Monitor-Invariante

Eine **Monitor-Invariante (MI)** beschreibt **zulässige Zustände des Monitors**.

Sie gilt, immer wenn ein Prozess den Monitor (wieder) betritt:

- nach der Initialisierung (*),
- am Anfang und am Ende (*) von Entry-Prozeduren,
- vor (*) und nach wait-Aufrufen

Beispiel zum beschränkten Puffer:

MI: 0 <= buf.length() <= n

Für die Stellen (*) muss man zeigen, dass MI gilt.
Dabei kann man voraussetzen, dass MI an den anderen Stellen gilt.

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 26

Ziele:

Monitor-Invariante als Entwurfskonzept kennenlernen

in der Vorlesung:

- Invariante sind Garantieerklärungen!
- Am Beispiel des Puffers erläutern

nachlesen:

Andrews: 6.1, 6.2

Verständnisfragen:

- Begründen Sie, warum aus MI bei (*) MI an den anderen Stellen folgt.

Systematischer Entwurf von Monitoren

1. **Monitor-Zustand** definieren und **Entry-Prozeduren ohne Synchronisation** entwerfen.
   z. B. Beschränkter Puffer mit put und get
2. **Monitor-Invariante** formulieren
   z. B.: MI: 0 <= buf.length() <= n
3. **Wartebedingungen** formulieren und **Bedingungssynchronisation** einfügen
   ```
   while (!Cond) try { wait(); } catch (InterruptedException e) {}
   ```
   an den Programmstellen, die Cond && MI voraussetzen müssen, um MI nicht zu verletzen,
   z. B. vor { buf.length()<n && MI } buf.enqueue(); { MI }

   Eigentlich eine Bedingungsvariable c für jede Bedingung Cond - aber es gibt keine in Java.
4. **Wecken der Prozesse** einfügen:
   überall wo der Zustand so geändert wird, dass eine Wartebedingung erfüllt sein könnte:
   signal(c) bzw in Java:
   `notifyAll();`
   z. B. nach `buf.dequeue(); notifyAll();`
5. Ggf. überflüssige Aufrufe von `notifyAll` eliminieren. (PPJ-28)
   Zuviele Aufrufe schaden nicht der Korrektheit - nur der Effizienz.
   Zuwenige Aufrufe können Deadlocks verursachen.

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 27

Ziele:

Konstruktionsverfahren erlernen

in der Vorlesung:

- Erläuterungen zu den Schritten
- Verfahren am Beispiel des Puffers nachvollziehen

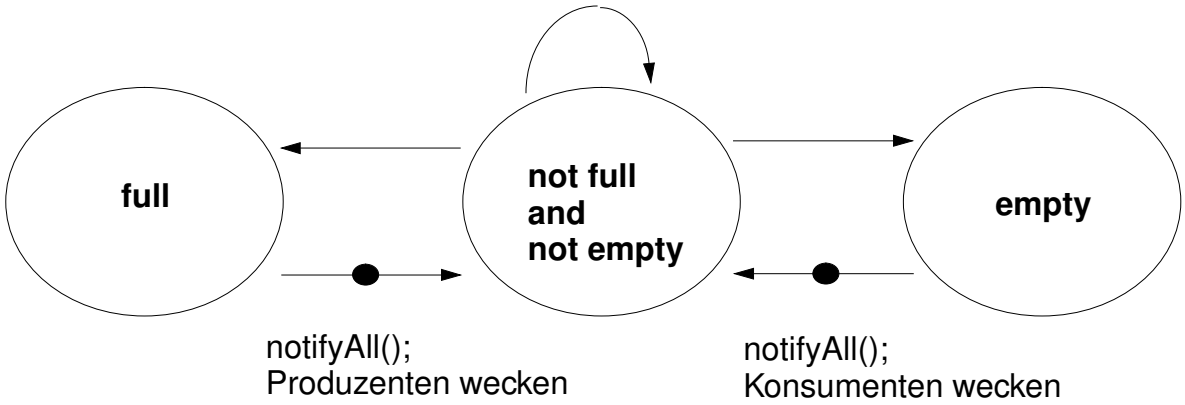
Verständnisfragen:

- Begründen Sie (6).

Relevante Zustandsänderungen

Nicht bei jeder Änderung einer Zustandsvariablen Prozesse wecken sondern nur bei relevanten Zustandsänderungen: **irgendeine Wartebedingung könnte wahr werden**.

z. B. im Beschränkten Puffer nicht bei jedem Aufruf von **`put`** und **`get`** **`notifyAll`** aufrufen, sondern **vergröberte Zustände**:



© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 28

Ziele:

Effizienz verbessern

in der Vorlesung:

- Zustandsvariable und Wartebedingungen erläutern.
- Deadlock-Gefahr erläutern.

nachlesen:

Lea: 4.3.2

Verständnisfragen:

- Was geschieht unnötig geweckten Prozessen?

