

UNIVERZITET U BEOGRADU - ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
MULTIPROCESORSKI SISTEMI (13S114MUPS, 13E114MUPS)



DOMAĆI ZADATAK 2 – MPI

Izveštaj o urađenom domaćem zadatku

Predmetni saradnici:

doc. dr Marko Mišić

dipl. ing. Pavle Divović

Studenti:

Andrea Popović 2018/0316

Vukašin Nedeljković 2018/0217

Beograd, maj 2022.

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| SADRŽAJ | 2 |
| 1. PROBLEM 1 - SIMPLEX | 3 |
| 1.1. TEKST PROBLEMA..... | 3 |
| 1.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI | 3 |
| 1.2.1. <i>Diskusija</i> | 3 |
| 1.2.2. <i>Način paralelizacije</i> | 3 |
| 1.3. REZULTATI | 4 |
| 1.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i> | 4 |
| 1.3.2. <i>Grafici ubrzanja</i> | 6 |
| 1.3.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i> | 6 |
| 2. PROBLEM 2 – GAME OF LIFE | 7 |
| 2.1. TEKST PROBLEMA..... | 7 |
| 2.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI | 7 |
| 2.2.1. <i>Diskusija</i> | 7 |
| 2.2.2. <i>Način paralelizacije</i> | 8 |
| 2.3. REZULTATI | 8 |
| 2.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i> | 8 |
| 2.3.2. <i>Grafici ubrzanja</i> | 11 |
| 2.3.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i> | 11 |
| 3. PROBLEM 3 – HOTSPOT | 12 |
| 3.1. TEKST PROBLEMA..... | 12 |
| 3.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI | 12 |
| 3.2.1. <i>Diskusija</i> | 12 |
| 3.2.2. <i>Način paralelizacije</i> | 12 |
| 3.3. REZULTATI | 13 |
| 3.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i> | 14 |
| 3.3.2. <i>Grafici ubrzanja</i> | 17 |
| 3.3.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i> | 17 |
| 4. PROBLEM 4 – HOTSPOT | 18 |
| 4.1. TEKST PROBLEMA..... | 18 |
| 4.1.1. <i>Diskusija</i> | 18 |
| 4.1.2. <i>Način paralelizacije</i> | 18 |
| 4.2. REZULTATI | 19 |
| 4.2.1. <i>Logovi izvršavanja</i> | 20 |
| 4.2.2. <i>Grafici ubrzanja</i> | 22 |
| 4.2.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i> | 22 |

1. PROBLEM 1 - SIMPLEX

1.1. Tekst problema

Paralelizovati program koji računa integral funkcije F na osnovu unutrašnjosti simplex-a (<https://en.wikipedia.org/wiki/Simplex>) u 20 dimenzija korišćenjem Monte Carlo metode. Program se nalazi u datoteci `simplex.c`. U izvornom kodu data je matrica eksponenata jednačine i ivica simplexa. Ulazni parametar programa je broj iteracija aproksimacije. Proces sa rangom 0 treba da učitava ulazne podatke, raspodeli posao ostalim procesima, na kraju prikupi dobijene rezultate i ravnopravno učestvuje u obradi. Za razmenu podataka, koristiti rutine za kolektivnu komunikaciju. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci `run`. $[1, N]$

1.2. Delovi koje treba paralelizovati

1.2.1. Diskusija

Uočili smo par potencijalnih funkcija za paralelizaciju. Nakon njihove paralelizacije smo zaključili da nam najbolje performanse daje paralelizacija `for` petlje u funkciji `run`. Ostale funkcije ne vredi paralelizovati jer je granularnost prevelika.

1.2.2. Način paralelizacije

Paralelizaciju smo izvršili tako što smo posao podelili ravnopravno na sve procese pomoću promenljivih `start`, `end`, `chunk`. U zavisnosti od ranka svaki proces je dobijao određeni broj iteracija. Podatke smo slali pomoću funkcija `MPI_Bcast` i `MPI_Gather`.

