

Middleware - Cloud Computing – Übung

Tobias Distler, Timo Hönig, Johannes Behl, Klaus Stengel

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

www4.cs.fau.de

Wintersemester 2012/13



Java

Collections & Maps

Threads

Synchronisation

Koordinierung



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

■ Tutorial



The Java Tutorials, Trail: Collections

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



■ Beispiel

- Deklaration mittels generischem Datentyp (hier: E)

```
public interface List<E> extends Collection<E> {...}
```

- Instanziierung: E durch zu verwaltenden Datentyp ersetzen, z. B. String

```
Collection<String> list = new LinkedList<String>();
```

■ Vorteile

- Implementierung der Datenstruktur kann Datentyp-unabhängig erfolgen
- Typsicherheit bei Verwendung der Datenstruktur

■ Einschränkung des Datentyps

- Keine Einschränkung

```
Collection<?> c;
```

- Einschränkung auf (Unter-)Klasse bzw. Schnittstelle

```
Collection<? extends Serializable> c;
```



Iterator (`java.util.Iterator`)

■ Methoden

- `hasNext()` Überprüfung auf letztes Element
- `next()` Voranschreiten zum nächsten Element
- `remove()` Entfernen des aktuellen Elements

■ Beispiel

```
// Liste erzeugen und mit Elementen füllen
List<String> list = [...];

// Liste durchlaufen
Iterator<String> iter = list.iterator();
while(iter.hasNext()) {
    String s = iter.next();
    System.out.println(s);
}
```

- Erweiterte Iteratoren verfügbar, z. B. `java.util.ListIterator`



For-Each-Schleife

■ Bemerkungen

- Anwendbar auf alle Datenstrukturen, die die Schnittstelle `java.lang.Iterable<E>` implementieren, sowie Arrays
- Rein lesender Zugriff auf die Datenstruktur
[→ Nicht dazu geeignet, um Elemente in ein Array einzufügen.]

■ Beispiele

```
// Liste erzeugen und mit Elementen füllen
List<String> list = [...];
```

```
// Liste durchlaufen
for(String s: list) {
    System.out.println(s);
}
```

```
String[] array = { "A", "B", "C" };
```

```
// Array durchlaufen
for(String s: array) {
    System.out.println(s);
}
```



- Allgemeine Schnittstelle für Datenstrukturen zur Verwaltung von Schlüssel-Wert-Paaren
- Eigenschaften
 - Maximal ein Wert pro Schlüssel (→ 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);
```



- 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]
```



Java

Collections & Maps

Threads

Synchronisation

Koordinierung



Was ist ein Thread?

- Aktivitätsträger mit eigenem Ausführungskontext
 - Instruktionszähler
 - Register
 - Stack
- Alle Threads laufen im gleichen Adressbereich
 - Arbeit auf lokalen Variablen
 - Kommunikation mit anderen Threads
- Vorteile
 - Ausführen paralleler Algorithmen auf einem Multiprozessorrechner
 - Durch das Warten auf langsame Geräte (z. B. Netzwerk, Benutzer) wird nicht das gesamte Programm blockiert
- Nachteile
 - Komplexe Semantik
 - Fehlersuche schwierig



Variante 1: Unterklasse von java.lang.Thread

■ Vorgehensweise

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

■ Beispiel

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

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



Variante 2: Implementieren von java.lang.Runnable

■ Vorgehensweise

1. Die `run()`-Methode der `Runnable`-Schnittstelle implementieren
2. Objekt der neuen Klasse erzeugen, das `Runnable` implementiert
3. Instanz von `Thread` erzeugen, dem Konstruktor dabei das `Runnable`-Objekt mitgeben
4. Am neuen `Thread`-Objekt die `start()`-Methode aufrufen

■ Beispiel

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

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



■ Ausführung für einen bestimmten Zeitraum aussetzen

- Mittels sleep()-Methoden

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

- Legt den aktuellen Thread für millis Millisekunden (und nanos Nanosekunden) „schlafen“
- Achtung: Es ist nicht garantiert, dass der Thread exakt nach der angegebenen Zeit wieder aufwacht

■ Ausführung auf unbestimmte Zeit aussetzen

- Mittels yield()-Methode

```
static void yield();
```

- Gibt die Ausführung zugunsten anderer Threads auf
- Keine Informationen über die Dauer der Pause



- Regulär
 - return aus der run()-Methode
 - Ende der run()-Methode
- Abbruch nach expliziter Anweisung
 - Aufruf der interrupt()-Methode

```
public void interrupt();
```
 - Wird (normalerweise) von außen aufgerufen
 - 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 IO-Operation befindet
 - dem Setzen einer Interrupt-Status-Variable, die mit isInterrupted() abgefragt werden kann, sonst.



