SISSEJUHATUS HAJUSARVUTUSSE KASUTADES PYTHONIT

Joonas Puura

SISUKORD

SISSEJUHATUS

Suuremahuliste arvutuste juures jääb praegusel ajal ühest arvutist tihtipeale väheseks. Sellepärast on loodud, ühendades kokku mitmeid arvuteid, suuremad süsteemid. Selliseid süsteeme kutsutakse hajusarvutuste kobarateks ehk klastriteks. Et klastris olevad arvutid saaksid töö tegemisel omavahel suhelda, siis on selleks loodud mitmeid meetodeid. Üks meetoditest on teadete edastamine ehk *message passing*. Suhtlemine käib teadete teel ehk arvutid saadavad programmi tööl üksteisele teateid (vajalikke andmeid). Teadete edastamine toimub läbi teadete edastamise liidese ehk läbi *Message Passing Interface* (MPI). Et kasutada Pythonit, siis kasutame me veel liidest MPI4PY. MPI keskkonnana kasutame OpenMPI'd, mis on üks mitmetest (lisaks on veel näiteks Inteli MPI, MPICH).

NB: Siin kasutame me Python 2.7.3, mis on oma süntaksi poolelt ligilähedane Python 3 versioonide süntaksile, aga näiteks print(x) asemel on print x. Samuti võiks vigade ennetamiseks mitte kasutada täpitähti, kuid kui programmile lisada algusesse rida

 # coding: utf-8

, annab see võimaluse kasutada täpitähti.

Sissejuhatuse raames kasutame Tartu Ülikooli arvutusklastrit Rocket (http://www.hpc.ut.ee/rocket_cluster).

LIGIPÄÄS ROCKET KLASTRILE

Ülikooli klastri kasutamiseks peame kõigepealt sellele ligi pääsema.

Iga kuu on Tartu Ülikooli tudengitel võimalik tasuta kasutada 300 *walltime* tundi arvutusmahtu. Seda aega arvutatakse kasutatud tuuma kaupa. Ehk kui kasutusel on 4 tuuma, siis korrutatakse iga kasutatud sekund neljaga. Nt kui töö, mis kasutab 1 tund aega ja 4 tuuma, siis on see 4 *walltime* tundi.

Kui kasutaja ei asu ülikooli võrgus, siis on vaja kõigepealt ühenduda ülikooli võrguga. Väljastpoolt ülikooli võrku ligipääsemiseks on vaja kasutada VPN-i.

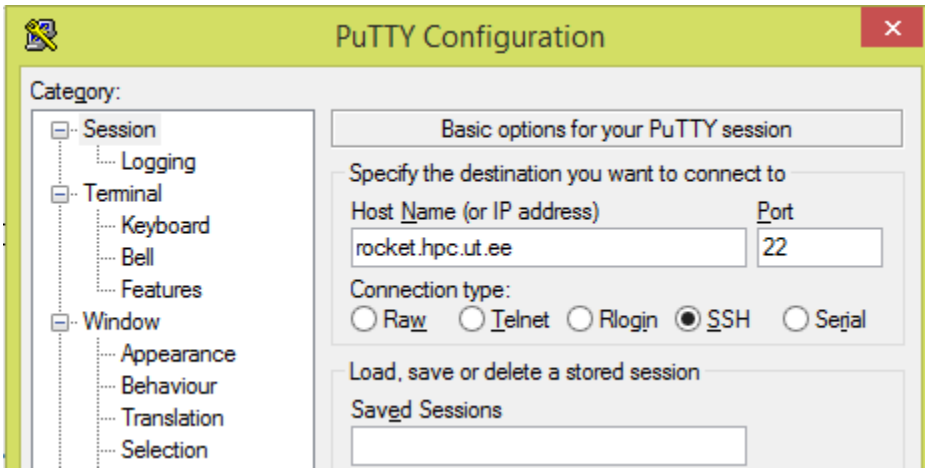
Täpsem informatsioon VPN-i kasutamiseks https://wiki.ut.ee/pages/viewpage.action?pageId=17105590

WINDOWS

Windowsi puhul saame kasutada näiteks programmi nimega Putty.

