Verteilte Systeme - Übung

Tobias Distler, Michael Gernoth

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
www4.informatik.uni-erlangen.de

Sommersemester 2010

Überblick

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

Threads in Java

- Attribute von Java-Threads
  - Priorität
    - 10 Stufen:
      von `Thread.MIN_PRIORITY` (1)
      über `Thread.NORM_PRIORITY` (5)
      bis `Thread.MAX_PRIORITY` (10)
    - Lassen sich auf Betriebssystemprioritäten mappen (stark systemabhängig)
  - Daemon-Eigenschaft
    - Daemon-Threads werden für Hintergrundaktivitäten genutzt
    - Sobald alle Nicht-Daemon-Threads beendet sind, ist auch das Programm beendet
- Beachte: Thread-Attribute gehen auf neu erzeugte Threads über
  Beispiel: Daemon-Thread A mit Priorität 7 erzeugt Thread B
  $\rightarrow$ Thread B ist Daemon und hat ebenfalls Priorität 7

Erzeugung von Threads in Java — `java.lang.Thread`

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

```
ThreadTest test = new ThreadTest();
test.start();
```


Erzeugung von Threads in Java — `java.lang.Runnable`

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

```
RunnableTest test = new RunnableTest();
Thread thread = new Thread(test);
thread.start();
```


Pausieren von Threads — `sleep()`, `yield()`

- 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

Beenden von Threads — `return`, `interrupt()`

- Synchron

  Ausführung erreicht
  - ein `return` aus der `run()`-Methode
  - das Ende der `run()`-Methode
- Asynchron
  - Mittels `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.

Beenden von Threads

`join()`

Auf die Beendigung von anderen Threads warten

- Mittels `join()`-Methode

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

- Beispiel

```
Runnable worker = new MyWorker();
Thread workerThread = new Thread(worker);
workerThread.start();

[...]

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

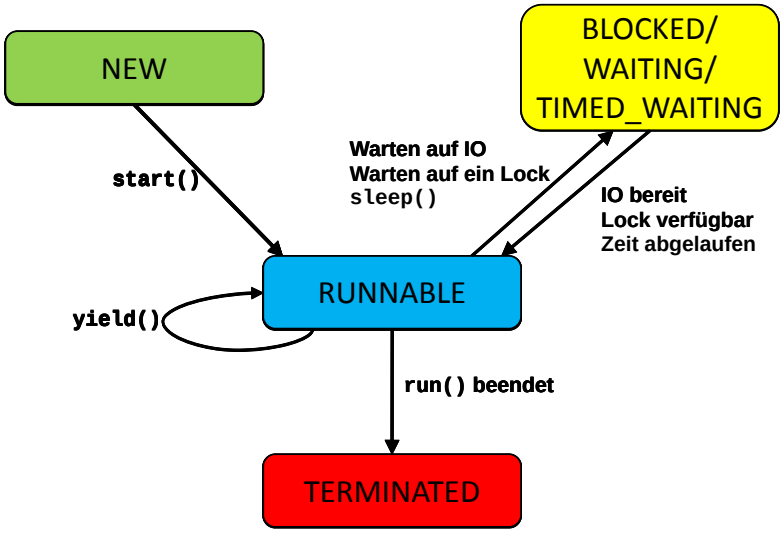

Veraltete Methoden

- 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

"Why are Thread.stop, Thread.suspend and Thread.resume Deprecated?"

http://java.sun.com/javase/6/docs/technotes/guides/concurrency/threadPrimitiveDeprecation.html

Thread-Zustände in Java



Synchronisation

State-of-the-art

Ü: „Warum ist dein Programm nicht synchronisiert?"
S: „Die Synchronisation mach' ich später!"
[später...]
S: „Kann ich die Synchronisation nicht einfach weglassen?"
Ü: „Nein."
[später...]
S: „Ich hab' die Synchronisation weggelassen. Es geht trotzdem!"
Ü: „Zufall."
[Bei der Abgabe...]
S: „Gerade geht's nicht. Aber vorhin hat's funktioniert!"
Ü: „Zufall."

→ Was ist zu tun, damit es auch bei der Abgabe funktioniert?

Synchronisationsbedarf: Beispiel

```
public class Adder 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 {
        Adder value = new Adder();
        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 **atomar** ausgeführt werden!

Synchronisation in Java

- 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
- Beachte
  - In Java kann jedes Objekt als Sperrobjekt dienen
  - Ein Thread kann dasselbe Sperrobjekt mehrfach halten (rekursive Sperre)

Das Schlüsselwort `synchronized` — Übersicht

- Schutz von kritischen Abschnitten per `synchronized`-Block

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

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

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

- Verbesserung für Beispiel

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


Das Schlüsselwort `synchronized` — Nachteile

- Anforderung (`lock()`) und Freigabe (`unlock()`) des Sperrobjekts sind
  - nur im Java-Byte-Code sichtbar
  - nicht trennbar (→ Vorteil: kein `lock()` ohne `unlock()`)
- Keine Timeouts beim Warten auf ein Sperrobjekt möglich
- Keine alternativen Semantiken (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 (*single-threaded context*), muss **nicht** synchronisiert werden!

Synchronisierte Datenstrukturen — `java.util.Collections`

Die Klasse `java.util.Collections`

- Idee
  - 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)

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. Producer/Consumer)
  - Gemeinsame Behandlung von Problemsituationen
  - ...

Koordinierungsbedarf: Beispiel

Das ,,Philosophen-Problem"

- Erkenntnisse
  - Das Leben eines Philosophen beschränkt sich auf 2 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 alle Philosophen zuerst das rechte und danach erst das linke Besteckteil nehmen wollen: **Deadlock**

→ Koordinierung notwendig

Koordinierung in Java — Übersicht

- Grundprinzip
  - Ein Thread wartet darauf, dass eine Bedingung wahr wird oder ein Ereignis eintritt
  - Threads werden mittels Synchronisationsvariablen 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

Koordinierung in Java — Beispiel

Beispiel

- Variablen

```
Object syncObject = new Object(); // Sync.-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();
}
```


Explizite Locks — `java.util.concurrent.locks.Lock`

- Allgemeine Schnittstelle `java.util.concurrent.locks.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: `java.util.concurrent.locks.ReentrantLock`

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


`ReentrantLock` **VS.** `synchronized`

Vor- und Nachteile im Vergleich

- `ReentrantLock`
  - Mehr Features (Timeouts, Unterbrechbarkeit,...)
  - Performanter
  - Nicht an Code-Blöcke gebunden
  - Schwieriger zu Debuggen
- `synchronized`
  - JVM kann beim Debuggen helfen
  - Einfacher zu benutzen
  - Keine vergessenen `unlock()`s

Bedingungsvariablen — `java.util.concurrent.locks.Condition`

Die Schnittstelle `java.util.concurrent.locks.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)

Semaphoren

`java.util.concurrent.Semaphore`

Die Klasse `java.util.concurrent.Semaphore`

- 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();
```