1.3. Rezultati

| broj niti ulaz | 1 | 2 | 4 |
|-------------------------|---|---|--|
| 500000 | $\frac{1075.708102}{1065.516081}$ = 1.01 | $\frac{1078.065832}{644.042820}$ = 1.67 | $\frac{1086.198203}{423.051241}$ = 2.57 |
| 100000 | $\frac{2233.977117}{2219.796095}$ = 1.01 | $\frac{2235.498841}{1314.305375}$ = 1.70 | $\frac{2244.176172}{865.967188}$ = 2.59 |
| 1000000 | $\frac{18999.920465}{18932.473263}$ = 1.00 | $\frac{18955.554857}{10884.574766}$ = 1.74 | $\frac{19021.996949}{7199.871954}$ = 2.64 |
| Srednje ubrzanje | 1.01 | 1.70 | 2.60 |

1.3.1. Logovi izvršavanja

| |
|--|
| <p>Simplex 50000</p> <p>Time elapsed in ms (sequential program): 1075.708102</p> <p>Time elapsed in ms (parallel program): 1065.516081</p> <p>Test PASSED</p> <p>Simplex 100000</p> <p>Time elapsed in ms (sequential program): 2233.977117</p> <p>Time elapsed in ms (parallel program): 2219.796095</p> <p>Test PASSED</p> <p>Simplex 1000000</p> <p>Time elapsed in ms (sequential program): 18999.920465</p> <p>Time elapsed in ms (parallel program): 18932.473263</p> <p>Test PASSED</p> |
|--|

Listing 1. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

| |
|---------------|
| Simplex 50000 |
|---------------|

```
Time elapsed in ms (sequential program): 1078.065832
Time elapsed in ms (parallel program): 644.042820
Test PASSED
```

```
Simplex 100000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 2235.498841
Time elapsed in ms (parallel program): 1314.305375
Test PASSED
```

```
Simplex 1000000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 18955.554857
Time elapsed in ms (parallel program): 10884.574766
Test PASSED
```

Listing 2. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```
Simplex 50000
```

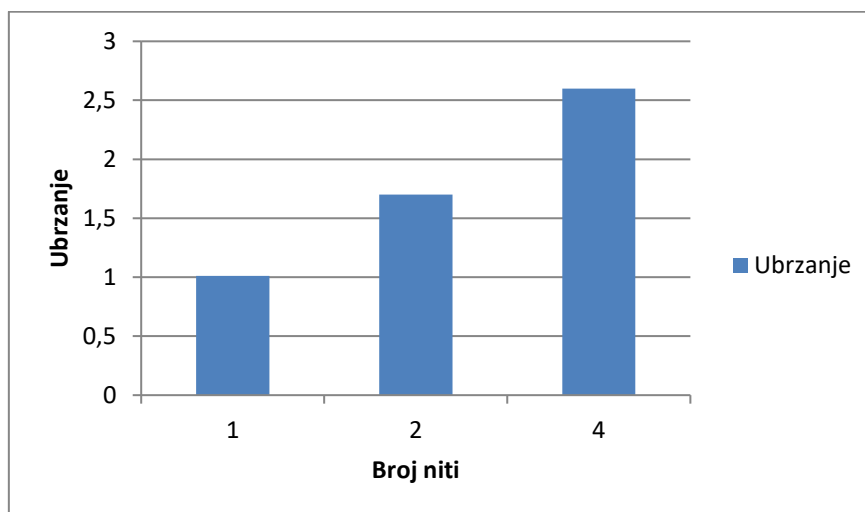
```
Time elapsed in ms (sequential program): 1086.198203
Time elapsed in ms (parallel program): 423.051241
Test PASSED
```

