

Tutorium 11: Parallelität in Java

David Kaufmann

25. Januar 2023

Tutorium Programmierparadigmen am KIT

Heutiges Programm

Heute: Verschiedene Java-/Parallelprogrammierungskonzepte

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

Wiederholung

- 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

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 („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“)



Amdahlsches Gesetz

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)

Amdahlsches Gesetz

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.

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

$$T(n) = 0,3 + \frac{0,7}{n}$$

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

@FunctionalInterface

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 (gabs 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);
```

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

- java.util.function enthält alle möglichen solchen 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 {
    byte transform(byte input);
}

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

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 können für 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

```
Executor e = Executors.newFixedThreadPool(N);

Future<Long> f = e.submit(() -> {
    return calculate999999thPrime();
});

long result = f.get();

e.shutdown();
```

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

Aufgabe: Thread-Programmierung II

Parallelisiert ein Programm `SumFutures`, das $\sum_{i=0}^{50 \cdot 10^9} i$ 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
- \rightsquigarrow 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* für spätere Leseoperationen sichtbar
- Ohne Happens-before: Möglicherweise wird Thread-lokale Variable im Cache nicht geupdated
- Lösung: Variable als `volatile` `int flag` deklarieren

Fork-Join

Probleme werden gelöst indem sie in Teilprobleme aufgeteilt werden und dann diese gelöst werden.

`ForkJoinPool` kann `ForkJoinTasks` ausführen

`RecursiveAction` liefert nichts zurück, `RecursiveTask` liefert ein Ergebnis zurück

Beispiel siehe `/demos/forkjoin`