Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Multiprocesorki sistemi (13S114MUPS, 13E114MUPS)



Domaći zadatak 4 –CUDA

Izveštaj o urađenom domaćem zadatku

|  |  |
| --- | --- |
| Predmetni saradnici: | Studenti: |
| doc. dr Marko Mišić  dipl. ing. Pavle Divović | Lazar Erić 2019/0235  Aleksa Račić 2019/0235 |

Beograd, decembar 2022.

Sadržaj

[Sadržaj 2](#_Toc123061341)

[1. Problem 1 - PRIME 3](#_Toc123061342)

[1.1. Tekst problema 3](#_Toc123061343)

[1.2. Delovi koje treba paralelizovati 3](#_Toc123061344)

[1.2.1. Diskusija 3](#_Toc123061345)

[1.2.2. Način paralelizacije 3](#_Toc123061346)

[1.3. Rezultati 3](#_Toc123061347)

[1.3.1. Logovi izvršavanja 3](#_Toc123061348)

[1.3.2. Grafici ubrzanja 5](#_Toc123061349)

[1.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 6](#_Toc123061350)

[2. Problem 2 - FEYMAN 7](#_Toc123061351)

[2.1. Tekst problema 7](#_Toc123061352)

[2.2. Delovi koje treba paralelizovati 7](#_Toc123061353)

[2.2.1. Diskusija 7](#_Toc123061354)

[2.2.2. Način paralelizacije 7](#_Toc123061355)

[2.3. Rezultati 7](#_Toc123061356)

[2.3.1. Logovi izvršavanja 7](#_Toc123061357)

[2.3.2. Grafici ubrzanja 10](#_Toc123061358)

[2.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 11](#_Toc123061359)

[3. Problem 3 - MolDyn 12](#_Toc123061360)

[3.1. Tekst problema 12](#_Toc123061361)

[3.2. Delovi koje treba paralelizovati 12](#_Toc123061362)

[3.2.1. Diskusija 12](#_Toc123061363)

[3.2.2. Način paralelizacije 13](#_Toc123061364)

[3.3. Rezultati 13](#_Toc123061365)

[3.3.1. Logovi izvršavanja 13](#_Toc123061366)

[3.3.2. Grafici ubrzanja 14](#_Toc123061367)

[3.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 15](#_Toc123061368)

[4. Problem 4 - MolDyn 16](#_Toc123061369)

[4.1. Tekst problema 16](#_Toc123061370)

[4.2. Delovi koje treba paralelizovati 16](#_Toc123061371)

[4.2.1. Diskusija 16](#_Toc123061372)

[4.2.2. Način paralelizacije 16](#_Toc123061373)

[4.3. Rezultati 16](#_Toc123061374)

[4.3.1. Logovi izvršavanja 16](#_Toc123061375)

[4.3.2. Grafici ubrzanja 17](#_Toc123061376)

[4.3.3. Diskusija dobijenih rezultata 18](#_Toc123061377)

1. Problem 1 - PRIME
   1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši određivanje ukupnog broja prostih brojeva u zadatom opsegu. Prilikom zadavanja izvršne konfiguracije jezgra, koristiti 1D rešetku (grid). Obratiti pažnju na efikasnost paralelizacije i potrebu za redukcijom. Program se nalazi u datoteci prime.c u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci run.

* 1. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

U okviru ovog zadatka mozemo uociti vise funkcija od kojih je nama od najveceg interesa prime\_number. U ostalim funkcijama i main-u ne postoji delova koda koji bi mogli da budu paralelizovani ili smesteni u task-ove.

* + 1. Način paralelizacije

Iako imamo 2 for petlje, rezultat prve zavisi od druge tako da jedan thread mora da izvrsi unutrasnju petlju kako bi nasao da li je broj prost. Da bi se maksimalno iskoristio uredjaj, broj blokova unutar grida je takav da BlockSize \* GridSize bude jednak broju iteracija.

* 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. Obavezno uključiti u ispis i vremena izvršavanja. Logove pojedinačno uokviriti i obeležiti.

19 January 2023 12:37:42 AM

PRIME TEST

Call PRIME\_NUMBER to count the primes from 1 to N.

N Pi Time

1 0 0.063463

2 1 0.000106

4 2 0.000123

8 4 0.000104

16 6 0.000102

32 11 0.000103

64 18 0.000107

128 31 0.000141

256 54 0.000132

512 97 0.000164

1024 172 0.000247

2048 309 0.000389

4096 564 0.000698

8192 1028 0.001347

16384 1900 0.002614

32768 3512 0.005837

65536 6542 0.016828

131072 12251 0.056249

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

19 January 2023 12:37:42 AM

19 January 2023 12:37:42 AM

PRIME TEST

Call PRIME\_NUMBER to count the primes from 1 to N.

N Pi Time

5 3 0.053804

50 15 0.000089

500 95 0.000142

5000 669 0.000802

50000 5133 0.010586

500000 41538 0.668534

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

19 January 2023 12:37:43 AM

19 January 2023 12:37:43 AM

PRIME TEST

Call PRIME\_NUMBER to count the primes from 1 to N.

N Pi Time

1 0 0.044637

4 2 0.000082

16 6 0.000086

64 18 0.000093

256 54 0.000108

1024 172 0.000197

4096 564 0.000622

16384 1900 0.002336

65536 6542 0.015649

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

19 January 2023 12:37:43 AM

19 January 2023 12:37:43 AM

PRIME TEST

Call PRIME\_NUMBER to count the primes from 1 to N.

