



INF2440 – Effektiv parallellprogrammering

Uke 2 våren2017 - tidtaking

Arne Maus
PSE,
Inst. for informatikk



Oppsummering – Uke1

- Vi har gjennomgått hvorfor vi får flere-kjerne CPUer
- Tråder er måten som et Javaprogram bruker for å skape flere uavhengige parallelle programflyter i tillegg til main-tråden
- Tråder deler felles adresserom (data og kode)
- Vi kan gjøre mange typer feil, men det er alltid en løsning.
- Én stygg feil vi kan gjøre: Samtidig oppdatering (skriving) på delte data, på samme variabel (eks: i++)
- Samtidig skriving på en variabel ***må synkroniseres***:
 - Alle objekter kan nyttes som en synkroniseringsvariabel, og da kan vi bruke enten en synchronized metode (treigt)for å gjøre det,
 - eller objekter av spesielle klasser som:
 - CyclicBarrier
 - Semaphore (undervises Uke2)
 - Lock
 - De har metoder som `await()` eller `lock()`, som gjør at tråder evt. må vente.

Tråder i Java (lett revidert og kompilerbar)

- En tråd er én programflyt, dvs. en serie med instruksjoner som oppfører seg som ett program – og kjører på en kjerne
- Det kan godt være (langt) flere tråder enn det er kjerner.
- En tråd er ofte implementert i form av en indre klasse i den klassen som løser problemet vårt (da får de greit **felles data**):

```
import java.util.concurrent.*;
class Problem { int [] fellesData ; // dette er felles, delte data for alle trådene
    public static void main(String [] args) {
        Problem p = new Problem(); // MÅ alltid lage ett objekt av den ytre klassen
        p.utfoer(); // før det lages objekter av indre klasser
    }
    void utfoer () { Thread t = new Thread(new Arbeider());
        t.start();
    }

    class Arbeider implements Runnable {
        int i, lokalData; // dette er lokale data for hver tråd
        public void run() {
            // denne kalles når tråden er startet
        }
    } // end indre klasse Arbeider
} // end class Problem
```

Flere tråder samtidig oppdatering av en variabel : i

- Alle trådene (1,2 20 , 200 og 2000) prøver samtidig å utføre i++ 100 000 ganger
- Vi skal se på programmet som produserte dette:

Antall tråder n	1	2	20	200	2000
Riktig svar:	100 000	200000	2000000	2000000	200000000
Svar 1.gang	100 000	200000	1290279	16940111	170127199
2. gang	100 000	159234	1706068	16459210	164954894
Tap 1.gang	0 %	0%	35,5%	15,3%	14,9%
2. gang	0%	20,4%	14,6%	17,7%	17,5%

Programmet som laget tabellen

```
import java.util.*;
```

```
import easyIO.*;
```

```
import java.util.concurrent.*;
```

```
/** Viser at manglende synkronisering på ett felles objekt gir feil – bare loesning 1) er riktig!*/
```

```
public class Parallell {
```

```
    int tall; // Sum av at 'antTraader' traader teller opp denne
```

```
    CyclicBarrier b; // sikrer at alle er ferdige naar vi tar tid og sum
```

```
    int antTraader, antGanger, svar; // Etter summering: riktig svar er: antTraader*antGanger
```

```
    //synchronized void inkrTall(){ tall++;} // 1) –OK fordi synkroniserer på samme objekt p
```

```
    void inkrTall() { tall++;} // 2) - feil
```

```
public static void main (String [] args) {
```

```
    if (args.length < 2) {
```

```
        System.out.println("bruk >java Parallell <antTraader> <n= antGanger>");
```

```
    }else{
```

```
        int antKjerner = Runtime.getRuntime().availableProcessors();
```

```
        System.out.println("Maskinen har "+ antKjerner + " prosessorkjerner.");
```

```
        Parallell p = new Parallell();
```

```
        p.antTraader = Integer.parseInt(args[0]);
```

```
        p.antGanger = Integer.parseInt(args[1]);
```

```
        p.utfor();
```

```
    }
```

```
} // end main
```

■ kode for main-tråden

■ kode for trådene

```

void utskrift (double tid) {
    svar = antGanger*antTraader;
    System.out.println("Tid "+antGanger+" kall * "+ antTraader+" Traader =" +
        Format.align(tid,9,1)+ " ms,");
    System.out.println(" sum:"+ tall +", tap:"+ (svar -tall)+" = "+
        Format.align( ((svar - tall)*100.0 /svar),12,6)+"%");

} // end utskrift

```

```

void utfor () { // Denne kjøres bare av main-tråden
    b = new CyclicBarrier(antTraader+1); //+1, ogsaa main
    long t = System.nanoTime(); // start klokke

    for (int j = 0; j< antTraader; j++) {
        new Thread( new Para(j) ).start();
    }

    try{ // main thread venter på at alle trådene er ferdige
        b.await();
    } catch (Exception e) {return;}
    double tid = (System.nanoTime()-t)/1000000.0;
    utskrift(tid);

} // utfor

```

```

class Para implements Runnable{
    int ind;
    Para(int iind) { this.ind =ind;}

    public void run() { // Kjøres av hver tråd
        for (int j = 0; j< antGanger; j++) {
            inkrTall();
        }
        try { // wait on all other threads + main
            b.await();
        } catch (Exception e) {return;}
    } // end run

    // void inkrTall() { tall++;} // 3) Feil - usynkronisert
    // synchronized void inkrTall(){ tall++;} // 4) Feil – kallene synkroniserer på
    //     hvert sitt objekt

} // end class Para
} // END class Parallell

