

Systemprogrammierung

Prozesssynchronisation: Hochsprachenebene

Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl Informatik 4

13. Mai 2013

Synchronisierter abstrakter Datentyp: Monitor

Datentyp mit impliziten Synchronisationseigenschaften [2, 3]:

mehrseitige Synchronisation an der Monitorschnittstelle

- wechselseitiger Ausschluss der Ausführung exportierter Prozeduren
- realisiert mittels **Schlossvariablen** oder vorzugsweise **Semaphore**

einseitige Synchronisation innerhalb des Monitors

- bei Bedarf, Bedingungsynchronisation abhängiger Prozesse
- realisiert durch eine **Bedingungsvariable** und ihren Operationen:
 - wait** blockiert einen Prozess auf das Eintreten eines Signals/einer Bedingung und gibt den Monitor implizit wieder frei
 - signal** zeigt das Eintreten eines Signals/einer Bedingung an und deblockiert (genau einen oder alle) darauf blockierte Prozesse

Sprachgestützter Ansatz

- Concurrent Pascal, PL/I, Mesa, . . . , Java

Gliederung

- 1 **Monitor**
 - Eigenschaften
 - Architektur
- 2 **Bedingungsvariable**
 - Operationen
 - Signalisierung
- 3 **Beispiel**
 - Nachrichtenpuffer
- 4 **Zusammenfassung**

Monitor $\equiv$ (eine auf ein Modul bezogene) Klasse

Kapselung (engl. *encapsulation*)

- von mehreren Prozessen gemeinsam bearbeitete Daten müssen, analog zu Modulen, in Monitoren organisiert vorliegen
- als Konsequenz macht die Programmstruktur kritische Abschnitte explizit sichtbar

Datenabstraktion (engl. *information hiding*)

- wie ein Modul, so kapselt auch ein Monitor für mehrere Funktionen Wissen über gemeinsame Daten
- Auswirkungen lokaler Programmänderungen bleiben begrenzt

Bauplan (engl. *blueprint*)

- wie eine Klasse, so beschreibt ein Monitor für mehrere Exemplare seines Typs den **Zustand** und das **Verhalten**
- er ist eine **gemeinsam benutzte Klasse** (engl. *shared class*, [2])

Klassenkonzept erweitert um Synchronisationssemantik

Monitor $\equiv$ implizit synchronisierte Klasse

Monitorprozeduren (engl. *monitor procedures*)

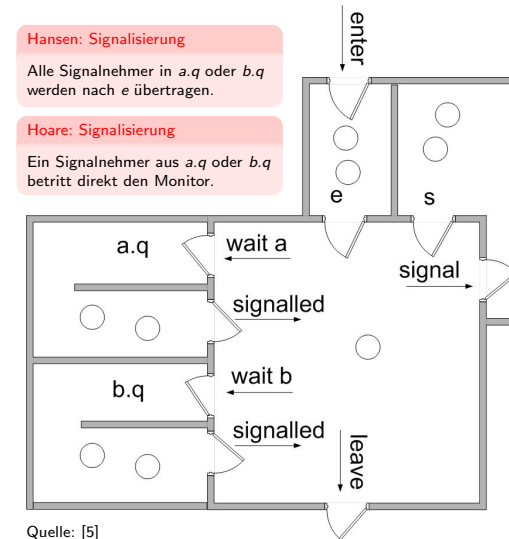
- schließen sich bei konkurrierenden Zugriffen durch mehrere Prozesse in ihrer Ausführung gegenseitig aus
 - der erfolgreiche Prozeduraufruf sperrt den Monitor
 - bei Prozedurrückkehr wird der Monitor wieder entsperrt
- repräsentieren per Definition kritische Abschnitte, deren Integrität vom Kompilierer garantiert wird
 - die „Klammerung“ kritischer Abschnitte erfolgt automatisch
 - der Kompilierer erzeugt die dafür notwendigen Steueranweisungen

Synchronisationsanweisungen

- sind Querschnittsbelang eines Monitors und nicht des gesamten nichtsequentiellen Programms
- sie liegen nicht quer über die ganze Software verstreut vor

