

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



DOMAĆI ZADATAK 1 – OPENMP

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, april 2022.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	2
1. PROBLEM 1 - SIMPLEX	4
1.1. TEKST PROBLEMA	4
1.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI	4
1.2.1. <i>Diskusija</i>	4
1.2.2. <i>Način paralelizacije</i>	4
1.3. REZULTATI	5
1.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i>	5
1.3.2. <i>Grafici ubrzanja</i>	5
1.3.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i>	7
2. PROBLEM 2 – SIMPLEX	8
2.1. TEKST PROBLEMA	8
2.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI	8
2.2.1. <i>Diskusija</i>	8
2.2.2. <i>Način paralelizacije</i>	8
2.3. REZULTATI	9
2.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i>	9
2.3.2. <i>Grafici ubrzanja</i>	11
2.3.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i>	12
3. PROBLEM 3 – GAME OF LIFE	13
3.1. TEKST PROBLEMA	13
3.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI	13
3.2.1. <i>Diskusija</i>	13
3.2.2. <i>Način paralelizacije</i>	14
3.3. REZULTATI	14
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 – GAME OF LIFE	18
4.1. TEKST PROBLEMA	18
4.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI	18
4.2.1. <i>Diskusija</i>	18
4.2.2. <i>Način paralelizacije</i>	18
4.3. REZULTATI	19
4.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i>	19
4.3.2. <i>Grafici ubrzanja</i>	22
4.3.3. <i>Diskusija dobijenih rezultata</i>	22
5. PROBLEM 5 – HOTSPOT	24
5.1. TEKST PROBLEMA	24
5.2. DELOVI KOJE TREBA PARALELIZOVATI	24
5.2.1. <i>Diskusija</i>	24
5.2.2. <i>Način paralelizacije</i>	24
5.3. REZULTATI	25
5.3.1. <i>Logovi izvršavanja</i>	25

5.3.2.	<i>Grafici ubrzanja.....</i>	29
5.3.3.	<i>Diskusija dobijenih rezultata</i>	30

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 naalazi u datoteci simplex.c. U izvornom kodu data je matrica eksponenata jednačine i ivica simplexa. Ulazni parametar programa je broj iteracija aproksimacije. Prilikom paralelizacije nije dozvoljeno koristiti direktive za podelu posla (worksharing direktive), već je iteracije petlje koja se paralelizuje potrebno raspodeliti ručno. Obratiti pažnju na ispravno deklarisanje svih promenljivih prilikom paralelizacije. 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

Zbog nemogućnosti korišćenja worksharing direktiva, odlučili smo da paralelizaciju izvršimo pomoću paralelnog regiona, dok smo posao podelili pomoću promenljivih start, end, chunk, myid, nthreads, gde je svaka nit dobila jednak deo posla.

1.3. Rezultati

broj niti ulaz	1	2	4	8
500000	$\frac{870.309042}{868.068687}$ = 1.00	$\frac{877.010990}{471.146965}$ = 1.86	$\frac{878.761458}{277.447496}$ = 3.17	$\frac{909.308585}{221.371720}$ = 4.11
100000	$\frac{1826.704564}{1818.316243}$ = 1.00	$\frac{1824.771651}{986.961746}$ = 1.85	$\frac{1839.987779}{577.958581}$ = 3.18	$\frac{1836.755510}{466.917801}$ = 3.94
1000000	$\frac{15764.889866}{15740.025762}$ = 1.00	$\frac{15786.965556}{8584.325632}$ = 1.84	$\frac{15909.011163}{5153.458449}$ = 3.08	$\frac{15658.180819}{4008.137071}$ = 3.91
Srednje ubrzanje	1.00	1.85	3.14	3.99

1.3.1. Logovi izvršavanja

<p>Simplex 50000</p> <p>Time elapsed in ms (sequential program): 870.309042</p> <p>Time elapsed in ms (parallel program): 868.068687</p> <p>Test PASSED</p> <p>Simplex 100000</p> <p>Time elapsed in ms (sequential program): 1826.704564</p> <p>Time elapsed in ms (parallel program): 1818.316243</p> <p>Test PASSED</p> <p>Simplex 1000000</p> <p>Time elapsed in ms (sequential program): 15764.889866</p> <p>Time elapsed in ms (parallel program): 15740.025762</p> <p>Test PASSED</p>
--

Listing 1. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

Simplex 50000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 877.010990
Time elapsed in ms (parallel program): 471.146965
Test PASSED
```

```
Simplex 100000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 1824.771651
Time elapsed in ms (parallel program): 986.961746
Test PASSED
```