Putty saab alla laadida: http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/download.html (valides putty.exe)

Host Name on rocket.hpc.ut.ee ja Port 22. Connection type: SSH

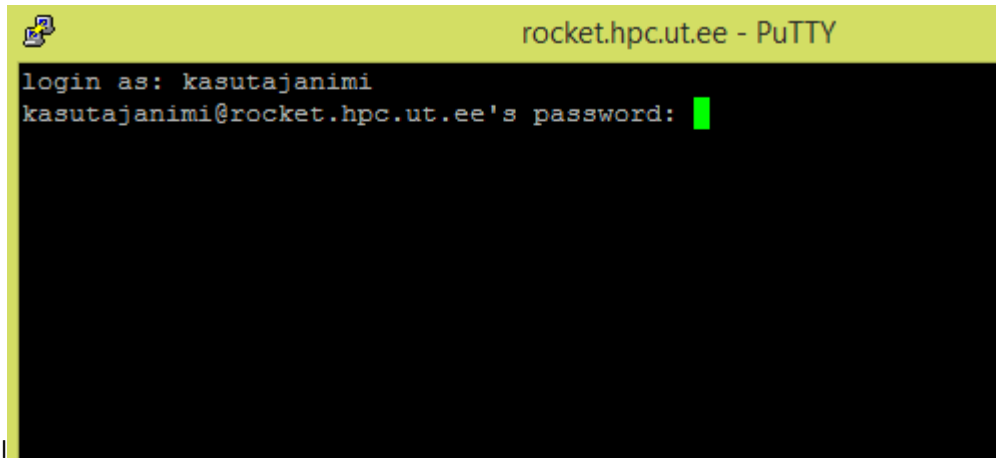


Vajuta nupule „Open“.

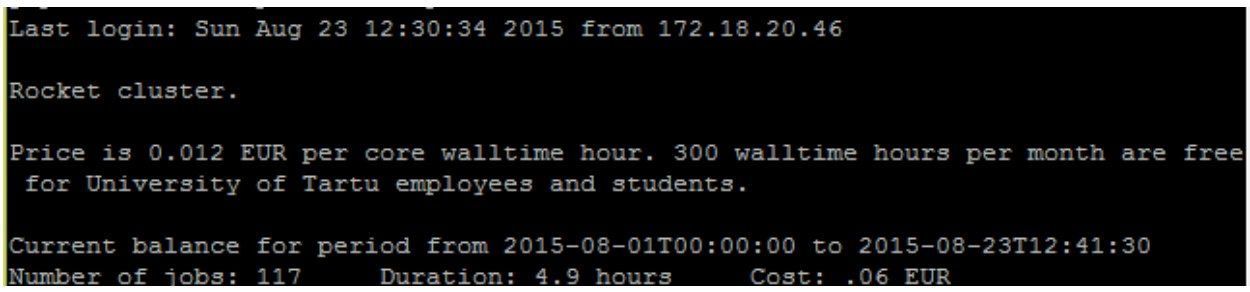
Nüüd peaks avanema terminal, kus küsitakse sinu kasutajainformatsiooni.

Login as: kasutajanimi (kasutajanimi on sinu ülikooli kasutajanimi. Näiteks, millega logid ÕISi)

kasutajanimi@rocket.hpc.ut.ee – sinu parool.



Õnnestunud autentimise korral peaksid nägema midagi sarnast:



LINUX

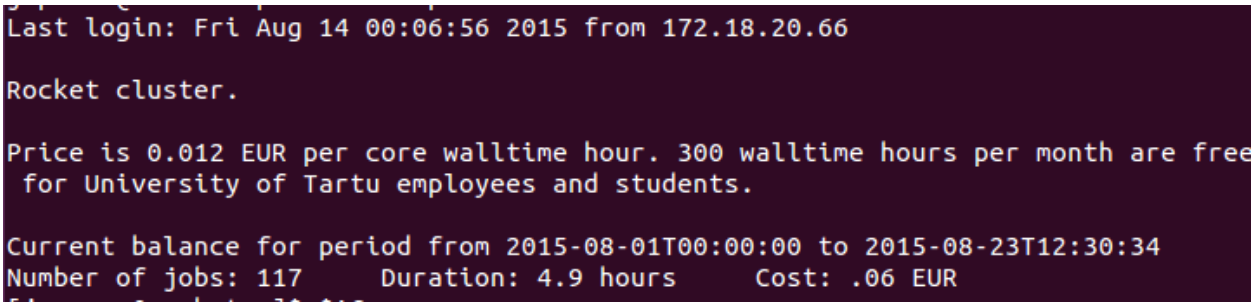
Linuxis on võimalik ühenduda, kasutades terminalis käsku

ssh kasutajanimi@rocket.hpc.ut.ee (kasutajanimi on sama, mis eduroami ühendudes)

Siis küsitakse sinu käest sinu kasutaja parooli

kasutajanimi@rocket.hpc.ut.ee's password:

Pärast parooli sisestamist vajuta enter ja kui kõik on korrektne, siis peaks terminaliskuvatama midagi sarnast:



VAJALIKU TÖÖKESKKONNA SÄTESTAMINE

FAILIDE KÄTTESAAMINE

Tõmbame alla vajalikud failid, kasutades terminalis wget käsku.

wget http://kodu.ut.ee/~jopuura/parallelcomputing/materjalid.tar.gz

Pakime saadud failid lahti:

tar xvzf materjalid.tar.gz

Navigeerime kausta „materjalid“, kasutades käsku cd

cd materjalid

Rohkem informatsiooni terminalis kasutavate käskude kohta saab aine „Operatsioonisüsteemid“ praktikumilehelt: https://courses.cs.ut.ee/2014/os/fall/Main/Praktikum3Kasud

MPI4PY PAIGALDAMINE

Olles navigeerinud alla laetud failide kausta, peame kõigepealt jooksutama ühe skripti.

