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

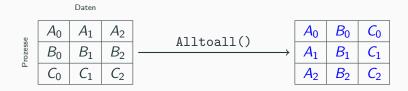
Beispiel: Bcast verteilt ein Datum auf alle Prozesse.



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

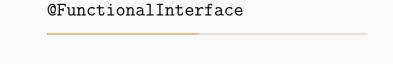
$$S(n) = \frac{T(1)}{T(n)} = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{n}}$$

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

```
Executor e = Executor.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 :)