Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Multiprocesorki sistemi (13S114MUPS, 13E114MUPS)



Domaći zadatak 1 – OpenMP

Izveštaj o urađenom domaćem zadatku

|  |  |
| --- | --- |
| Predmetni asistent: | Kandidati: |
| doc. dr Marko Mišić | Marija Kostić 2015/0096  Stefan Milanović 2015/0361 |

Beograd, novembar 2018.

Sadržaj

[Sadržaj 2](#_Toc529923697)

[1. Problem 1 - SGEMM 3](#_Toc529923698)

[1.1. Tekst problema 3](#_Toc529923699)

[1.2. Delovi koje treba paralelizovati 3](#_Toc529923700)

[1.2.1. Diskusija 3](#_Toc529923701)

[1.2.2. Način paralelizacije 4](#_Toc529923702)

[1.3. Rezultati 5](#_Toc529923703)

[1.3.1. Logovi izvršavanja 5](#_Toc529923704)

[1.3.2. Tabela trajanja programa 13](#_Toc529923705)

[1.3.3. Grafici ubrzanja 13](#_Toc529923706)

[1.3.4. Diskusija dobijenih rezultata 15](#_Toc529923707)

[2. Problem 2 - Jacobi 16](#_Toc529923708)

[2.1. Tekst problema 16](#_Toc529923709)

[2.2. Delovi koje treba paralelizovati 16](#_Toc529923710)

[2.2.1. Diskusija 16](#_Toc529923711)

[2.2.2. Način paralelizacije 16](#_Toc529923712)

[2.3. Rezultati 17](#_Toc529923713)

[2.3.1. Logovi izvršavanja 17](#_Toc529923714)

[2.3.2. Tabela trajanja programa 20](#_Toc529923715)

[2.3.3. Grafici ubrzanja 20](#_Toc529923716)

[2.3.4. Diskusija dobijenih rezultata 22](#_Toc529923717)

1. Problem 1 - SGEMM

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

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši jednostavno generalizovano množenje matrica u jednostrukoj preciznosti *Single precision floating General Matrix Multiply* (SGEMM). SGEMM operacije je definisana sledećom formom:

Program se nalazi u datoteci sgemm.cc u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. 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

Kod koji rešava ovaj problem se može razbiti na tri velike celine – najpre se vrši učitavanje ulaznih matrica iz dva tekstualna fajla, vrši se obrada ulaznih podataka u vidu kreiranja izlazne matrice koja predstavlja proizvod unetih matrica, i na samom kraju se vrši ispis izlazne matrice u tekstualni fajl.

Prvu i treću celinu nije moguće paralelizovati – ovi delovi koda predstavljaju rad sa I/O sistemom koji se mora obaviti isključivo unutar jedne niti. U teoriji bi bilo moguće uz pomoć više niti obraditi jedan ulazni fajl tako što bi se fajl najpre memorijski mapirao, a nakon toga bi se vršilo raspoređivanje delova mapiranog fajla različitim nitima u cilju paralelne obrade. Ovo rešenje daleko komplikuje kod, a zbog neophodnog *overhead*-a i zauzeća memorije može dovesti i do usporenja.

Jedini deo koda nad kojim se može vršiti paralelizacija jeste deo koda koji radi obradu, tj. funkcija *void basicSgemm(args)*. U skladu sa postavkom zadatka, paralelizacija će se vršiti na tri načina koji će zasebno biti diskutovati i prezentovani na graficima i tabelama.

* + 1. Način paralelizacije

**Zadatak 1**

Rešenje ovog zadatka nalazi se u datoteci *dz1z1.cpp*. U ovom zadatku neophodno je ručno rasporediti iteracije petlje koja se paralelizuje.

Ovo je urađeno tako što je glavna *for* petlja koja se nalazi u *basicSgemm()* funkciji podeljena na više delova, pri čemu svaki deo obrađuje jedna nit. Uvedena je promenljiva *chunk* koja predstavlja veličinu dela glavne *for* petlje i ova vrednost je ista za sve niti (osim eventualno za poslednju nit), pa se iz tog razloga ona može izračunati samo jednom. Ovo je omogućeno *single* regionom na početku *parallel* regiona programa koja obuhvata glavnu *for* petlju. Pošto se ovaj region nalazi na samom početku *parallel* regiona, obezbeđeno je da je vrednost *chunk* definisana za sve niti (pošto je promenljiva *shared*) u trenutku kada one dolaze do glavne *for* petlje koja se paralelizuje. Kod iz *single* regiona nije bilo moguće staviti van *parallel regiona*, jer u tom slučaju poziv funkcije *omp\_get\_num\_threads()* vraća 1, a ne predviđen broj niti.