Schema: Gleichartige Ressourcen vergeben

Ein **Monitor** verwaltet eine Menge von k >= 1 **gleichartigen Ressourcen**.
Prozesse fordern jeweils n Ressourcen an, 1<=n<=k, und geben sie nach Gebrauch zurück.

Monitor-Invariante: Die Summe der freien und vergebenen Ressourcen ist k.
MI: avail + inUse = k and 0<= avail and 0<= inUse

Wartebedingung für das Anforden: Sind n Ressourcen verfügbar? avail >= n

Beispiele:

- Verleih von Fahrrädern an Ausflugsgruppen
- Vergabe von Speicherblöcken an Prozesse
- Taxi-Vermietung, immer n = 1

auch **abstrakte Ressourcen**:
z. B. das Recht, eine Brücke mit n Tonnen Gewicht zu befahren

Je nach Aufgabenstellung werden

- die **Ressourcen nur gezählt** oder
- ihre **Identität** (Nummern der Taxis, Speicherblöcke) in einer Datenstruktur verwaltet.

Sonderfall n = 1: Alle Prozesse warten auf die gleiche Bedingung: avail >= 1;
also `notifyAll()` ersetzen durch `notify()`.

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 29

Ziele:

Schema zur Vergabe gleichartiger Ressourcen verstehen

in der Vorlesung:

Erläuterung

- der Aufgabe,
- der Monitor-Invariante und Wartebedingungen,
- der Varianten des Schemas.

Verständnisfragen:

- Geben Sie zu den Beispielen die Ausprägungen des Schemas an.
- Geben Sie weitere Beispiele.

Monitor zur Vergabe von Ressourcen

Ein **Monitor** verwaltet eine Menge von k >= 1 **gleichartigen Ressourcen**.
Prozesse fordern jeweils n Ressourcen an, 1<=n<=k, und geben sie nach Gebrauch zurück.

Annahme: Prozess gibt nicht mehr zurück als er bekommen hat => vereinfachte Invariante:

```
class Resources
{  private int avail;                                  // Invariante: avail >= 0

   public Resources (int k) { avail = k; }

   synchronized public void getElems (int n)           // n Elemente abgeben
   {  while (avail<n)                                  // negierte Wartebedingung
         try { wait(); } catch (InterruptedException e) {}
      avail -= n;
   }

   synchronized public void putElems (int n)           // n Elemente zurückgeben
   {  avail += n;                                      // wegen Annahme ist Warten nicht nötig
      notifyAll();                                     // nicht notify()!
   }
}
```

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 30

Ziele:

Monitor in Java zur Ressourcenvergabe

in der Vorlesung:

Erläuterung

- des Programmschemas,
- Konsequenz der Annahme.

Verständnisfragen:

- Warum ist notifyAll() nötig?

Prozesse und Hauptprogramm zu Ressourcen-Monitor

```
import java.util.Random;

class Client extends Thread
{  private Resources mon; private Random rand;
   private int ident, rounds, maximum;

   public Client (Resources m, int id, int rd, int max)
   {  mon = m; ident = id; rounds = rd; maximum = max;
      rand = new Random();                    // Zufallszahlengenerator bestimmt die
   }                                          // in jeder Runde angeforderten Elemente

   public void run ()                         // und die Wartezeit bis zur Rückgabe
   {  while (rounds > 0)
      {  int m = Math.abs(rand.nextInt()) % maximum + 1;
         mon.getElems (m);
         try { sleep (Math.abs(rand.nextInt()) % 1000 + 1); }
            catch (InterruptedException e) {}
         mon.putElems (m);
         rounds--;
      }
   }
}
```

```
public class TestResource
{  public static void main (String[] args)
   {  int avail = 20;
      Resources mon = new Resources (avail);
      for (int i=0; i<5; i++)
         new Client (mon, i, 4, avail).start();
   }
}
```

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 31

Ziele:

Benutzung der Monitorklasse von PPJ-30

in der Vorlesung:

Erläuterungen dazu

Übungsaufgaben:

Implementieren Sie das Programm, versehen Sie es mit Ausgabe und testen Sie es.

Leser/Schreiber-Schema

Ein Monitor verwaltet lesende und schreibende Zugriffe von Prozessen auf eine Datenbasis.

