

# Kapitel 5

## Monitore und Synchronisationsbedingungen

Prof. Dr. Rolf Hennicker

30.06.2011

## 5.1 Synchronisationsbedingungen

*Bisherige Verwendung von Monitoren:*

Verkapselung von Daten, Zugriffsoperationen unter wechselseitigem Ausschluss.

*Jetzt zusätzlich:*

Synchronisationsbedingungen zur Prozesskooperation.

*Idee:*

Bestimmte Monitoroperationen dürfen erst dann ausgeführt werden, wenn eine bestimmte Bedingung (abhängig vom Monitorzustand) erfüllt ist.

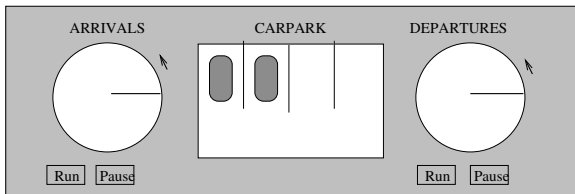
Z.B.

Puffer nicht voll: erst dann Ablegen eines Elements möglich,

Puffer nicht leer: erst dann Holen eines Elements möglich.

## Beispiel (Carpark):

Simulation eines Parkhauses mit beschränkter Kapazität



“Arrivals“ darf nicht rotieren, wenn Parkhaus voll ist,

“Departures“ darf nicht rotieren, wenn Parkhaus leer ist.

## 5.2 Modellierung von Synchronisationsbedingungen

### Beispiel (Modellierung des Carpark):

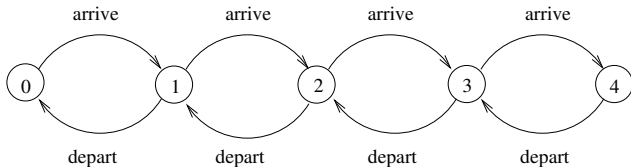
ARRIVALS = (arrive  $\rightarrow$  ARRIVALS).

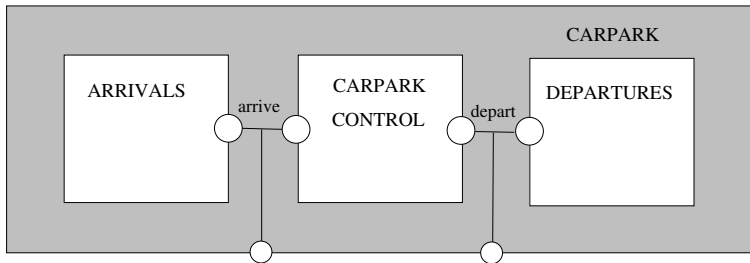
DEPARTURES = (depart  $\rightarrow$  DEPARTURES).

CARPARKCONTROL(N=4) = SPACES[N],

SPACES[i:0..N] = (when(i>0) arrive  $\rightarrow$  SPACES[i-1]  
| when(i<N) depart  $\rightarrow$  SPACES[i+1]).

||CARPARK = (ARRIVALS || CARPARKCONTROL(4) || DEPARTURES).





Strukturdiagramm des Carpark-Modells

## Schema zur Modellierung von Synchronisationsbedingungen

$$P1 = (op1 \rightarrow P1),$$
$$P2 = (op2 \rightarrow P2).$$
$$\text{MONITOR} = \text{MON}[\text{init}],$$
$$\text{MON}[\text{state:T}] =$$
$$\quad (\text{when } (\text{cond1}) \text{ op1} \rightarrow \text{MON}[\text{nextState1}]$$
$$\quad | \text{when } (\text{cond2}) \text{ op2} \rightarrow \text{MON}[\text{nextState2}]).$$
$$\|\text{SYS} = (P1 \parallel P2 \parallel \text{MONITOR}).$$

### Bemerkung:

- ▶ Die Synchronisationsbedingungen werden durch Wächter für Aktionen ausgedrückt.
- ▶ Die Bedingungen hängen vom Monitorzustand ab.
- ▶ Die Monitorzustände werden durch Prozessindizes (in lokalen Prozessen) modelliert.

## Klassifizierung von Prozessen

- ▶ Im Carpark-Beispiel sind ARRIVALS und DEPARTURES *aktive* Komponenten. Sie initiieren die Aktionen "arrive" und "depart" (Output-Aktionen).
- ▶ CARPARKCONTROL ist eine *passive* Komponente, die auf Aktionen reagiert (Input-Aktionen).
- ▶ Aktive Komponenten werden durch Threads implementiert, passive Komponenten durch Monitore.

## 5.3 Implementierung von Synchronisationsbedingungen in Java

Zur Realisierung von Synchronisationsbedingungen verwenden wir die Methoden

```
public final void wait() throws InterruptedException
public final void notify() bzw. notifyAll()
```

der allgemeinsten Klasse `Object`.