```

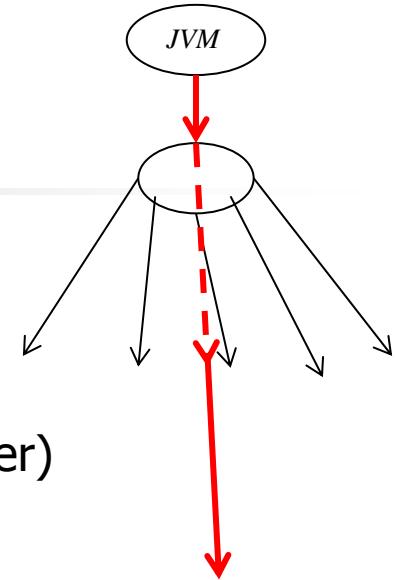
Hvilke typer problem egner seg for parallelle løsninger?

1. Kompleksitetsklasse:
 - $O(1)$, $O(\log n)$, $O(n)$, $O(n \cdot \log n)$, $O(n^{1,5})$, $O(n^2)$, ..., NP
2. Størrelsen på data: n
 - Sorterer vi 100 eller 100 mil. tall?
 - Multipliserer vi to 4×4 matriser eller to 2000×2000 matriser?
3. Må vi synkronisere på delte data, må antall synkroniseringer være (minst) en orden lavere enn algoritmen pga. 'mye' overhead ved synkronisering.
4. Å starte flere tråder tar ca. 3-5 millisekunder – den første tråden tar lengst tid.

Dette skal vi se på utover i kurset, med unntak av $O(1)$ – (konstant eksekveringstid uavhengig av datamengden som klart **ikke** egner seg for parallellisering) kan det meste gis en mer effektiv parallell implementasjon ***hvis n er stor nok*** (eller sagt på en annen måte: **hvis kjøretiden er > 10 millisekunder**).

Plan for resten av Uke2

- I) Om å avslutte parallelle tråder
 - La dem bli ferdige med run-metoden, Hvordan teste at alle er ferdige ?
 - Synkronisert avslutning (Semaphore, CyclicBarrier)
 - new Thread – join() – avslutning
- II) Ulike synkroniseringsprimitiver
 - Vi skal bare lære oss noen få - ett tilstrekkelig sett
- III) Hvor mye tid bruker parallelle programmer
 - JIT-kompilering
 - Overhead ved start
 - Synkronisering underveis i beregningene
 - Operativsystem og søppeltømming
- IV) 'Lover' om kjøretid
 - Amdahl lov
 - Gustafsons lov





1) Avslutning med en CyclicBarrier

- En CyclicBarrier (`cb= new CyclicBarrier (n+1)`)
 - Er tenkt som et ventested, en bom/grind for et antall (i dette tilfellet for n+1) tråder - de n 'nye' trådene + main. Alle må vente når de sier `cb.await()` til sistemann ankommer køen, og **da** kan alle fortsette.
 - Trådene kan da være ferdige med en beregning kan selv avslutte med å bli ferdige med sin `run()` -kode. Main-tråden forsetter, og vet at de andre trådene er ferdige. Main-tråden kan da bruke resultatene fra trådene.
 - Den sykliske barrieren `cb` er da strakt klar til å køe nye n tråder som sier `cb.await()` , .. osv
 - `cb.await()` sies inne i en try-catch blokk



2) Avslutning med en Semaphore

- En Semaphore (`sf = new Semaphore(-n+1)`)
 - Administrerer (i dette tilfellet) $-n+1$ stk. **tillatelser**.
 - To sentrale primitiver:
 - `sf.acquire()` – ber om **en** tillatelse. Antall tillatelser i `sf` blir da 1 mindre hvis antallet er >0 . Hvis det ikke er noen ledig tillatelse, må tråden vente i en kø (inne i en try-catch blokk)
 - `sf.release()` – gir **én** tillatelse tilbake til semaforen `sf`. Ikke try-catch blokk (Den tillatelsen som gis tilbake behøver ikke vært 'fått' ved hjelp av `acquire()` ; den er bare et tall).
 - Avlutning med Semaphore `sf`:
 - Maintråden sier `sf.acquire()` – og må vente på at det er minst en tillatelse i `sf`.
 - Alle de n nye trådene sier `sf.release()` når de terminerer, og når den siste sier `sf.release()` blir det 1 tillatelse ledig og main fortsetter.
 - Ikke syklisk.

3) Avslutning med join() - enklest

- Logikken er her at i den rutinen hvor alle trådene lages, legges de også inn i en array. Main-tråden legger seg til å vente på den tråden som den har peker til skal terminere selv. Venter på alle trådene etter tur at de terminerer:

```
// main –tråden i konstruktøren
Thread [] t = new Thread[n];
for (int i = 0; i < n; i++) {
    t[i] = new Thread (new Arbeider(..));
    t[i].start();
}
.....
// main vil vente her til trådene er ferdige
for(int i = 0; i < n; i++) {
    try{ t[i].join();
        }catch (Exception e){return;};
} .....
```



II) Mange ulike synkroniserings primitiver

Vi skal bare lære noen få !