Skripti jooksutamiseks kasutame käsku *bash*:

bash mpi4pyInstall.sh

See skript installeerib meile vajaliku MPI4PY liidese.

Navigeerime nüüd tagasi kausta „materjalid“

cd ~/materjalid

Et kontrollida, kas vajalik keskkond on korrektselt sätestatud, siis jooksuta järgnev skript, kasutades käsku *sbatch*, mis käivitab helloworld näite.

sbatch kontroll.sh

Natukese aja pärast peaks kausta ilmuma fail kontroll.out. Kausta sisu saab kuvada, kasutades käsku ***ls***.

Vaatame nüüd, mis sisu on kontroll.out'is kasutades käsku *cat*

cat kontroll.out

Kui sisu on midagi sarnast:

> Tere, Maailm! Protsessi nr: 0 kokku protsesse: 4 nimega stage35.
> Tere, Maailm! Protsessi nr: 1 kokku protsesse: 4 nimega stage35.
> Tere, Maailm! Protsessi nr: 3 kokku protsesse: 4 nimega stage36.
> Tere, Maailm! Protsessi nr: 2 kokku protsesse: 4 nimega stage36.

siis võiks eeldada, et keskkond on õigesti sätestatud.

TÖÖDE JOOKSUTAMINE KLASTRIL

Kuna arvutusklaster on jagatud ressurss, mille võimekus on piiratud, siis peab kuidagi tagama, et korraga ei jooksutataks liiga palju programme ja et kõik saaksid siiski oma soovitud töö tehtud. Selle jaoks jookseb arvutusklastril SLURM (Simple Linux Utility for Resource Management). SLURMi ülesanneteks on etteantud tööd jaotada arvutusresursside vahel ära, monitoorida etteantuid töid ja pidada tööde järjekorda. Täpsemalt: http://www.hpc.ut.ee/user_guides/SLURM

Kõik arvutustööd, mida klastril tehakse, võiks käia läbi SLURMi. Selleks, et oma töid jooksutada, siis oleks tarvilik luua oma programmi jaoks bashi skript, millega vastavat tööd jooksutatakse. Lihtsuse huvides on siin materjalides olevate programmide jaoks bashi skri'iptid olemas, seega selle pärast ei pea muretsema.

Selleks, et bashi skripti kasutades tööd jooksutada, on olemas käsk *sbatch skriptiNimi.sh.*

BASH SKRIPTI NÄIDE

Vaatame skripti, millega jooksutasime hello world, et kontrollida kas MPI4PY töötab (kontroll.sh).

```
#!/bin/bash

# Töö nimi on HelloWorld
#SBATCH -J HelloWorld
# See töö nõuab kahte arvutussõlme
#SBATCH -N 2
# Mitu tööülesannet sõlme kohta
#SBATCH --ntasks-per-node=2
# Väljundfail
#SBATCH --output=kontroll.out
```

```
# Vajalike moodulite laadimine.
module purge
module load openmpi-1.7.3
module load python-2.7.3

# Kausta nimi
export MPI4PYDIR=paralleelarvutused

# Pythoni wrapperi asukoht
export PYTHONPATH=$HOME/$MPI4PYDIR/install/lib/python

# Jooksutame kasutades mpi'd.
mpirun python helloWorld/helloworld.py
```

Praegusel juhul huvitavad meid rohkem read:

1. #SBATCH –J HelloWorld
2. #SBATCH –N=2
3. #SBATCH --ntasks-per-node=2
4. #SBATCH --output=kontroll.out
5. mpirun python helloWorld/helloworld.py

1. Määrab ära programmi nime. Klastri peal jooksvaid programme saab näha kasutades käsku *squeue*
2. Määrab ära, mitut füüsilist sõlme kasutatakse ehk näiteks, et mitut arvutit kasutatakse.
3. Määrab ära, mitu ülesannet ühele arvutussõlmele antakse
4. Väljundfaili nimi – programm ei tagasta väljundit kohe ekraanile, vaid see tagastatakse faili.
5. Programm, mida jooksutatakse. Antud juhul jooksutab mpirun programm python, mis omakorda jooksutab kaustas helloWorld paiknevat programmi helloworld.py

Vaadates nüüd uuesti failis kontroll.out olevat väljundit, näeme, et kokku on 4 tööd – 2 füüsilist sõlme x 2 tööd sõlme kohta = 4 tööd ja kahe erineva nimega sõlme: stage35 ja stage36.

