

# Sprawozdanie z zadania na Przetwarzanie Równoległe

## Zadanie 2

Sebastian Michoń 136770

## 1 Wykorzystywany system równoległy

1. Kompilator: gcc 7.5.0
2. System operacyjny: Ubuntu 18.04
3. Procesor Intel(R) Core(TM) i7-4790K CPU @ 4.00GHz - 4 rdzenie, 2 wątki na 1 rdzeń: 8 procesorów logicznych i 4 fizyczne

## 2 Tablica wyników: kody od Pi2 do Pi6 w 3 wersjach

Kod	Wątki	Rzeczywisty czas obliczeń	Czas użycia procesorów	Przyp.	Pi
./pi_s.c	1	11.106908	11.106908	-	3.141592653590
./pi2.c	2	9.854029	19.660201	1.12714383	1.629332922363
./pi2.c	4	6.201361	22.991912	1.79104361	0.606812628416
./pi2.c	8	4.855977	37.927782	2.28726536	0.407415018512
./pi3.c	2	32.231695	61.883320	.344595839	3.141592653590
./pi3.c	4	68.859282	269.248873	.161298632	3.141592653590
./pi3.c	8	102.148402	721.992069	.108733056	3.141592653590
./pi4.c	2	5.644930	11.230873	1.96759003	3.141592653590
./pi4.c	4	2.862752	11.442671	3.87980097	3.141592653590
./pi4.c	8	1.489600	11.794959	7.45630236	3.141592653590
./pi5.c	2	5.616025	11.189766	1.97771697	3.141592653590
./pi5.c	4	2.865750	11.450181	3.87574212	3.141592653590
./pi5.c	8	1.493857	11.804175	7.43505435	3.141592653590
./pi6.c	2	6.310614	12.557454	1.76003602	3.141592653590
./pi6.c	4	4.567762	15.864548	2.43158640	3.141592653590
./pi6.c	8	3.467091	25.773811	3.20352364	3.141592653590

gdzie Czas użycia procesorów jest sumaryczny, a Przyp. to skrót od przyspieszenia kodu równoległego względem sekwencyjnego.

1. Kod pi2.c różni się od kodu sekwencyjnego dodaniem dyrektywy

```
#pragma omp parallel for
```

dla pętli obliczającej pi. Zarówno x jak i sum są współdzielone przez wątki; błędny wynik wynika z wyścigu w dostępie do danych (który zachodzi np. jeśli jeden wątek zmieni wartość x-a w momencie w którym 2. wątek dodaje wartość zależną od x-a do sumy - jeśli 1. zapisze dane przed 2. wątkiem, ten 2. będzie korzystał z niepoprawnych danych), który zachodzi, ponieważ nie ma synchronizacji w dostępie do zmiennych współdzielonych. Sumaryczne czasy użycia procesorów są wyższe niż dla kodu sekwencyjnego, ponieważ nie zachodzi czasowa lokalność odwołań - dane muszą być zmieniane w pamięci po każdej zmianie sumy, ponadto jeśli x został

zmieniony pomiędzy zapisem  $x$ -a a zmianą sumy przez wątek, też zostanie zmieniony.

2. Kod pi3.c ma lokalną dla wątku zmienną  $x$  i zapis do sumy następuje z użyciem dyrektywy:

```
#pragma omp atomic
```

Co za tym idzie, zmienna współdzielona  $sum$  jest uaktualniana przez dokładnie 1 wątek i nie zachodzi wyścig w dostępie do danych. Kod nie jest efektywny, ponieważ wykonuje  $10^9$  razy operację założenia i zdjęcia zamka(blokady) na współdzielonej zmiennej  $sum$ .

3. Kod pi4.c różni się od pi3.c tym, że każdy wątek zapisuje i odczytuje lokalną dla wątku zmienną, po zakończeniu obliczeń wchodzi do sekcji krytycznej (do której jednoczesny dostęp ma tylko 1 wątek) i zmienia wartość sumy; nie zachodzi wyścig, ponieważ zmienne  $x$  i  $s2$  (suma dla pojedynczego wątku) są lokalne dla wątku, a zmienna  $sum$  jest aktualizowana przez co najwyżej jeden wątek, ponieważ znajduje się w sekcji krytycznej. Lokalne zmienne  $x$  i  $s2$  znajdują się w pamięci procesorów, które na nich operują i nie są zmieniane i odczytywane przez inne wątki, co implikuje czasową lokalność odwołań i efektywność: Sumaryczny czas użycia procesorów jest prawie taki sam jak kodu sekwencyjnego, użycie większej liczby procesorów prowadzi do przyspieszenia rzeczywistego wykonania kodu.

