Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Multiprocesorki sistemi (13S114MUPS, 13E114MUPS)



Domaći zadatak 1 – OPENMP

Izveštaj o urađenom domaćem zadatku

|  |  |
| --- | --- |
| Predmetni saradnici: | Student: |
| doc. dr Marko Mišić  dipl. ing. Pavle Divović | Aleksa Savić 2019/0595 |

Beograd, novembar 2022.

Sadržaj

[Sadržaj 2](#_Toc120090218)

[1. Problem 1 – Prime.c 3](#_Toc120090219)

[1.1. Tekst problema 3](#_Toc120090220)

[1.2. Delovi koje treba paralelizovati 3](#_Toc120090221)

[1.2.1. Diskusija 3](#_Toc120090222)

[1.2.2. Način paralelizacije 3](#_Toc120090223)

[1.3. Rezultati 3](#_Toc120090224)

[1.3.1. Logovi izvršavanja 3](#_Toc120090225)

[1.3.2. Grafici ubrzanja 7](#_Toc120090226)

[1.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 7](#_Toc120090227)

[2. Problem 2 – Prime.c 8](#_Toc120090228)

[2.1. Tekst problema 8](#_Toc120090229)

[2.2. Delovi koje treba paralelizovati 8](#_Toc120090230)

[2.2.1. Diskusija 8](#_Toc120090231)

[2.2.2. Način paralelizacije 8](#_Toc120090232)

[2.3. Rezultati 8](#_Toc120090233)

[2.3.1. Logovi izvršavanja 8](#_Toc120090234)

[2.3.2. Grafici ubrzanja 12](#_Toc120090235)

[2.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 12](#_Toc120090236)

[3. Problem 3 – Feyman 13](#_Toc120090237)

[3.1. Tekst problema 13](#_Toc120090238)

[3.2. Delovi koje treba paralelizovati 13](#_Toc120090239)

[3.2.1. Diskusija 13](#_Toc120090240)

[3.2.2. Način paralelizacije 13](#_Toc120090241)

[3.3. Rezultati 13](#_Toc120090242)

[3.3.1. Logovi izvršavanja 13](#_Toc120090243)

[3.3.2. Grafici ubrzanja 16](#_Toc120090244)

[3.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 17](#_Toc120090245)

[4. Problem 4 – Feyman 18](#_Toc120090246)

[4.1. Tekst problema 18](#_Toc120090247)

[4.2. Delovi koje treba paralelizovati 18](#_Toc120090248)

[4.2.1. Diskusija 18](#_Toc120090249)

[4.2.2. Način paralelizacije 18](#_Toc120090250)

[4.3. Rezultati 18](#_Toc120090251)

[4.3.1. Logovi izvršavanja 18](#_Toc120090252)

[4.3.2. Grafici ubrzanja 21](#_Toc120090253)

[4.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 22](#_Toc120090254)

[5. Problem 5 – MD 23](#_Toc120090255)

[5.1. Tekst problema 23](#_Toc120090256)

[5.2. Delovi koje treba paralelizovati 23](#_Toc120090257)

[5.2.1. Diskusija 23](#_Toc120090258)

[5.2.2. Način paralelizacije 24](#_Toc120090259)

[5.3. Rezultati 24](#_Toc120090260)

[5.3.1. Logovi izvršavanja 24](#_Toc120090261)

[5.3.2. Grafici ubrzanja 25](#_Toc120090262)

[5.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 26](#_Toc120090263)

1. Problem 1 – Prime.c

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 1.

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši određivanje ukupnog broja prostih brojeva u zadatom opsegu. Program se nalazi u datoteci prime.c.

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. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

Moguće je paralelizovati glavnu for petlju funkcije koji vrši proveru prostih brojeva.

* + 1. Način paralelizacije

Za zadatak 1, iskorišćena je ručna paralelizacija for petlje korišćenjem OpenMP niti.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 1.

* + 1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti.