```
Simplex 100000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 2244.176172
Time elapsed in ms (parallel program): 865.967188
Test PASSED
```

Listing 3. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

1.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 1. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti

1.3.3. Diskusija dobijenih rezultata

Na osnovu dobijenih rezultata možemo videti da je postignuto primetno ubrzanje sa paralelizacijom. Takođe sa povećanjem broja niti povećava se i ubrzanje.

2. PROBLEM 2 – GAME OF LIFE

2.1. Tekst problema

Paralelizovati program koji implementira simulaciju ćelijskog automata Game of Life. Simulacija je predstavljena dvodimenzionalnom matricom dimenzija $w \times h$, a svaka ćelija c može uzeti vrednost 1 ukoliko predstavlja živu ćeliju, a 0 ukoliko je mrtva. Za svaku ćeliju se vrši izračunavanje vrednosti n koja predstavlja zbir živih ćelija u susedstvu posmatrane ćelije. Posmatra se osam suseda. Ćelije se rađaju i umiru prema pravilima iz sledeće tabele.

| Vrednost C | Vrednost N | Nova vrednost C | Komentar |
|------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|
| 1 | 0, 1 | 0 | Usamljena ćelija umire |
| 1 | 4, 5, 6, 7, 8 | 0 | Ćelija umire usled prenaseljenosti |
| 1 | 2,3 | 1 | Ćelija živi |
| 0 | 3 | 1 | Rađa se nova ćelija |
| 0 | 0, 1, 2, 4, 6, 7, 8 | 0 | Nema promene stanja |

Može se smatrati da su ćelije van opsega posmatrane matrice mrtve. Proces sa rangom 0 treba da učita ulazne podatke, raspodeli posao ostalim procesima, na kraju prikupi dobijene rezultate i ravnopravno učestvuje u obradi. Svakom procesu dodeliti određen podskup matrice na obradu. Za slanje jednog dela matrice koristiti odgovarajući izvedeni tip. Obratiti pažnju na nepotrebnu obradu mrtvih ćelija, i konvergiranih grupacija, kao i na međuprocesnu komunikaciju. Kod koji treba paralelizovati se nalazi u datoteci gameoflife.c u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Program se može prevesti u dve konfiguracije: sa vizuelnim prikazom i bez vizuelnog prikaza, u zavisnosti da li je definisan makro `LIFE_VISUAL`. Prevođenje sa vizuelnim prikazom se može izvršiti naredbom `make visual`. Paralelizovati konfiguraciju bez vizuelnog prikaza. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci `run`. [1, N]

2.2. Delovi koje treba paralelizovati

2.2.1. Diskusija

Paralelizaciju je jedino moguće izvršiti u funkciji `evolve`. U funkciji postoje po 3 ugneždene `for` petlje. Poslednju ugneždenu petlju se ne isplati paralelizovati zato što se u njoj jedino izvršava

dodela vrednosti, dok druga ugneždjena petlja ima mali broj iteracija i u njoj je samo provera uslova pa se ni nju ne isplati optimizovati. Zbog toga paralelizujemo prvu ugneždenu petlju.

2.2.2. Način paralelizacije

U funkciji `evolvempi` smo optimizovali ugneždenu `for` petlju tako što smo posao podelili ravnopravno na sve procese pomoću promenljivih `start`, `end`, `chunk`. U zavisnosti od ranka svaki proces je dobijao određeni broj iteracija. Potrebne podatke smo slali pomocu neblokirajuće funkcije `MPI_Isend`, a primali podatke pomocu blokirajuće funkcije `MPI_Recv`. Procesu su primali isključivo podatke koji su im bili potrebni za uspešnu obradu. Napravili smo novi neprekidni tip `row_matrix` kako bismo slali vrstu matrice.

2.3. Rezultati

| <div>broj niti</div> <div>ulazni parametri</div> | 1 | 2 | 4 |
|--|---|---|--|
| 30 30 1000 | $\frac{33.254037}{29.778992}$ = 1.12 | $\frac{31.013279}{17.571331}$ = 1.76 | $\frac{28.485479}{10.963086}$ = 2.60 |
| 500 500 10 | $\frac{71.324249}{73.994613}$ = 0.96 | $\frac{69.286810}{38.492136}$ = 1.80 | $\frac{69.528722}{20.593922}$ = 3.38 |
| 1000 1000 100 | $\frac{2788.217932}{2955.774762}$ = 0.94 | $\frac{2795.413923}{1524.352003}$ = 1.83 | $\frac{2809.779644}{924.871727}$ = 3.04 |
| 1000 1000 1000 | $\frac{27285.085023}{28416.796560}$ = 0.96 | $\frac{29777.457037}{15704.484761}$ = 1.90 | $\frac{27517.969250}{9295.127461}$ = 2.96 |
| Srednje ubrzanje | 0.99 | 1.82 | 3.00 |

2.3.1. Logovi izvršavanja