NB! Kui ei ole soovi ise määratleda, et mitu tööd mingil sõlmel on, siis on võimalik kasutada lihtsalt parameetrit #SBATCH –n=4 (väike n), mis ütleb, et vaja on nelja tööd ning SLURM võtab nende jagamise enda hoole alla. Mugavuse huvides on selle kasutamine parem.

Rohkem teavet jooksutamisskriptide kohta saab http://www.hpc.ut.ee/user_guides/SLURM#runningjobs

TERE MAAILM! NÄIDE

Asume nüüd reaalsete programmide juurde, et tutvustada paralleelprogrammeerimist kasutades teadete edastamise meetodit. Vaatame programmi, mida me jooksutasime ka eelnevalt, et kontrollida, kas keskkond

töötab. Programm paikneb kaustas materjalid/helloWorld nimega helloworld.py. Lühidalt küsib iga protsess, et milline arvuti teda töötleb ja tema järjekorranumbri ning kirjutab saadud informatsiooni väljundfaili. NB: Tavaliselt pole hea tava kutsuda I/O operatsioone (ehk print lauseid) teistelt protsessidelt kui 0, siin on aga see pedagoogilistel põhjustel.

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# helloworld.py

# Impordime vajaliku mpi4py teegi.
from mpi4py import MPI

# Kommunikaatori küsimine
comm = MPI.COMM_WORLD

# Küsime muutujasse size kogu protsesside arvu.
size = comm.Get_size()
# Küsime muutujasse nimega rank, et mitmes protsess on. Loendamine algab 0st
rank = comm.Get_rank()
# Küsime nime.
name = MPI.Get_processor_name()

# Trükime väljundi.
print "Tere, Maailm! Protsessi nr: %d kokku protsesse: %d nimega %s.\n" % (rank, size, name)
```

Selleks, et programmi jooksutada, navigeerime esmalt kausta:

cd ~/materjalid/helloWorld

siis jooksutame käsuga *sbatch helloworld.sh* vastava programmi. Terminali peaks käsu tulemusena ilmuma sarnane tekst, kus number võib olla erinev:

```
Submitted batch job 354978
```

Kui töö on lõpetatud, siis ilmub kausta fail slurm-354978.out, mille sisu on meil võimalik vaadata käsuga *cat slurm-354978.out,* kus peaks olema 4 rida teksti, kus protsessid arvudega 0st kuni 3ni trükivad Tere, Maailm!

Lahkame nüüd etteantud helloworld.py programmi.

Kõigepealt imporditakse vajalik mpi4py teek – „mpi4py import MPI“, mis võimaldab meil kasutada MPI’d ehk teadete edastamise liidese võimalusi.

comm = MPI.COMM_WORLD – viitame kommunikaatorile muutujaga comm. Muutuja comm asemel võime igal pool kasutada ka MPI.COMM_WORLD (nt size = MPI.COMM_WORLD.Get_size()). Kommunikaatorist võib mõelda kui kõiki protsesse hõlmavast hulgast.

size = comm.Get_size() – comm.Get_size() tagastab, mitu protsessi üldse kokku on. Ilma skripti muutmata peaks olema tulemuseks siin 4 (mitu protsessi on ülemhulgas).

rank = comm.Get_rank() – comm.Get_rank() tagastab, mitmenda protsessiga tegu on.

name = MPI.Get_processor_name() – MPI.Get_processor_name() tagastab sõlme nime.

ÜLESANNE 1

1) Muuda skripti helloworld.sh nii, et kasutataks kolme sõlme ja igal sõlmel on 4 ülesannet.

Et terminalis tekstifaili muuta, saame kasutada programmi nimega *nano failinimi* ehk praegusel juhul ***nano helloworld.sh***. Muudatuste lõpetamisel vajuta ^x (^ on windowsis CTRL). Kui programm küsib „Save modified buffer“, siis vajuta Y.

Jooksuta nüüd programmi uuesti: *sbatch helloworld.sh*

2) Mitu rida on nüüd failis? Mitu protsessi jooksis kokku?
3) Miks ei pruugi väljundfailis olev väljund olla protsesside suhtes kasvavas järjekorras?
4) Kirjuta programm, milles iga paarisarvuline protsess teretab ja iga paarituarvuline protsess ütleb head aega.

TEADETE EDASTAMINE

Eelnevas näites ei toimunud teadete edastamist ega vastuvõtmist. Kõik protsessid jooksid üksteisest peaaegu sõltumatult. Nüüd hakkame aga vaatama, kuidas protsessid üksteisega suhelda saavad.

Kommunikaatoril (eelnevas näites comm = MPI.COMM_WORLD) on olemas meetodid comm.send(data, dest=sihtkohaNumber) ja comm.recv(asukohaNumber), mida saab vastavalt kasutada sõnumite saatmiseks ja vastuvõtmiseks.

Hoiatus: comm.recv() ja comm.send() on blokeeruvad operatsioonid, s.t., et programm jääb recv() juures ootama, kuni protsessilt, millelt ta send’i ootab, tuleb send().

Näiteks kui me tahame protsessilt numbriga 0 saata protsessile numbrile 1 muutujas „rebane“ sisalduvaid andmeid, siis on meil vaja järgnevat:

1) Protsess 0 puhul – send(rebane, dest=1)
2) Protsess 1 puhul – data (või mõni muu nimi) = recv(source=0)

Programm oleks seejuures selline:

REBANE

