Monitor [Hoare 74]

- *Costrutto sintattico* che associa un insieme di procedure/funzioni (***entry***) ad una struttura dati *comune* a più processi.
- Il compilatore può verificare che esse siano *le sole operazioni* permesse su quella struttura .
- Le procedure sono *mutuamente esclusive:*un solo processo per volta può essere attivo nel monitor.

```
monitor  <nome_monitor>
{  <dichiarazione delle variabili locali>;
   <inizializzazione delle variabili locali>;

   /* definizione delle funzioni e procedure entry:
   */
   public void op1() /* procedura "entry" */
   {   <corpo della funzione op1 >;  }
   ...

   public void opN() {   /* procedura "entry" */

            <corpo della funzione opn >;  }

   /* funzioni&procedure interne al monitor:
   void Pr1(..){...}
   void Pr2(..){...}
   ...
}
```

Procedure/funzioni entry: sono ***le sole operazioni*** che possono essere utilizzate dai processi per accedere alle *variabili locali al monitor.*

Variabili locali: mantengono il loro valore tra successive esecuzioni delle procedure del monitor (*variabili permanenti*); sono accessibili ***solo* entro il monitor** (mediante funzioni/procedure entry e non entry).

Procedure interne (non entry): non sono invocabili dall'esterno. Sono usabili ***solo* dalle procedure/funzioni del monitor (entry**, o interne).

Inizializzazione delle variabili locali: il codice per *l'inizializzazione* delle variabili locali viene eseguito *una sola volta* prima dell'esecuzione di qualunque procedura.

Uso del monitor

Il monitor puo` essere utilizzato per controllare gli accessi a una **risorsa condivisa** da parte di piu` processi:

- lo **stato della risorsa** viene tipicamente rappresentato dai valori di variabili locali
- i processi possono aggiornare lo stato della risorsa mediante le ***procedure entry***

```
monitor  Tipo_Risorsa
{ <dichiarazione delle variabili locali>;
  <inizializzazione delle variabili locali>;
  <definizione funzioni/procedure entry*/
  <def. funzioni&procedure interne */
}
```

Uso del monitor

```
Tipo_risorsa  ris; /* ris e` un oggetto
                       di tipo monitor*/
```

- crea un particolare *oggetto monitor*, cioè una struttura dati organizzata secondo quanto indicato nella dichiarazione dei dati locali.

- La chiamata di una generica operazione **`opi`** dell'oggetto **`ris`** ha quindi la forma:

```
ris.opi();
```

Uso del monitor

- Scopo del monitor è *controllare l'assegnazione* di una risorsa tra processi concorrenti in accordo a *determinate politiche di gestione.*
- L'assegnazione avviene secondo **due livelli di controllo***:*

    1. Il primo garantisce che ***un solo processo alla volta*** possa aver accesso alle variabili comuni del monitor. Ciò è ottenuto automaticamente, poiche` le procedure entry sono eseguite in modo ***mutuamente esclusivo.*** (eventuale *sospensione dei processi*).

    2. Il secondo controlla ***l'ordine con il quale i processi hanno accesso alla risorsa****.* La procedura chiamata verifica il soddisfacimento di una *condizione logica* che assicura l'ordinamento degli accessi (eventuale *sospensione* del processo e *liberazione* del monitor).

- La ***condizione di sincronizzazione*** è espressa mediante ***variabili locali*** al monitor e variabili *proprie* del processo passate come ***parametri***.

- La *sospensione del processo*, nel caso in cui la condizione non sia verificata, avviene utilizzando variabili di un nuovo tipo, detto ***condition*** (*condizione*).

Variabili Condizione

- Una variabile di tipo condizione rappresenta *una coda* di processi sospesi.
- Esistono *tante variabili condizione* quante sono le condizioni per cui un processo può essere ritardato.
- Le procedure del monitor agiscono su tali variabili mediante le 2 operazioni:

`cond.wait`

`cond.signal`

Variabili condizione

- **`cond.wait:`** l'invocazione dell'operazione **cond.wait** da parte di un processo P *sospende* P e lo introduce nella coda individuata dalla variabile *cond;* prima di sospendersi, P *libera* il monitor.
- **`cond.signal:`** l'esecuzione dell'operazione **cond.signal:**
  - **se la coda associata a cond contiene almeno un processo,** rende *attivo* uno dei processi in attesa nella coda individuata dalla variabile cond; alla ripresa dell'esecuzione il processo risvegliato rioccupera` automaticamente il monitor.
  - se la coda associata a cond e` vuota, non provoca alcun effetto.