20 November 2022 04:11:42 PM

PRIME TEST

N Pi Time

1 0 0.000001

2 1 0.000000

4 2 0.000000

8 4 0.000000

16 6 0.000001

32 11 0.000001

64 18 0.000002

128 31 0.000005

256 54 0.000018

512 97 0.000064

1024 172 0.000224

2048 309 0.000802

4096 564 0.001289

8192 1028 0.004728

16384 1900 0.018690

32768 3512 0.069924

65536 6542 0.259769

131072 12251 0.950582

vreme: 1.306122

20 November 2022 04:11:44 PM

OpenMP

N Pi Time2

1 0 0.000505

2 1 0.000005

4 2 0.000005

8 4 0.000005

16 6 0.000005

32 11 0.000005

64 18 0.000006

128 31 0.000009

256 54 0.000012

512 97 0.000019

1024 172 0.000035

2048 309 0.000071

4096 564 0.000239

8192 1028 0.000746

16384 1900 0.001693

32768 3512 0.006150

65536 6542 0.021906

131072 12251 0.083739

vreme: 0.115164

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

20 November 2022 04:11:44 PM

PRIME TEST

N Pi Time

5 3 0.000000

50 15 0.000001

500 95 0.000035

5000 669 0.002063

50000 5133 0.147625

500000 41538 12.285967

vreme: 12.435704

20 November 2022 04:11:56 PM

OpenMP

N Pi Time2

5 3 0.000496

50 15 0.000005

500 95 0.000017

5000 669 0.000270

50000 5133 0.013067

500000 41538 1.057624

vreme: 1.071485

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

20 November 2022 04:11:57 PM

PRIME TEST

N Pi Time

1 0 0.000000

4 2 0.000000

16 6 0.000000

64 18 0.000002

256 54 0.000011

1024 172 0.000105

4096 564 0.001357

16384 1900 0.018066

65536 6542 0.250142

vreme: 0.269697

20 November 2022 04:11:58 PM

OpenMP

N Pi Time2

1 0 0.000408

4 2 0.000004

16 6 0.000004

64 18 0.000005

256 54 0.000008

1024 172 0.000028

4096 564 0.000168

16384 1900 0.001682

65536 6542 0.021885

vreme: 0.024196

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

Listing 1. Izvršavanje prime1

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.

Slika 1. Grafik zavisnosti ubrzanja naivnog algoritma

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Ovde se dobijaju velika ubrzanja, od 10 do 30 puta, korišćenjem ručnog raspoređivanja na OpenMP niti.

1. Problem 2 – Prime.c

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 2.

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši određivanje ukupnog broja prostih brojeva u zadatom opsegu. Program se nalazi u datoteci prime.c.

Prilikom paralelizacije je 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. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

Moguće je paralelizovati deo funkcije koji vrši proveru prostih brojeva.

* + 1. Način paralelizacije

Za zadatak 2, iskorišćeno je paralelizacija korišćenjem OpenMP i paralelizacije petlje naredbom for.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 2.

* + 1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti.

20 November 2022 04:12:44 PM

PRIME TEST

N Pi Time

1 0 0.000001

2 1 0.000001

4 2 0.000001

8 4 0.000000

16 6 0.000001

32 11 0.000000

64 18 0.000002

128 31 0.000005

256 54 0.000018

512 97 0.000064

1024 172 0.000225

2048 309 0.000495

4096 564 0.001301

8192 1028 0.004744

16384 1900 0.018536

32768 3512 0.069849

65536 6542 0.259177

131072 12251 0.956944

vreme: 1.311388

20 November 2022 04:12:46 PM

OpenMP

N Pi Time2

1 0 0.000877

2 1 0.000005

4 2 0.000004

8 4 0.000004

16 6 0.000004

32 11 0.000004

64 18 0.000004

128 31 0.000005

256 54 0.000005

512 97 0.000007

1024 172 0.000017

2048 309 0.000058

4096 564 0.000211

8192 1028 0.000541

16384 1900 0.001645

32768 3512 0.006152

65536 6542 0.022381

131072 12251 0.083937

vreme: 0.115871

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

20 November 2022 04:12:46 PM

PRIME TEST

N Pi Time

5 3 0.000000

50 15 0.000001

500 95 0.000036

5000 669 0.002014

50000 5133 0.150009

500000 41538 12.365476

vreme: 12.517548

20 November 2022 04:12:58 PM

OpenMP

N Pi Time2

5 3 0.000596

50 15 0.000005

500 95 0.000009

5000 669 0.000275

50000 5133 0.013218

500000 41538 1.060861

vreme: 1.074971

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

20 November 2022 04:12:59 PM

PRIME TEST

N Pi Time

1 0 0.000000

4 2 0.000000

16 6 0.000000

64 18 0.000001

256 54 0.000011

1024 172 0.000137

4096 564 0.001398

16384 1900 0.018047

65536 6542 0.249518

vreme: 0.269125

20 November 2022 04:13:00 PM

OpenMP

N Pi Time2

1 0 0.000377

4 2 0.000004

16 6 0.000005

64 18 0.000004

256 54 0.000005

1024 172 0.000019

4096 564 0.000166

16384 1900 0.001850

65536 6542 0.021888

vreme: 0.024322

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

Listing 2. Izvršavanje prime2

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.

Slika 2. Grafik zavisnosti ubrzanja naivnog algoritma od ulaza

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Ovde se dobijaju velika ubrzanja, od oko 11 puta, korišćenjem OpenMP naredbe for na glavnoj petlji koja proverava da li je broj prost.

