

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАМИНАРНОГО ПЛАМЕНИ НА МНОГОЯДЕРНОЙ ПРОЦЕССОРНОЙ АРХИТЕКТУРЕ*

А.А. Зоткевич

*Институт вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: aaz@labchem.sscs.ru*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 07-01-00164)

Двумерная модель распространения ламинарного пламени с $Le = 1$ в энтальпийной постановке:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) - W(T, \eta) \quad (2)$$

Θ - энтальпия: $T = \Theta - \frac{Q}{c_p} \eta$, T - температура газа, η - относительная концентрация реагирующего компонента горючей смеси, c_p - удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, a - коэффициент температуропроводности, Q - тепловой эффект реакции, проходящей в соответствии с законом Аррениуса

$$W(T, \eta) = k_0 \eta e^{-E/RT} \quad (3)$$

k_0 - предэкспонент, E - энергия активации, R - универсальная газовая постоянная.

– условия при $x = 0$

$$\Theta = T_0 + \frac{Q}{c_p}, \quad \eta = 1 \quad (4)$$

– условия при $x = L$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial x} = \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

– условия при $y = 0$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial y} - \alpha_0 \left(\Theta - \frac{Q}{c_p} \eta - T_0 \right) = \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

– условия при $y = l$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial y} + \alpha_l \left(\Theta - \frac{Q}{c_p} \eta - T_0 \right) = \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

– в момент времени $t = 0$

$$T = T^0(x, y), \quad \eta = \eta^0(x, y), \quad \Theta = T^0(x, y) + \frac{Q}{c_p} \eta^0(x, y) \quad (8)$$

Задача Коши

$$M \frac{dv}{dt} + Av = f(v), \quad t > 0 \quad (9)$$

$$v = v^0, \quad t = 0 \quad (10)$$

Численная схема

$$M \frac{w_1^{n+1} - v_1^n}{\Delta t} + A_{11}w_1^n + A_{12}v_2^n = f_1(w_1^n)$$

$$w_1^{n+\frac{k}{p}} = w_1^n + \frac{k}{p}(w_1^{n+1} - w_1^n), \quad k = 1, \dots, p-1$$

$$M \frac{v_2^{n+\frac{k+1}{p}} - v_2^{n+\frac{k}{p}}}{\tau} + A_{12}^T w_1^{n+\frac{k}{p}} + A_{22}v_2^{n+\frac{k}{p}} = f_2(v_2^{n+\frac{k}{p}}) \quad k = 0, \dots, p-1 \quad (11)$$

$$M \frac{v_1^{n+1} - v_1^n}{\Delta t} + \frac{1}{2}A_{11}(w_1^{n+1} + w_1^n) + \frac{1}{2}A_{12}(v_2^{n+1} + v_2^n) = \frac{1}{2}(f_1(w_1^{n+1}) + f_1(w_1^n))$$

Область решения

$$\Omega = (0, L) \times (0, l), \quad l \ll L$$

Значения физических параметров

$$T = 10^{-3}, \quad L = 0.1\text{м}, \quad l \text{ варьируется}, \quad a = 8 \cdot 10^{-5}\text{м}^2/\text{сек}, \quad T_0 = 300\text{К}, \\ T_b = 1400\text{К}, \quad k_0 = 10^{12}\text{сек}^{-1}, \quad E/R = 2 \cdot 10^4\text{К}. \quad \alpha_0 = \alpha_l = 0.1$$

Начальные данные

$$\Theta^0(x, y) \equiv T_b, \quad \eta^0(x, y) = 1, \quad x \leq 0.09, \quad \eta^0(x, y) = 0, \quad x > 0.09$$

Шаги по сетке и пространству

$$\Delta t = 2 \cdot 10^{-5}, \quad p = 16, \quad h_{base} = 0.002, \quad h_{base}/h_{min} = 2^6$$

Процессор: Intel® Core. Операционная система: Ubuntu
8.04(hardy)

Сравнение компиляторов

Problem size	3899	5359	8264	14072	25688	48920	95384
g++ 4.2.1 -O3	2.99	4.71	8.21	15.54	31.51	68.31	162.5
icpc 10.1.015 -O3	2.66	4.26	7.57	14.35	29.6	66.32	161.9

Среднее значение размерности вектора правой части

first step	854	1646	3230	6398	12734	25406	50750
last step	2844	4142	6708	11836	22092	42604	83628
average	1687	2775	4944	9281	17955	35304	70000
vector size, Mb	0.022	0.032	0.051	0.090	0.169	0.325	0.638
could take, Mb	3.150	6.276	12.53	25.03	50.04	100.1	200.1

