ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ВРЕМЕНИ СУШКИ СЛОЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Н.В. Барановский

Томский государственный университет

Введение

Так как воспламеняются только достаточно сухие лесные горючие материалы (ЛГМ) [1], то прогноз лесной пожарной опасности невозможен без определения времени сушки слоя ЛГМ на подстилающей поверхности. В России 1807 лесхозов, 7851 лесничество, а в каждом лесхозе может быть до 100 выделов [2]. Технология параллельных вычислений позволит оперативно прогнозировать время сушки слоя ЛГМ при лесопожарном мониторинге в масштабах крупных регионов.

Наиболее полная и поэтому наиболее точная математическая модель сушки слоя ЛГМ дана в работе [3]. Недостатком этой постановки является обилие эмпирических констант и функций и большое количество нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. В [4] сделаны допущения, что: 1) конвективный теплообмен между слоем ЛГМ и приземным слоем атмосферы удовлетворительно описывается граничными условиями третьего рода; 2) давление P, температура T и плотность ρ газовой фазы в слое ЛГМ совпадают с соответствующими метеорологическими данными (P_e, T_e и ρ_e); 3) излучение в слое ЛГМ подчиняется закону Бугера - Ламберта [4]; 4) испарение связанной воды и капелек воды, прилипших к элементам ЛГМ, описывается одним и тем же законом Герца - Кнудсена.

Однако численное решение задачи в постановках [3, 4] не позволяет говорить о сколько-нибудь оперативном прогнозе лесной пожарной опасности.

1. Аналитическая формула для времени сушки слоя ЛГМ

В работе [5] дается уточнение постановки задачи [4], в рамках которого учитывается тот факт, что одной из движущих сил процесса сушки является разность давления насыщенного пара и парциального давления паров воды.

В результате интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных [5] по ζ от 0 до 1 с учетом граничных условий получены

обыкновенные дифференциальные уравнения для средней по слою ЛГМ безразмерной температуры θ_s и безразмерного объемного влагосодержания слоя φ_2 [5].

В результате аналитического решения системы уравнений получена формула для определения безразмерного времени сушки слоя лесных горючих материалов [5]:

$$\tau_* = \frac{\sqrt{(1-\pi_{e0})^2 + 2\{\theta'_{s0} - \pi_{e0}\}\frac{1}{\gamma} ln\frac{\varphi_{2H}}{\varphi_{2*}}} - (1-\pi_{e0})}{\{\theta'_{s0} - \pi'_{e0}\}}, \qquad (1)$$

$$\pi'_{e0} = \left.\frac{d\pi_e(\tau)}{d\tau}\right|_{\tau=0}, \quad \theta'_{s0} = \left.\frac{d\theta_s(\tau)}{d\tau}\right|_{\tau=0}.$$

Размерное время сушки в этом случае имеет вид [8]:

$$t_* = \frac{\tau_{*2}\rho_1\varphi_{1H}C_{p1}RT_{S*}^{5/2}}{q_2 k'_{02}\rho_2 E} exp\left(\frac{E}{RT_{S*}}\right). \qquad (2)$$

2. Параллельная реализация

Использование формулы (1) позволяет получить оперативный прогноз, когда речь идет о небольшой контролируемой территории. Вследствие большой вычислительной нагрузки использование однопроцессорной компьютерной техники затруднительно. Чтобы обеспечить равномерную загрузку процессорных узлов МВС вычислительной нагрузкой, используем SPMD-модель вычислений [6]. Исходные данные разрезаются и рассылаются корневым процессом параллельной программы. По окончании вычислений корневой процесс собирает результаты со всех процессорных узлов и сохраняет их в файле результатов (рис. 1).