```
Simplex 1000000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 15786.965556
Time elapsed in ms (parallel program): 8584.325632
Test PASSED
```

Listing 2. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```
Simplex 50000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 878.761458
Time elapsed in ms (parallel program): 277.447496
Test PASSED
```

```
Simplex 100000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 1839.987779
Time elapsed in ms (parallel program): 577.958581
Test PASSED
```

```
Simplex 1000000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 15909.011163
Time elapsed in ms (parallel program): 5153.458449
Test PASSED
```

Listing 3. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

```
Simplex 50000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 909.308585
Time elapsed in ms (parallel program): 221.371720
Test PASSED
```

```
Simplex 100000
```

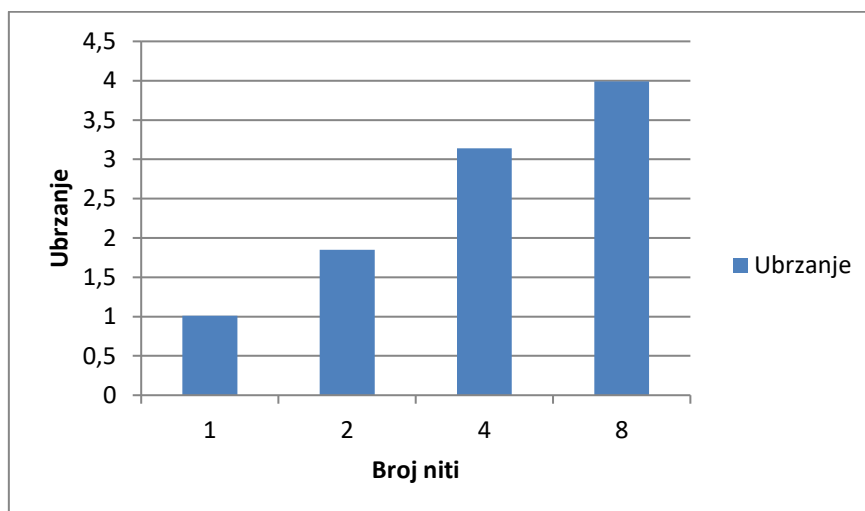
```
Time elapsed in ms (sequential program): 1836.755510
Time elapsed in ms (parallel program): 466.917801
Test PASSED
```

```
Simplex 1000000
```

```
Time elapsed in ms (sequential program): 15658.180819
Time elapsed in ms (parallel program): 4008.137071
Test PASSED
```

Listing 4. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 8 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, najbolje ubrzanje je sa 8 niti i to oko 4 puta brže u odnosu na sekvencijalno.

2. PROBLEM 2 – SIMPLEX

2.1. Tekst problema

Prethodni program paralelizovati korišćenjem direktiva za podelu posla (worksharing direktive). Obratiti pažnju na raspodelu opterećenja po nitima i testirati program za različite načine raspoređivanja posla. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci run. [1, N]

2.2. Delovi koje treba paralelizovati

2.2.1. *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.

2.2.2. *Način paralelizacije*

Paralelizujemo isti deo koda kao u problemu 1 samo sada koristimo worksharing direktivu for kao što je traženo tekstom zadatka. Probali smo različite rasporede schedule i utvrdili smo da je najbolji sa schedule(static).

2.3. Rezultati

broj niti ulaz	1	2	4	8
50000	$\frac{897.346314}{873.633010}$ = 1.03	$\frac{876.437085}{470.557831}$ = 1.86	$\frac{876.851440}{279.833051}$ = 3.13	$\frac{879.665203}{222.400882}$ = 3.96
100000	$\frac{1831.686714}{1812.717539}$ = 1.01	$\frac{1850.151000}{987.194650}$ = 1.87	$\frac{1823.954493}{577.371429}$ = 3.16	$\frac{1837.696114}{449.157040}$ = 4.09
1000000	$\frac{15715.454876}{15675.815409}$ = 1.00	$\frac{15663.189551}{8554.116579}$ = 1.83	$\frac{15697.520661}{5155.116142}$ = 3.04	$\frac{16184.729608}{3937.199700}$ = 4.11
Srednje ubrzanje	1.01	1.85	3.11	4.04

2.3.1. Logovi izvršavanja

Simplex 50000

Time elapsed in ms (sequential program): 897.346314

Time elapsed in ms (parallel program): 873.633010

Test PASSED

Simplex 100000

Time elapsed in ms (sequential program): 1831.686714

Time elapsed in ms (parallel program): 1812.717539

Test PASSED

Simplex 1000000

Time elapsed in ms (sequential program): 15715.454876

Time elapsed in ms (parallel program): 15675.815409

Test PASSED

Listing 5. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

Simplex 50000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 876.437085
Time elapsed in ms (parallel program): 470.557831
Test PASSED
```

Simplex 100000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 1850.151000
Time elapsed in ms (parallel program): 987.194650
Test PASSED
```

Simplex 1000000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 15663.189551
Time elapsed in ms (parallel program): 8554.116579
Test PASSED
```

Listing 6. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

Simplex 50000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 876.851440
Time elapsed in ms (parallel program): 279.833051
Test PASSED
```

