверхностной сеток равно 10^7)

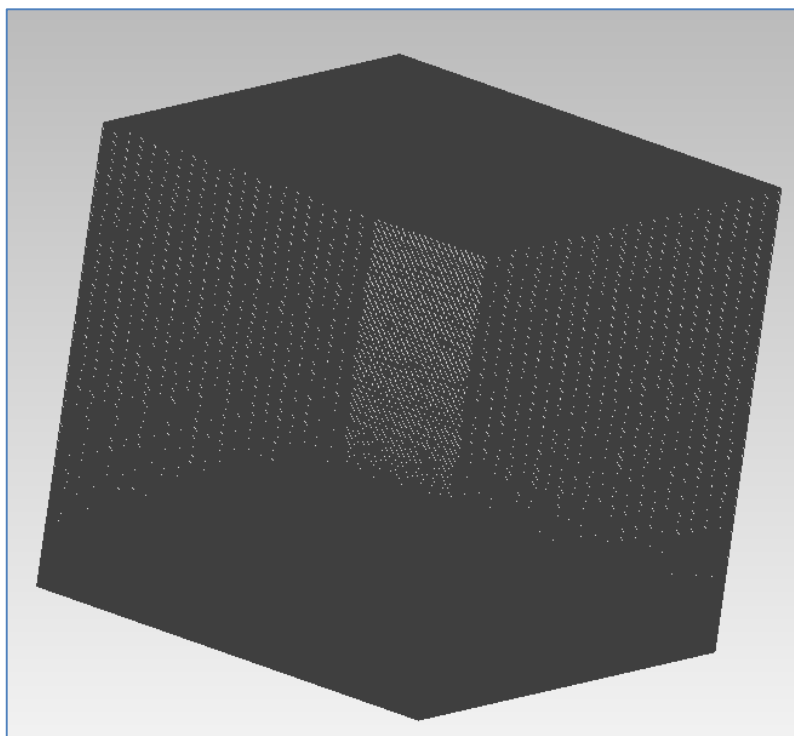


Рис. 5. Поверхностная сетка для куба (общее количество узлов внутренней и поверхностной сеток равно 10^7)

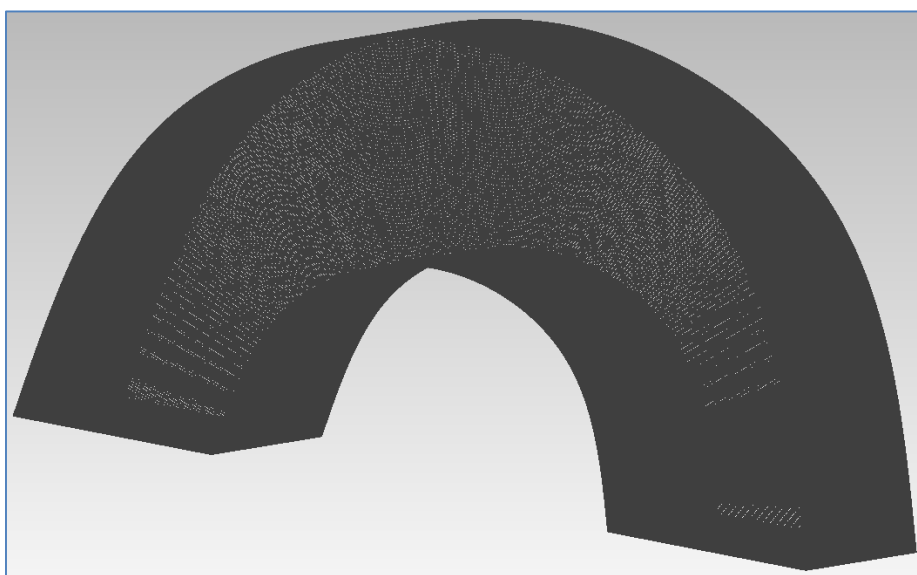


Рис. 6. Поверхностная сетка для сегмента полого цилиндра (общее количество узлов внутренней и поверхностной сеток равно 10^7)

На рис. 7 показаны зависимости времени работы, ускорения (S_p) (1) для различного количества генерируемых точек сетки и различного количества нитей OpenMP (n) и MPI процессоров (p).

