## Tutorium 11: Parallelität in Java

Paul Brinkmeier

24. Januar 2023

Tutorium Programmierparadigmen am KIT

# **Heutiges Programm**

# Parallelprogrammierung

### ProPa-Stoff zu Parallelprogrammierung:

- Grundlegende Begriffe
- Message Passing, wurde in OS kurz behandelt ("message queues")
- Shared Memory + Synchronisierung, wie in SWT1, OS, etc.
  - In Java, mit ein paar Details zur JVM ← wir sind hier

# **Parallelprogrammierung**

Heute: Verschiedene Java-/Parallelprogrammierungskonzepte

- Amdahlsches Gesetz
- Lambdas, @FunctionalInterface
- Threads (.start(), .run())
- Futures
- Happens-before-Beziehung

# Wiederholung

## Flynns Taxonomie

- SISD: Single Instruction, Single Data
   Ein Datum wird von einer Ausführungsarbeit bearbeitet
- SIMD: Single Instruction, Multiple Data
   Eine Ausführungseinheit bearbeitet mehrere Daten gleichzeitig
- MIMD: Multiple Instruction, Multiple Data
   ≈ Mehrere Ausführungseinheiten arbeiten gleichzeitig
- MISD: Multiple Instruction, Single Data
   ≈ Mehrere Ausführungseinheiten arbeiten gleichzeitig an einem Datum

# Daten- und Taskparallelismus

#### Parallele Probleme sind üblicherweise entweder

- "datenparallel": Problem kann auf identische Ausführungseinheiten verteilt werden Beispiel: map primeFactors [1432793, 651433, ...]
- "taskparallel": Problembestandteile sind nicht homogen Beispiel: Videospiel mit Render-, Netzwerk- und Logikprozessen

Datenparallele Probleme sind i.d.R. einfacher zu behandeln (auch: "embarrassingly parallel"). Bei manchen Problemen verschwimmt die Grenze auch (bspw. Webserver).

#### **MPI**

MPI ("Message Passing Interface") ist ein Standard für Parallelprogrammierung. Es existieren verschiedene Implementierungen für verschiedene Sprachen. Die VL verwendet Open MPI, eine Open-Source-Implementierung.

- MPI-,, Prozesse" beziehen sich i.d.R. auf Prozessorkerne
- Message Passing statt Shared Memory:
  - Daten werden explizit über Send und Recv geteilt
- MPI-Prozesse werden in sog. Communicators eingeteilt. Wir verwenden immer den Communicator, der alle Prozesse enthält (MPI\_COMM\_WORLD))

# MPI: Kollektive Operationen

Statt Send und Recv nutzt man in MPI meistens "kollektive Operationen".

- Selber Aufruf in jedem Prozess
- Meistens mit root Parameter, um Datenquelle zu bestimmen

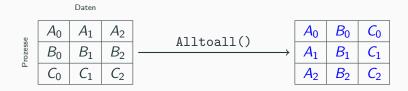
Beispiel: Bcast verteilt ein Datum auf alle Prozesse.



# Cheatsheet: Liste an kollektiven MPI-Operationen

# Folgende kollektiven Operationen kennen wir:

- MPI\_Bcast
- MPI\_Scatter, MPI\_Gather
- MPI\_Allgather ("Gather" + Bcast)
- MPI\_Alltoall ("transponiert")
- MPI\_Reduce ("wie fold")



Gegeben den parallelisierbaren Anteil eines Algorithmus  $p \in [0,1]$ , berechnet

$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{n}}$$

den *maximalen Speedup* durch parallele Ausführung auf *n* Prozessoren.

- In der Praxis nicht erreichbar durch OS-Overhead!
- Trotzdem gute Annäherung für die etwaige Größenordnung des tatsächlichen Speedups (wenn man p kennt)

Gegeben den parallelisierbaren Anteil eines Algorithmus  $p \in [0,1]$ , berechnet

$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{n}}$$

den *maximalen Speedup* durch parallele Ausführung auf *n* Prozessoren.

