

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Шаталов П.С.

научный руководитель доктор техн. наук Доррер Г.А.

Сибирский Государственный Технологический Университет

Введение

Работа посвящена созданию математических моделей и вычислительных алгоритмов для расчета параметров лесных пожаров. Программно-информационные комплексы, способные достаточно точно прогнозировать ход распространения пожара, необходимы для управления борьбой с лесными пожарами, и их создание является важной прикладной задачей. В зависимости от целей моделирования и уровня принимаемых решений можно выделить три уровня моделей: оперативные, тактические и стратегические [1]. Наиболее сложными в вычислительном отношении являются оперативные модели, основанные на трехмерных уравнениях тепло- и массообмена при горении лесного горючего. В качестве примера модели, описывающей процесс горения растительных материалов в пологе леса, можно привести модель А.М. Гришина [2], которая включает в себя систему трехмерных дифференциальных уравнений в частных производных с множеством граничных и начальных условий. Такие уравнения могут быть решены численно с помощью достаточно мощных компьютеров, однако для этого требуется знание большого числа трудно определяемых параметров, что делает применение такой модели в режиме реального времени затруднительным. Эта сложность значительно возрастает при расчете одновременно возникающих в неблагоприятные годы многочисленных пожаров на лесных территориях, особенно вблизи населенных пунктов. Поэтому в настоящее время для управления на тактическом и стратегическом уровне используются упрощенные модели, в значительной мере основанные на спутниковых данных.

Однако развитие средств моделирования и вычислительных технологий открывает возможность использовать точные физически обоснованные модели и в задачах управления пожарной ситуацией на всех указанных уровнях.

1. Использование параллельных алгоритмов при моделировании лесных пожаров

Отмеченная выше особенность расчетных задач требует значительных вычислительных ресурсов. Без использования высокопроизводительных кластерных систем и методов параллельного программирования моделирование таких процессов практически невозможно.

При моделировании на тактическом уровне одновременно рассматривается распространение множества пожаров, возникших в определенном регионе. При этом используются менее подробные модели, описывающие, в основном, конфигурацию пожаров и их пространственную динамику. В таких задачах параллелизм возникает естественным образом – путем геометрической декомпозиции, т.е. разбиения территории на участки, где действует не более одного пожара, а расчетные алгоритмы идентичны для всех участков [3].

Большинство математических моделей горения содержат дифференциальные уравнения в частных производных и комплекс начальных и граничных условий, решение которых, в основном, осуществляется с помощью сеточных методов. При компьютерном моделировании лесного пожара решающим критериями являются время

расчетов и точность вычислений. В таком случае, использование эффективных параллельных алгоритмов, реализующих данные численные методы, позволяет эффективно применять математические модели горения при компьютерном моделировании на высокопроизводительных вычислительных ресурсах.

В общем виде алгоритм для реализации одного из сеточных методов с использованием стандарта MPI выглядит следующим образом (рисунок 1), [4].