Simplex 100000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 1823.954493
Time elapsed in ms (parallel program): 577.371429
Test PASSED
```

Simplex 1000000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 15697.520661
Time elapsed in ms (parallel program): 5155.116142
Test PASSED
```

Listing 7. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

Simplex 50000

```
Time elapsed in ms (sequential program): 879.665203
Time elapsed in ms (parallel program): 222.400882
Test PASSED
```

Simplex 100000

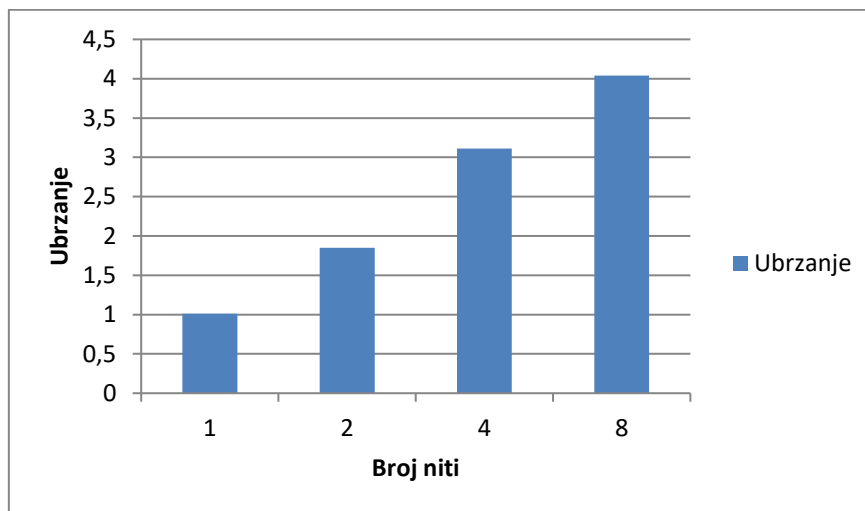
```
Time elapsed in ms (sequential program): 1837.696114
Time elapsed in ms (parallel program): 449.157040
Test PASSED
```

```
Simplex 1000000
```

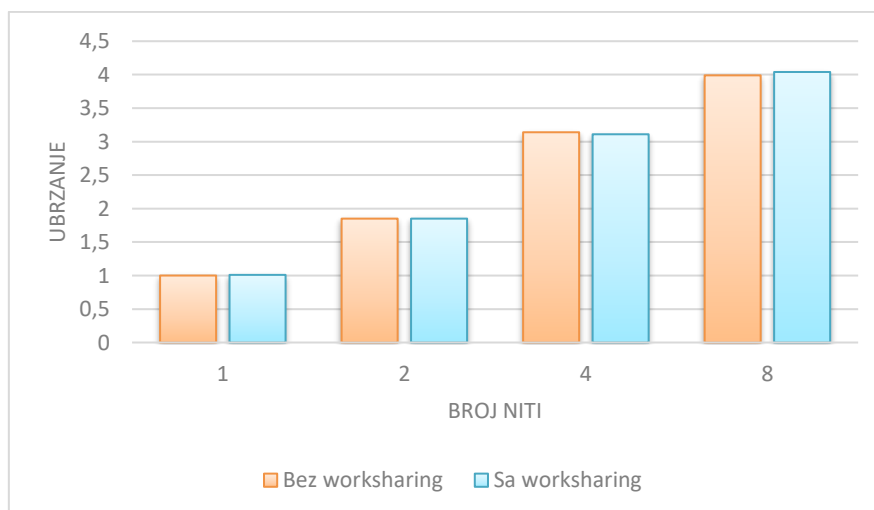
```
Time elapsed in ms (sequential program): 16184.729608
Time elapsed in ms (parallel program): 3937.199700
Test PASSED
```

Listing 8. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 8 niti

2.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 2. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti



Slika 3. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti sa i bez worksharing direktive

2.3.3. *Diskusija dobijenih rezultata*

Na osnovu dobijenih rezultata možemo videti da je postignuto ubrzanje sa paralelizacijom. Takođe sa povećanjem broja niti povećava se i ubrzanje. Takođe možemo primetiti da su ubrzanja skoro identična sa minimalnim razlikama u odnosu na prošli problem gde nismo koristili worksharing direktive.

3.PROBLEM 3 – GAME OF LIFE

3.1. 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. 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, a vreme meriti na nivou cele simulacije i na nivou jednog izvršavanja funkcije `evolve`. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci `run`. [1, N]

3.2. Delovi koje treba paralelizovati

3.2.1. 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.

3.2.2. Način paralelizacije

Korišćena je worksharing direktiva for sa odredbom collapse(1). Probali smo različite rasporede schedule i utvrdili smo da je najbolji sa schedule(stataic, 5).