- Mittels join()-Methode

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

- Beispiel

```
MWWorker worker = new MWWorker();    // implementiert Runnable
Thread workerThread = new Thread(worker);
workerThread.start();

[...]

try {
    workerThread.join();
    worker.printResult();
} catch (InterruptedException ie) {
    // Unterbrechungsbehandlung fuer join()
}
```



- Als *deprecated* markierte Thread-Methoden
 - `stop()`: Thread-Ausführung stoppen
 - `destroy()`: Thread löschen (ohne Aufräumen)
 - `suspend()`: Thread-Ausführung anhalten
 - `resume()`: Thread-Ausführung fortsetzen
 - ...
- Gründe
 - `stop()` gibt alle Locks frei, die der Thread gerade hält
→ kann zu Inkonsistenzen führen
 - `destroy()` und `suspend()` geben keine Locks frei

- Weitere Informationen

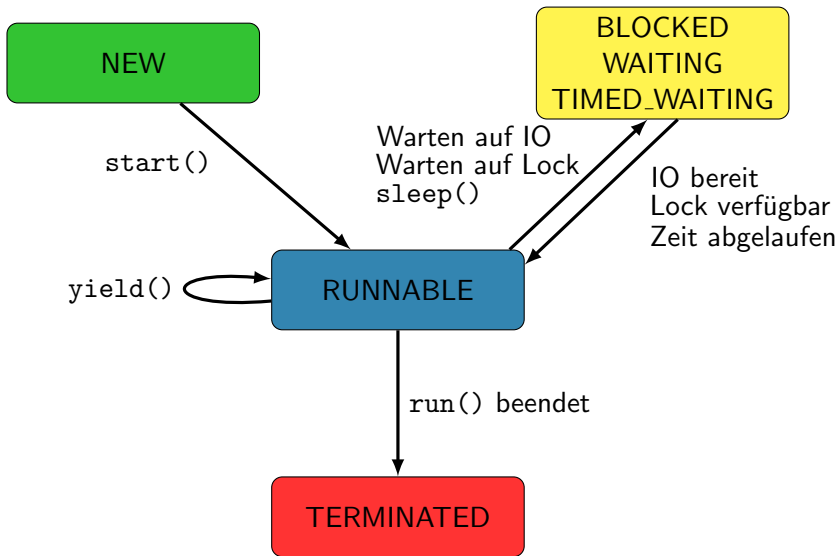


Java Thread Primitive Deprecation

<http://docs.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/concurrency/threadPrimitiveDeprecation.html>



Thread-Zustände in Java



Java

Collections & Maps

Threads

Synchronisation

Koordinierung



- Hauptaugenmerk liegt meist auf zwei Prinzipien
 - Sicherheit (*Safety*)
 - „Es passiert niemals etwas Schlechtes“
 - Beispiele:
 - * Korrekte Berechnungen
 - * Korrekte (Zwischen-)Zustände
 - * Korrekte Ergebnisse
 - * ...
 - Lebendigkeit (*Liveness*)
 - „Es passiert überhaupt irgendetwas“
 - Beispiele:
 - * Keine Deadlocks
 - * Stetiger Programm-Fortschritt
 - * ...
- Maßnahmen
 - Synchronisation
 - Koordinierung



Synchronisationsbedarf: Beispiel

```
public class MWCounter 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 {
        MWCounter value = new MWCounter();
        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);
    }
}
```



Probleme mit Multithreading: Beispiel

- Ergebnis einiger Durchläufe: 1732744, 1378075, 1506836
- 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 beteiligt sind

0. $a = 0$;

1. T1-load: $a = 0$, Reg1 = 0

2. T2-load: $a = 0$, Reg2 = 0

3. T1-add: $a = 0$, Reg1 = 1

4. T1-store: $a = 1$, Reg1 = 1

5. T2-add: $a = 1$, Reg2 = 1

6. T2-store: $a = 1$, Reg2 = 1

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



- Grundprinzip
 - Vor Betreten eines kritischen Abschnitts muss ein Thread ein *Sperrobjekt* anfordern
 - Beim Verlassen des kritischen Abschnitts wird das Sperrobjekt wieder freigegeben
 - Ein Sperrobjekt wird zu jedem Zeitpunkt von nur maximal einem Thread gehalten
- Hinweise
 - In Java kann jedes Objekt als Sperrobjekt dienen
 - Ein Thread kann das selbe Sperrobjekt mehrfach halten (rekursive Sperre)



- Schutz von kritischen Abschnitten per `synchronized`-Block

```
public void foo() {  
    [...] // unkritische Operationen  
  
    synchronized(<Sperrobject>) {  
        [...] // zu schuetzender Code (kritischer Abschnitt)  
    }  
  
    [...] // unkritische Operationen  
}
```

- Ausweitung eines `synchronized`-Blocks auf die komplette Methode

```
synchronized public void bar() {  
    [...] // zu schuetzender Code (kritischer Abschnitt)  
}
```

- Verbesserung für Zähler-Beispiel

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



- Die Anforderung des Sperrobjects zu Beginn des kritischen Abschnitts (`lock()`) und seine Freigabe am Ende (`unlock()`) sind
 - nur im Java-Byte-Code sichtbar
 - nicht trennbar [→ Vorteil: kein `lock()` ohne `unlock()`.]

```
synchronized(<Sperrobject>) {  
    [...] // zu schuetzender Code (kritischer Abschnitt)  
}
```

- Keine Timeouts beim Warten auf ein Sperrobject möglich
- Keine alternativen Semantiken für das Anfordern und Freigeben von Sperrobjecten (z. B. zur Implementierung von Fairness) definierbar

→ Lösung: Alternative Synchronisationsvarianten (siehe später)



Wann muss synchronisiert werden?