Nakon ovoga, definišu se vrednosti *start* i *end* koje su različite za svaku nit i predstavljaju granice obrade glavne *for* petlje (jedna nit obrađuje vrednosti od 0 do *chunk – 1,* druga od *chunk* do (*2 \* chunk) – 1*, itd.).

Jedino što se sada menja jeste samo telo glavne *for* petlje, koje sad iterira od *mm = start* sve dokle važi *mm < end,* čime se postiže ručna paralelizacija petlje.

**Zadatak 2**

Rešenje ovog zadatka nalazi se u datoteci *dz1z2.cpp*. U ovom zadatku neophodno je paralelizovati program koristeći *worksharing* direktive.

U ovom zadatku je kod dosta jednostavniji i malo se menja u odnosu na sekvencijalnu implementaciju, zato što *omp* biblioteka vrši raspoređivanje petlje na više niti. Uočena je savršeno ugneždena pravougana petlja koja se sastoji od 2 petlje, pa je njih moguće paralelizovati *collapse* odredbom u okviru *parallel for* regiona. Ovo je ujedno sve što je neophodno odraditi kako bi se izvršila paralelizacija u ovom zadatku. Za razliku od prethodnog zadatka, ovde se sam kod petlji ne menja uopšte.

**Zadatak 3**

Rešenje ovog zadatka nalazi se u datoteci *dz1z3.cpp*. U ovom zadatku neophodno je paralelizovati program koristeći koncept zadataka (engl. *task-ova*).

Ovaj zadatak takođe ima jednostavniji kod u odnosu na prvi zadatak. Neophodno je staviti glavnu *for* petlju u jedan paralelni region, a zatim izdvojiti deo unutrašnjeg koda kao *task* koji će se izvršiti kasnije. Samim tim se ovaj zadatak može rešiti na 4 načina: Moguće je izvršiti *coarse grain* ili *fine grain* paralelizaciju tako što task obuhvata sve što se nalazi unutar glavne *for* petlje, ili tako što *task* obuhvata samo kod unutar druge *for* petlje. Na ovaj način se posao raspoređuje tako da jedan task predstavlja računanje vrednosti jednog reda, odnosno jedne ćelije krajnje matrice. Pored ovoga, moguće je postaviti samo jednu nit koja će kreirati *task*-ove koje će ostale niti izvršavati, dok je druga mogućnost da sve niti kreiraju *task*-ove, a onda ih i izvršavaju.

Svi ovi načini su isprobani i pokazalo se da najbolje performanse pruža varijanta *coarse grain* paralelizacije pri čemu sve *task*-ove pravi jedna nit. Nakon pokretanja test primera za sve varijante više puta pokazalo se da je jako mala razlika u performansama kada se obrađuje mali ulazni skup podataka. Za veći ulazni skup podataka dobijeno je da su *coarse grain* implementacije u svim merenjima bile brže od *fine* *grain* implementacija. Nakon posmatranja samo *coarse grain* implementacija i njihovih performansi nakon obrade velikog ulaznog skupa podataka, uočilo se da *coarse grain* implementacija kod koje samo jedna nit kreira *task-*ove konstantno daje bolje rezultate od *coarse grain* implementacije kod koje sve nitikreiraju *task-*ove.

Rezultati koji su dobijeni koristeći ovu varijantu predstavljeni su u sekciji **Rezultati** i prikazani su na graficima performansi.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 1 koristeći rešenja sva tri zadatka.

* + 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.

Listing 1. Sekvencijalno izvršavanje SGEMM

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*SEQ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00587551.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*SEQ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 11.4998.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 2. Zadatak 1 – 1 nit

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00623176.

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 11.174.

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 3. Zadatak 1 – 2 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00393263.

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 5.77671.

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 4. Zadatak 1 – 4 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00163605.

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 2.77439.

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 5. Zadatak 1 – 8 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00361998.

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 2.73271.

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 6. Zadatak 2 – 1 nit

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00671603.

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 11.0357.

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 7. Zadatak 2 – 2 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00300512.

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 5.73819.

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 8. Zadatak 2 – 4 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.0015895.

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 2.7443.

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 9. Zadatak 2 – 8 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.00325054.