```
width=30, height=30, iteration=1000
```



```
Elapsed time is 33.254037 (sequential) in ms
Elapsed time is 29.778992 (parallel) in ms
Test PASSED
```

```
width=500, height=500, iteration=10
Elapsed time is 71.324249 (sequential) in ms
Elapsed time is 73.994613 (parallel) in ms
Test PASSED
```

```
width=1000, height=1000, iteration=100
Elapsed time is 2788.217932 (sequential) in ms
Elapsed time is 2955.774762 (parallel) in ms
Test PASSED
```

```
width=1000, height=1000, iteration=1000
Elapsed time is 27285.085023 (sequential) in ms
Elapsed time is 28416.796560 (parallel) in ms
Test PASSED
```

Listing 4. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Elapsed time is 31.013279 (sequential) in ms
Elapsed time is 17.571331 (parallel) in ms
Test PASSED
```

```
width=500, height=500, iteration=10
Elapsed time is 69.286810 (sequential) in ms
Elapsed time is 38.492136 (parallel) in ms
Test PASSED
```

```
width=1000, height=1000, iteration=100
Time elapsed, sequential in ms: 2795.413923
Time elapsed, parallel in ms: 1524.352003
Test PASSED
```

```
width=1000, height=1000, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 29777.457037
Time elapsed, parallel in ms: 15704.484761
```

```
Test PASSED
```

Listing 5. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 28.485479
Time elapsed, parallel in ms: 10.963086
Test PASSED