4. Kod pi5.c jest podobny do kodu pi4.c, ale zamiast lokalnych zmiennych sumy jest tam:

```
#pragma omp parallel for private(x) reduction(+:sum)
```

co działa nieomal dokładnie w ten sam sposób co pi4.c, ponieważ dyrektywa tworzy zmienną lokalną dla wątku, która jest aktualizowana zamiast współdzielonej  $sum$  w pętli i dodawana do zmiennej globalnej dla wątków dopiero po zakończeniu działania w pętli przez wątek. Co za tym idzie, czasowo ten algorytm funkcjonuje prawie tak samo jak pi4.c.

5. Kod pi6.c różni się od pi4.c tym, że zamiast pojedynczych zmiennych lokalnych do sumowania została użyta tablica typu `double[]` taka, że każdy wątek aktualizuje tylko 1 indeks - co za tym idzie, zachodzi zjawisko false sharingu - zapisy do tablicy w 1 wątku powodują konieczność zmiany całej linii pamięci w innych pamięciach procesorów, ponieważ te mają w swoich liniach pamięci własne kopie kolejnych wartości tej tablicy. Zmniejsza to efektywność kodu, sumaryczny czas użycia procesorów rośnie wraz ze zwiększeniem liczby wątków - a co za tym idzie, zwiększeniem liczby pobieranych linii do pamięci podręcznych.

### 3 Długość linii

Kod pi7.c wypisywał najniższe wartości czasu (niecałe 5.6 s) dla 2 wątków w iteracjach  $k$  takich, że

$$k \equiv 7 \pmod{8}$$

Przy czym w  $k$ -tej iteracji używałem wartości tablicy o indeksach  $k$  i  $k + 1$ , a iteracje indeksowałem od 0: co za tym idzie, długość linii pamięci procesora, którego używałem to 64 bajty, ponieważ na moim systemie rozmiar chara 1 bajt, a:

$$\text{sizeof}(\text{double}) == 8$$

Co za tym idzie, rozmiar linii pamięci w moim procesorze to  $8 * 8 = 64$  bajty

## 4 Wyjaśnienie, trudności

1. W 0. iteracji korzystam z indeksów (0, 1) tablicy `double[]`; w 1. z indeksów (1, 2), ... w 7. z indeksów (7, 8) i tak dalej.
2. W 25 pierwszych iteracjach najniższe wyniki czasowe uzyskuje w 7., 15. i 23. iteracji. Można to logicznie uzasadnić, jeśli linia pamięci procesora ma 8 bajtów: w 0., 1., ... 6. iteracji 2 procesory nadpisują wzajemnie własne linie pamięci, bo pobierają za każdym razem kolejne 8 `doubl`i z tablicy `double[]` (0...7).
3. W 7. iteracji 1. procesor ma w swojej linii pamięci elementy tablicy `double[]` o indeksach 0...7, 2. procesor ma w swojej linii pamięci elementy tablicy `double[]` o indeksach 8...15. 2 procesory nie nadpisują swoich linii pamięci, co przyspiesza działanie programu. Analogicznie, w 15. iteracji 1. procesor ma w swojej linii pamięci elementy tablicy `double[]` o indeksach 8...15, 2. procesor - indeksy 16...23. To zjawisko powtarza się cyklicznie co 8 bajtów. Nie widzę innego sensownego uzasadnienia, dlaczego właśnie 7., 15. i 23. i kolejne co ósme iteracje dawały najlepsze rezultaty, dlatego przyjmuje powyższe rozumowanie za co najmniej zasadne, szczególnie zważając na to, że linia pamięci mojego procesora ma 64 bajty zgodnie z jej dokumentacją.
4. Jedyną trudnością były zdarzające się iteracje, w których procesor delikatnie zwalniał, zapewne w wyniku procesów w tle, po wyeliminowaniu których otrzymałem powyższe rezultaty. Różnice pomiędzy 7., 15., 23. ... a pozostałymi iteracjami były rzędu 0.15-0.4 sekundy, dlatego zasadnym było albo wydłużenie pętli, albo wyeliminowanie zbędnych procesów.