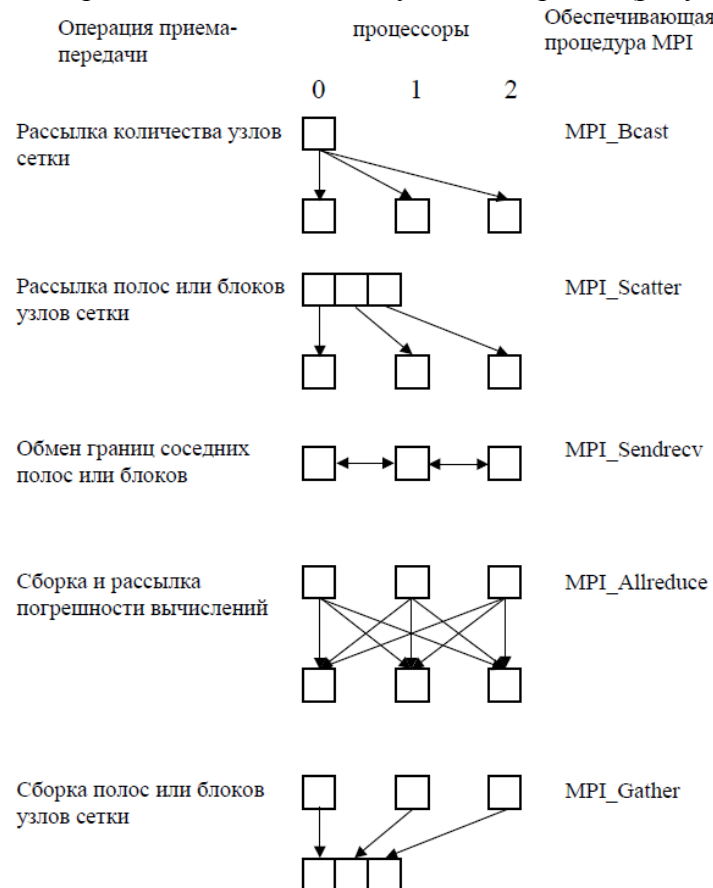


Рисунок 1 - Общий вид параллельного алгоритма для метода сеток

2. Применение программного продукта WFDS для моделирования процесса лесного пожара

В настоящее время существует достаточное количество программных комплексов, с помощью которых возможно моделирование процессов горения при лесном пожаре. В данной статье рассматривается программа WFDS (Wildland-urban Fire Dynamics Simulator), в отличие от аналогов распространяющаяся бесплатно, реализующая вычислительную гидродинамическую модель (CFD) тепломассопереноса при горении.

В программе WFDS численно решаются уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре [5]. В качестве численных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных используются метод конечных разностей, метод конечных объемов и метод конечных элементов. WFDS позволяет выполнение расчетов в режиме распараллеливания, что существенно ускоряет процесс моделирования.

Исследования доказали, что результаты вычислений с помощью WFDS достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными [6], и это позволяет использовать данный продукт для вычислительного моделирования лесных пожаров и

его взаимодействия с объектами инфраструктуры, а так же при оценке пожарных рисков.

На рисунках 2 и 3 показаны результаты моделирования.