```
# coding: utf-8
# rebane.py

from mpi4py import MPI
```

```
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()

# Kui protsessi number on 0, siis saadame muutuja sisuga „Mida rebane ütleb“ protsessile 1.
if rank == 0:
    rebane = "Mida rebane ütleb?"
    print rebane, " ", rank
    comm.send(rebane, 1)
# Kui protsessi number on 1, siis ootame, kuni protsess 0 saadab meile andmeid.
elif rank == 1:
    data = comm.recv(source=0)
    print data, " ", rank
```

Kui selline programm käivitada kahe protsessiga, siis saame vastuseks:

```
Mida rebane ütleb?   0
Mida rebane ütleb?   1
```

ÜLESANNE 2

1) Muuta rebane.py programmi nii, et kui see käivitada kolme protsessiga (#SBATCH -n=3) siis saadab teine protsess numbriga 1 veel teksti edasi protsessile numbriga 2.
2) Kui kustutada etteantud programmist rida comm.send(rebane, 1), mis juhtub? (vihje: uurida käsuga *squeue -u kasutajanimi*. Et oma töö tühistada, saab kasutada käsku *scancel töönumber* nt *scancel 354988*).

TSÜKKEL

Toome veel ühe lihtsama näite kasutades send() ja recv(). Selles programmis saadab iga protsess järgmisele protsessile teate, tekitades tsükli. Esimene protsess saadab teisele protsessi teate, teine protsess saadab kolmandale, ..., viimane protsess saadab tagasi esimesele.

```
# coding: utf-8
# tsykkel.py

from mpi4py import MPI

comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
Fsize = comm.Get_size()

number = 5
```

```
if rank == 0:
    print number, rank
    comm.send(number + 1, dest=rank+1)
    number = comm.recv(source=size-1)
    print number, rank
else:

    number = comm.recv(source=rank-1)
    print number, rank
    comm.send(number + 1, dest=(rank+1)%size)
```

Vaheküsimus 1: Mida see programm väljundiks annab?

TEADETE MÄRGISTAMINE

Et olla kindel, et õige teate saatmisoperatsioon jõuab õige vastuvõtmisoperatsioonini (õiges järjekorras) saame me märgistada oma teated numbriga. Et seda teha, saame me send() ja recv() operatsioonil lisada parameetri tag=nr. Nt comm.send(data, dest=1, tag=1) ja comm.recv(source=1, tag=1).

MÄRGISTAMINE

```
# coding: utf-8
# tagging.py

from mpi4py import MPI

comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()

if rank == 0:
    lause1 = "Lause #1"
    lause2 = "Lause #2"
    comm.send(lause1, dest=1, tag=1)
    comm.send(lause2, dest=1, tag=2)
elif rank == 1:
    lause1 = comm.recv(source=0, tag=1)
    lause2 = comm.recv(source=0, tag=2)

    print lause1
    print lause2
```

Selline konstruktsioon tagab, et print lause1 trükib „Lause #1“ ja print lause2 trükib „Lause #2“. Ilma märgistamist kasutamata võib lause1 saada „Lause #2“ ja vastupidi. Teadete märgistamine tuleb kasuks näiteks siis, kui igale protsessile antakse mingi osa kahest massiivist comm.send(massiiv1, dest=1, tag=1) ja comm.send(massiiv2, dest=1, tag=2). Kui nende massiivide peal kavatsetakse teha operatsioone, kus järjekord on tähtis (ehk pole

kommutatiivsed, nt a / b != b / a iga a ja b puhul), siis on tähtis, et õiged andmed satuvad õigesse kohta. Nüüd üks näide natuke keerukamast programmist.

JAGAMINE