Monitor mit blockierenden Bedingungsvariablen

Hansen [2] und Hoare [3], letzterer hier im Bild skizziert



Monitorwarteschlangen

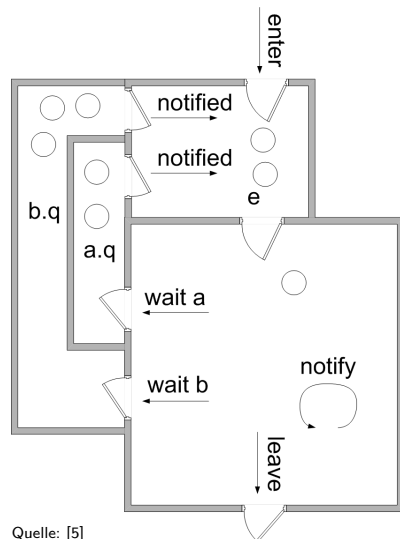
- e* der Zutrittsanforderer
- s* der Signalgeber: **optional**
 - Vorzugswarteliste oder vereint mit *e*

Ereigniswarteschlangen

- a.q* für Bedingungsvariable *a*
- b.q* für Bedingungsvariable *b*
 - Signalgeber blockieren
 - warten außerhalb
 - verlassen den Monitor
 - **Wiedereintritt** falls *signal* nicht letzte Operation

Monitor mit nichtblockierenden Bedingungsvariablen

Mesa [4]



Monitorwarteschlange

- e* der Zutrittsanforderer und der signalisierten Prozesse

Ereigniswarteschlangen

- a.q* für Bedingungsvariable *a*
- b.q* für Bedingungsvariable *b*

- Signalgeber fahren fort
 - „Sammelaufruf“ möglich
 - $n > 1$ Ereignisse signalisierbar
- Signalnehmer starten erst nach Monitorfreigabe (*leave*)

Monitorvergleich: Hansen, Hoare, Mesa

Ausgangspunkt für die Verschiedenheit der Monitorkonzepte ist die **Semantik der Bedingungsvariablen**:

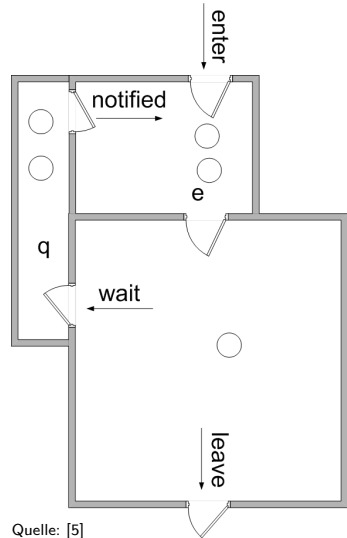
- blockierend** • gibt dem Signalnehmer Vorrang
- nichtblockierend** • gibt dem Signalgeber Vorrang

Folge davon ist u.a. eine unterschiedliche **Semantik der Signalisierung** für die betrachteten Monitorarten:

- Hansen**
 - verwendet blockierende Bedingungsvariablen
 - Signalisierung lässt den Signalgeber den Monitor verlassen, nachdem er alle Signalnehmer „bereit“ gesetzt hat
- Hoare**
 - verwendet blockierende Bedingungsvariablen
 - Signalisierung lässt den Signalgeber den Monitor verlassen und genau einen Signalnehmer fortfahren $\leadsto$ **atomare Aktion**
- Mesa**
 - verwendet nichtblockierende Bedingungsvariablen
 - Signalisierung lässt den Signalgeber im Monitor fortfahren, nachdem er einen oder alle Signalnehmer „bereit“ gesetzt hat

Monitor mit impliziten Bedingungsvariablen

Java, C#



Monitorwarteschlange

- e der Zutrittsanforderer und der signalisierten Prozesse

Ereigniswarteschlange

- q für den gesamten Monitor

- Objekte können als Monitore verwendet werden
- `synchronized`-Anweisung an Methoden oder Basisblöcken
- Signalisierung wie bei Mesa (S. 7)

Gliederung

- 1 Monitor
 - Eigenschaften
 - Architektur
- 2 Bedingungsvariable
 - Operationen
 - Signalisierung
- 3 Beispiel
 - Nachrichtenpuffer
- 4 Zusammenfassung

Signalisierung einer Fortführungsbedingung erwarten: *wait*

Wartebedingung festlegen

Monitorfreigabe als notwendiger Seiteneffekt beim Warten¹:

- andere Prozesse wären sonst am Monitoreintritt gehindert
- als Folge könnte die zu erfüllende Bedingung nie erfüllt werden
- schlafende Prozesse würden nie mehr erwachen $\leadsto$ **Verklemmung**

Monitordaten sind in einem konsistenten Zustand zu hinterlassen

- andere Prozesse betreten den Monitor während der Blockadephase
- als Folge sind (je nach Funktion) Zustandsänderungen zu erwarten
- vor Eintritt in die Wartephase muss der Datenzustand konsistent sein

¹**Aktives Warten** (engl. *busy waiting*) eines Prozesses ist innerhalb eines Monitors logisch komplex und nicht nur dort leistungsmindernd.