1. Problem 3 – Feyman

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 3.

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši izračunavanje 3D Poasonove jednačine korišćenjem Feyman-Kac algoritma. Algoritam stohastički računa rešenje parcijalne diferencijalne jednačine krenuvši N puta iz različitih tačaka domena. Tačke se kreću po nasumičnim putanjama i prilikom izlaska iz granica domena kretanje se zaustavlja računajući dužinu puta do izlaska. Proces se ponavlja za svih N tačaka i konačno aproksimira rešenje jednačine. Program se nalazi u datoteci feyman.c.

* 1. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

Moguće je paralelizovati glavnu funkciju koja računa kolabiranjem njene tri for petlje, sa naredbom for koju nudi OpenMP.

* + 1. Način paralelizacije

Za zadatak 3, iskorišćena je paralelizacija korišćenjem OpenMP i paralelizacije tri petlje naredbom for (worksharing funkcionalnosti). Takođe, na mestima gde je to bilo potrebno, je postavljeno atomično izvršavanje dodela i naredbi.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 3.

* + 1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti.

20 November 2022 04:15:03 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 1000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.171700e-02

20 November 2022 04:15:06 PM

20 November 2022 04:15:06 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 1000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.177638e-02, time: 0.220314

20 November 2022 04:15:07 PM

TEST PASS

20 November 2022 04:15:07 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 5000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.127277e-02

20 November 2022 04:15:23 PM

20 November 2022 04:15:23 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 5000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.119561e-02, time: 1.057917

20 November 2022 04:15:24 PM

TEST PASS

20 November 2022 04:15:24 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 10000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.109998e-02

20 November 2022 04:15:58 PM

20 November 2022 04:15:58 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 10000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.117248e-02, time: 2.185275

20 November 2022 04:16:00 PM

TEST PASS

20 November 2022 04:16:00 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 20000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.102653e-02

20 November 2022 04:17:07 PM

20 November 2022 04:17:07 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 20000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.111907e-02, time: 4.364008

20 November 2022 04:17:11 PM

TEST PASS

Listing 3. Izvršavanje feyman1

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.

Slika 3. Grafik zavisnosti ubrzanja naivnog algoritma od N

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Ovde se dobijaju velika ubrzanja, od oko 11 puta, korišćenjem OpenMP naredbe for na tri petlje koje računaju.

1. Problem 4 – Feyman

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 4.

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši izračunavanje 3D Poasonove jednačine korišćenjem Feyman-Kac algoritma, koristeci taskove. Algoritam stohastički računa rešenje parcijalne diferencijalne jednačine krenuvši N puta iz različitih tačaka domena. Tačke se kreću po nasumičnim putanjama i prilikom izlaska iz granica domena kretanje se zaustavlja računajući dužinu puta do izlaska. Proces se ponavlja za svih N tačaka i konačno aproksimira rešenje jednačine. Program se nalazi u datoteci feyman.c.

* 1. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

Moguće je paralelizovati glavnu funkciju koja računa kolabiranjem njene tri for petlje, sa naredbom for koju nudi OpenMP.

* + 1. Način paralelizacije

Za zadatak 3, iskorišćena je paralelizacija korišćenjem OpenMP i paralelizacije tri petlje naredbom for (worksharing funkcionalnosti). Takođe, na mestima gde je to bilo potrebno, je postavljeno atomično izvršavanje dodela i naredbi.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 3.

* + 1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere i različit broj niti.

21 November 2022 09:18:10 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 1000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.171700e-02, time: 3.334453

21 November 2022 09:18:13 PM

21 November 2022 09:18:13 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 1000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.243945e-02, time: 0.125216

21 November 2022 09:18:13 PM

TEST PASS

21 November 2022 09:18:13 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 5000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.127277e-02, time: 16.688815

21 November 2022 09:18:30 PM

21 November 2022 09:18:30 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 5000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.183056e-02, time: 0.690216

21 November 2022 09:18:30 PM

TEST PASS

21 November 2022 09:18:30 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 10000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.109998e-02, time: 33.007638

21 November 2022 09:19:04 PM

21 November 2022 09:19:04 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 10000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.095267e-02, time: 1.288974

21 November 2022 09:19:05 PM

TEST PASS

21 November 2022 09:19:05 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 20000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.102653e-02, time: 66.189176

21 November 2022 09:20:11 PM

21 November 2022 09:20:11 PM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 20000

H = 0.0010

OPENMP: RMS absolute error in solution = 2.082251e-02, time: 2.552243

21 November 2022 09:20:14 PM

TEST PASS

Listing 4. Izvršavanje feyman2

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.