3.3. Rezultati

broj niti ulazni parametri	1	2	4	8
30 30 1000	$\frac{33.947407}{29.777111}$ = 1.14	$\frac{32.948428}{15.704965}$ = 2.10	$\frac{35.391786}{11.179693}$ = 3.17	$\frac{36.238849}{9.876280}$ = 3.67
500 500 10	$\frac{72.104996}{76.487408}$ = 0.94	$\frac{73.824149}{38.895495}$ = 1.90	$\frac{71.557198}{20.091148}$ = 3.56	$\frac{70.960523}{17.610512}$ = 4.03
1000 1000 100	$\frac{2896.550021}{3113.850245}$ = 0.93	$\frac{2897.931875}{1584.834766}$ = 1.83	$\frac{2897.726081}{856.093507}$ = 3.38	$\frac{2943.773821}{661.860891}$ = 4.48
1000 1000 1000	$\frac{28539.086630}{30582.420922}$ = 0.93	$\frac{29133.896641}{15868.059293}$ = 1.84	$\frac{29910.154797}{8011.970540}$ = 3.73	$\frac{28589.022624}{6553.778025}$ = 4.36
Srednje ubrzanje	0.99	1.92	3.46	4.14

3.3.1. Logovi izvršavanja

```
width=30, height=30, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 33.947407
Time elapsed, parallel in ms: 29.777111
Test PASSED
```

```
width=500, height=500, iteration=10
Time elapsed, sequential in ms: 72.104996
Time elapsed, parallel in ms: 76.487408
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Time elapsed, sequential in ms: 2896.550021
Time elapsed, parallel in ms: 3113.850245
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 28539.086630
Time elapsed, parallel in ms: 30582.420922
Test PASSED
```

Listing 9. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 32.948428
Time elapsed, parallel in ms: 15.704965
Test PASSED

width=500, height=500, iteration=10
Time elapsed, sequential in ms: 73.824149
Time elapsed, parallel in ms: 38.895495
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Time elapsed, sequential in ms: 2897.931875
Time elapsed, parallel in ms: 1584.834766
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 29133.896641
Time elapsed, parallel in ms: 15868.059293
Test PASSED
```

Listing 10. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 35.391786
Time elapsed, parallel in ms: 11.179693
Test PASSED

width=500, height=500, iteration=10
Time elapsed, sequential in ms: 71.557198
Time elapsed, parallel in ms: 20.091148
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Time elapsed, sequential in ms: 2897.726081
Time elapsed, parallel in ms: 856.093507
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 29910.154797
Time elapsed, parallel in ms: 8011.970540
Test PASSED
```

Listing 11. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 36.238849
Time elapsed, parallel in ms: 9.876280
Test PASSED

width=500, height=500, iteration=10
Time elapsed, sequential in ms: 70.960523
Time elapsed, parallel in ms: 17.610512
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Time elapsed, sequential in ms: 2943.773821
Time elapsed, parallel in ms: 661.860891
Test PASSED

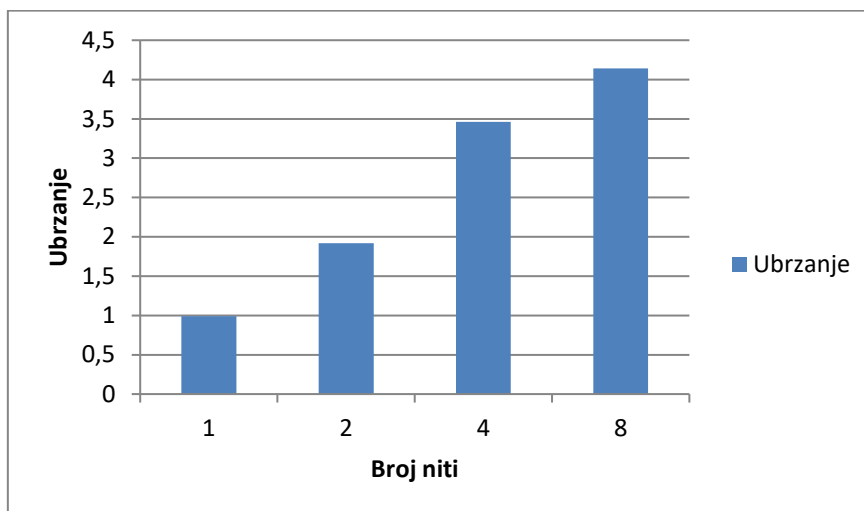
width=1000, height=1000, iteration=1000
Time elapsed, sequential in ms: 28589.022624
```