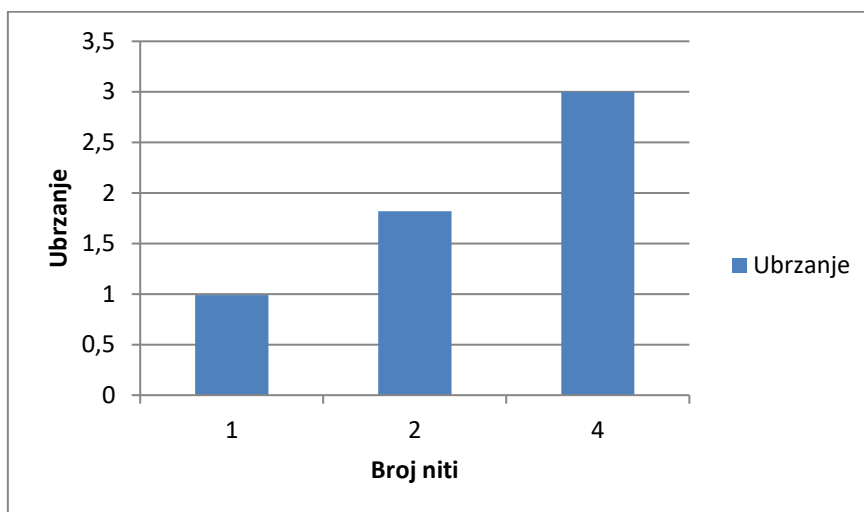
width=500, height=500, iteration=10
Time elapsed, sequential in ms: 69.528722
Time elapsed, parallel in ms: 20.593922
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Time elapsed, sequential in ms: 2809.779644
Time elapsed, parallel in ms: 924.871727
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 27517.969250
Time elapsed, parallel in ms: 9295.127461
Test PASSED
```

Listing 6. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

2.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 2. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti

2.3.3. Diskusija dobijenih rezultata

Na osnovu dobijenih rezultata možemo videti da je postignuto primetno ubrzanje sa paralelizacijom. Takođe sa povećanjem broja niti povećava se i ubrzanje.

3.PROBLEM 3 – HOTSPOT

3.1. Tekst problema

Paralelizovati program koji rešava problem promene temperature na čipu procesora u dvodimenzionalnom prostoru kroz vreme, ako su poznati početna temperatura i granični uslovi. Simulacija rešava seriju diferencijalnih jednačina nad pravilnom mrežom tačaka kojom se aproksimira površina procesora. Svaka tačka u mreži predstavlja prosečnu temperaturu za odgovarajuću površinu na čipu. Mreža tačaka je predstavljena odgovarajućom matricom koja opisuje trenutne temperature. Program se nalazi u direktorijumu hotspot u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Program se sastoji od više datoteka, od kojih je od interesa datoteka hotspot.c. Analizirati dati kod i obratiti pažnju na način izračunavanja temperatura. Verifikaciju paralelizovanog rešenja vršiti nad dobijenim temperaturama u poslednjem stanju sistema. Način pokretanja programa se nalazi u datoteci run. [1, N]. Kao pomoćno sredstvo, data je i python skripta koja izlaznu datoteku formatira u heatmap sliku u PNG formatu

3.2. Delovi koje treba paralelizovati

3.2.1. Diskusija

U funkciji `single_iteration` su uočene ugneždene dve for petlje čijom bi se paralelizacijom dobila optimizacija.

3.2.2. Način paralelizacije

U funkciji `single_iteration` smo optimizovali ugneždenu for petlju tako što smo posao podelili ravnopravno na sve procese pomoću promenljivih `start`, `end`, `chunk`. U zavisnosti od ranka svaki proces je dobijao određeni broj iteracija. Potrebne podatke smo slali pomocu neblokirajuće funkcije `MPI_Isend`, a primali podatke pomoću blokirajuće funkcije `MPI_Recv`. Procesu su primali isključivo podatke koji su im bili potrebni za uspešnu obradu. Podatke vezane za `power` smo slali u funkciji `compute_tran_temp_MPI` zato što se ti podaci ne menjaju kroz iteracije, dok smo `result` i `temp` slali u svakoj iteraciji.

3.3. Rezultati

| broj niti ulaz | 1 | 2 | 4 |
|---|---|---|---|
| 32 32 8192 1 ./data/temp32_32 ./data/power32_32 ./output/out32_32 | $\frac{22.654002}{21.959829}$ = 1.03 | $\frac{22.600176}{26.477691}$ = 0.85 | $\frac{23.225922}{35.845864}$ = 0.65 |
| 256 256 8192 1 ./data/temp256_256 ./data/power256_256 ./output/out256_256 | $\frac{1268.669622}{1259.747078}$ = 1.01 | $\frac{1266.339189}{885.700461}$ = 1.43 | $\frac{1281.372247}{611.242064}$ = 2.10 |
| 1024 1024 4096 1 ./data/temp1024_1024 ./data/power1024_1024 ./output/out1024_1024_4096 | $\frac{11058.391110}{10841.902766}$ = 1.02 | $\frac{10910.227503}{8431.217062}$ = 1.29 | $\frac{10520.794480}{6114.865877}$ = 1.72 |
| 1024 1024 8192 1 ./data/temp1024_1024 ./data/power1024_1024 ./output/out1024_1024_8192 | $\frac{22363.946042}{22199.313076}$ = 1.01 | $\frac{22029.935807}{16996.501578}$ = 1.30 | $\frac{20797.851542}{12092.065768}$ = 1.72 |
| 1024 1024 16384 1 ./data/temp1024_1024 ./data/power1024_1024 ./output/out1024_1024_16384 | $\frac{44501.046913}{43540.083558}$ = 1.02 | $\frac{43976.235625}{34356.441899}$ = 1.28 | $\frac{41711.915045}{26359.756022}$ = 1.58 |
| 1024 1024 32768 1 ./data/temp1024_1024 ./data/power1024_1024 ./output/out1024_1024_32768 | $\frac{87085.854422}{87131.465234}$ = 1.00 | $\frac{89357.706035}{69714.720319}$ = 1.28 | $\frac{84988.810805}{66077.077956}$ = 1.29 |
| Srednje ubrzanje | 1.01 | 1.24 | 1.51 |

3.3.1. Logovi izvršavanja