N Pi Time

1 0 0.000001

2 1 0.000000

4 2 0.000000

8 4 0.000000

16 6 0.000000

32 11 0.000001

64 18 0.000001

128 31 0.000003

256 54 0.000009

512 97 0.000032

1024 172 0.000113

2048 309 0.000403

4096 564 0.001480

8192 1028 0.005144

16384 1900 0.018555

32768 3512 0.068269

65536 6542 0.256072

131072 12251 0.957547

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

19 January 2023 12:37:45 AM

19 January 2023 12:37:45 AM

PRIME TEST

Call PRIME\_NUMBER to count the primes from 1 to N.

N Pi Time

5 3 0.000000

50 15 0.000000

500 95 0.000029

5000 669 0.002024

50000 5133 0.152914

500000 41538 12.550401

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

19 January 2023 12:37:57 AM

19 January 2023 12:37:57 AM

PRIME TEST

Call PRIME\_NUMBER to count the primes from 1 to N.

N Pi Time

1 0 0.000001

4 2 0.000000

16 6 0.000001

64 18 0.000001

256 54 0.000009

1024 172 0.000109

4096 564 0.001402

16384 1900 0.018864

65536 6542 0.261888

PRIME\_TEST

Normal end of execution.

19 January 2023 12:37:58 AM

Listing 1. Paralelno neoptimizovano i optimizovano izvršavanje programa

* + 1. Grafici ubrzanja

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

Slika 1. Grafik zavisnosti ubrzanja programa programa:

run 1 -./prime 1 131072 2, run 2 - ./prime 5 500000 10, run 3 - ./prime 1 65536 4

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Sa grafika mozemo uociti da sto je veci paralelni deo to je ubrzanje vece.

1. Problem 2 - FEYMAN
   1. Tekst problema
2. 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** u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Program testirati sa parametrima koji su dati u datoteci **run**.
   1. Delovi koje treba paralelizovati
      1. Diskusija

U okviru ovog problema vidimo veci broj funkcija, ali one su sve pomocne koje nam sluze da izvrsimo neke jednostavne matematicke operacije. Zato se one izvrsavaju sekvencijalno, a najveci fokus je na main-u gde ima vise ugnjezndenih for pelji.

* + 1. Način paralelizacije

Postoje 4 for petlje. Svaka torka vrednosti 3 vanjske petlje predstavlja jednu koordinatu bloka unutar grida. Tok je jedan Blok zaduzen za obradu N trialsa.

* 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. Obavezno uključiti u ispis i vremena izvršavanja. Logove pojedinačno uokviriti i obeležiti.

--------------------optimized--------------------

19 January 2023 12:34:23 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 1000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.731885e-02

19 January 2023 12:34:24 AM

19 January 2023 12:34:24 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 5000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.076798e-02

19 January 2023 12:34:28 AM

19 January 2023 12:34:28 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 10000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.096349e-02

19 January 2023 12:34:36 AM

19 January 2023 12:34:36 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 20000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.108210e-02

19 January 2023 12:34:52 AM

19 January 2023 12:34:52 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 1000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.171700e-02

19 January 2023 12:34:55 AM

19 January 2023 12:34:55 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 5000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.127277e-02

19 January 2023 12:35:10 AM

19 January 2023 12:35:10 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 10000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.109998e-02

19 January 2023 12:35:41 AM

19 January 2023 12:35:41 AM

A = 3.000000

B = 2.000000

C = 1.000000

N = 20000

H = 0.0010

RMS absolute error in solution = 2.102653e-02

19 January 2023 12:36:41 AM

Listing 2. Paralelno neoptimizovano i optimizovano izvršavanje programa

* + 1. Grafici ubrzanja

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

Slika 2. Grafik ubrzanja

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Sa grafika mozemo videti da kako se povecava paralelni deo workloada tako se povecava ubrzanje programa. Preko 50 posto izvrsavanja ide na upis

1. Problem 3 - MolDyn
   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 funkciji 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

U okviru ovog zadatka mozemo uociti fise .c fajlova od kojih je nama od najveceg interesa forces.c i main.c. U ostalim fajlovima se najvise nalazi kod koji ne moze biti paralelizovan.

* + 1. Način paralelizacije

Paralelizaciju smo uradili u dva fajla – forces.c i main.c . U fajlu forces.c se odvija najvise izracunavanja. Paralelizacija je izvrsena atomicnim dodavanjem

* 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. Obavezno uključiti u ispis i vremena izvršavanja. Logove pojedinačno uokviriti i obeležiti.

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 = 1.644527

rm \*.o md

gcc -O3 -fopenmp -c main.c

gcc -O3 -fopenmp -c dfill.c

gcc -O3 -fopenmp -c domove.c

gcc -O3 -fopenmp -c dscal.c

gcc -O3 -fopenmp -c fcc.c

gcc -O3 -fopenmp -c forces.c

gcc -O3 -fopenmp -c mkekin.c

gcc -O3 -fopenmp -c mxwell.c

gcc -O3 -fopenmp -c prnout.c

gcc -O3 -fopenmp -c velavg.c

gcc -O3 -fopenmp -o md main.o dfill.o domove.o dscal.o fcc.o forces.o mkekin.o mxwell.o prnout.o velavg.o -lm

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 = 5.713348

Listing 3.

* + 1. Grafici ubrzanja

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

Slika 3. Grafik zavisnosti ubrzanja programa

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Sa grafika vidimo da je ubrzanje oko 3.5 puta