■ Atomare Aufrufe 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);
```

- ## ■ Beachte: Code, der zu jedem Zeitpunkt nur von einem einzigen Thread ausgeführt wird, muss **nicht** synchronisiert werden!



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

- Methoden

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

- Beispiel

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

- Beachte

- Synchronisiert **alle** Zugriffe auf eine Datenstruktur
- Löst Fall 1, jedoch nicht Fall 2 (siehe vorherige Folie)



Java

Collections & Maps

Threads

Synchronisation

Koordinierung



- Synchronisation alleine nicht ausreichend
 - Jeder Thread „lebt in seiner eigenen Welt“
 - Threads haben keine Möglichkeit sich abzustimmen

- Koordinierung unterstützt
 - Verwaltung von gemeinsam genutzten Betriebsmitteln
 - Rollenverteilung (z. B. Produzent/Konsument)
 - Gemeinsame Behandlung von Problemsituationen
 - ...



- Erkenntnisse
 - Das Leben eines Philosophen beschränkt sich auf zwei Tätigkeiten: Denken und Essen (abwechselnd)
 - Zum Essen benötigt man Messer **und** Gabel
 - Experiment
 - 4 Philosophen werden an einem runden Tisch platziert
 - Zwischen 2 Philosophen liegt jeweils ein Messer oder eine Gabel
 - Messer und Gabel können nicht gleichzeitig genommen werden
 - Da nicht ausreichend Besteck für alle vorhanden ist, legt jeder Philosoph sein Besteck nach dem Essen wieder zurück
 - Problem, falls (zum Beispiel) alle Philosophen zuerst das rechte und danach erst das linke Besteckteil nehmen wollen: **Deadlock**
- Koordinierung notwendig



■ Grundprinzip

- Ein Thread wartet darauf, dass eine Bedingung wahr wird oder ein Ereignis eintritt
- Der Thread wird mittels einer *Synchronisationsvariable* benachrichtigt

■ Beachte

- Jedes Java-Objekt kann als Synchronisationsvariable dienen
- Um andere Threads über eine Synchronisationsvariable zu benachrichtigen, muss sich ein Thread innerhalb eines `synchronized`-Blocks dieser Variable befinden

■ Methoden

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



■ Variablen

```
Object syncObject = new Object(); // Synchronisations-Variable
boolean condition = false;        // Bedingung
```

■ Auf Erfüllung der Bedingung wartender Thread

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

■ Bedingung erfüllender Thread

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



■ Allgemeine Schnittstelle: Lock

■ Lock anfordern

```
void lock();  
void lockInterruptibly() throws InterruptedException;  
boolean tryLock();  
boolean tryLock(long time, TimeUnit unit)  
                throws InterruptedException;
```

■ Lock freigeben

```
void unlock();
```

■ Condition-Variable für dieses Lock erzeugen

```
Condition newCondition();
```

■ Implementierung: ReentrantLock

```
Lock lock = new ReentrantLock();  
lock.lock();  
[...]  
lock.unlock();
```



- Schnittstelle: Condition
- Auf Signal (= Erfüllung der Bedingung) warten

```
void await() throws InterruptedException; // vgl. wait()
void awaitUninterruptibly();
boolean await(long time, TimeUnit unit)
                                     throws InterruptedException;
boolean awaitUntil(Date deadline) throws InterruptedException;
```

- Signalisieren

```
void signal(); // analog zu notify()
void signalAll(); // analog zu notifyAll()
```

- Beachte

Ein Thread, der `await*()` oder `signal*()` aufruft, muss das zugehörige Lock halten (vgl. `wait()` und `notify*()` innerhalb `synchronized`-Block)



■ Konstruktoren

```
Semaphore(int permits);  
Semaphore(int permits, boolean fair);
```

■ Semaphore belegen (= herunter zählen)

```
acquire([int permits]) throws InterruptedException;  
acquireUninterruptibly([int permits]);  
tryAcquire([int permits, ] [long timeout]);
```

■ Semaphore freigeben (= herauf zählen)

```
release([int permits]);
```

■ Beispiel

```
Semaphore s = new Semaphore(1);  
s.acquireUninterruptibly();  
[...]  
s.release();
```