```
grid_rows=32,      grid_cols=32,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Elapsed time is 22.654002 (sequential) in ms
Elapsed time is 21.959829 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=256,      grid_cols=256,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Elapsed time is 1268.669622 (sequential) in ms
Elapsed time is 1259.747078 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=4096,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 11058.391110 (sequential) in ms
Elapsed time is 10841.902766 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 22363.946042 (sequential) in ms
Elapsed time is 22199.313076 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=16384,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 44501.046913 (sequential) in ms
Elapsed time is 43540.083558 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=32768,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 87085.854422 (sequential) in ms
Elapsed time is 87131.465234 (parallel) in ms
Test PASSED
```

Listing 7. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

```
grid_rows=32,      grid_cols=32,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
```

```

Elapsed time is 22.600176 (sequential) in ms
Elapsed time is 26.477691 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=256,    grid_cols=256,    sim_time=8192,    tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Elapsed time is 1266.339189 (sequential) in ms
Elapsed time is 885.700461 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=4096,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 10910.227503 (sequential) in ms
Elapsed time is 8431.217062 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=8192,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 22029.935807 (sequential) in ms
Elapsed time is 16996.501578 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=16384,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 43976.235625 (sequential) in ms
Elapsed time is 34356.441899 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=32768,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 89357.706035 (sequential) in ms
Elapsed time is 69714.720319 (parallel) in ms
Test PASSED

```

Listing 8. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```

grid_rows=32,    grid_cols=32,    sim_time=8192,    tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Elapsed time is 23.225922 (sequential) in ms
Elapsed time is 35.845864 (parallel) in ms
Test PASSED

```

```

grid_rows=256, grid_cols=256, sim_time=8192, tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Elapsed time is 1281.372247 (sequential) in ms
Elapsed time is 611.242064 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=4096, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 10520.794480 (sequential) in ms
Elapsed time is 6114.865877 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=8192, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 20797.851542 (sequential) in ms
Elapsed time is 12092.065768 (parallel) in ms
Test PASSED

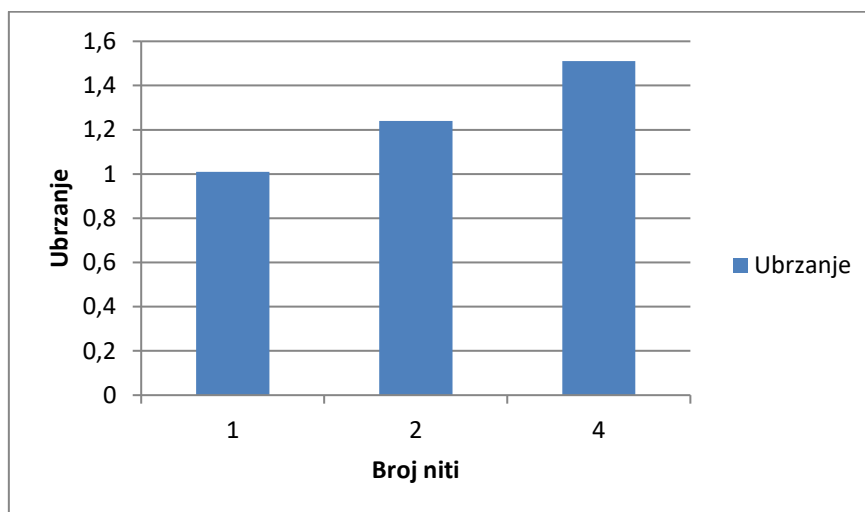
grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=16384, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 41711.915045 (sequential) in ms
Elapsed time is 26359.756022 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=32768, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 84988.810805 (sequential) in ms
Elapsed time is 66077.077956 (parallel) in ms
Test PASSED

```

Listing 9. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

3.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 3. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti

3.3.3. Diskusija dobijenih rezultata

Pri povećanju broja niti dolazi do ubrzanja, najveće ubrzanje je sa 4 niti. Takođe primećujemo da za prvi test primer gde su dimenzije čipa male, dobijamo usporenje pri paralelizaciji koda zato što se dosta vremena gubi na komunikaciju. Za druge test primere smo paralelizacijom dobili ubrzanja.