- `java.util.concurrent`

Classes

[AbstractExecutorService](#)

[ArrayBlockingQueue](#)

[ConcurrentHashMap](#)

[ConcurrentLinkedDeque](#)

[ConcurrentLinkedQueue](#)

[ConcurrentSkipListMap](#)

[ConcurrentSkipListSet](#)

[CopyOnWriteArrayList](#)

[CopyOnWriteArraySet](#)

[CountDownLatch](#)

[CyclicBarrier](#)

[DelayQueue](#)

[Exchanger](#)

[ExecutorCompletionService](#)

[Executor](#)

[FixedThreadPoolExecutor](#)

[ThreadPoolExecutor.AbortPolicy](#)

[ThreadPoolExecutor.CallerRunsPolicy](#)

[ThreadPoolExecutor.DiscardOldestPolicy](#)

[ThreadPoolExecutor.DiscardPolicy](#)

[Semaphore](#)

[SynchronousQueue](#)

[ThreadLocalRandom](#)

[ThreadPoolExecutors](#)

[ForkJoinPool](#)

[ForkJoinTask](#)

[ForkJoinWorkerThread](#)

[FutureTask](#)

[LinkedBlockingDeque](#)

[LinkedBlockingQueue](#)

[LinkedTransferQueue](#)

[Phaser](#)

[PriorityBlockingQueue](#)

[RecursiveAction](#)

[RecursiveTask](#)

[ScheduledThreadPoolExecutor](#)

Interfaces

[BlockingDeque](#)

[BlockingQueue](#)

[Callable](#)

[CompletionService](#)

[ConcurrentMap](#)

[ConcurrentNavigableMap](#)

[Delayed](#)

[Executor](#)

[ExecutorService](#)

[ForkJoinPool.ForkJoinWorkerThreadFactory](#)

[ForkJoinPool.ManagedBlocker](#)

[Future](#)

[RejectedExecutionHandler](#)

[RunnableFuture](#)

[RunnableScheduledFuture](#)

[ScheduledExecutorService](#)

[ScheduledFuture](#)

[ThreadFactory](#)

[TransferQueue](#)

java.util.concurrent.atomic

De har samme virkning (semantikk) som volatile variable (forklares senere), men kan gjøre mer sammensatte operasjoner. Mye raskere enn synchronized methods.

Eksempel på operasjoner i **AtomicIntegerArray**:

int

get(int i) Gets the current value at position i.

int

getAndAdd(int i, int delta) Atomically adds the given value to the element at index i.

int

getAndDecrement(int i) Atomically decrements by one the element at index

void

set(int i, int newValue) Sets the element at position i to the given value.

Classes

[AtomicBoolean](#)

[AtomicInteger](#)

[AtomicIntegerArray](#)

[AtomicIntegerFieldUpdater](#)

[AtomicLong](#)

[AtomicLongArray](#)

[AtomicLongFieldUpdater](#)

[AtomicMarkableReference](#)

[AtomicReference](#)

[AtomicReferenceArray](#)

[AtomicReferenceFieldUpdater](#)

[AtomicStampedReference](#)



Vi skal bare lære ett fåtall av dette

- Her er de vi skal konsentrere oss om:
 - new Thread – join()
 - synchronized method
 - Semaphore – acquire() og release()
 - CyclicBarrier – await()
 - ExecutorService pool = Executors.newFixedThreadPool(k);
med Futures - forklares senere
 - AtomicIntegerArray – get(), set(), getAndAdd(),...
 - ReentrantLock (i pakken: **java.util.concurrent.locks**)
 - volatile variable - forklares senere
- Alle de synkroniseringer vi trenger, kan gjøres med disse!
- De fleste andre har sine måter å gjøre det på, men man har neppe tid til å lære seg alle.
- Bedre å bli flink i et lite og tilstrekkelig sett av synkroniseringsprimitiver, enn halvgod i de fleste.



II) Tidtagning

- JIT –kompilering
 - Hvor mye betyr det egentlig
- Operativsystemet (Windows eller Linux)
 - Er de like raske?
- Søppeltømming i Java
 - Skjer under kjøring (med i tidene)

Tidsmålinger og JIT (Just In Time) -kompilering

- Tilbake til kompileringen av et Java-program:

javac kompilerer først vårt java-program til en .class fil. som består av **byte-kode**

java (JVM) starter vår program i 'main()', men følger med.

1. Kalles en metode flere ganger, kompileres den over fra bytekode til **maskinkode**.
2. Kalles den enda mange ganger kan denne koden igjen **optimaliseres** (flere ganger)

main().
Vårt program kjører først interpretert (byte-koden tolkes).
Blir JIT-kompilert (mens koden kjører) en eller flere ganger. Går mye raskere

Optimalisering – ett eksempel

Original kode

```
class A {  
    B b;  
    public void newMethod() {  
        y = b.get();  
        ...do stuff...  
        z = b.get();  
        sum = y + z;  
    }  
}  
class B {  
    int value;  
    final int get() {  
        return value;  
    }  
}
```

1) Inline get

```
public void  
newMethod() {  
    y = b.value;  
    ...do stuff...  
    z = b.value;  
    sum = y + z;  
}
```

2) Fjern overflødige les

```
public void  
newMethod() {  
    y = b.value;  
    ...do stuff...  
    z = y;  
    sum = y + z;  
}
```