Signal

Come conseguenza della **signal** entrambi i processi, quello segnalante P e quello segnalato Q, possono concettualmente *proseguire la loro esecuzione.*

- **Realizzazione**: Esistono due possibilità di realizzazione della signal su variabili condizione :

  ***Signal and wait*:** P attende che Q abbandoni il monitor, o che si sospenda per un'altra condizione [Hoare].

  Signal and continue: Q attende che P abbandoni il monitor, o che si sospenda per un'altra condizione.

Realizzazione signal

- ***Signal and continue*** presenta l'inconveniente che quando Q riprende l'esecuzione la condizione logica per la quale stava attendendo potrebbe *non essere più vera (se viene modificata da P).*
- ***Signal and wait*** assicura che P riprenderà la sua esecuzione quando Q avrà completato la sua esecuzione, o si sarà nuovamente sospeso.
- Il monitor verrà liberato *solo quando* non vi saranno al suo interno processi in *grado di completare l'esecuzione*.
- ***Compromesso***: signal eseguita come *ultima istruzione* della procedura -> dopo aver eseguito la *signal,* P abbandona *immediatamente* il monitor.

Esempio: monitor come *gestore* di risorse (mailbox)

Utilizziamo il monitor per risolvere il problema dei "***produttori e consumatori***":

- il monitor rappresenta il buffer dei messaggi (gestito in modo circolare)
- i processi Produttori (o Consumatori) inseriranno (o preleveranno) i messaggi mediante le funzioni entry *Send* (o *Receive) definite nel monitor.*
- la struttura dati che rappresenta il buffer **fa parte delle variabili locali al monitor** e quindi le operazioni *Send e Receive* possono accedere solo in modo **mutuamente esclusivo** a tale struttura.

```
monitor buffer_circolare{
  messaggio buffer[N];
  int contatore=0; int testa=0; int coda=0;
  condition non_pieno;
  condition non_vuoto;
 /* procedure e funzioni entry: */
  public void send(messaggio m){
    if (contatore==N) non_pieno.wait;
    buffer[coda]=m;
   coda=(coda + 1)%N;
   ++contatore;
   non_vuoto.signal;
  }

  public messaggio receive(){
      messaggio m;
      if (contatore == 0) non_vuoto.wait;
       m=buffer[testa];
       testa=(testa + 1)%N;
      --contatore;
      non_pieno.signal;
       return m;}
}/* fine monitor */
```

Esempio: monitor come allocatore di risorse

- Utilizziamo il monitor per garantire **l'accesso esclusivo** ad una risorsa comune da parte dei processi.
  - La struttura dati gestita dal monitor rappresenta lo **stato** (*libero,occupato*) della risorsa.
  - Le operazioni Richiesta e Rilascio del monitor sono utilizzate solo per garantire l'accesso esclusivo alla risorsa da parte dei processi.
  - La mutua esclusione tra le operazioni Richiesta e Rilascio garantisce che lo stato della risorsa venga esaminato in modo mutuamente esclusivo dai processi.
  - Una volta guadagnato l'accesso alla risorsa i singoli processi potranno accedere direttamente ad essa **all'esterno del monitor**.

```
monitor allocatore
{ boolean occupato = false;
  condition libero;

  public void Richiesta()
  {   if (occupato) libero.wait;
      occupato = true;
  }
  public void Rilascio()
  {   occupato = false;
      libero.signal;
  }
}

allocatore A; /* istanza del tipo monitor*/

void processo() /*codice di un generico processo */
{     A.Richiesta;
      <uso della risorsa>;
      A.Rilascio;
}
```

Implementazione del monitor tramite semafori (*signal&wait*)

- Il **compilatore** assegna ad ogni istanza di monitor:
  - un semaforo **`mutex`** inizializzato a 1 per la **mutua esclusione** delle procedure entry del monitor;
  - un semaforo **`urgent`** inizializzato a 0 per effettuare la **preemption** dei processi segnalanti (***signal and wait***);
  - un contatore **`urgentcount`** inizializzato a 0 per conteggiare in ogni istante i precedenti processi;
  - per ogni variabile **cond** di tipo condition:
    - un semaforo **`condsem`** inizializzato a 0
    - un contatore **`condcount`** inizializzato a 0

    per implementare **cond.wait** e **cond.signal**

Realizzazione del monitor

Mutua esclusione delle procedure entry: il compilatore inserisce un **prologo** ed un **epilogo** all'inizio ed all'uscita da ogni **procedure entry:**