```
Time elapsed, parallel in ms: 6553.778025  
Test PASSED
```

Listing 12. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 8 niti

3.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 4. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti

3.3.3. Diskusija dobijenih rezultata

Na osnovu dobijenih rezultata možemo videti da je postignuto ubrzanje sa paralelizacijom. Takođe sa povećanjem broja niti povećava se i ubrzanje. Takođe nije bilo isplativo meriti vreme jednog izvršavanja funkcije evolve jer je ono previše malo, pa je mereno vreme samo na nivou cele simulacije.

4.PROBLEM 4 – GAME OF LIFE

4.1. Tekst problema

Rešiti prethodni problem korišćenjem koncepta poslova (tasks). Obratiti pažnju na eventualnu potrebu za sinhronizacijom. Rešenje testirati i prilagoditi tako da granularnost poslova bude optimalna. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci run. [1, N]

4.2. Delovi koje treba paralelizovati

4.2.1. 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.

4.2.2. Način paralelizacije

Tekstom zadatka je zahtevano da se problem reši konceptom poslova(tasks). Pošto imamo ugneždenu petlju postoje dve mogućnosti. Prva je da u jedan task pakujemo telo unutrašnje petlje, dok je druga da u jedan task pakujemo celu unutrašnju petlju. Bolje rezultate nam je dala druga mogućnost. Takođe ovde nije bilo potrebe koristiti bilo kakvu sinhronizaciju jer su podaci u tasku međusobno nezavisni, a na kraju single direktive imamo implicitnu barijeru.

4.3. Rezultati

broj niti ulazni parametri	1	2	4	8
30 30 1000	$\frac{34.440937}{29.664579}$ = 1.16	$\frac{37.226502}{18.768598}$ = 1.98	$\frac{34.902242}{15.091054}$ = 2.31	$\frac{36.417688}{31.101013}$ = 1.17
500 500 10	$\frac{71.316404}{68.871844}$ = 1.04	$\frac{74.852194}{35.637384}$ = 2.10	$\frac{71.264068}{18.524861}$ = 3.85	$\frac{73.424282}{16.562246}$ = 4.43
1000 1000 100	$\frac{2800.630897}{2818.770994}$ = 0.99	$\frac{2792.358275}{1499.991679}$ = 1.86	$\frac{2796.243935}{737.566571}$ = 3.79	$\frac{2801.491332}{656.605255}$ = 4.27
1000 1000 1000	$\frac{27516.952744}{27719.500210}$ = 0.99	$\frac{27716.164482}{14149.114480}$ = 1.96	$\frac{27434.097856}{7673.483783}$ = 3.58	$\frac{27973.274361}{6490.755107}$ = 4.31
Srednje ubrzanje	1.04	1.98	3.40	3.55

4.3.1. Logovi izvršavanja

```
width=30, height=30, iteration=1000
Elapsed time is 34.440937 (sequential) in ms
Elapsed time is 29.664579 (parallel) in ms
Test PASSED

width=500, height=500, iteration=10
Elapsed time is 71.316404 (sequential) in ms
Elapsed time is 68.871844 (parallel) in ms
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Elapsed time is 2800.630897 (sequential) in ms
Elapsed time is 2818.770994 (parallel) in ms
Test PASSED
```

```
width=1000, height=1000, iteration=1000
Elapsed time is 27516.952744 (sequential) in ms
Elapsed time is 27719.500210 (parallel) in ms
Test PASSED
```

Listing 13. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Elapsed time is 37.226502 (sequential) in ms
Elapsed time is 18.768598 (parallel) in ms
Test PASSED

width=500, height=500, iteration=10
Elapsed time is 74.852194 (sequential) in ms
Elapsed time is 35.637384 (parallel) in ms
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Elapsed time is 2792.358275 (sequential) in ms
Elapsed time is 1499.991679 (parallel) in ms
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=1000
Elapsed time is 27716.164482 (sequential) in ms
Elapsed time is 14149.114480 (parallel) in ms
Test PASSED
```

Listing 14. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```
width=30, height=30, iteration=1000
Elapsed time is 34.902242 (sequential) in ms
Elapsed time is 15.091054 (parallel) in ms
Test PASSED

width=500, height=500, iteration=10
Elapsed time is 71.264068 (sequential) in ms
Elapsed time is 18.524861 (parallel) in ms
Test PASSED

width=1000, height=1000, iteration=100
Elapsed time is 2796.243935 (sequential) in ms
Elapsed time is 737.566571 (parallel) in ms
```

```
Test PASSED
```

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

```
Elapsed time is 27434.097856 (sequential) in ms
```

```
Elapsed time is 7673.483783 (parallel) in ms
```

```
Test PASSED
```

Listing 15. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

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

