Verteilte Systeme – Übung

Grundlagen: Java

Sommersemester 2023

Laura Lawniczak, Harald Böhm, Tobias Distler

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
Lehrstuhl Informatik 16 (Systemsoftware)

https://sys.cs.fau.de

Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Überblick

- Java
  - Collections & Maps
  - Threads
  - Kritische Abschnitte
  - Koordinierung

Java

Collections & Maps

Collections

- Package: `java.util`
- Gemeinsame Schnittstelle: `Collection`
- Datenstrukturen
  - Menge
    - Schnittstelle: `Set`
    - Implementierungen: `HashSet`, `TreeSet`, ...
  - Liste
    - Schnittstelle: `List`
    - Implementierungen: `LinkedList`, `ArrayList`, ...
  - Warteschlange
    - Schnittstelle: `Queue`
    - Implementierungen: `PriorityQueue`, `LinkedBlockingQueue`, ...
- Tutorial

The Java Tutorials, Trail: Collections

`http://docs.oracle.com/javase/tutorial/collections/index.html`

Algorithmen-Bibliothek

- Verfügbare Algorithmen (Beispiele)
  - Maximums- (`max()`) bzw. Minimumsbestimmung (`min()`)
  - Sortieren (`sort()`)
  - Überprüfung auf Existenz gemeinsamer Elemente (`disjoint()`)
  - Erzeugung zufälliger Permutationen (`shuffle()`)
- Beispiel
  - Implementierung

```
Integer[] values = { 1, 2, 3, 4, 5, 6 };

List<Integer> list = new ArrayList<Integer>(values.length);
Collections.addAll(list, values);

System.out.println("Before: " + list);
Collections.shuffle(list);
System.out.println("After:  " + list);
```

  - Ausgabe eines Testlaufs

```
Before: [1, 2, 3, 4, 5, 6]
After:  [4, 2, 1, 6, 5, 3]
```

Maps

java.util.Map<K,V>

- Allgemeine Schnittstelle für Datenstrukturen zur Verwaltung von Schlüssel-Wert-Paaren
- Eigenschaften
  - Maximal ein Wert pro Schlüssel ($\rightarrow$ keine Duplikate)
  - Interner Aufbau bestimmt durch gewählte Implementierung
    - `HashMap`
    - `TreeMap`
    - …
- Beispiel

```
Map<String, Integer> telBook = new HashMap<String, Integer>();
telBook.put("Alice", 123456789);
telBook.put("Bob"  , 987654321);
[...]

Integer aliceNumber = telBook.get("Alice");
System.out.println("Alice's number: " + aliceNumber);
```

Java

Threads

Erzeugung von Threads

Variante 1: Unterklasse von `java.lang.Thread`

- Vorgehensweise
  1. Unterklasse von `Thread` erstellen
  2. `run()`-Methode überschreiben
  3. Instanz der neuen Klasse erzeugen
  4. An dieser Instanz die `start()`-Methode aufrufen
- Beispiel

```
class VSThreadTest extends Thread {
    @Override
    public void run() {
        System.out.println("Test");
    }
}
```

```
Thread test = new VSThreadTest();
test.start();
```

Variante 2: Implementieren von `java.lang.Runnable`

- Vorgehensweise
  1. `run()`-Methode der `Runnable`-Schnittstelle implementieren
  2. `Runnable`-Objekt erstellen
  3. Instanz von `Thread` mit Hilfe des `Runnable`-Objekts erzeugen
  4. Am neuen Thread-Objekt die `start()`-Methode aufrufen
- Beispiel

```
class VSRunnableTest implements Runnable {
    @Override
    public void run() {
        System.out.println("Test");
    }
}
```

```
Runnable test = new VSRunnableTest();
Thread thread = new Thread(test);
thread.start();
```

Variante 3: Java Lambda Ausdrücke [seit Java 8]

- Vorgehensweise:
  1. Erzeugung von `Thread`-Instanz und Beschreibung der `run()`-Methode mittels Lambda
  2. Am neuen Thread-Objekt die `start()`-Methode aufrufen
- **Einschränkung:** Kein Zustand (z.b. globale Variablen) möglich
- Beispiel

```
class VSLambdaTest {
  private int x = 10;

  public void lambdaTest() {
    Thread test = new Thread(() -> {
      System.out.println("Test " + this.x);
    });
    test.start();
  }
}
```

Pausieren von Threads

- Ausführung für einen bestimmten Zeitraum aussetzen
  - Mittels `sleep()`-Methoden

```
static void sleep(long millis) throws InterruptedException;
```

```
static void sleep(long millis, int nanos) throws InterruptedException;
```