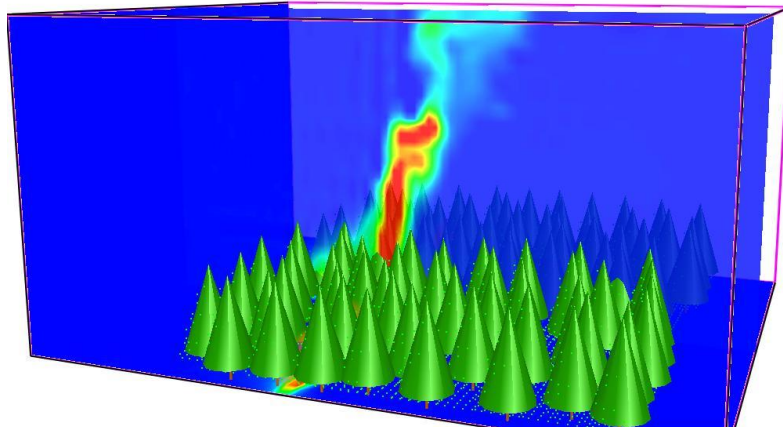


Рисунок 2 Моделирование распространения фронта лесного пожара

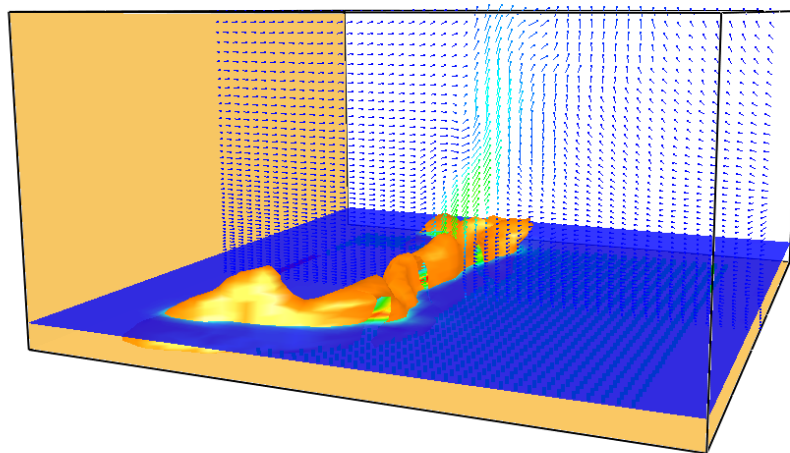


Рисунок 3 Моделирование распространения фронта степного пожара

Моделирование проводилось на вычислительном кластере Сибирского Федерального Университета на 8 узлах. Каждый узел включает в себя 16 Gb оперативной памяти и два четырехъядерных процессора Xeon quad core E5345@2.33 GHz.

На Рисунке 4 приводится график зависимости ускорения алгоритма и эффективности распараллеливания в зависимости от количества используемых процессоров [3]. Результаты вычислительного эксперимента показали наличие хорошего ускорения при решении данной задачи, и, следовательно, подтвердили эффективность использования методов параллельных вычислений

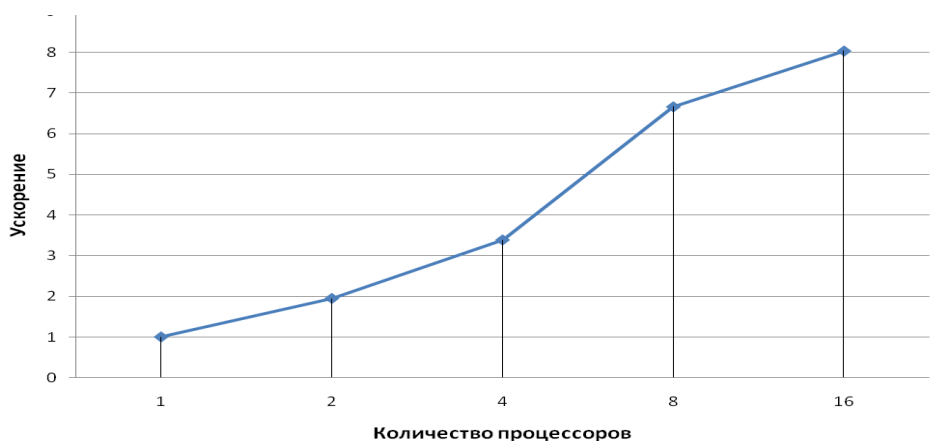


Рисунок 4 – Зависимость ускорения алгоритма от количества процессоров

В таблице приводятся результаты проведения эксперимента на разном количестве процессоров.

Таблица

Количество процессоров, p	1	2	4	8	16
Время выполнения цикла, $T[s]$	700,86	359,84	207,08	105,26	87,268
Ускорение, S	1,00	1,95	3,38	6,66	8,03
Эффективность, $E = S/p$	1,00	0,97	0,85	0,83	0,50

Заключение

Применение методов высокопроизводительных вычислений в прикладных задачах, таких как компьютерное моделирование динамики лесных пожаров, является актуальной и важной проблемой. Как показали расчеты, вычисления, параллельно производимые на нескольких узлах, существенно снижают общее время расчета процесса горения и увеличивают эффективность применения таких программных комплексов в реальных условиях.

Литература

1. Доррер, Г. А. Динамика лесных пожаров. [Текст]/ Г.А. Доррер – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008. – 404с.
2. Гришин А. М. Моделирование и прогноз катастроф: Учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 [Текст]/ А.М. Гришин, - Томск, Изд-во ТГУ, 2005.-580с.
3. Вдовенко М. С., Доррер Г. А., Шаталов П.С. Параллельные алгоритмы моделирования процессов распространения лесных пожаров на основе математических моделей различных типов [Текст] / М.С. Вдовенко, Г.А. Доррер, П.С. Шаталов // Журнал Вычислительные технологии.-2013.-Т. 18, №1. - С. 3-14.
4. Корнеев В. Д. Параллельное программирование в MPI / В. Д. Корнеев. - 2-е изд. Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2002. - 215 с.
5. McGrattan K., Forney G. Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide. // National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2010. - 100p.