Entwurfsschritte:

1. **Zustand**: Zahl der gerade lesenden (nr) und schreibenden (nw) Prozesse
   Operationen: requestRead, releaseRead, requestWrite, releaseWrite
2. **Monitor-Invariante** RW: (nr == 0 or nw == 0) and nw <= 1
3. **Wartebedingungen** vor Erhöhen der Zähler:
   in requestRead: { nw == 0 and RW } nr++; { RW }
   in requestWrite: { nr == 0 and nw == 0 and RW } nw++; { RW }

   verschiedene, überlappende Wartebedingungen - typisch für Leser/Schreiber-Schema
4. **Prozesse wecken** nach Erniedrigen der Zähler:
   in releaseRead: nr--; notifyAll();
   in releaseWrite: nw--; notifyAll();
5. **nur relevante Zustandsänderungen**:
   in releaseRead: nr--; if (nr==0) notify();
   Wecken eines wartenden Schreiber genügt.

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 32

Ziele:

Leser/Schreiber-Synchronisation verstehen

in der Vorlesung:

Erläuterungen

- zum Leser/Schreiber-Problem,
- zur Monitor-Invarianten,
- zu den Entwurfsschritten.

Übungsaufgaben:

- Implementieren Sie den Monitor.
- Implementieren Sie Leser- und Schreiber-Prozesse dazu. Bremsen Sie sie mit sleep und Zufallszahlen als Parameter. Produzieren Sie Ausgabe mit dem Beobachtungsmodul.
- Damit Schreiber nicht "verhungern" setzen Sie folgende Strategie um: Neue Leser müssen warten, bis kein Schreiber mehr wartet. Verwenden Sie eine weitere Zählvariable. Was beobachtenSie?

Verständnisfragen:

Ein ähnliches aber symmetrisches Schema ist die Aufgabe, den Verkehr über eine nur einspurig befahrbare Brücke zu regeln. Erläutern Sie!

Leser/Schreiber-Monitor

```
class ReaderWriter
{  private int nr = 0, nw = 0;
                    // Monitor-Invariante RW: (nr == 0 || nw == 0) && nw <= 1
   synchronized public void requestRead ()
   {  while (nw > 0)                                  // negierte Wartebedingung
         try { wait(); } catch (InterruptedException e) {}
      nr++;
   }
   synchronized public void releaseRead ()
   {  nr--;
      if (nr == 0) notify ();                         // einen Schreiber wecken genügt
   }

   synchronized public void requestWrite ()
   {  while (nr > 0 || nw > 0)                        // negierte Wartebedingung
         try { wait(); } catch (InterruptedException e) {}
      nw++;
   }
   synchronized public void releaseWrite ()
   {  nw--;
      notifyAll ();        // 1 Schreiber und alle Leser zu wecken würde genügen!
   }
}
```

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 33

Ziele:

Leser/Schreiber-Monitor in Java

in der Vorlesung:

Erläuterungen dazu

Übungsaufgaben:

Benutzen Sie den Monitor in einem vollständigen Programm, wie zu PPJ-32 beschrieben.

Verständnisfragen:

Wie würde der Monitor mit Bedingungsvariablen formuliert werden? Geben Sie sie ihn in der Notation von Folie PPJ-20 an.

Schema: Begegnungen von Prozessen

Prozesse durchlaufen **verschiedene Stationen** und interagieren dabei.
Ein Monitor organisiert die **Begegnungen in der vorgeschriebenen Abfolge**.

Entwurfsmethode:
Zustände durch **Zählvariable** beschreiben;
zulässige Zustände durch **Invariante** über Zählvariable charakterisieren;
daraus **Wartebedingungen** der Monitor-Operationen herleiten;
Zählvariable durch binäre **Variable substituieren**.

Beispiel **Sleeping Barber**:
In einem verschlafenen Ort im südlichen Ostwestfalen wartet ein Friseur in seinem Laden auf Kundschaft. Wenn ein Kunde im Frisierstuhl platzgenommen hat, schneidet er ihm die Haare. Wenn er den Haarschnitt beendet hat, kassiert er und verabschiedet den Kunden.

Ein Kunde, der den Friseurladen betritt, setzt sich in den Frisierstuhl, falls er frei ist, und wartet auf seinen Haarschnitt. Falls der Frisierstuhl besetzt ist, wartet er auf einem anderen Platz bis er dran ist.

2 Arten von Prozessen: Barber (1 Exemplar), Customer (viele Exemplare)

2 Begegnungen: Haarschnitt und verabschieden

Die Aufgabe ist auch ein Beispiel für das Client/Server-Schema.

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 34

Ziele:

Characteristika des Schemas am Beispiel verstehen.

in der Vorlesung:

Erläuterungen zum Schema und zu Beispiel.