```
# coding: utf-8
# division.py

from mpi4py import MPI

comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()


if rank == 0:
        # Loome massiivid
        massiiv1 = [i for i in range(size*2)]
        massiiv2 = [i+1 for i in range(size*2)]
        # Arvutab osa suuruse
        osaSuurus = len(massiiv1)/size
        # Saadab töö laiali. Iga protsess saab len(massiiv)/size, ehk praegu 2 elementi.
        for i in range(1, size):
                comm.send(massiiv1[i*osaSuurus:(i*2)*osaSuurus], dest=i, tag=1)
                comm.send(massiiv2[i*osaSuurus:(i*2)*osaSuurus], dest=i, tag=2)

        # Protsess teeb oma töö.
        osa1 = massiiv1[:osaSuurus]
        osa2 = massiiv2[:osaSuurus]
        tulemus = []
        for i in range(len(osa1)):
                tulemus.append(float(osa1[i])/osa2[i])

        # Küsime teistelt töö tagasi.
        for i in range(1, size):
                tulemus = tulemus + comm.recv(source=i, tag=3)

        print tulemus

else:
        # Tag-idega kindlustame, et osa1 on massiiv1'st ja osa2 on massiiv2'st
        osa1 = comm.recv(source=0, tag=1)
        osa2 = comm.recv(source=0, tag=2)
        tulemus = []
        for i in range(len(osa1)):
                tulemus.append(float(osa1[i])/osa2[i])
```

```
# Saadame tehtud töö tagasi algprotsessile
comm.send(tulemus, dest=0, tag=3)
```

Üleval olev programm loob kaks massiivi, mis omavahel jagatakse. Ilma märgistamata võivad tekkida probleemid, nagu näiteks nulliga jagamine ja valed lahendused.

Vaheküsimus 2: Miks jookseb sama programm kiiremini ühe protsessi kui mitme protsessi peal?

KOLLEKTIIVSED OPERATSIOONID

Vahekokkuvõttena oleme praegu läbi vaadanud põhilised operatsioonid send(), recv() ja sellega märgistamine. Ka oleme õppinud looma mõningaid kergemaid programme. Iseenesest võib nende operatsioonide abil luua juba igasuguseid MPI programme, kuid MPI pakub võimalusi, mis võimaldavad efektiivsemat (kiiremat) koodi kirjutada.

BARRIER

Esimeseks kollektiivseks operatsiooniks on barjäär ehk barrier. Barjäär lubab meil sünkroniseerida erinevate protsesside tegevust. Iga protsess jääb barjääri juurde ootama, kuni kõik protsessid sinna jõuavad.

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# barrier.py

from mpi4py import MPI
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()

print rank
comm.Barrier()
print rank
```

Sellise programmi tulemusena trükib iga protsess väljundfaili kõigepealt oma järjekorranumbri ja kui iga protsess on esimese *print* lause täitnud, siis lastakse protsessid edasi – kindlustatakse, et kõigi protsesside töö on jõudnud sinnamaani.

Hoiatus: Kui kasutada barjääri koos tingimuslausetega, siis võib tekkida olukord, kus mõni protsess ei jõuagi sinnamaani, mistõttu võib programmi töö seiskuda.

Näiteks:

```
If rank == 0:
```

```
comm.Barrier()
```

....

Sellisel juhul jääb protsess 0 sinna barjääri taha kinni. Ainuke võimalus välja saamiseks on siis, kui teised protsessid ka sinnamaani jõuavad, mis antud olukorras on võimatu.

BROADCAST

Kui meil on vaja anda kõikidele protsessidele samasugused andmed. Üks võimalus on anda esimeselt protsessilt ükshaaval kõigile teistele need andmed. Teine võimalus on kasutada sisseehitatud meetodeid.

MPI4PY kommunikaatoril on olemas meetod bcast(data, source=0), mis võtab endale kaks argumenti. Esimene argument data – andmed, millest iga protsess saab identse koopia, ja source, et milliselt protsessilt need andmed pärinevad. Broadcast kasutab puul põhinevat algoritmi, mis on tunduvalt kiirem kui algoritm, mis jagab ühelt paljudele.

ILMA BROADCASTITA

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# nobroadcast.py

from mpi4py import MPI
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()

if rank == 0:
        data = 1
        for i in range(1, size):
                comm.send(data, dest=i, tag=1)
else:
        data = comm.recv(source=0, tag=1)

comm.Barrier()
print data, "protsessilt", rank
```

BROADCASTIGA

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# broadcast.py

from mpi4py import MPI
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()
# Kõigil protsessidel väljaarvatud järjekorranumbriga 0 andmed puuduvad.
```

```
data = None
if rank == 0:
        data = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]
# Broadcastiga
data = comm.bcast(data, root=0)

print data
```

Selle programmi töö tulemusena antakse igale protsessile andmed, mis on protsessil järjekorranumbriga 0. data = comm.bcast(data, root=0). Iga protsess *print'*ib töö tulemusena [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10].