### Wirkungsweise:

Jedes Objekt `obj` besitzt neben seiner Sperre eine Menge `w` von wartenden Threads. Die folgenden Operationen werden in einer unteilbaren Aktion ausgeführt:

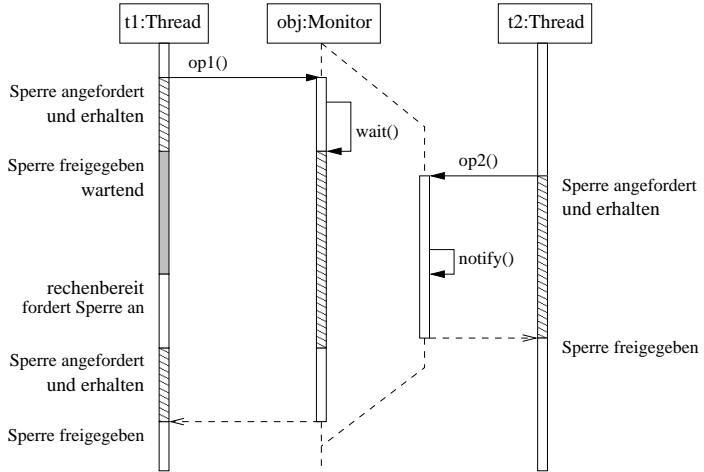
- ▶ `obj.wait()`:
  - ▶ Der gerade ausgeführte Thread `t` gibt die Sperre von `obj` frei.
  - ▶ `t` wird in die Wartemenge `w` von `obj` eingereiht.
- ▶ `obj.notify()`:
  - ▶ Ein beliebiger Thread wird aus `w` freigelassen ("geweckt") und ist wieder rechenbereit.
- ▶ `obj.notifyAll()`:
  - ▶ Alle Threads werden aus der Wartemenge `w` von `obj` freigelassen.



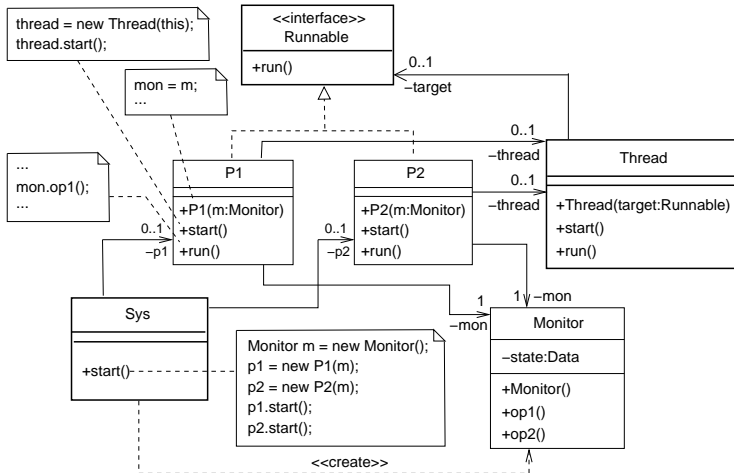
**Beachte:**

1. `wait` und `notify` (bzw. `notifyAll`) dürfen nur innerhalb von synchronisierten Blöcken aufgerufen werden.
2. Wird ein Thread `t` geweckt, dann muss er sich wieder um die Sperre von `obj` bewerben. Die Sperre bleibt solange bei demjenigen Thread, innerhalb dessen "notify" aufgerufen wurde, bis dieser sie freigibt.  
(“Signal and Continue“-Prinzip)
3. Sobald ein geweckter Thread `t` die Sperre von `obj` wieder erhält, fährt er dort fort, wo er aufgehört hat.

## Sequenzdiagramm mit "wait" und "notify"



## Schema zur Implementierung von Synchronisationsbedingungen



```
public class Monitor {  
    private Data state;  
  
    public synchronized void op1() throws InterruptedException {  
        while (!cond1) wait();  
  
        // modify monitor state  
  
        notify(); // or notifyAll();  
    }  
  
    public synchronized void op2() throws InterruptedException {  
        while (!cond2) wait();  
  
        // modify monitor state  
  
        notify(); // or notifyAll();  
    }  
}
```

## Regel zur Implementierung von Synchronisationsbedingungen

FSP: `when (cond) op → MONITOR[nextState]`

```
Java: public synchronized void op() throws InterruptedException {  
    while (!cond) wait();  
    ... // monitor state = nextState  
    notifyAll();  
}
```

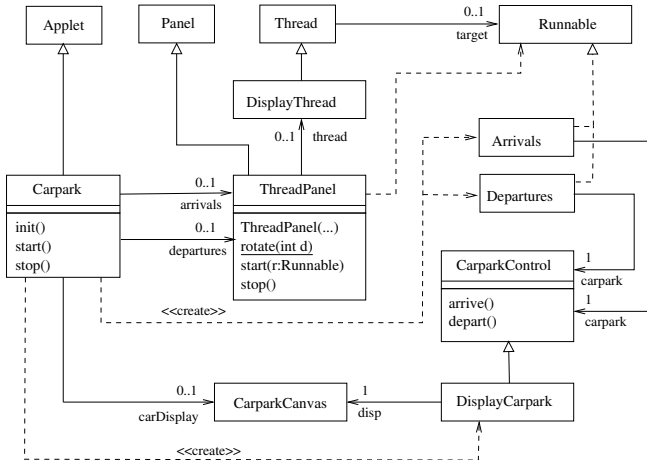
### Beachte:

Die `while`-Schleife ist notwendig, weil bei der Fortführung die Synchronisationsbedingung nicht notwendigerweise gelten muss.