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z2\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 2.7065.

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 10. Zadatak 3 – 1 nit

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 11. Zadatak 3 – 2 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 11. Zadatak 3 – 4 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 12. Zadatak 3 – 8 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z3\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

* + 1. Tabela trajanja programa

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Small input** | **Medium input** |
| **Sekvencijalno izvršavanje** | 0.0245002 | 12.891 |
| **Zadatak 1 – 1 nit** | 0.0256683 | 12.8851 |
| **Zadatak 1 – 2 niti** | 0.0664114 | 7.05922 |
| **Zadatak 1 – 4 niti** | 0.0758083 | 4.08204 |
| **Zadatak 1 – 8 niti** | 0.0695984 | 4.03053 |
| **Zadatak 2 – 1 nit** | 0.0551437 | 12.9156 |
| **Zadatak 2 – 2 niti** | 0.0603416 | 7.09492 |
| **Zadatak 2 – 4 niti** | 0.0772603 | 4.0402 |
| **Zadatak 2 – 8 niti** | 0.0753353 | 4.00763 |
| **Zadatak 3 – 1 nit** |  |  |
| **Zadatak 3 – 2 niti** |  |  |
| **Zadatak 3 – 4 niti** |  |  |
| **Zadatak 3 – 8 niti** |  |  |

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja paralelnih implementacija u odnosu na sekvencijalnu implementaciju. Ubrzanje na svim narednim graficima predstavljeno je kao odnos trajanja sekvencijalne implementacije programa i trajanja paralelizovane implementacije.

Grafik 1. Zavisnost ubrzanja programa dz1z1 od veličine izlazne matrice i broja niti

Grafik 2. Zavisnost ubrzanja programa dz1z2 od veličine izlazne matrice i broja niti

Grafik 3. Zavisnost ubrzanja programa dz1z3 od veličine izlazne matrice i broja niti

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Dobijene rezultate treba izdiskutovati i objasniti sa nekoliko rečenica u odnosu na dobijena ubrzanja (ili usporenja), način paralelizacije, karakteristike problema i sl.

1. Problem 2 - Jacobi

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

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši jednostavno generalizovano množenje matrica u jednostrukoj Paralelizovati program koji rešava sistem linearnih jednačina *A \* x = b* Jakobijevim metodom. Kod koji treba paralelizovati se nalazi u datoteci *jacobi.c* u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. 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].

* 1. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

U ovom zadatku moguće je paralelizovati prve dve *for* petlje koje služe za inicijalizaciju, a nakon toga i sav kod koji se nalazi unutar glavne *for* petlje koja inkrementira vrednost promenljive *it* od 0 do *m – 1* i u kojoj se vrši obrada. Ovu petlju nije moguće paralelizovati zato što postoji zavisnost po podacima – u narednoj iteraciji ove petlje neophodno je u nizu *x* imati vrednosti koje se računaju unutar same petlje, a te izračunate vrednosti se i koriste u poslednjem delu koda kada se računa vrednost promenljive *r*.

Samim tim, moguće je paralelizovati kod za inicijalizaciju i kod unutar glavne *for* petlje.

Kod na samom početku koji vrši alokaciju i dealokaciju prostora, kao i ispise, nema potrebe paralelizovati.

* + 1. Način paralelizacije

Najpre je moguće malo modifikovati priloženi sekvencijalni kod kako bi se smanjio broj nepotrebnih iteracija petlji. Primećuje se da prve dve petlje obe iteriraju do *n* i i vrše inicijalizaciju odgovarajućih nizova na 0 (uz izutetak poslednjeg elementa niza *b*). Ove dve petlje se mogu spojiti u jednu, i tada je moguće izvršiti paralelizaciju koja će dati bolje rezultate zato što i same niti imaju više posla (čime su opravdani režijski troškovi njihovog kreiranja i pokretanja).

Na sličan način se mogu i spojiti petlje označene komentarima kao *Jacobi update* i *Difference*. Prva *for* petlja od navedenih računa vrednosti za sve elemente niza *xnew* i popunjava ih, pri čemu nema nikakvih zavisnosti jer se iz niza *x* samo vrši čitanje, pa je moguće da više niti rade operaciju čitanja bez potrebe za sinhronizacijom. Petlja označena komentarom *Difference* samo računa vrednost promenljive *d* po zavisnosti od elemenata u nizovima *x* i *xnew*, pa se ovo može raditi kako se *xnew* računa (ovo omogućava spajanje ove dve petlje). Pošto će više niti raditi ovaj posao, svaka može pamtiti svoju vrednost za *d* i na kraju se može izvršiti redukcija sabiranjem ovih međurezultata (ovo omogućava paralelizaciju petlji).