Также на основе полученных данных был построен график зависимости ускорения от количества процессоров, проведено сравнение полученного ускорения с теоретическим.

MPI + OpenMP													
Количество точек	n, OMP \ p, MPI	Время, T, с						Ускорение, S _{пр}					
		1	2	4	10	20	40	1	2	4	10	20	40
4 тыс.	1	2,07	1,49	1,04	0,76	0,61	0,84	1,00	1,39	1,99	2,72	3,39	2,46
	4	1,08	0,81	0,79	0,59	0,54	0,75	1,92	2,56	2,62	3,51	3,83	2,76
	16	0,58	0,78	0,94	0,69	0,7	1,16	3,57	2,65	2,20	3,00	2,96	1,78
	80	0,51	0,79	0,85	1,06	1,49	2,75	4,06	2,62	2,44	1,95	1,39	0,75
1 млн.	1	529,5	354,1	249,04	175,3	130,1	132,2	1,00	1,50	2,13	3,02	4,07	4,01
	4	262,1	259	205,4	150,2	118,1	131,3	2,02	2,04	2,58	3,53	4,48	4,03
	16	138	178,1	164,2	142	118,2	130,6	3,84	2,97	3,22	3,73	4,48	4,05
	80	133	168,1	160,2	138	120	129,3	3,98	3,15	3,31	3,84	4,41	4,10
8 млн.	1	4205,4	2961,1	2050,4	1359,3	1037,2	810	1,00	1,42	2,05	3,09	4,05	5,19
	4	2106,1	2071,3	1622,1	1180,9	874,7	807,4	2,00	2,03	2,59	3,56	4,81	5,21
	16	1170,9	1348,2	1333,6	1071,1	869,3	806,3	3,59	3,12	3,15	3,93	4,84	5,22
	80	1111,5	1312,1	1280	1040,2	870,7	806,1	3,78	3,21	3,29	4,04	4,83	5,22
10 млн.	1	5221,1	3709,7	2456,2	1699,7	1281	1140,3	1,00	1,41	2,13	3,07	4,08	4,58
	4	2667,1	2893,8	1798	1377,2	1110,9	1071,8	1,96	1,80	2,90	3,79	4,70	4,87
	16	1481,9	2061,2	1768,9	1369,1	1105	1050,2	3,52	2,53	2,95	3,81	4,72	4,97
	80	1475,7	2052,4	1767,8	1367,6	1104,1	1044,1	3,54	2,54	2,95	3,82	4,73	5,00

Рис. 7. Результаты оценки эффективности распараллеливания алгоритма генерации адаптивных сеток

Построение выполнялось в среде Mathcad 15, разными цветами обозначены зависимости для различного числа генерируемых точек. Построение было выполнено для минимального количества нитей OPENMP (рис. 8) и для максимального количества нитей OPENMP (рис. 9), так как результаты именно этих конфигураций работы приложения представляли наибольший интерес, ввиду наличия хорошо видимой разницы между поведением графиков. Максимальное значение ускорения, полученное при максимальном количестве нитей OPENMP и максимальном количестве процессоров MPI, равно 5,22. Полученное ускорение меньше теоретического в 7,66 раз при заданном максимальном количестве нитей OPENMP и процессоров MPI.