Slika 4. Grafik zavisnosti ubrzanja naivnog algoritma

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Ovde se dobijaju velika ubrzanja, od oko 25 puta, korišćenjem OpenMP task naredbe na sadržaju treće for petlje koja računa.

1. Problem 5 – MD

U okviru ovog poglavlja je dat kratak izveštaj u vezi rešenja zadatog problema 3.

* 1. Tekst problema

Paralelizovati jednostavan program koji se bavi molekularnom dinamikom. Kod predstavlja simulaciju molekularne dinamike argonovog atoma u ograničenom prozoru (prostoru) sa periodičnim graničnim uslovima. Atomi se inicijalno nalaze raspoređeni u pravilnu mrežu, a zatim se tokom simulacije dešavaju interakcije između njih. U svakom koraku simulacije u glavnoj petlji se dešava sledeće:

● Čestice (atomi) se pomeraju zavisno od njihovih brzina i brzine se parcijalno ažuriraju u pozivu funkcije domove.

● Sile koje se primenjuju na nove pozicije čestica se izračunavaju; takođe, akumuliraju se prosečna kinetička energija (virial) i potencijalna energija u pozivu funkcije forces.

● Sile se skaliraju, završava ažuriranje brzine i izračunavanje kinetičke energije u pozivu funkcije mkekin.

● Prosečna brzina čestice se računa i skaliraju temperature u pozivu funkcije velavg.

● Pune potencijalne i prosečne kinetičke energije (virial) se računaju i ispisuju u funkcije prnout.

Program se nalazi u datoteci direktorijumu MolDyn u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Program se sastoji od više datoteka, od kojih su od interesa datoteke main.c i forces.c, jer se u njima provodi najviše vremena. Analizirati dati kod i obratiti pažnju na redukcione promenljive unutar datoteke forces.c. Ukoliko je potrebno međusobno isključenje prilikom paralelizacije programa,koristiti kritične sekcije ili atomske operacije. [1, N]

* 1. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

Moguće je paralelizovati funkciju forces koja računa paralelizovanjem njene for petlje, sa naredbom for koju nudi OpenMP.

* + 1. Način paralelizacije

Za zadatak 5, iskorišćena je paralelizacija korišćenjem OpenMP i paralelizacije petlje naredbom for (worksharing funkcionalnosti). Takođe, na mestima gde je to bilo potrebno, je postavljeno atomično izvršavanje dodela i naredbi.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 5.

* + 1. Logovi izvršavanja

Ovde su dati logovi izvršavanja za definisane test primere.

Molecular Dynamics Simulation example program

---------------------------------------------

number of particles is ............ 13500

side length of the box is ......... 25.323179

cut off is ........................ 3.750000

reduced temperature is ............ 0.722000

basic timestep is ................. 0.064000

temperature scale interval ........ 10

stop scaling at move .............. 20

print interval .................... 5

total no. of steps ................ 20

i ke pe e temp pres vel rp

----- ---------- ---------- ---------- -------- -------- -------- ----

5 12619.1758 -91985.3542 -79366.1784 0.6232 -5.2880 0.1821 39.7

10 14619.4170 -86181.5919 -71562.1749 0.7220 -2.8265 0.1336 14.1

15 11405.1707 -82966.3254 -71561.1547 0.5633 -1.5094 0.1714 33.6

20 10825.0423 -82385.8646 -71560.8222 0.5346 -1.2219 0.1679 32.2

Time = 5.217270

openmp

Molecular Dynamics Simulation example program

---------------------------------------------

number of particles is ............ 13500

side length of the box is ......... 25.323179

cut off is ........................ 3.750000

reduced temperature is ............ 0.722000

basic timestep is ................. 0.064000

temperature scale interval ........ 10

stop scaling at move .............. 20

print interval .................... 5

total no. of steps ................ 20

i ke pe e temp pres vel rp

----- ---------- ---------- ---------- -------- -------- -------- ----

5 12619.1956 -91985.3551 -79366.1595 0.6232 -5.2880 0.1821 39.7

10 14619.4170 -86181.5858 -71562.1688 0.7220 -2.8265 0.1336 14.1

15 11405.1693 -82966.3271 -71561.1578 0.5633 -1.5094 0.1714 33.6

20 10824.9910 -82385.8214 -71560.8304 0.5346 -1.2219 0.1679 32.2

Time = 2.936187

Listing 5. Izvršavanje md

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju.

Slika 5. Grafik zavisnosti ubrzanja naivnog algoritma

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Ovde se dobijaju ubrzanja od oko 2 puta, korišćenjem OpenMP worksharing naredbi u fajlu forces.