SCATTER JA *GATHER*

Scatter ja *gather* on põhimõtteliselt vastandlikud operatsioonid, mis on mõeldud ühelt protsessilt teistele protsessidele andmete jaotamiseks ja tagasi kokku kogumiseks.

SCATTER

Scatter jaotab andmed kõikide kommunikaatori küljes olevatele protsessidele laiali. Näiteks, kui meil on andmed massiivis [1,2,3,4,5] ja meil on 5 protsessi, siis protsessid saavad endale järjest 1, 2, 3, 4 ja 5.

Scatter tahab, et andmemassiivis oleks täpselt sama palju elemente, kui on protsesse, millele neid jaotatakse. Näiteks, kui meil on rohkem andmeid kui protsesse, siis tuleks andmed jagada tükkideks, ning siis need tükkidena edasi anda. Kui meil on 2 protsessi ja meil on massiiv [1,2,3,4,5] siis enne scatter'i tegemist tuleks nad viia kujule [[1,2,3], [4,5]] ja siis protsess järjekorranumbriga 0 omandab [1,2,3] ja protsess järjekorranumbriga 1 omandab endale [4,5]

GATHER

Gather kogub kõikidelt protsessidelt andmed kokku. Näiteks kui protsessidel on järgnevalt 5, 4, 3, 2, 1 siis protsess, millele kutsutakse gather välja, omandab endale andmed [5,4,3,2,1].

Vaatame eelnevalt kirjeldatud operatsioonide kohta näidet:

SCATTER JA GATHER NÄIDE

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# scattergather.py

from mpi4py import MPI
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()

# Kõigil protsessidel väljaarvatud järjekorranumbriga 0 andmed puuduvad.
data = None
# Loome protsessil järjekorranumbriga 0 massiivi, mis on pikkusega size (ehk protsesside arv)
```

```
if rank == 0:
    data = [i*2 for i in range(size)]
    print "algsed andmed", data
data = comm.scatter(data, root=0)
# Lahutame k6igil protsessidel saadud andmetest maha 1
data = data - 1
# Saadame töödeldud andmed tagasi. Protsess 0 saab endale töödeldud andmed.
data = comm.gather(data, root=0)

if rank == 0:
    print "lõplikud andmed", data
```

Programm tekitab protsessil järjekorranumbriga 0 massiivi, mis on protsesside arvuga sama pikk. Siis jaotab programm andmed kõigile protsessidele laiali ja iga protsess lahutab andmetest 1. Lõpptulemusena saadakse väljund:

```
algsed andmed [0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22]
lõplikud andmed [-1, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21]
```

ÜLESANNE 3

1) Muuta *Scatter* ja *Gather* programmi nii, et massiivi pikkus on kaks korda suurem kui protsesside arv. Vihje: kuna scatter operatsioon peab saama andmetemassiivina argumendiks sama palju andmeid, kui on protsesse, siis tuleb andmed jaotada paaridesse.
2) Miks on kollektiivsete operatsioonide kasutamine kasulikum kui need operatsioonid ise teha?
3) Uurida broadcasti kohta, et miks on broadcast kiirem kui esimeselt protsessilt ükshaaval teistele saatmine.
4) Millistes uurimisvaldkondades kasutatakse hajusarvutusi?

MUUD OPERATSIOONID

Reduce on kollektiivne operatsioon, mis kogub kõigilt protsessidelt, mis on kommunikaatoriga ühendatud, andmed kokku ja teeb nendega vastavat operatsiooni.

Näiteks kui igal protsessil on üks täisarv, siis kasutades näiteks reduce() operatsiooni on võimalik kõik need arvud üheks kokku liita.

Näiteks on 3 protsessi. Neil on vastavalt arvud 1, 2 ja 3. Siis kasutades reduce operatsiooni ja tahtes liita, liidab reduce operatsioon need 1+2+3 = 6 ja tagastab sellele ühele protsessile.

Allreduce on selline kollektiivne operatsioon, mis kogub kõikidelt protsessidelt andmed kokku, teeb nendega mingi tehte ja siis saadab tulemuse kõikidele protsessidele tagasi.

Ehk siis ülevalpool arvutatud 6 saadetakse kõikidele protsessidele.

Neid operatsioone ei hakka siinkohal lähemalt lahkama, aga kui on soovi, siis saab nende kohta uurida siit. http://mpi4py.scipy.org/docs/usrman/tutorial.html .

EFEKTIIVSEM MPI4PY

Üleval pool kasutatud kollektiivsed operatsioonid töötavad kõigi Pythoni objektidega, aga need ei ole jõudluse kohalt kõige efektiivsemad. Selleks, et kirjutada efektiivset Pythoni MPI programmi, oleks tarvilik kasutada näiteks NumPy objekte. NumPy on Pythoni laiendus, mis lubab efektiivselt teha erinevaid tehteid massiivide, maatriksitega jne.

Selle kohta saab samuti rohkem lugeda http://mpi4py.scipy.org/docs/usrman/tutorial.html

PROGRAMMIDE KIIRUSE MÕÕTMINE

MPI4PY programmide efektiivsust on võimalik mõõta näiteks käsitsi, lisades koodiosadesse erinevaid taimereid. Üks meetod, mis lubab seda teha, on WTime()