Время исполнения отдельных блоков программы, с

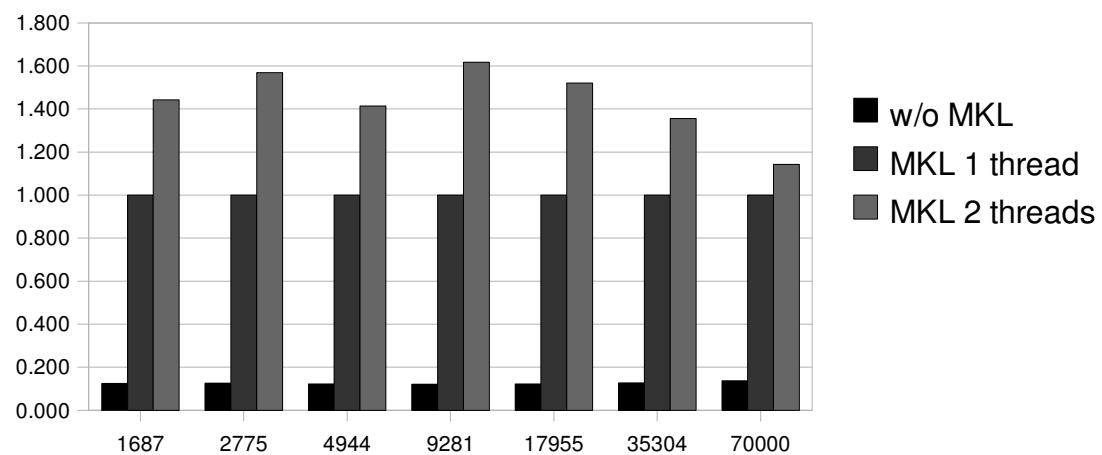
size	1687	2775	4944	9281	17955	35304	70000
total	1.575	2.606	4.735	9.056	18.37	38.04	83.36
mesh rebuilding	0.030	0.068	0.146	0.348	0.930	2.829	9.551
multiplication	1.197	1.988	3.639	6.912	13.60	26.70	53.53
remain	0.318	0.534	0.904	1.706	3.640	7.975	18.58

Результаты применения MKL для умножения матриц(формат CSR), с

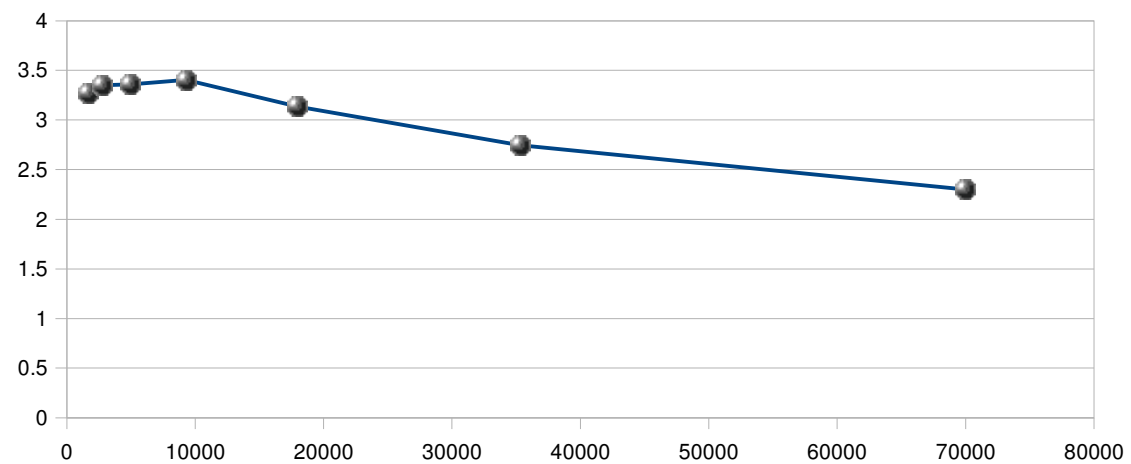
size	1687	2775	4944	9281	17955	35304	70000
without MKL	1.197	1.988	3.639	6.912	13.60	26.70	53.53
MKL 1 thread	0.150	0.251	0.444	0.836	1.654	3.412	7.319
MKL 2 threads	0.104	0.160	0.314	0.517	1.088	2.516	6.409

Результаты применения MKL после нормировки

size	1687	2775	4944	9281	17955	35304	70000
without MKL	0.125	0.126	0.122	0.121	0.122	0.128	0.137
MKL 1 thread	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
MKL 2 threads	1.442	1.569	1.414	1.617	1.520	1.356	1.142



Общее ускорение работы программы



Результаты применения MKL после нормировки: 1, 2 и 4 потока