```
Elapsed time is 36.417688 (sequential) in ms
```

```
Elapsed time is 31.101013 (parallel) in ms
```

```
Test PASSED
```

```
width=500, height=500, iteration=10
```

```
Elapsed time is 73.424282 (sequential) in ms
```

```
Elapsed time is 16.562246 (parallel) in ms
```

```
Test PASSED
```

```
width=1000, height=1000, iteration=100
```

```
Elapsed time is 2801.491332 (sequential) in ms
```

```
Elapsed time is 656.605255 (parallel) in ms
```

```
Test PASSED
```

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

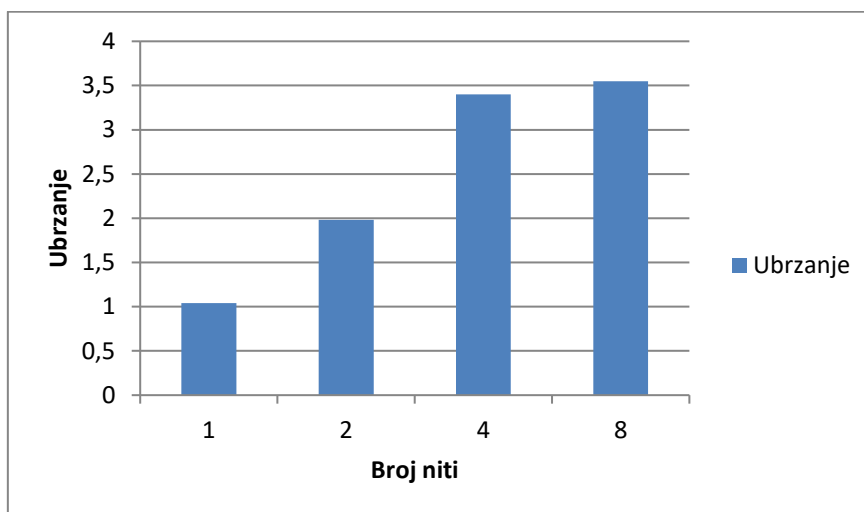
```
Elapsed time is 27973.274361 (sequential) in ms
```