3) Fjern overflødige variable

```
public void  
newMethod() {  
    y = b.value;  
    ...do stuff...  
    y = y;  
    sum = y + y;  
}
```

4) Fjern død kode

```
public void  
newMethod() {  
    y = b.value;  
    ...do stuff...  
    sum = y + y;  
}
```

Mediantider for
finnMax fra
ukeoppgavene:

n= 10 000

Vi ser at
kjøretidene
(para) synker
dramatisk fra
1.ste til neste
kjøring.
Pga JIT-
optimalisering

M:\INF2440Para\FinnMax>java FinnMaxMulti 10000 7

Kjøring:0, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 13.24 msek. , nanosek/n: 1324.41

Max sekv = a:9853, paa: 0.13 msek. , nanosek/n: 12.59

Kjøring:1, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.20 msek. , nanosek/n: 20.22

Max sekv = a:9853, paa: 0.11 msek. , nanosek/n: 10.94

Kjøring:2, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.26 msek. , nanosek/n: 25.78

Max sekv = a:9853, paa: 0.11 msek. , nanosek/n: 11.18

Kjøring:3, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.21 msek. , nanosek/n: 21.39

Max sekv = a:9853, paa: 0.24 msek. , nanosek/n: 23.91

Kjøring:4, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.22 msek. , nanosek/n: 21.99

Max sekv = a:9853, paa: 0.20 msek. , nanosek/n: 19.74

Kjøring:5, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.25 msek. , nanosek/n: 25.00

Max sekv = a:9853, paa: 0.23 msek. , nanosek/n: 22.95

Kjøring:6, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.20 msek. , nanosek/n: 19.56

Max sekv = a:9853, paa: 0.21 msek. , nanosek/n: 20.52

Median seq time: 0.205, median para time: 0.250,

Speedup: **0.82**, n = 10 000

M:\INF2440Para\FinnMax>java FinnMaxMulti 10000000 5

n= 10 mill

Kjøring:0, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 21.93 msek. , nanosek/n: 2.19

Max sekv = a:9999216, paa: 7.65 msek. , nanosek/n: 0.76

Kjøring:1, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 3.04 msek. , nanosek/n: 0.30

Max sekv = a:9999216, paa: 5.95 msek. , nanosek/n: 0.59

Kjøring:2, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 3.20 msek. , nanosek/n: 0.32

Max sekv = a:9999216, paa: 7.33 msek. , nanosek/n: 0.73

Kjøring:3, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 2.67 msek. , nanosek/n: 0.27

Max sekv = a:9999216, paa: 5.10 msek. , nanosek/n: 0.51

Kjøring:4, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 2.88 msek. , nanosek/n: 0.29

Max sekv = a:9999216, paa: 5.57 msek. , nanosek/n: 0.56

Median seq time: 5.945, median para time: 3.042,

Speedup: **1.95**, n = 10000000

```
M:\INF2440Para\FinnMax>java -Xint FinnMaxMulti 10000000 5
```

Kjøring:0, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 53.13 msek. , nanosek/n: 5.31

Max sekv = a:9999216, paa: 144.08 msek. , nanosek/n: 14.41

Kjøring:1, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 44.94 msek. , nanosek/n: 4.49

Max sekv = a:9999216, paa: 144.86 msek. , nanosek/n: 14.49

Kjøring:2, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 33.83 msek. , nanosek/n: 3.38

Max sekv = a:9999216, paa: 137.45 msek. , nanosek/n: 13.75

Kjøring:3, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 53.63 msek. , nanosek/n: 5.36

Max sekv = a:9999216, paa: 136.90 msek. , nanosek/n: 13.69

Kjøring:4, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9999216, paa: 50.09 msek. , nanosek/n: 5.01

Max sekv = a:9999216, paa: 137.71 msek. , nanosek/n: 13.77

Median seq time: 137.714, median para time: 50.088,

Speedup: **2.75**, n = 10000000

JIT-
kompilering
avslått :
> java -Xint

.....
n= 10 mill

M:\INF2440Para\FinnMax>java FinnM 100000000 5

Kjoering:0, ant kjerner:8, antTraader:8

Max verdi parallell i a:99989305, paa: 41.913504 ms.

Max verdi sekvensiell i a:99989305, paa: 238.799921 ms.

n= 100 mill

Kjoering:1, ant kjerner:8, antTraader:8

JIT-kompilering +optimalisering

Max verdi parallell i a:99989305, paa: 26.78024 ms.

Max verdi sekvensiell i a:99989305, paa: 235.431219 ms.

Kjoering:2, ant kjerner:8, antTraader:8

Max verdi parallell i a:99989305, paa: 27.791271 ms.

Max verdi sekvensiell i a:99989305, paa: 248.066478 ms.

Søppel-tømming

Kjoering:3, ant kjerner:8, antTraader:8

Max verdi parallell i a:99989305, paa: 26.86283 ms.

Max verdi sekvensiell i a:99989305, paa: 236.013201 ms.

Kjoering:4, ant kjerner:8, antTraader:8

Max verdi parallell i a:99989305, paa: 27.755575 ms.

Max verdi sekvensiell i a:99989305, paa: 223.535073 ms.