Gründe können sein:

- ▶ Die Wartebedingung "cond" wurde gar nicht verändert.
- ▶ Die Wartebedingung war zwar zwischenzeitlich nicht mehr erfüllt, wurde aber bis der geweckte Thread wieder an die Reihe kommt von einem anderen Thread wieder auf "wahr" gesetzt.

## Beispiel (Implementierung des Carpark):



Realisierung des FSP-Monitors CARPARKCONTROL  
durch die Klasse CarparkControl:

```
class CarparkControl {
    protected int capacity; // capacity=N in FSP
    protected int spaces; // spaces=i in FSP: freie Plaetze

    CarparkControl(int n) {
        capacity = spaces = n;
    }

    synchronized void arrive() throws InterruptedException {
        while (spaces<=0) wait();
        spaces--;
        notify(); // hier kann nur ein anderer Prozess wartend sein
    }

    synchronized void depart() throws InterruptedException {
        while (spaces>=capacity) wait();
        spaces++;
        notify(); // hier kann nur ein anderer Prozess wartend sein
    }
}
```

Realisierung der aktiven Komponenten ARRIVALS und DEPARTURES durch die Klassen Arrivals und Departures:

```
class Arrivals implements Runnable {
    private CarparkControl carpark;

    Arrivals(CarparkControl c) {
        carpark = c;
    }
    public void run() {
        try {
            while(true) {
                ThreadPanel.rotate(330);
                carpark.arrive();
                ThreadPanel.rotate(30);
            }
        } catch (InterruptedException e) {}
    }
}
```



```
class Departures implements Runnable {
    private CarparkControl carpark;

    Departures(CarparkControl c) {
        carpark = c;
    }
    public void run() {
        try {
            while(true) {
                ThreadPanel.rotate(180);
                carpark.depart();
                ThreadPanel.rotate(180);
            }
        } catch (InterruptedException e) {}
    }
}
```

## Realisierung des Applets Carpark:

```
class Carpark extends Applet {
    ThreadPanel arrivals;
    ThreadPanel departures;
    ...
    public void start() {
        CarparkControl c = new DisplayCarpark(carDisplay, places);
        arrivals.start(new Arrivals(c));
        departures.start(new Departures(c));
    }
    public void stop() {
        arrivals.stop();
        departures.stop();
    }
}
```

## 5.4 Semaphore

### Das Semaphore-Konzept [Dijkstra 1968]

Ein Semaphore  $s$  besteht aus

- ▶ einer Integer-Variablen  $v$  zusammen mit
- ▶ einer Warteschlange  $w$  für die bezüglich des Semaphors blockierten Prozesse.

Es gibt genau zwei Operationen, die von einem Prozess  $P$  auf ein Semaphore  $s$  angewendet werden können:

down( $s$ ):    if  $v > 0$  then  $v = v - 1$ ;  
                   else  $w = w \cup \{P\}$

up( $s$ ):        if  $w = \emptyset$  then  $v = v + 1$ ;  
                   else  $w = w \setminus \{Q\}$  for some (previously blocked) process  $Q$

#### Bemerkung

- ▶ Es wird vorausgesetzt, dass ein Semaphore mit einem Wert  $\geq 0$  (für  $v$ ) initialisiert ist.
- ▶ Bei einem binären Semaphore nimmt  $v$  nur die Werte 0 und 1 an.

## Modellierung von Semaphoren

const Max = 3

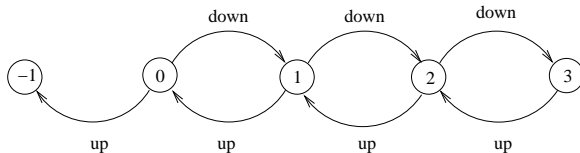
range Int = 0..Max

SEMAPHORE(N=3) = SEMA[N],

SEMA[v:Int] = ( when (v > 0) down → SEMA[v-1]  
 | up → SEMA[v+1]),

SEMA[Max+1] = ERROR.

Zugehöriges LTS:



## Wechselseitiger Ausschluss mit Semaphoren

$A = (a.do \rightarrow a.down \rightarrow a.critical \rightarrow a.up \rightarrow A).$

$B = (b.do \rightarrow b.down \rightarrow b.critical \rightarrow b.up \rightarrow B).$

$\parallel SYS = (A \parallel B \parallel \{a,b\}::SEMAPHORE(1)).$

## Simulation von Semaphoren in Java

```
class Semaphore {
    private int value;

    public Semaphore (int initial) {
        value = initial;
    }
    public synchronized void down() throws InterruptedException {
        while (value==0) wait();
        value--;
    }
    public synchronized void up() {
        value++;
        notify();
    }
}
```