```
Elapsed time is 6490.755107 (parallel) in ms
```

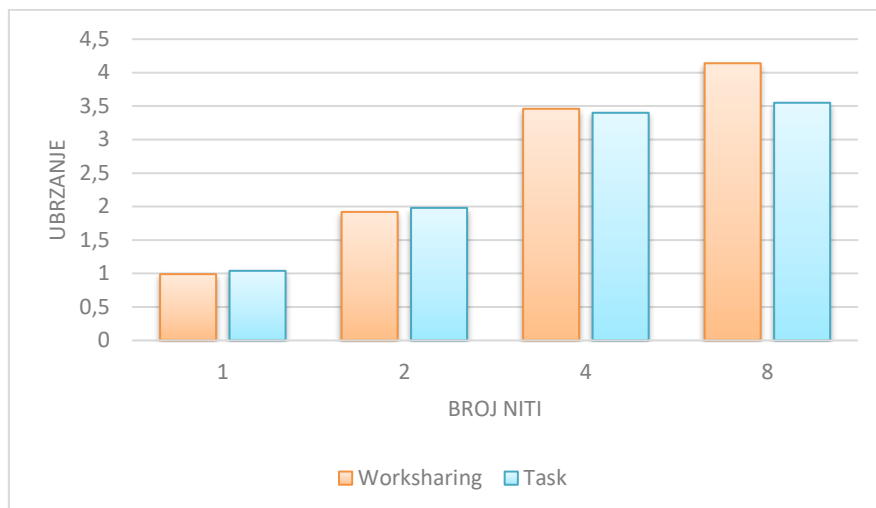
```
Test PASSED
```

Listing 16. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 8 niti

4.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 5. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti



Slika 6. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti sa worksharing direktivom i sa taskovima

4.3.3. Diskusija dobijenih rezultata

Na osnovu dobijenih rezultata možemo videti da je postignuto ubrzanje sa paralelizacijom. Takođe sa povećanjem broja niti povećava se i ubrzanje. Isto možemo primetiti da u prvom test primeru, gde su dimenzije matrice manje, sa 8 niti imamo pad u ubrzanju u odnosu na manji broj niti, dok za ostale test primere imamo primetno veće ubrzanje. Takođe nije bilo isplativo meriti vreme jednog izvršavanja funkcije evolve jer je ono previše malo, pa je mereno vreme samo na nivou cele simulacije.

Upoređivanjem rezultata trećeg i četvrtog problema možemo primetiti da za 1, 2 i 4 niti imamo identična ubrzanja sa worksharing direktivom i sa taskovima. Za 8 niti veće prosečno ubrzanje dobijamo worksharing direktivom, a ako bismo izuzeli prvi test primer onda su dobijena ubrzanja identična.

5.PROBLEM 5 – HOTSPOT

5.1. 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. Ukoliko je potrebno međusobno isključenje prilikom paralelizacije programa, koristiti dostupne OpenMP konstrukte. Obratiti pažnju na efikasnost međusobnog isključenja niti i po potrebi ga svesti na što je moguće manju meru uvođenjem pomoćnih struktura podataka. 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.

5.2. Delovi koje treba paralelizovati

5.2.1. Diskusija

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

5.2.2. Način paralelizacije

Imali smo dva moguća načina paralelizacije. Prvi način je bio pomoću taskova. Jedna od mogućnosti je bila da ceo unutrašnji for stavimo u task, dok je druga bila da telo unutrašnje petlje stavimo u task. Drugi način je bio pomoću worksharing direktive for i zajedno sa njim smo pokušali i sažimanje pomoću odredbe collapse. Najbolje vreme izvršavanja smo dobili pomoću worksharing direktive for bez collapse odredbe. Probali smo različite rasporede schedule direktive i zaključili da najbolja vremena dobijamo iz schedule(static).

5.3. Rezultati

<div> <div>broj niti</div> <div>ulaz</div> </div>	1	2	4	8
<div> <div>32 32 8192 1</div> <div>./data/temp32_32</div> <div>./data/power32_32</div> </div>	<div> <div>26.962247</div> <div>24.150516</div> <div>= 1.12</div> </div>	<div> <div>25.911847</div> <div>15.981831</div> <div>= 1.62</div> </div>	<div> <div>26.709957</div> <div>12.117223</div> <div>= 2.20</div> </div>	<div> <div>26.236656</div> <div>13.823957</div> <div>= 1.89</div> </div>
<div> <div>256 256 8192 1</div> <div>./data/temp256_256</div> <div>./data/power256_256</div> </div>	<div> <div>1310.529419</div> <div>1255.654231</div> <div>= 1.04</div> </div>	<div> <div>1251.973345</div> <div>637.061000</div> <div>= 1.96</div> </div>	<div> <div>1259.812312</div> <div>381.035069</div> <div>= 3.30</div> </div>	<div> <div>1307.613160</div> <div>367.146718</div> <div>= 3.56</div> </div>
<div> <div>1024 1024 4096 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> </div>	<div> <div>10838.898952</div> <div>10746.099056</div> <div>= 1.01</div> </div>	<div> <div>10992.281080</div> <div>5525.470967</div> <div>= 1.99</div> </div>	<div> <div>10621.652955</div> <div>2868.603117</div> <div>= 3.70</div> </div>	<div> <div>10610.959799</div> <div>3045.354849</div> <div>= 3.48</div> </div>
<div> <div>1024 1024 8192 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> </div>	<div> <div>21431.406103</div> <div>21381.387856</div> <div>= 1.00</div> </div>	<div> <div>21354.894798</div> <div>10743.170405</div> <div>= 1.98</div> </div>	<div> <div>21111.068628</div> <div>5705.231245</div> <div>= 3.70</div> </div>	<div> <div>21352.541808</div> <div>6107.724201</div> <div>= 3.50</div> </div>
<div> <div>1024 1024 16384 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> </div>	<div> <div>42634.706423</div> <div>42035.007131</div> <div>= 1.01</div> </div>	<div> <div>42821.434601</div> <div>21777.588395</div> <div>= 1.96</div> </div>	<div> <div>42338.025070</div> <div>11381.782590</div> <div>= 3.72</div> </div>	<div> <div>44829.628456</div> <div>12285.997582</div> <div>= 3.65</div> </div>
<div> <div>1024 1024 32768 1</div> <div>./data/temp1024_1024</div> <div>./data/power1024_1024</div> </div>	<div> <div>85310.948150</div> <div>85257.660631</div> <div>= 1.00</div> </div>	<div> <div>85303.176833</div> <div>44369.678572</div> <div>= 1.92</div> </div>	<div> <div>84609.990933</div> <div>22165.098460</div> <div>= 3.81</div> </div>	<div> <div>85881.186900</div> <div>24619.479462</div> <div>= 3.49</div> </div>
Srednje ubrzanje	1.03	1.91	3.40	3.26

5.3.1. Logovi izvršavanja

```

grid_rows=32, grid_cols=32, sim_time=8192, tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Time elapsed in ms: 26.962247 (sequential)
Time elapsed in ms: 24.150516 (parallel)
Test PASSED

```

```

grid_rows=256,    grid_cols=256,    sim_time=8192,    tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Time elapsed in ms: 1310.529419 (sequential)
Time elapsed in ms: 1255.654231 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024,   grid_cols=1024,   sim_time=4096,   tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 10838.898952 (sequential)
Time elapsed in ms: 10746.099056 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024,   grid_cols=1024,   sim_time=8192,   tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 21431.406103 (sequential)
Time elapsed in ms: 21381.387856 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024,   grid_cols=1024,   sim_time=16384,   tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 42634.706423 (sequential)
Time elapsed in ms: 42035.007131 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024,   grid_cols=1024,   sim_time=32768,   tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 85310.948150 (sequential)
Time elapsed in ms: 85257.660631 (parallel)
Test PASSED

```

Listing 17. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 1 niti