Beispielalgorithmus (Histogramm eines Graustufenbildes berechnen):

- Berechne Histogramme für Bildauschnitte (7s, parallelisierbar)
- Summiere einzelne Histogramme (3s, nicht parallelisierbar)

Gegeben den parallelisierbaren Anteil eines Algorithmus  $p \in [0, 1]$ , berechnet

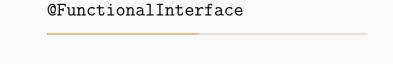
$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{n}}$$

den *maximalen Speedup* durch parallele Ausführung auf *n* Prozessoren.

$$p = \frac{7s}{7s + 3s} = 0,7$$

$$T(n) = (1 - p) + \frac{p}{n} = 0.3 + \frac{0,7}{n}$$

$$S(4) = \frac{T(1)}{T(4)} = \frac{1}{0,3 + 0,175} \approx 2,1$$



#### Lambdas

Seit Java 8 gibt es Lambda-Ausdrücke, bspw.:

```
Function<Float, Float> f = x -> 2 * x;
Float tau = f(pi);
```

Ein Lambda ist hier Syntaxzucker für eine anonyme Klassendeklaration (gab es auch schon vor Java 8):

```
Function<Float, Float> f =
  new Function<Float, Float>() {
    @Override
    public Float apply(Float x) {
      return 2 * x;
    }
    };
Float tau = f.apply(pi);
```

### Das Interface Function

```
interface Function<A, B> {
   B apply(A x);
}
```

- java.util.function enthält einige solcher Interfaces
- Eigene Typen für Lambdas?

#### @FunctionalInterface

Um eigene Typen für Lambdas zu definieren, können wir Interfaces mit einer einzelnen Methode schreiben und diese als @FunctionalInterface annotieren:

```
@FunctionalInterface
interface PixelTransformation {
  int transform(int input);
}

PixelTransformation bw =
  x -> x < 128 ? 0 : 255;</pre>
```

Das können wir verwenden, um nicht überall Function<A, B> stehen zu haben.

Threads in Java

# Manuelle Threadverwaltung in Java

```
Runnable r = ...; (new Thread(r)).start();
// Runnable ist ein functional interface:
Thread t = new Thread(() -> {
   calculate999999thPrime();
});
t.start();
t.join();
```

- Functional interfaces k\u00f6nnen f\u00fcr ad-hoc Threads verwendet werden
- Threadverwaltung:
  - t.start() lässt den Thread t anlaufen
  - t.join() wartet bis t durchgelaufen ist
  - Außerdem: interrupt()/isInterrupted()

# **Aufgabe: Thread-Programmierung**

Parallelisiert ein Programm SumThreads, das  $\sum_{i=0}^{50\cdot 10^9} 1$  berechnet.

- Sequentielle Vorlage in demos/java/sum/Sum.java
- Verwendet t = new Thread(...), t.start(), t.join()

**Futures in Java** 

#### **Futures** in Java

```
ExecutorService e = Executors.newFixedThreadPool(N)
Future<Long> f = e.submit(() -> {
   return calculate999999thPrime();
});
long result = f.get();
e.shutdown();
```

- Anders als Threads haben Futures einen Ergebniswert
- $\leadsto$  Macht den Code etwas schöner
- Verschiedene Executors:
  - .newSingleThreadExecutor()
  - .newFixedThreadPool(N)
  - .newCachedThreadPool()

# Aufgabe: Thread-Programmierung II

Parallelisiert ein Programm SumFutures, das  $\sum_{i=0}^{50\cdot 10^9} 1$  berechnet.

- Sequentielle Vorlage in demos/java/sum/Sum.java
- executor = Executors.newFixedThreadPool(N)
- f = executor.submit(...)
- f.get()
- Am Ende: executor.shutdown()

Happens-before

# Happens-before-Beziehung

```
int flag = 0;
(new Thread(() -> flag = 1)).start();
(new Thread(() -> print(flag))).start();
```

- flag = 1 und print(flag) haben keine "Happens-before"-Beziehung
- → Indeterministische Ausgabe: 0 oder 1
- Innerhalb eines Threads gibt es immer eine "oben-nach-unten" Happens-before-Beziehung
- Zwischen Threads nur durch bestimmte Konstrukte:
  - start(), join()
  - synchronized, volatile

# Bedeutung von Happens-before

```
int flag = 0;
(new Thread(() -> {
  while (!flag) {}
  print("Active!");
})).start();
Thread.sleep(1000);
flag = 1;
```

- "Happens-before" hat bei mehreren Threads nichts mit der Ausführungsreihenfolge zu tun
- Stattdessen: Schreiboperationen sind immer f\u00fcr sp\u00e4tere Leseoperationen sichtbar
- Ohne Happens-before: Möglicherweise wird Thread-lokale Variable im Cache nicht geupdated
- Lösung: Variable als volatile int flag deklarieren

# **Ende**

#### **Ende**

- Im CAS könnt ihr euch bis zum 24.03. für die PP-Klausur anmelden
  - Termin: 31.03.2023
- Bis zum 15.02. könnt ihr euch Rückmelden
- Noch eine gute Woche :)