Petlja koja radi prepisivanje niza *xnew* u niz *x* se može paralelizovati radi ubrzanja kod velike veličine niza.

Naredna petlja označena sa *Residual* takođe predstavlja petlju koja se može paralelizovati uz korišćenje redukcije za promenljivu *r*. Na kraju paralelne *for* petlje vrši se sabiranje svih međurezultata iz svih niti kako bi se dobila konačna vrednost za *r*.

Isprobano je rešenje koje vrši paralelizaciju programa koristeći *task-*ove, ali se ovo rešenje pokazalo dosta sporijim od paralelizacije pomoću *worksharing* direktiva, pa je kao rezultat domaćeg zadatka predat kod koji ne koristi *task*-ove za paralelizaciju.

* 1. Rezultati

U okviru ove sekcije su izloženi rezultati paralelizacije problema 2 koristeći rešenje koja paralelizuje kod pomoću *worksharing* direktiva.

* + 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.

Listing 1. Sekvencijalno izvršavanje Jacobi

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*SEQ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.0245002.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*SEQ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 12.891.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 2. Zadatak 4 – 1 nit

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 3. Zadatak 4 – 2 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 4. Zadatak 4 – 4 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 5. Zadatak 4 – 8 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

* + 1. Tabela trajanja programa

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Small input** | **Medium input** |
| **Sekvencijalno izvršavanje** | 0.0245002 | 12.891 |
| **Zadatak 4 – 1 nit** | 0.0256683 | 12.8851 |
| **Zadatak 4 – 2 niti** | 0.0664114 | 7.05922 |
| **Zadatak 4 – 4 niti** | 0.0758083 | 4.08204 |
| **Zadatak 4 – 8 niti** | 0.0695984 | 4.03053 |

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja paralelnih implementacija u odnosu na sekvencijalnu implementaciju. Ubrzanje na svim narednim graficima predstavljeno je kao odnos trajanja sekvencijalne implementacije programa i trajanja paralelizovane implementacije.

Grafik 1. Zavisnost ubrzanja programa dz1z1 od veličine izlazne matrice i broja niti

Grafik 2. Zavisnost ubrzanja programa dz1z2 od veličine izlazne matrice i broja niti

Grafik 3. Zavisnost ubrzanja programa dz1z3 od veličine izlazne matrice i broja niti

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Za ovaj zadatak se dobija donekle brže izvršavanje za jednu nit kod paralelne implementacije zato što je i sam sekvencijalni kod optimizovan u ovom rešenju – dvaput je izvršeno sažimanje petlji čime se smanjuje ukupan broj iteracija.

Kao što je i očekivano, paralelno rešenje problema je dosta sporije kod malih fajlova, pri čemu se usporanje povećava uz povećanje broja niti. Ovo je iz razloga što je *overhead* kreiranja i pokretanja niti dosta veliki, a veličina ulaza je dosta mala, pa se ne opravdava korišćenje paralelizacije. Za velike ulazne fajlove kod kojih sekvencijalna obrada dugo traje, paralelna implementacija pokazuje značajna ubrzanja (priloženo u prethodnim sekcijama poglavlja **Rezultati** ovog problema).

Takođe je isprobano i rešenje koje vrši paralelizaciju programa koristeći *task-*ove (ovo je navedeno u poglavlju *2.2.2.*), ali se ovo rešenje pokazalo dosta sporijim od paralelizacije pomoću *worksharing* direktiva. Pokretanje programa paralelizovanog pomoću *task*-ova je dalo korektne rezultate, ali je odnos dobijenih vremena između ovakvog načina paralelizacije i paralelizacije pomoću *worksharing* direktiva:

* *2x* sporiji – za osam niti
* *10x* sporiji – za jednu nit

1. Problem 3 - Kmeans

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

* 1. Tekst problema

Paralelizovati program koji vrši k-means klasterizaciju podataka. Klasterizacija metodom k-srednjih vrednosti (eng. k-means clustering) je metod koji particioniše n objekata u k klastera u kojem svaki objekat pripada klasteru sa najbližom srednjom vrednošću. Objekat se sastoji od niza vrednosti - osobina (eng. features). Podelom objekata u potklastere, algoritam predstavlja sve objekte pomoću njihovi srednjih vrednosti (tzv. centroida potklastera). Inicijalni centroid za svaki potklaster se bira ili nasumično ili pomoću odgovarajuće heuristike. U svakoj iteratiji, algoritam pridružuje svaki objekat najbližem centroidu na osnovu definisane metrike. Novi centroidi za sledeću iteraciju se izračunavaju usrednjavanjem svih objekata unutar potklastera. Algoritam se izvršava sve dok se makar jedan objekat pomera iz jednog u drugi potklaster. Program se nalazi u direktorijumu kmeans u arhivi koja je priložena uz ovaj dokument. Program se sastoji od više datoteka, od kojih su od interesa datoteke kmeans.c, cluster.c i kmeans\_clustering.c. Analizirati dati kod i obratiti pažnju na generisanje novih centroida u svakoj iteraciji unutar datoteke kmeans\_clustering.c. Ukoliko je potrebno međusobno isključenje prilikom paralelizacije programa, koristiti dostupne OpenMP konstrukte. Obratiti pažnju na efikasnost međusobnog isključenja niti i svesti ga na što je moguće manju meru uvođenjem pomoćnih struktura podataka. Ulazni test primeri se nalaze u direktorijumu data, a način pokretanja programa u datoteci run. [1, N]

* 1. Delovi koje treba paralelizovati
     1. Diskusija

Kod koji sekvencijalno rešava ovaj problem razdvojen je u tri fajla – *kmeans.c, cluster.c,* i *kmeans\_clustering.*c. Sama *main* funkcija koja se nalazi u *kmeans.c* fajlu samo vrši učitavanje svih neophodnih argumenata iz komandne linije i iz odgovarajućih fajlova i alokaciju prostora, a zatim kroz određeni broj iteracija (trenutno postavljeno na 1) poziva funkciju *cluster* iz *cluster.c* fajla. Ovu petlju nije moguće paralelizovati zato što postoji zavisnost po podacima za računanje centara klastera. Pored toga, kod iz *main* funkcije samo vrši ispis i dealokaciju prostora.

Funkcija *cluster* iz *cluster.c* fajla je samo *wrapper* funkcija koja alocira niz *membership* koji se koristi u *kmeans\_clustering* funkciji, generiše *seed* randomgeneratora, i generiše rezultat tako što poziva funkciju *kmeans\_clustering*. Povratna vrednost funkcije *kmeans\_clustering* se zatim vraća u *main* funkciju preko promene argumenta *cluster\_centres* koji je prosleđen po referenci. Dakle, ovaj kod se ne paralelizuje.

U ovom zadataku moguće je izvršiti paralelizaciju koda koji se u sekvencijalnoj implementaciji nalazi u fajlu *kmeans\_clustering.c*. Ovo uključuje paralelizaciju funkcije *float\*\* kmeans\_clustering(args).* Funkcije *int find\_nearest\_point(args), float euclid\_dist\_2(args)* ne treba paralelizovati jer se pozivaju iz već paralelizovanog koda, a ugneždavanje paralelizma nije omogućeno.Način na koji je izvršena paralelizacija za navedenu funkciju opisan je u narednom poglavlju.

* + 1. Način paralelizacije

Najpre je moguće malo modifikovati priloženi sekvencijalni kod kako bi se smanjio broj nepotrebnih iteracija petlji. Primećuje se da prve dve petlje obe iteriraju do *n* i i vrše inicijalizaciju odgovarajućih nizova na 0 (uz izutetak poslednjeg elementa niza *b*). Ove dve petlje se mogu spojiti u jednu, i tada je moguće izvršiti paralelizaciju koja će dati bolje rezultate zato što i same niti imaju više posla (čime su opravdani režijski troškovi njihovog kreiranja i pokretanja).

Na sličan način se mogu i spojiti petlje označene komentarima kao *Jacobi update* i *Difference*. Prva *for* petlja od navedenih računa vrednosti za sve elemente niza *xnew* i popunjava ih, pri čemu nema nikakvih zavisnosti jer se iz niza *x* samo vrši čitanje, pa je moguće da više niti rade operaciju čitanja bez potrebe za sinhronizacijom. Petlja označena komentarom *Difference* samo računa vrednost promenljive *d* po zavisnosti od elemenata u nizovima *x* i *xnew*, pa se ovo može raditi kako se *xnew* računa (ovo omogućava spajanje ove dve petlje). Pošto će više niti raditi ovaj posao, svaka može pamtiti svoju vrednost za *d* i na kraju se može izvršiti redukcija sabiranjem ovih međurezultata (ovo omogućava paralelizaciju petlji).