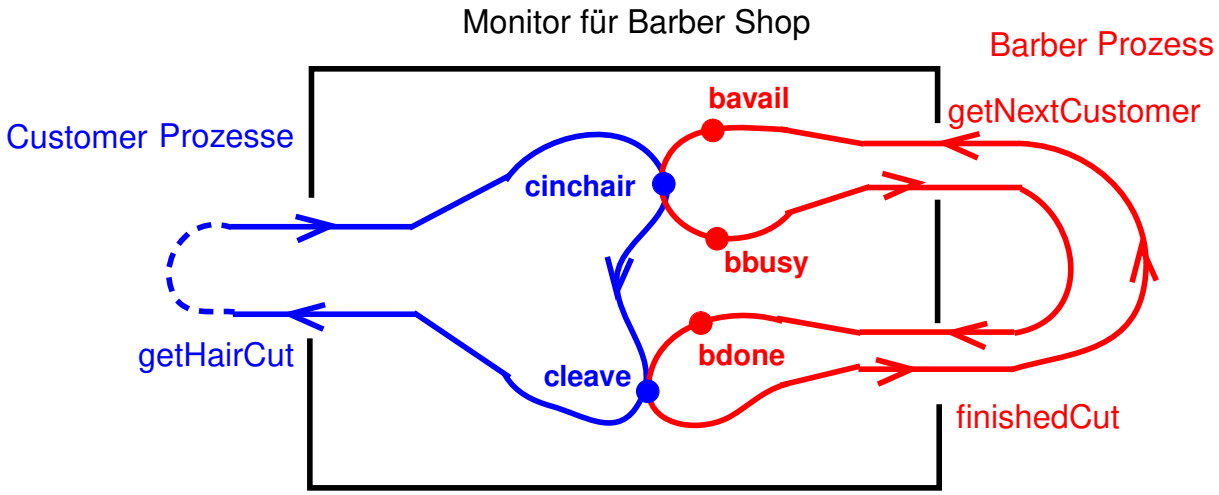
Übungsaufgaben:

Bearbeiten Sie entsprechend die Aufgabe "Roller Coaster (Achterbahn)".

Verständnisfragen:

Formulieren Sie ähnliche Aufgaben.

Monitor-Entwurf zum Sleeping Barber



Invariante über Zählvariable:

C1: cinchair >= cleave and bavail >= bbusy >= bdone — wird durch die Prozesse erfüllt.

C2: bavail >= cinchair >= bbusy — führt zu 2 Wartebedingungen

C3: bdone >= cleave — führt zu 1 Wartebedingung

Monitor-Invariante BARBER: C1 and C2 and C3

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 35

Ziele:

Abfolge der Begegnungen durch Zählvariable ausdrücken.

in der Vorlesung:

- Rolle der Zählvariablen
- Erläuterungen zu den Ungleichungen

Verständnisfragen:

- Was müssen die Prozesse tun, um C1 zu erfüllen?

Grobentwurf mit Zählvariablen und Wartebedingungen

Monitor-Invariante

BARBER: cinchair >= cleave && bavail >= bbusy >= bdone &&
bavail >= cinchair >= bbusy &&
bdone >= cleave

	Wartebedingung:	**Zählvariable erhöhen:**
getHairCut		Customer Prozesse:
	cinchair < bavail	cinchair++;
	cleave < bdone	cleave++;
getNextCustomer		Barber Prozess:
		bavail++;
	busy < cinchair	bbusy++;
finishedCut		
		bdone++;
	bdone == cleave	Kunde verabschiedet

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 36

Ziele:

Monitor mit Wartebedingungen entwerfen

in der Vorlesung:

- Erläuterungen zu den Wartebedingungen.
- Die letzte verhindert, dass der Friseur einen neuen Kunden bedient, bevor der vorangehende den Laden verlassen hat.

Verständnisfragen:

- Warum benötigen einige Inkrementierungen Wartebedingungen und andere nicht?

Zählvariable substituieren

neue binäre Variable: barber = bavail - cinchair
chair = cinchair - bbusy
open = bdone - cleave

alte Invariante:
bavail >= cinchair >= bbusy &&
bdone >= cleave

substituierte Invariante:
barber >= 0 && chair >= 0 &&
open >= 0

Wartebedingung:

getHairCut
barber > 0
open > 0

getNextCustomer
chair > 0

finishedCut
open == 0

Zustandswechsel:

Customer Prozesse:
barber--;
chair++; wecken
open--;

Barber Prozess:
barber++; wecken
chair--;

open++; wecken
Kunde verabschiedet

© 2000 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Parallele Programmierung in Java SS 2000 / Folie 37

Ziele:

Variablensubstitution verstehen

in der Vorlesung:

- Substitution zeigen im Vergleich zu PPJ-36
- Alle Zustandsvariablen im Wertebereich {0, 1}
- Wecken der Prozesse einfügen

Übungsaufgaben:

- Implementieren Sie den Monitor nach diesem Plan in Java und testen Sie ihn.

Verständnisfragen:

- Begründen Sie das Einfügen der Weck-Operationen.
- Wie würde eine Implementierung mit Bedingungsvariablen aussehen?