Signalisierung einer Fortführungsbedingung: *signal*

Wartebedingung aufheben

Prozessblockaden in Bezug auf eine Wartebedingung werden aufgehoben

- warten Prozesse, müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:
 - mind. ein an der Bedingungsvariable wartender Prozess wird deblockiert
 - höchstens ein Prozess rechnet nach der Operation im Monitor weiter
- erwartet kein Prozess ein Signal, ist die Operation wirkungslos
 - d.h., Signale dürfen in Bedingungsvariablen nicht gespeichert werden

Lösungsansätze hierzu sind z.T. von sehr unterschiedlicher Semantik

- das betrifft etwa die Anzahl der deblockierten Prozesse:
 - alle auf die Bedingung wartenden oder genau nur einer
- große Unterschiede auch bzgl. **Besitzwechsel** bzw. **Besitzwahrung**
 - „falsche Signalisierungen“ werden toleriert oder nicht

Besitzwechsel: *signal and (urgent) wait*

Signalisierender Prozess gibt die Kontrolle über den Monitor ab, wird inaktiv

alle das Ereignis erwartenden Prozesse befreien $\mapsto$ Hansen [1, S. 576]

- alle Prozesse aus der Ereignis- in die Monitorwarteschlange bewegen
- bei Freigabe alle n Prozesse (Monitorwarteschlange) „bereit“ setzen
- $n - 1$ Prozesse reihen sich erneut in die Monitorwarteschlange ein

höchstens einen das Ereignis erwartenden Prozess befreien $\mapsto$ Hoare [3]

- nur einen Prozess der Ereigniswarteschlange entnehmen (vgl. S. 14)
- den signalisierenden Prozess in die Monitorwarteschlange eintragen
- direkt vom signalisierenden zum signalisierten Prozess wechseln

Hoare: Neuauswertung der Wartebedingung entfällt

- Fortführungsbedingung des signalisierten Prozesses ist garantiert
 - seit der Signalisierung war kein anderer Prozess im Monitor
 - kein anderer Prozess konnte die Fortführungsbedingung entkräften
- der signalisierende Prozess bewirbt sich ggf. erneut um Monitorzutritt
 - „falsche Signalisierungen“ (vgl. S. 14) werden nicht toleriert

Gliederung

- 1 Monitor
 - Eigenschaften
 - Architektur
- 2 Bedingungsvariable
 - Operationen
 - Signalisierung
- 3 Beispiel
 - Nachrichtenpuffer
- 4 Zusammenfassung

Besitzwahrung: *signal and continue*

Signalisierender Prozess behält die Kontrolle über den Monitor, bleibt aktiv

einen oder alle das Ereignis erwartenden Prozesse befreien $\mapsto$ Mesa [4]

- Prozess(e) aus der Ereignis- in die Monitorwarteschlange bewegen
- bei Freigabe $n \geq 1$ Prozesse (Monitorwarteschlange) „bereit“ setzen

Mesa/Hoare: Gefahr von Prioritätsverletzung [4]

- bedingt durch die Auswahlentscheidung, die festlegt, welcher Prozess „bereit“ wird bzw. der Ereigniswarteschlange entnommen werden soll
- Interferenz mit der Prozesseinplanung ist vorzubeugen/zu vermeiden

Mesa/Hansen: Neuauswertung der Wartebedingung erforderlich

- Fortführungsbedingung des signalisierten Prozesses nicht garantiert
 - ein anderer Prozess kann den Monitor zwischenzeitlich betreten haben
- signalisierte Prozesse bewerben sich erneut um den Monitorzutritt
 - „falsche Signalisierungen“ (an den falschen Prozess) werden toleriert

Zwischenspeicher mit Pufferbegrenzung

Ein *bounded buffer* in „Concurrent C++“

```
class Ringbuffer {
    char    data[NDATA];
    unsigned nput, nget;
public:
    Ringbuffer ()          { nput = nget = 0; }
    char fetch ()          { return data[nget++ % NDATA]; }
    void store (char item) { data[nput++ % NDATA] = item; }
};
```

```
monitor Buffer : private Ringbuffer {
    unsigned free;
    condition null, full;
public:
    Buffer ()          { free = NDATA; }
    char fetch ();
    void store (char);
};
```

monitor wechselseitiger Ausschluss

- Buffer::fetch()
- Buffer::store()

condition Bedingungsvariable

- null: kein Platz
- full: $n \geq 1$ Daten

- free verwaltet den „Pegelstand“

Koordiniertes Leeren

Monitor im Stil von Hansen oder Mesa

```
char Buffer::fetch () {
    char item;
    while (free == NDATA) full.await();
    item = Ringbuffer::fetch();
    free++;
    null.signal();
    return item;
}
```