```
wt = MPI.Wtime()

ProgrammiOsa.

 wt = MPI.Wtime() - wt

if rank == 0:

        print wt
```

LAHENDUSED

1.1. helloworld.sh muuta #SBATCH -N 2 -> #SBATCH -N 3 ja #SBATCH --ntasks-per-node=2 -> #SBATCH --ntasks-per-node=4

1.2. 12 rida Tere, Maailm! .. jne

1.3. Kuna mõni protsess võib lõppeda enne teist protsessi (näiteks võib mõni arvuti olla kiirem kui mõni teine), siis ei pruugi olla faili trükitud tekstid arvude suhtes kasvavas järjekorras.

1.4.

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# helloworld.py

# Importime vajaliku mpi4py teegi.
from mpi4py import MPI
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()

if rank % 2 == 0:
        print "Tere, Maailm! Protsessi nr: %d \n" % (rank)
else:
        print "Head aega, Maailm! Protsessi nr: %d \n" % (rank)
```

2.1. Saame programmi alguses küsida size = comm.Get_size() ja sellele vastavalt kasutada if lauseid. Üks lahendus on näiteks selline:

```
# coding: utf-8
# rebane.py
```

```
from mpi4py import MPI

comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()

if rank == 0:
    data = "Mida rebane ütleb?"
    print data, rank
    comm.send(data, dest=1)
elif rank == 1:
    data = comm.recv(source = 0)
    print data, rank
    if size > 2:
        comm.send(data, dest = 2)
elif size > 2 and rank == 2:
    data = comm.recv(source = 1)
    print data, rank
```

2.2. Programm jääb rea comm.recv(source=0) peal lõputult ootama.

3.1.

```
#!/usr/bin/env python

# coding: utf-8
# scatterjagather2.py

from mpi4py import MPI
comm = MPI.COMM_WORLD
rank = comm.Get_rank()
size = comm.Get_size()

# Kõigil protsessidel väljaarvatud järjekorranumbriga 0 andmed puuduvad.
data = None
# Loome protsessil järjekorranumbriga 0 massiivi, mis on pikkusega size (ehk protsesside arv)
if rank == 0:
    algAndmed = [i*2 for i in range(size*2)]
    data = []
    for i in range(0, len(algAndmed), 2):
        data.append([algAndmed[i]]+[algAndmed[i+1]])
    print "algsed andmed", algAndmed
data = comm.scatter(data, root=0)
# Lahutame k6igil protsessidel saadud andmetest maha 1
for i in range(len(data)):
    data[i] = data[i] - 1
```

```
# Saadame töödeldud andmed tagasi. Protsess 0 saab endale töödeldud andmed.
data = comm.gather(data, root=0)

if rank == 0:
    tulemus = [y for x in data for y in x]
    print "lõplikud andmed", tulemus
```

3.2. Kuna kollektiivsed operatsioonid kasutavad endas keerulisemaid algoritme, mis on keerukuselt efektiivsemad.

3.3. Kasutatakse puualgoritmi, mis on asümptootiliselt parema efektiivsusega algoritm.

Vaheküsimus 1: Järjest arvud alates 5, 6 kuni protsesside arvuni. Iga numbri kõrval protsessi järjekorranumber.

Vaheküsimus 2: Kuna teistele protsessidele andmete andmineteadete teel tekitab ajakulu – seetõttu on

LISA JA KASUTATUD MATERJAL

Hajusarvutus: https://et.wikipedia.org/wiki/Hajusarvutus

OpenMPI koduleht: http://www.open-mpi.org/

MPI4PY dokumentatsioon: http://mpi4py.scipy.org/

http://mpi4py.scipy.org/docs/apiref/index.html

Python 2 ja Python 3 süntaksi erinevused: https://docs.python.org/release/3.0.1/whatsnew/3.0.html

MPI kohta hea õpetus: http://mpitutorial.com/beginner-mpi-tutorial/

Materjalina on kasutatud Indrek Jentson'i tööd https://courses.cs.ut.ee/2015/tatar/spring/Main/Project nimega Paralleelarvutuste programmeerimine keeles Python. Sealt on võimalik ka lugeda estnltk abil tekstitöötlemise kohta

High Performance Center: http://www.hpc.ut.ee/

Kasulikke MPI4PY näiteprogramme leiab aadressilt: https://bitbucket.org/dalcinl/mpi4py-tutorial/src/b55f546244e1?at=default