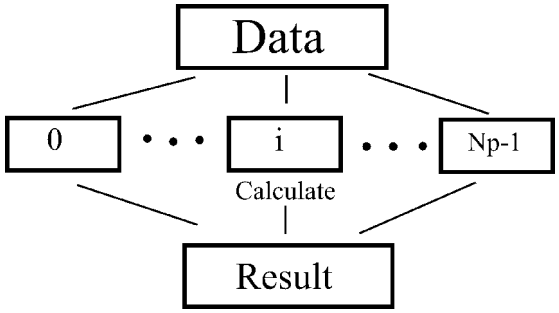

Рис. 1. Алгоритм работы параллельной программы

Параллельная программа реализована на Си с применением функций MPI. Характеристика отладочной машины: CPU Intel PentiumIII-800MHz, RAM 128 Mb, OS Linux, LAM 6.5.1 Характеристики кластера ТГУ: 18 CPU Intel PentiumIII-650MHz (9 Dual MB), RAM 256 Mb, 36 Gb HDD, OS FreeBSD 4.3, LAM-MPI 6.2.

Полученные результаты анализа работы параллельной программы представлены на рис. 2.

а *б*

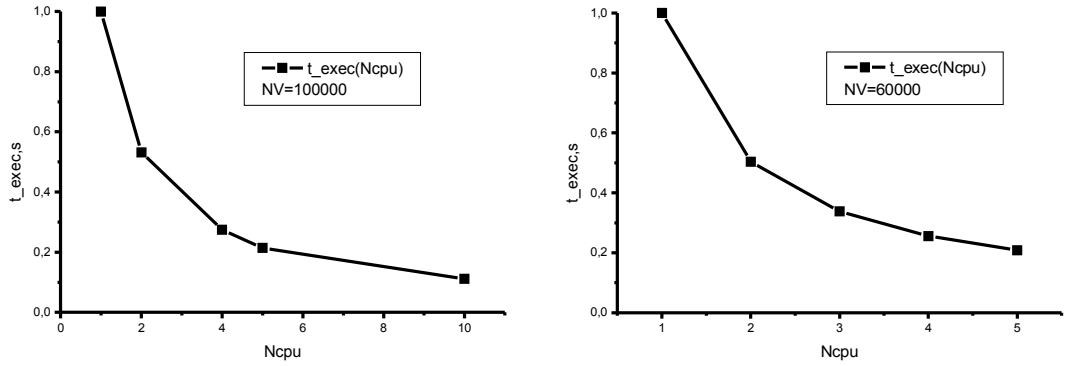

Рис.2. Зависимость времени численного расчета от числа задействованных процессоров: а – расчет по 100000 выделов; б – расчет по 60000 выделов

На рис. 3 приведены зависимости времени работы параллельной программы от величины вычислительной нагрузки.

а *б*

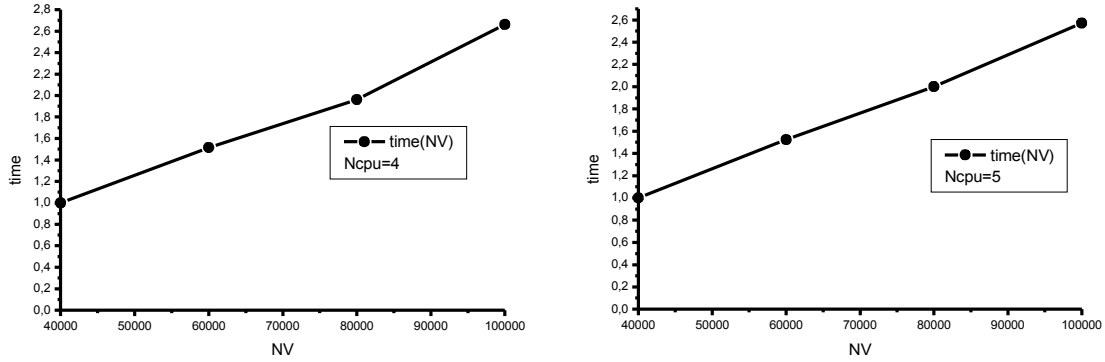

Рис.3. Зависимость времени работы параллельной программы на 4 (а) и 5 (б) процессорах от величины вычислительной нагрузки в пределах 40000-100000 выделов

На рис. 4 представлены зависимости эффективности и ускорения параллельной программы от числа процессоров.