Median sequential time:236.013201, median parallel time:27.755575,

n= 100000000, **Speedup: 8.59**



Hva betyr dette for tidsmålingene

- Første gangen vi gjør er tiden vi måler en sum av:
 - Først litt interpretering av bytekodet
 - Så oversetting(kompilering) av hyppig brukte metoder til maskinkode
 - kjøring av resten av programmet dels i maskinkode.
- Andre gang vi kjører, kan følgende skje:
 - JVM finner at noen av maskinkompilerte metodene våre må optimaliseres ytterligere
 - Kjøretiden synker ytterligere
- Tredje gang er som oftest optimaliseringa ferdig, men ytterligere optimalisering kan bli gjort
- Tidtakningen vår må endres !
- Vi kjører det sekvensielle og parallelle programmet f.eks 9 ganger i en løkke , noterer alle kjøretider i to arrayer som så sorteres og vi velger medianverdien = $a[a.length/2]$
- Du får aldri samme svaret to ganger – mye variasjon !!

FinnMax, 3 ulike kjøring (samme parametre , varierer antall tråder: 8, 16, 4)

Uke2>java FinnM 1000000 9
Kjøring:0, **ant kjerner:8, antTråder:8**
Max verdi parallell i a:999216, paa: 23.860968 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 3.468803 ms.

Kjøring:1, ant kjerner:8, antTråder:8
Max verdi parallell i a:999216, paa: 0.311465 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.549437 ms.

.....

Kjøring:8, ant kjerner:8, antTråder:8
Max verdi parallell i a:999216, paa: 0.422752 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.532639 ms.

Median sequential time:0.52004,
median parallel time:0.429051,
Speedup: **1.26**, n = 1000000

Uke2>java FinnM 1000000 9
Kjøring:0, **ant kjerner:8, antTråder:16**
Max verdi parallell i a:999216, paa: 18.808946 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 3.558043 ms.

Kjøring:1, ant kjerner:8, antTråder:16
Max verdi parallell i a:999216, paa: 1.847439 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.453898 ms.

.....

Kjøring:8, ant kjerner:8, antTråder:16
Max verdi parallell i a:999216, paa: 0.502542 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.471396 ms.

Median sequential time:0.509891,
median parallel time:0.646726,
Speedup: **0.90**, n = 1000000

Uke2>java FinnM 1000000 9
Kjøring:0, **ant kjerner:8, antTråder:4**
Max verdi parallell i a:999216, paa: 16.154151 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 3.75507 ms.

Kjøring:1, ant kjerner:8, antTråder:4
Max verdi parallell i a:999216, paa: 1.280854 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.520741 ms.

Kjøring:2, ant kjerner:8, antTråder:4
Max verdi parallell i a:999216, paa: 0.557136 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.509191 ms.

.....

Kjøring:8, ant kjerner:8, antTråder:4
Max verdi parallell i a:999216, paa: 0.628527 ms.
Max verdi sekvensiell i a:999216, paa: 0.52354 ms.

Median sequential time:0.520741, median parallel time:0.628527,
Speedup: **0.88**, n = 1000000



«Aldri» samme resultatet to ganger

Uke2>java FinnM 1000000 9
ant kjerner:8, antTråder:8, n = 1mill

Med antall kjøring for median = 9

- 1) Speedup: **0.68**, n = 1000000
- 2) Speedup: 0.96, n = 1000000
- 3) Speedup: 0.84, n = 1000000
- 4) Speedup: 0.71, n = 1000000
- 5) Speedup: 1.06, n = 1000000
- 6) Speedup: 1.26, n = 1000000

Med antall kjøring for median = 21

- 7) Speedup: 1.00, n = 1000000
- 8) Speedup: 0.84, n = 1000000
- 9) Speedup: 0.88, n = 1000000
- 10) Speedup: **1.75**, n = 1000000
- 11) Speedup: 0.87, n = 1000000
- 12) Speedup: 1.11, n = 1000000
- 13) Speedup: 1.03, n = 1000000



Konklusjon på JIT-kompilering

- JIT-kompilering kan skrues av med `>java -Xint MittProg ..`
 - Brukes bare for debugging
- JIT kompilering kan gi 10 til 30 ganger så rask eksekvering for liten n (en god del mer for stor n)
- Første, andre (og tredje) kjøring er tidsmessig sterkt misvisende
- Vi må:
 - Kjøre programmet i en løkke f.eks 9 (eller 7 eller 11) ganger
 - Legge tidene i hver sin array (sekvensielt og parallell tid)
 - Sortere arrayene
 - Ta ut medianen (element $a.length/2$), som blir vår tidsmåling