```

grid_rows=32, grid_cols=32, sim_time=8192, tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Time elapsed in ms: 25.911847 (sequential)
Time elapsed in ms: 15.981831 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=256,    grid_cols=256,    sim_time=8192,    tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Time elapsed in ms: 1251.973345 (sequential)

```

```

Time elapsed in ms: 637.061000 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=4096, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 10992.281080 (sequential)
Time elapsed in ms: 5525.470967 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=8192, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 21354.894798 (sequential)
Time elapsed in ms: 10743.170405 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=16384, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 42821.434601 (sequential)
Time elapsed in ms: 21777.588395 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=32768, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 85303.176833 (sequential)
Time elapsed in ms: 44369.678572 (parallel)
Test PASSED

```

Listing 18. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 2 niti

```

grid_rows=32, grid_cols=32, sim_time=8192, tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Time elapsed in ms: 26.709957 (sequential)
Time elapsed in ms: 12.117223 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=256, grid_cols=256, sim_time=8192, tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Time elapsed in ms: 1259.812312 (sequential)
Time elapsed in ms: 381.035069 (parallel)
Test PASSED

```

```

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=4096, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 10621.652955 (sequential)
Time elapsed in ms: 2868.603117 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=8192, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 21111.068628 (sequential)
Time elapsed in ms: 5705.231245 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=16384, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 42338.025070 (sequential)
Time elapsed in ms: 11381.782590 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=32768, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 84609.990933 (sequential)
Time elapsed in ms: 22165.098460 (parallel)
Test PASSED

```

Listing 19. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 4 niti

```

grid_rows=32, grid_cols=32, sim_time=8192, tempfile=./data/temp32_32,
powerfile=./data/power32_32
Time elapsed in ms: 26.236656 (sequential)
Time elapsed in ms: 13.823957 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=256, grid_cols=256, sim_time=8192, tempfile=./data/temp256_256,
powerfile=./data/power256_256
Time elapsed in ms: 1307.613160 (sequential)
Time elapsed in ms: 367.146718 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=4096, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 10610.959799 (sequential)
Time elapsed in ms: 3045.354849 (parallel)

```

```

Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=8192, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 21352.541808 (sequential)
Time elapsed in ms: 6107.724201 (parallel)
Test PASSED

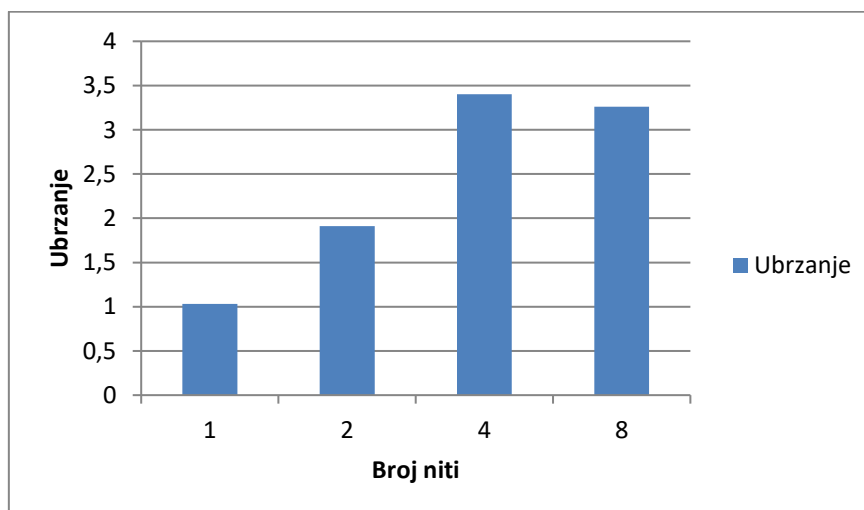
grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=16384, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 44829.628456 (sequential)
Time elapsed in ms: 12285.997582 (parallel)
Test PASSED

grid_rows=1024, grid_cols=1024, sim_time=32768, tempfile=./data/temp1024_1024,
powerfile=./data/power1024_1024
Time elapsed in ms: 85881.186900 (sequential)
Time elapsed in ms: 24619.479462 (parallel)
Test PASSED

```

Listing 20. Sekvencijalna i paralelna izvršavanja sa 8 niti

5.3.2. Grafici ubrzanja



Slika 7. Grafik zavisnosti ubrzanja od broja niti

5.3.3. *Diskusija dobijenih rezultata*

Uočava se ubrzanje za paralelni program u odnosu na sekvencijalni, dok za 2, 4 i 8 niti to ubrzanje je znatno veće. Primećujemo da je najbolje ubrzanje postignuto sa 4 niti, a nakon toga sa 8 niti.