  - Legt aktuellen Thread für `millis` Millisekunden (und `nanos` Nanosekunden) „schlafen“
  - **Achtung:**
    - Es ist nicht garantiert, dass der Thread exakt nach der angegebenen Zeit seine Ausführung fortsetzt
    - Von Präzision der Systemzeit/des Schedulers abhängig (Linux: 1ms, Windows (default): 15ms)
- Synchronisierung mit anderen Threads (siehe Kapitel „Koordinierung“ ab Folie 17)

Beenden von Threads

- Regulär
  - `return` aus der `run()`-Methode
  - Ende der `run()`-Methode
- Abbruch nach expliziter Anweisung
  - Aufruf der `interrupt()`-Methode (durch einen anderen Thread)

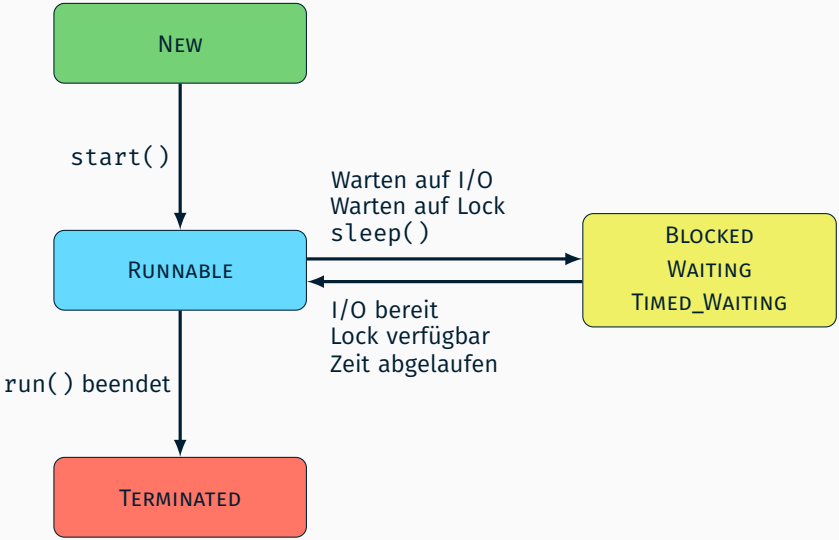
    ```
    public void interrupt();
    ```

  - Führt zu
    - einer `InterruptedException`, falls sich der Thread gerade in einer unterbrechbaren blockierenden Operation befindet
    - einer `ClosedByInterruptException`, falls sich der Thread gerade in einer unterbrechbaren I/O-Operation befindet
    - dem Setzen einer Interrupt-Status-Variable, die mit `isInterrupted()` abgefragt werden kann, sonst.

    Wichtig: Threads können sich in Java aktiv der Unterbrechung *widersetzen* (z.B. Fangen & Ignorieren von `InterruptedExceptions`). Man kann sie von außerhalb also nicht zum Beenden *zwingen*.
- Auf die Terminierung eines Threads warten mittels `join()`-Methode

  ```
  public void join() throws InterruptedException;
  ```

Thread-Zustände in Java



Java

Kritische Abschnitte

```
public class VSCounter implements Runnable {
    public int a = 0;

    public void run() {
        for(int i = 0; i < 1000000; i++) {
            a = a + 1;
        }
    }

    public static void main(String[] args) throws Exception {
        VSCounter value = new VSCounter();
        Thread t1 = new Thread(value);
        Thread t2 = new Thread(value);

        t1.start();
        t2.start();

        t1.join();
        t2.join();
        System.out.println("Expected a = 2000000, " +
                           "but a = " + value.a);
    }
}
```

- Ergebnisse einiger Durchläufe: 1 732 744, 1 378 075, 1 506 836
- Was passiert, wenn `a = a + 1` ausgeführt wird?

```
LOAD a into Register
ADD 1 to Register
STORE Register into a
```

- Mögliche Verzahnung wenn zwei Threads T_1 und T_2 beteiligt sind

0. a = 0;
1. T_1-LOAD: a = 0, Reg_1 = 0
2. T_2-LOAD: a = 0, Reg_2 = 0
3. T_1-ADD: a = 0, Reg_1 = 1
4. T_1-STORE: a = 1, Reg_1 = 1
5. T_2-ADD: a = 1, Reg_2 = 1
6. T_2-STORE: a = 1, Reg_2 = 1

⇒ Die drei Operationen müssen jeweils **atomar** ausgeführt werden!