Dette måler tidene for 9 tråder kjørt **etter** hverandre

```
import java.util.concurrent.*;
import java.util.*;
class Problem2 { int [] fellesData ; // dette er felles, delte data for alle trådene
    double [] tidene ;
    int ant, svar;
    public static void main(String [] args) {
        ( new Problem()).utfoer(args);
    }
    void utfoer (String [] args) {
        ant = new Integer(args[0]);
        fellesData = new int [ant];
        tidene = new double[9];
        for (int m = 0; m <9; m++) {
            long tid = System.nanoTime();
            Thread t = new Thread(new Arbeider());
            t.start();
            try{t.join();}catch (Exception e) {return;}
            tidene[m] = (System.nanoTime() -tid)/1000000.0;
            System.out.println("Tid for "+m + ", tråd:"+tidene[m]+« ms");
        }
        Arrays.sort(tidene);
        System.out.println("Median med svar:"+svar+", for trådene:"+tidene[(tidene.length)/2]+" ms");
    } // end utfoer

    class Arbeider implements Runnable {
        int i,lokalData; // dette er lokale data for hver tråd
        public void run() { int sum =0;
            for (int i = 0; i < ant; i++) sum +=fellesData[i];
            svar =sum;
        }
    } // end indre klasse Arbeider
} // end class Problem
```

```
M:\INF2440Para\Powerpoint\Uke2>java Problem2 1000000
```

```
Tid for 0, tråd:22.26 ms
```

```
Tid for 1, tråd: 1.12ms
```

```
Tid for 2, tråd: 3.19ms
```

```
Tid for 3, tråd: 0.58ms
```

```
Tid for 4, tråd: 0.65ms
```

```
Tid for 5, tråd: 0.49ms
```

```
Tid for 6, tråd: 0.48ms
```

```
Tid for 7, tråd: 0.53ms
```

```
Tid for 8, tråd: 0.85ms
```

```
Median med svar:0, for trådene:0.65 ms
```



Hva med operativsystemet:

- Linux og Windows har om lag like rask implementasjon av Java og trådprogrammering,
- Dag Langmyhr testet to helt like maskiner med hhv. Linux og Windows, og resultatene tidsmessig (medianer) var nesten helt like, men
 - Ulike maskiner som Ifis store servere (diamant, safir,..) har en annen Linux og en noe langsommere ytelse for korte, trådbaserte programmer.

Hva med søppeltømming – garbage collection:

- Søppeltømming (=opprydding i lageret og fjerning av objekter vi ikke lenger kan bruke) kan slå til når som helst under kjøring:

Kjøring:2, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.35 msek. , nanosek/n: 35.07

Max sekv = a:9853, paa: 0.01 msek. , nanosek/n: 1.36

Kjøring:3, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.57 msek. , nanosek/n: 56.87

Max sekv = a:9853, paa: 0.01 msek. , nanosek/n: 0.66

Kjøring:4, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.43 msek. , nanosek/n: 43.47