4.PROBLEM 4 – HOTSPOT

4.1. Tekst problema

Prethodni program paralelizovati korišćenjem manager - worker modela. Proces gospodar (master) treba da učitava neophodne podatke, generiše poslove, deli posao ostalim procesima i ispiše na kraju dobijeni rezultat. U svakom koraku obrade, proces gospodar šalje procesu radniku na obradu jednu jedinicu posla čiji veličinu treba pažljivo odabrati. Proces radnik prima podatke, vrši obradu, vraća rezultat, signalizira gospodaru kada je spreman da primi sledeći posao i ponavlja opisani postupak dok ne dobije signal da prekine sa radom. Veličinu jedne jedinice posla prilagoditi karakteristikama programa. Ukoliko je moguće, koristiti rutine za neblokirajuću komunikaciju za razmenu poruka. Analizirati dati kod i obratiti pažnju na način izračunavanja temperatura. Verifikaciju paralelizovanog rešenja vršiti nad dobijenim temperaturama u poslednjem stanju sistema. Način pokretanja programa se nalazi u datoteci run. [1, N] Delovi koje treba paralelizovati

4.1.1. Diskusija

U funkciji `single_iteration` su uočene ugneždene dve for petlje čijom bi se paralelizacijom dobila optimizacija.

4.1.2. Način paralelizacije

Tekstom zadatka je traženo da se paralelizacija izvrši korišćenjem manager – worker modela. Proces gospodar (master) je proces sa rankom 0 i on učitava podatke i deli posao ostalim procesima. Kao jedinicu posla smo uzeli vrednost 32, koja predstavlja broj redova za obradu, jer sa tom vrednošću smo dobili najveća ubrzanja. Prvo master svima šalje jedinicu posla ukoliko je ostalo posla na raspolaganju, a u slučaju da nije im šalje poruku o prekidu rada. Nakon toga master čeka da dobije rezultat od workera i u slučaju da je ostalo još neobrađenog posla šalje mu podatke za dalju obradu. Svaka komunikacija između mastera i workera je takva da je korišćena neblokirajuće slanje i blokirajući prijem.

4.2. Rezultati

| <div> <div>broj niti</div> <div>ulaz</div> </div> | 2 | 4 |
|---|---|--|
| <div> <div>32 32 8192 1</div> <div>./data/temp32_32</div> <div>./data/power32_32</div> <div>./output/out32_32</div> </div> | <div> <div>24.569518</div> <div>60.410838</div> <div>= 0.41</div> </div> | <div> <div>24.450030</div> <div>60.580917</div> <div>= 0.40</div> </div> |
| <div> <div>256 256 8192 1</div> <div>./data/temp256_256</div> <div>./data/power256_256</div> <div>./output/out256_256</div> </div> | <div> <div>1267.827209</div> <div>2099.384031</div> <div>= 0.60</div> </div> | <div> <div>1291.244447</div> <div>836.560639</div> <div>= 1.54</div> </div> |
| <div> <div>1024 1024 4096 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> <div>./output/out1024_1024_4096</div> </div> | <div> <div>10562.656296</div> <div>17968.835335</div> <div>= 0.59</div> </div> | <div> <div>10952.008199</div> <div>7230.236634</div> <div>= 1.51</div> </div> |
| <div> <div>1024 1024 8192 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> <div>./output/out1024_1024_8192</div> </div> | <div> <div>21495.122839</div> <div>35840.279128</div> <div>= 0.60</div> </div> | <div> <div>21804.328789</div> <div>14566.571860</div> <div>= 1.50</div> </div> |
| <div> <div>1024 1024 16384 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> <div>./output/out1024_1024_16384</div> </div> | <div> <div>45312.023164</div> <div>72044.811234</div> <div>= 0.63</div> </div> | <div> <div>43299.159501</div> <div>29216.944856</div> <div>= 1.48</div> </div> |
| <div> <div>1024 1024 32768 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> <div>./output/out1024_1024_32768</div> </div> | <div> <div>86528.121649</div> <div>145126.268543</div> <div>= 0.60</div> </div> | <div> <div>85323.719221</div> <div>61115.700023</div> <div>= 1.40</div> </div> |
| Srednje ubrzanje | 0.57 | 1.30 |