Identifizierung kritischer Abschnitte

Synchronisieren ist notwendig, falls Atomizität erforderlich

1. Der Aufruf einer (komplexen) Methode muss atomar erfolgen
   - Eine Methode enthält mehrere Operationen, die auf einem konsistenten Zustand arbeiten müssen
   - Beispiele:
     - „`a = a + 1`“
     - Listen-Operationen (`add()`, `remove()`,...)
2. Zusammenhängende Methodenaufrufe müssen atomar erfolgen
   - Methodenfolge muss auf einem konsistenten Zustand arbeiten
   - Beispiel:

```
List list = new LinkedList();
[...]
int lastObjectIndex = list.size() - 1;
Object lastObject = list.get(lastObjectIndex);
```

Kennzeichnung kritischer Abschnitte

- Standardansatz in Java
  - Kennzeichnung eines kritischen Abschnitts mittels `synchronized`-Block
  - Verknüpfung eines kritischen Abschnitts mit einem *Sperrobjekt*
  - Ein Sperrobjekt kann nur von jeweils einem Thread gehalten werden

```
public void foo() {
    [...] // unkritische Operationen
    synchronized(<Sperrobjekt>) {
        [...] // kritischer Abschnitt
    }
    [...] // unkritische Operationen
}
```

- Hinweise
  - Jedes `java.lang.Object` kann als Sperrobjekt dienen
  - Ein Thread kann dasselbe Sperrobjekt mehrfach halten (rekursive Sperre)
- Mögliche Lösung für das Zähler-Beispiel

```
synchronized(this) { a = a + 1; }
```

- Alternativen: `Semaphore`, `ReentrantLock`

Synchronisierte Methoden

- Ersatzschreibweise für einen methodenweiten `synchronized`-Block
- Sperrobjekt
  - Statische Methoden: `Class`-Objekt der entsprechenden Klasse
  - Sonst: `this`

```
class VSExample {
    synchronized public void foo() {
        [...] // kritischer Abschnitt
    }
    public void bar() {
        synchronized(this) {
            [...] // kritischer Abschnitt
        }
    }
}
```

- Beachte
  - Alle `synchronized`-Methoden einer Klasse nutzen dasselbe Sperrobjekt
  - Ansatz nur sinnvoll, falls Methoden tatsächlich in Konflikt stehen

Synchronisierte Datenstrukturen

- Klasse `java.util.Collections`
  - Statische Wrapper-Methoden für `Collection`-Objekte
  - Synchronisation kompletter Datenstrukturen
- Methoden

```
static <T> List<T> synchronizedList(List<T> list);
static <K,V> Map<K,V> synchronizedMap(Map<K,V> map);
static <T> Set<T> synchronizedSet(Set<T> set);
[...]
```

- Beispiel

```
List<String> list = new LinkedList<String>();
List<String> syncList = Collections.synchronizedList(list);
```

- Beachte
  - Synchronisiert **alle** Zugriffe auf eine Datenstruktur
  - Kein Schutz von zusammenhängenden Methodenaufrufen

Atomare Operationen

- Ansatz
  - Ersatz-Klassen für problematische Datentypen
  - Atomare Varianten häufig verwendeter Operationen
  - Operation für atomares *Compare-and-Swap* (*CAS*)
- Verfügbare Klassen
  - Versionen für primitive Datentypen: `Atomic{Boolean,Integer,Long}`
  - Arrays: `AtomicIntegerArray`, `AtomicLongArray`
  - Referenzen: `AtomicReference`, `AtomicReferenceArray`
  - ...
- Beispiel

```
AtomicInteger ai = new AtomicInteger(47);
int newValueA = ai.incrementAndGet();
int newValueB = ai.getAndIncrement();
int oldValue = ai.getAndSet(4);
boolean success = ai.compareAndSet(oldValue, 7);
```

Java

Koordinierung

- Problemstellung
  - Rollenverteilung zwischen Threads (z. B. Produzent/Konsument)
  - Threads müssen sich abstimmen, um eine gemeinsame Aufgabe zu lösen

  $\rightarrow$ Mechanismen zur Koordinierung erforderlich
- Standardansatz in Java
  - Ein Thread wartet darauf, dass ein Ereignis eintritt
  - Der Thread wird mittels einer *Synchronisationsvariable* benachrichtigt
- Hinweise
  - Jedes `java.lang.Object` kann als Synchronisationsvariable dienen
  - Um andere Threads per Synchronisationsvariable zu benachrichtigen, muss ein Thread innerhalb eines `synchronized`-Blocks dieser Variable sein
- Methoden

`wait()`	Auf eine Benachrichtigung warten
`notify()`	Benachrichtigung an **einen** wartenden Thread senden
`notifyAll()`	Benachrichtigung an **alle** wartenden Threads senden

- Variablen

```
Object syncObject = new Object(); // Synchronisationsvariable
boolean flag = false;             // Ereignis-Flag
```

- Auf Erfüllung der Bedingung wartender Thread

```
synchronized(syncObject) {
    while(!flag) {
        syncObject.wait();
    }
}
```

- Bedingung erfüllender Thread

```
synchronized(syncObject) {
    flag = true;
    syncObject.notify();
}
```