Max sekv = a:9853, paa: 0.01 msek. , nanosek/n: 1.33

Kjøring:5, ant kjerner:8, antTråder:8

Max para = a:9853, paa: 0.49 msek. , nanosek/n: 49.20

Max sekv = a:9853, paa: 0.01 msek. , nanosek/n: 1.36



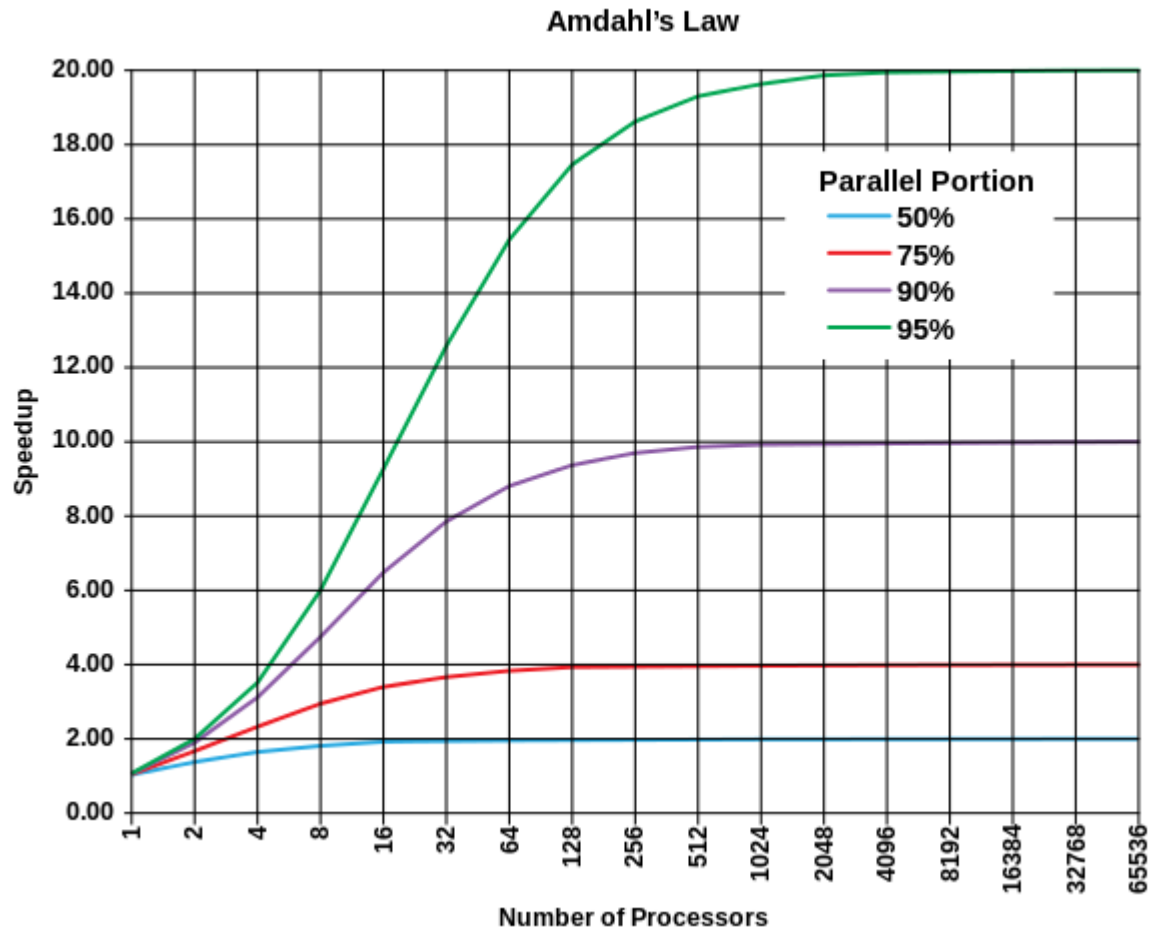
Amdahl lov for parallelle beregninger

- Amdahl lov: Har du **seq** andel sekvensiell kode og da **p** andel parallelliserbar kode i et parallelt program, **seq+p=1**, er den største speedup S du kan få med k kjerner:

$$S = \frac{\text{tid}(\text{sekvensiell})}{\text{tid}(\text{parallell})} = \frac{1}{\text{seq}+p/k} = \frac{1}{1-p+p/k}$$

- Når $k \rightarrow \infty$, vil $S \rightarrow \frac{1}{1-p}$.
- Er $p=0.9$, så er $S \leq 10$ uansett hvor mange kjerner du har, og har du 'bare' 50, er $S = \frac{1}{1-0.9+0.9/50} = 8,5$.
- Amdahls lov er pessimistisk- antar fast størrelse på problemet
- «Hvis du først har brukt 10% av tida på en sekvensiell del, så kan resten av programmet ikke gå fortere enn 0.00 sekunder uansett hvor mange prosessorer du bruker på det. Dvs. at speedup ≤ 10 »

Amdahl for ulike verdier av p



Amdahl – viktig å parallellisere største del

Two independent parts

A **B**

Original process



Make **B** 5x faster



Make **A** 2x faster



Gustafsons lov for parallelle beregninger

- La S være speedup, P antall kjerner og α være andel sekvensiell kode (tidsmessig), så er:

$$S(P) = P - \alpha(P-1)$$

Parallell løsning er: $a + b$ (a = sekvensiell tid, b = parallell tid)

Sekvensiell løsning er da: $a + P * b$

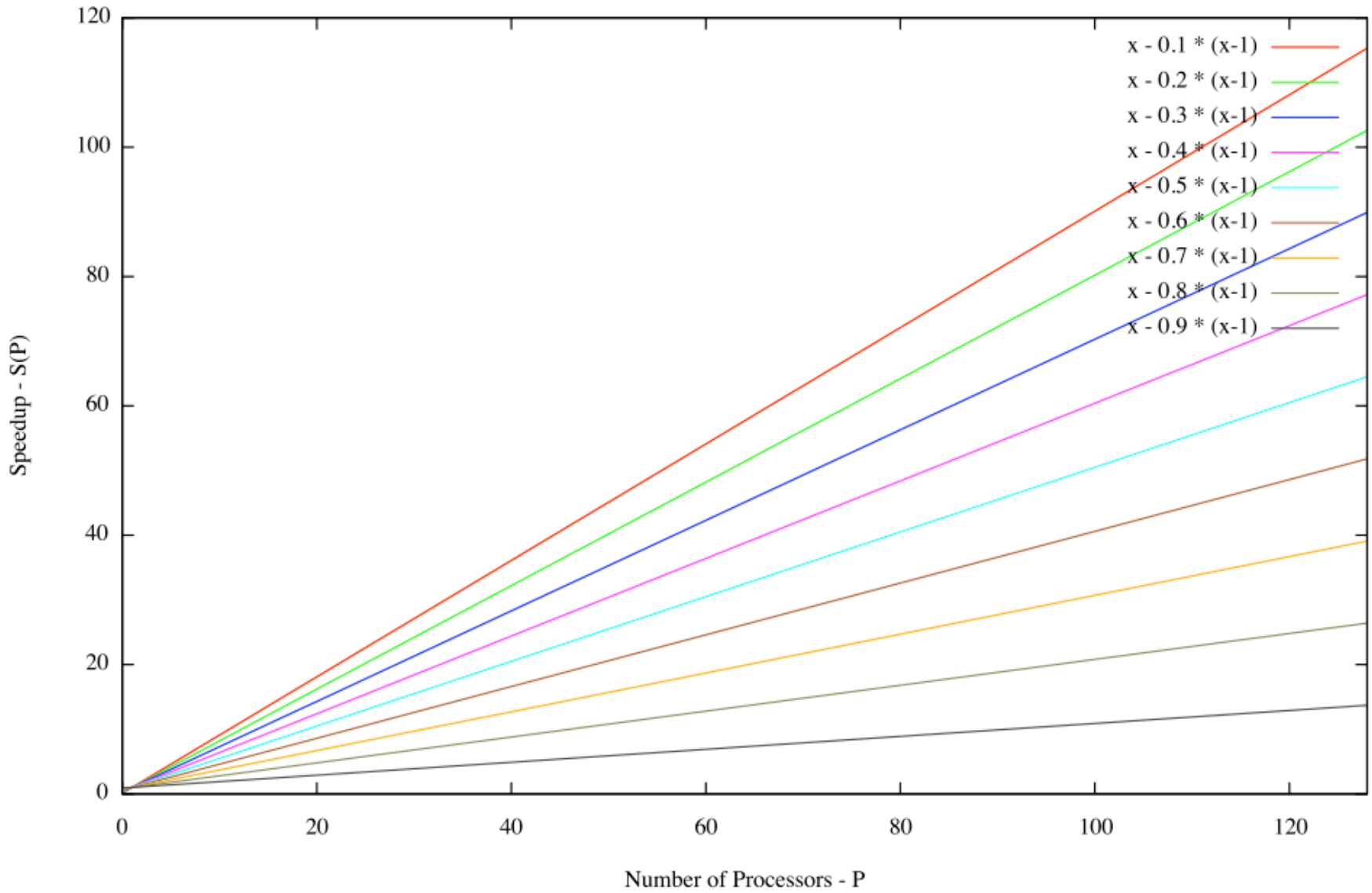
Speedup er da:

$$\frac{a+P*b}{a+b}, \text{ og har at } \alpha = \frac{a}{a+b} \text{ og da er:}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{S(P)} &= \frac{a + P * b}{a + b} = \frac{a}{a + b} + P * \frac{b}{a + b} = \alpha + P * \frac{b}{a + b} \\ &= \alpha + P * \frac{a+b-a}{a+b} = \alpha + P * (1 - \alpha) = \mathbf{P - \alpha(P - 1)} \end{aligned}$$

- «Hvis du tidligere brukte 1 time på å løse et problem sekvensielt, vil du nå også bruke 1 time på å løse et større, mer nøyaktig problem parallelt, da med større speedup– for eksempel i meteorologi»

Gustafson's Law: $S(x) = x - \alpha(x - 1),$





Sammenligning av Amdahl og Gustafson + egne betraktninger

- Amdahl antar at oppgaven er fast av en gitt lengde(n)
- Gustafson antar at du med parallelle maskiner løser større problemer (større n) og da blir den sekvensielle delen mindre.
- Min betraktning:
 1. En algoritme består av noen sekvensielle deler og noen parallelliserbare deler.
 2. Hvis de sekvensielle delene har lavere orden – f.eks $O(\log n)$, men de parallelle har en større orden – eks $O(n)$ så vil de parallelle delene bli en stadig større del av kjøretida hvis n øker (Gustafson)
 3. Hvis de parallelle og sekvensielle delene har samme orden, vil et større problem ha samme sekvensielle andel som et mindre problem (Amdahl).
 4. I tillegg kommer alltid et fast overhead på å starte k tråder (1-4 ms.)Algoritmer vi skal jobbe med er mer av type 2 (Gustafson) enn type 3(Amdahl) men vi har alltid overhead, så små problemer løses best sekvensielt.

Konklusjon: For store problemer bør vi ha håp om å skalere nær lineært med antall kjerner hvis ikke vi får kø og forsinkelser når alle kjernene skal lese/skrive i lageret.



V) Kan det gå galt når to tråder samtidig skriver i ulike plasser i en array?

- Et problemet kunne være at når en av tråden lester opp et element i $a[i]$ (int = 4 byte), så er cache-linja 64 byte, så den får med seg flere elementer før og etter $a[i]$.
- Disse 'andre' elementene er det andre tråder som skriver på.
- Vi skriver et testprogram (ParaArray) hvor 10 tråder med indeks : 0,1,2,..,9 som øker hvert sitt element i en array $tall[index]$ 100 000 ganger.

Skriving på nærliggende elementer i en array.

```
class ParaArray{
    int []tall;
    CyclicBarrier b ;
    int antTraader, antGanger ;

    ....
class Para implements Runnable{
    int indeks;
    Para(int i) { indeks =i;}
    public void run() {
        for (int j = 0; j< antGanger; j++) {
            oekTall(indeks);
        }
        try { // wait on all other threads + main
            b.await();
        } catch (Exception e) {return;}
    } // end run
    void oekTall(int i) { tall[i]++; }
} // end ParaArray
```

- Cache-linja er nå 64 byte (og en int er 4 byte)
- Går det greit med at flere tråder (indeks=0,1,...,k-1) skriver på a[tråd.indeks] mange ganger i parallell?
- Tester: Vi lageret program som gjør det :

```
>java ParaArray 10 100000000
Maskinen har 8 prosessorkjerner.
Tid 100000000 kall * 10 Traader =
0.032600 sek,
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
sum:100000000, tap:0 = 0.0%
```



Konklusjon:

- Skrivning samtidig i **ulike** elementer i en array går bra.
 - Dette skal vi bruke mye i kommende algoritmer.
 - (kan riktignok medføre litt ekstra eksekveringstid – det ser vi på senere)
- Men, skrivning **samtidig i samme element** går galt!



Hva har vi sett på i Uke2

- I) Tre måter å avslutte tråder vi har startet.
 - `join()`, Semaphore og CyclicBarrier.
- II) Mange ulike synkroniseringsprimitiver
 - Vi skal bare lære oss noen få - ett tilstrekkelig sett
- III) Hvor mye tid bruker parallelle programmer
 - JIT-kompilering, Overhead ved start, Synkronisering, Operativsystem og søppeltømming,
 - Bruk mediantida av flere kjøring
- IV) 'Lover' om Kjøretid
 - Amdahl lov
 - Gustafsons lov
- V) Samtidig skriving i naboelementer i en array er OK.