Petlja koja radi prepisivanje niza *xnew* u niz *x* se može paralelizovati radi ubrzanja kod velike veličine niza.

Naredna petlja označena sa *Residual* takođe predstavlja petlju koja se može paralelizovati uz korišćenje redukcije za promenljivu *r*. Na kraju paralelne *for* petlje vrši se sabiranje svih međurezultata iz svih niti kako bi se dobila konačna vrednost za *r*.

Isprobano je rešenje koje vrši paralelizaciju programa koristeći *task-*ove, ali se ovo rešenje pokazalo dosta sporijim od paralelizacije pomoću *worksharing* direktiva, pa je kao rezultat domaćeg zadatka predat kod koji ne koristi *task*-ove za paralelizaciju.

* 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.

Listing 1. Sekvencijalno izvršavanje Jacobi

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*SEQ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 0.0245002.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*SEQ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: 12.891.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 2. Zadatak 4 – 1 nit

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 1

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 3. Zadatak 4 – 2 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 2

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 4. Zadatak 4 – 4 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 4

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Listing 5. Zadatak 4 – 8 niti

Opening file:data/small/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 128x96

Opening file:data/small/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 160x96

Opening file:result\_small.txt for write.

Matrix dimension: 128x160

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Opening file:data/medium/input/matrix1.txt

Matrix dimension: 1024x992

Opening file:data/medium/input/matrix2t.txt

Matrix dimension: 1056x992

Opening file:result\_medium.txt for write.

Matrix dimension: 1024x1056

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*DZ1Z1\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Elapsed time: .

Number of threads: 8

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

* + 1. Tabela trajanja programa

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Small input** | **Medium input** |
| **Sekvencijalno izvršavanje** | 0.0245002 | 12.891 |
| **Zadatak 4 – 1 nit** | 0.0256683 | 12.8851 |
| **Zadatak 4 – 2 niti** | 0.0664114 | 7.05922 |
| **Zadatak 4 – 4 niti** | 0.0758083 | 4.08204 |
| **Zadatak 4 – 8 niti** | 0.0695984 | 4.03053 |

* + 1. Grafici ubrzanja

U okviru ove sekcije su dati grafici ubrzanja paralelnih implementacija u odnosu na sekvencijalnu implementaciju. Ubrzanje na svim narednim graficima predstavljeno je kao odnos trajanja sekvencijalne implementacije programa i trajanja paralelizovane implementacije.

Grafik 1. Zavisnost ubrzanja programa dz1z1 od veličine izlazne matrice i broja niti

Grafik 2. Zavisnost ubrzanja programa dz1z2 od veličine izlazne matrice i broja niti

Grafik 3. Zavisnost ubrzanja programa dz1z3 od veličine izlazne matrice i broja niti

* + 1. Diskusija dobijenih rezultata

Za ovaj zadatak se dobija donekle brže izvršavanje za jednu nit kod paralelne implementacije zato što je i sam sekvencijalni kod optimizovan u ovom rešenju – dvaput je izvršeno sažimanje petlji čime se smanjuje ukupan broj iteracija.

Kao što je i očekivano, paralelno rešenje problema je dosta sporije kod malih fajlova, pri čemu se usporanje povećava uz povećanje broja niti. Ovo je iz razloga što je *overhead* kreiranja i pokretanja niti dosta veliki, a veličina ulaza je dosta mala, pa se ne opravdava korišćenje paralelizacije. Za velike ulazne fajlove kod kojih sekvencijalna obrada dugo traje, paralelna implementacija pokazuje značajna ubrzanja (priloženo u prethodnim sekcijama poglavlja **Rezultati** ovog problema).

Takođe je isprobano i rešenje koje vrši paralelizaciju programa koristeći *task-*ove (ovo je navedeno u poglavlju *2.2.2.*), ali se ovo rešenje pokazalo dosta sporijim od paralelizacije pomoću *worksharing* direktiva. Pokretanje programa paralelizovanog pomoću *task*-ova je dalo korektne rezultate, ali je odnos dobijenih vremena između ovakvog načina paralelizacije i paralelizacije pomoću *worksharing* direktiva:

* *2x* sporiji – za osam niti
* *10x* sporiji – za jednu nit