Bedingungsvariablen:

full erwartet einen Eintrag

null signalisiert freien Platz

Instanzvariable:

free verbucht freien Platz

Wartebedingung ist wiederholt zu überprüfen: **while**

- bewirbt signalisierte **Konsumenten** erneut um den Monitorzutritt
 - die Phase ab der Signalisierung von **full** durch den Produzenten bis zum Wiedereintritt des Konsumenten in den Monitor ist nebenläufig
 - der Puffer könnte zwischenzeitig geleert worden sein $\leadsto$ erneut warten
- toleriert (fehlerbedingte) falsche Signalisierungen von **full**

Gliederung

- 1 Monitor
 - Eigenschaften
 - Architektur
- 2 Bedingungsvariable
 - Operationen
 - Signalisierung
- 3 Beispiel
 - Nachrichtenpuffer
- 4 Zusammenfassung

Koordiniertes Füllen

Monitor im Stil von Hansen oder Mesa

```
void Buffer::store (char item) {
    while (!free) null.await();
    Ringbuffer::store(item);
    free--;
    full.signal();
}
```

Bedingungsvariablen:

null erwartet freien Platz

full signalisiert einen Eintrag

Instanzvariable: **free** verbucht einen weiteren Puffereintrag

Wartebedingung ist wiederholt zu überprüfen: **while**

- bewirbt signalisierte **Produzenten** erneut um den Monitorzutritt
 - die Phase ab der Signalisierung von **null** durch den Konsumenten bis zum Wiedereintritt des Produzenten in den Monitor ist nebenläufig
 - der Puffer könnte zwischenzeitig gefüllt worden sein $\leadsto$ erneut warten
- toleriert (fehlerbedingte) falsche Signalisierungen von **null**

Monitorkonzepte im Vergleich

Hansen/Mesa vs. Hoare

Hansen und Mesa

```
while (free == NDATA) full.await();
while (!free) null.await();
```

Prozessen **wird nicht garantiert**, dass nach ihrer Signalisierung die Fortführungsbedingung gilt

- andere Prozesse können den Monitor betreten haben
- Wartebedingung erneut prüfen
- evtl. falsche Signalisierungen **werden toleriert**

Hoare

```
if (free == NDATA) full.await();
if (!free) null.await();
```

Prozessen **wird garantiert**, dass nach ihrer Signalisierung die Fortführungsbedingung gilt

- kein anderer Prozess konnte den Monitor betreten haben
- Wartebedingung einmal prüfen
- evtl. falsche Signalisierungen **werden nicht toleriert**

Resümee

- ein Monitor ist ein **ADT** mit impliziten Synchronisationseigenschaften
 - mehrseitige Synchronisation von Monitorprozeduren
 - einseitige Synchronisation durch Bedingungsvariablen
- die **Architektur** lässt verschiedene Ausführungsarten zu
 - Monitor mit beid- oder einseitig blockierenden Bedingungsvariablen
- Unterschiede liegen vor allem in der **Semantik der Signalisierung**:
 - wirkt blockierend (Hansen, Hoare) oder nichtblockierend (Mesa) für den ein Ereignis signalisierenden Prozess
 - deblockiert einen (Hoare, Mesa) oder alle (Hansen, Mesa) auf ein Ereignis wartende Prozesse
 - die Fortführungsbedingung für den jeweils signalisierten Prozess wird garantiert (Hoare) oder nicht garantiert (Hansen, Mesa)
 - erfordert (Hansen, Mesa) oder erfordert nicht (Hoare) die erneute Auswertung der Wartebedingung bei Fortführung
 - ist falschen Signalisierungen gegenüber tolerant (Hansen, Mesa) oder intolerant (Hoare)

Literaturverzeichnis

- [1] HANSEN, P. B.:
Structured Multiprogramming.
In: *Communications of the ACM* 15 (1972), Jul., Nr. 7, S. 574–578
- [2] HANSEN, P. B.:
Operating System Principles.
Prentice Hall International, 1973
- [3] HOARE, C. A. R.:
Monitors: An Operating System Structuring Concept.
In: *Communications of the ACM* 17 (1974), Okt., Nr. 10, S. 549–557
- [4] LAMPSON, B. W. ; REDELL, D. D.:
Experiences with Processes and Monitors in Mesa.
In: *Communications of the ACM* 23 (1980), Febr., Nr. 2, S. 105–117
- [5] WIKIPEDIA:
Monitor (synchronization).
[http://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_\(synchronization\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_(synchronization)), Dez. 2010