4.2.1. Logovi izvršavanja

```
grid_rows=32,      grid_cols=32,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Elapsed time is 24.569518 (sequential) in ms
Elapsed time is 60.410838 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=256,      grid_cols=256,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Elapsed time is 1267.827209 (sequential) in ms
Elapsed time is 2099.384031 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=4096,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 10562.656296 (sequential) in ms
Elapsed time is 17968.835335 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 21495.122839 (sequential) in ms
Elapsed time is 35840.279128 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=16384,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 45312.023164 (sequential) in ms
Elapsed time is 72044.811234 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,      grid_cols=1024,      sim_time=32768,      tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 86528.121649 (sequential) in ms
Elapsed time is 145126.268543 (parallel) in ms
Test PASSED
```

Listing 10. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```
grid_rows=32,      grid_cols=32,      sim_time=8192,      tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
```

```

Elapsed time is 24.450030 (sequential) in ms
Elapsed time is 60.580917 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=256,    grid_cols=256,    sim_time=8192,    tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Elapsed time is 1291.244447 (sequential) in ms
Elapsed time is 836.560639 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=4096,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 10952.008199 (sequential) in ms
Elapsed time is 7230.236634 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=8192,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 21804.328789 (sequential) in ms
Elapsed time is 14566.571860 (parallel) in ms
Test PASSED

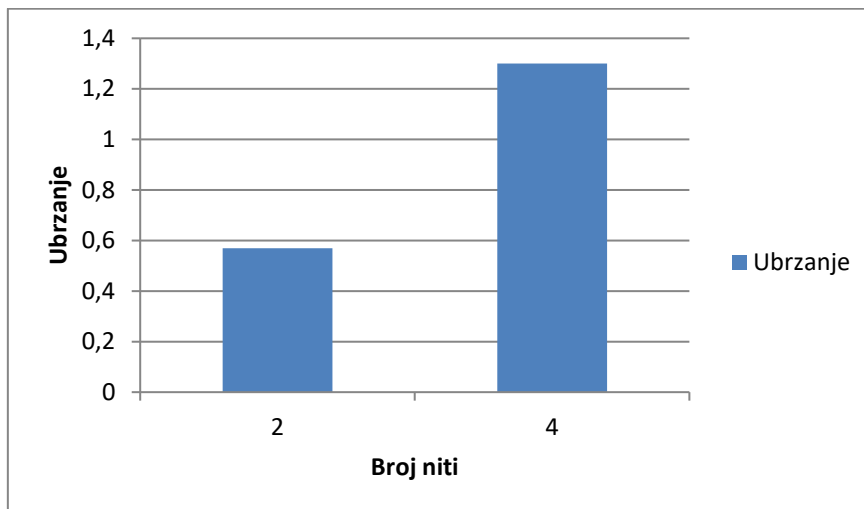
grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=16384,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 43299.159501 (sequential) in ms
Elapsed time is 29216.944856 (parallel) in ms
Test PASSED

grid_rows=1024,  grid_cols=1024,  sim_time=32768,  tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Elapsed time is 85323.719221 (sequential) in ms
Elapsed time is 61115.700023 (parallel) in ms
Test PASSED

```

Listing 11. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

4.2.2. Grafici ubrzanja



Slika 4. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti

4.2.3. Diskusija dobijenih rezultata

Primećujemo da je sa dve niti veliko usporenje zato što samo jedna nit izvršava obradu pa je vreme izvršavanja u stvari komunikacija plus potrebno vreme za sekvencijalnu obradu. Sa 4 niti imamo ubrzanje. Takođe primećujemo da za prvi test primer gde su dimenzije čipa male, dobijamo usporenje pri paralelizaciji koda zato što se dosta vremena gubi na komunikaciju. Za druge test primere smo paralelizacijom dobili ubrzanja.