а *б*

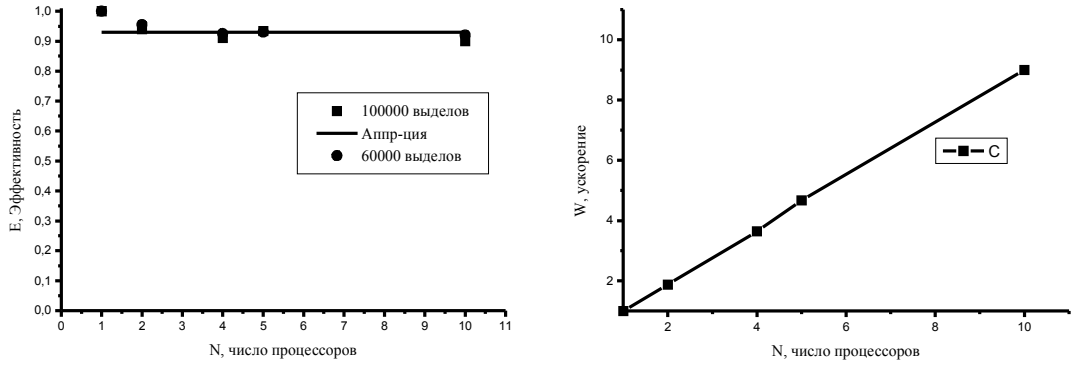

Рис.4. Эффективность (а) и ускорение (б) в зависимости от числа процессоров

Алгоритм задачи очень хорошо подходит для параллельной реализации. В процессе работы параллельной программы происходит минимум передач данных. Передача идет на этапе рассылки исходных данных корневым процессом процессорным узлам и на завершающем этапе при сборе данных корневым процессом с процессорных узлов кластера, а в процессе вычислений нет никаких обменов данными между ветвями параллельной программы. В результате имеем почти пропорциональное числу процессоров уменьшение временных затрат на работу параллельной программы. Иными словами, имеет место ускорение, практически пропорциональное числу задействованных процессоров кластера. Под эффективностью понимается отношение $E = \frac{t_1}{pt_p}$, где p – число задействованных процессоров вычислительной системы; t_1 – время работы параллельной программы при использовании одного процессора; t_p – время работы параллельной программы при использовании p процессоров. Эффективность практически не зависит от числа задействованных процессоров, так как в процессе работы программы нет межпроцессорных передач данных.

Заключение

Таким образом, рассмотрены основные моменты разработки параллельной вычислительной программы для прогноза времени сушки слоя ЛГМ на территориях большого масштаба, программное и аппаратное

обеспечение, использованное для параллельных вычислений. Приведены результаты анализа работы параллельной MPI-программы.

Список литературы

1. *Гришин А.М*. Физика лесных пожаров. – Томск: Изд-во Том. ун-та,1994. – 218 с.
2. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Титов С.П. и др.* Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России: Аналитический обзор. – М.: Центр экологической политики, 1995. – 156 с.
3. *Гришин А.М., Голованов А.Н., Катаева Л.Ю., Лобода Е.Л.* Постановка и решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов //Физика горения и взрыва. – 2001. – Т.37, №1. – С.65-76.
4. *Гришин А.М., Катаева Л.Ю., Лобода Е.Л.* Математическое моделирование сушки слоя лесных горючих материалов //Proceeding of International Conference RDAMM-2001. – 2001. – Vol.6. pt.2. Special Issue. – P.140-144.
5. *Гришин А.М., Барановский Н.В., Мейнерт И.В., Павшук Ю.Ю.* Аналитическое и численное решение задачи о сушке слоя ЛГМ //Лесные и степные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия //Материалы 4-й Международной конференции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. – С. 47-51.
6. *Малышкин В.Э.* Основы параллельных вычислений: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 60 с.