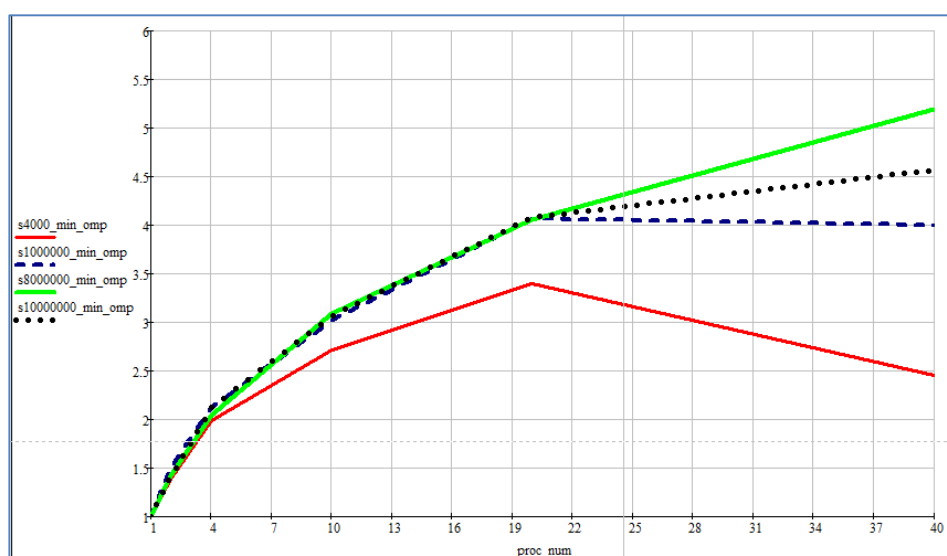


Рис. 8. Зависимость ускорения от количества MPI процессоров при минимальном количестве OPENMP нитей

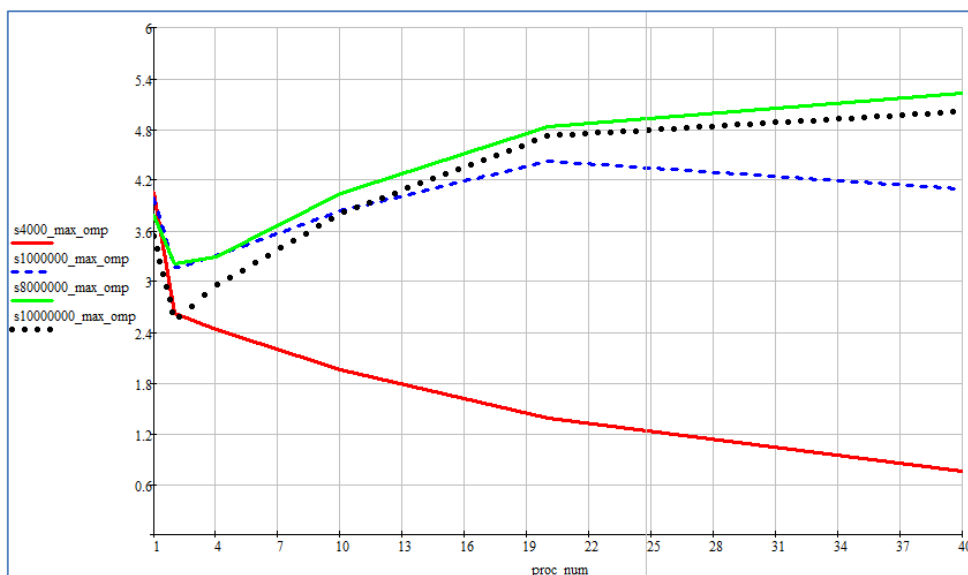


Рис. 9. Зависимость ускорения от количества MPI процессоров при максимальном количестве OPENMP нитей

Заключение

Разработана параллельная версия алгоритма генерации геометрически-адаптивных регулярных сеток на основе библиотек MPI и OpenMP и проведена оценка эффективности распараллеливания на суперкомпьютере. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что при большом количестве генерируемых узлов максимально ускорить алгоритм возможно при задании максимального количества как MPI процессоров, так и OPENMP нитей.

Список литературы

- [1]. Димитриенко Ю. И., Котенев В. П., Захаров А. А. Метод ленточных адаптивных сеток для численного моделирования в газовой динамике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 280 с. ISBN 978-5-9221-1325-0.
- [2]. Антонов А. С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2012. 344 с.
- [3]. Богачёв К. Ю. Основы параллельного программирования: учеб. пос. 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 342 с.
- [4]. Сайт лекций НОИ ИНТУИТ. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies> (дата обращения 13.05.2018).