- **prologo:**

```
wait(&mutex);
```

- **epilogo:**

```
if (urgentcount>0)
      signal(&urgent);
else signal(&mutex);
```

Il compilatore traduce le operazioni **cond.wait** e **cond.signal** nel seguente modo:

cond.wait:

```
condcount++;
if (urgentcount > 0)
      signal(&urgent);
else signal(&mutex)
wait(&condsem);
condcount--;
```

cond.signal:

```
urgentcount++;
if (condcount>0)
{     signal(&condsem);
      wait(&urgent);
}
urgentcount--;
```

condsem: **semaforo** associato alla variabile condizione (v.i. = 0)

condcount: **contatore** associato alla variabile condizione (v.i. = 0)

NB: questa soluzione implementa la politica *signal and wait*

Implementazione signal&continue

- Nel caso di una politica ***signal and continue*** il semaforo **`urgent`** ed il contatore **`urgentcount`** non sono piu` necessari.

cond.wait:

```
condcount++;
signal(&mutex);
wait(&condsem);
condcount--;
```

cond.signal:

```
if (condcount>0)
      signal(&condsem);
else  signal(&mutex);
```

La **cond.signal** viene usata come *epilogo* della procedura entry.

Estensioni al monitor

- In alcuni casi puo` essere utile poter risvegliare i processi sospesi su variabili condizione secondo una priorita` stabilita` arbitrariamente: wait con priorita`
- Al momento della sospensione va specificato un indice di priorita`**:** **`cond.wait(p)`**

➔ Il processi sono inseriti nella coda secondo l'ordine crescente di p: quindi il primo processo risvegliato è quello con il valore di p piu` basso.

- Altre funzioni primitive su variabili di tipo condizione:

  `cond.queue:` operazione che verifica la presenza nella coda **cond** di almeno un processo sospeso

  Esempio: **`if (cond.queue) ...`**

Esempio: allocazione di risorse in uso esclusivo

Si vuole che la risorsa venga assegnata a quello tra tutti i processi sospesi che la userà per il periodo di tempo inferiore :

```
monitor allocatore
{ boolean occupato = false;
  condition libero;

  public void Richiesta(int tempo)
  {   if (occupato) libero.wait(tempo);
      occupato = true;
  }
  public void Rilascio()
  {   occupato = false;
      libero.signal;
  }
}
```

I processi sono inseriti nella coda secondo l'ordine crescente di p e quindi il primo processo risvegliato è quello che richiede meno tempo.

Esempio: lettori e scrittori

Si supponga di voler realizzare la seguente ***politica di allocazione della risorsa***:

1. un nuovo lettore non può acquisire la risorsa se c'e' uno scrittore in attesa
2. tutti i lettori sospesi al termine di una scrittura hanno priorità sul successivo scrittore

Soluzione: uso del monitor con le seguenti variabili locali:

- **`num-lettori`**: il numero di processi lettori attivi sulla risorsa
- **`occupato:`** una variabile logica che indica se la risorsa è occupata da uno scrittore (occupato=true)
- **`ok-lettura`** , **`ok-scrittura`** : due variabili condizione sulle quali si sospendono rispettivamente i processi lettori e scrittori

```
monitor lettori_scrittori
{ int num-lettori=0,occupato=0;
  condition ok_lettura,ok_scrittura;

  public void inizio_lettura()
  {   if (occupato || ok_scrittura.queue)
            ok_lettura.wait;
      num_lettori++;
      ok_lettura.signal;
  }
  public void fine_lettura()
  {   num_lettori-- ;
      if (num_lettori==0)
            ok_scrittura.signal;
  }
  public void inizio_scrittura()
  {   if ((num_lettori!=0)|| occupato)
            ok_scrittura.wait;
      occupato=1;
  }
  /* continua...*/
```

```
   /* ...continua */
   public void fine_scrittura()
   {   occupato=0;
       if (ok-lettura.queue)
             ok-lettura.signal;
       else  ok-scrittura.signal;
   }
}/* fine monitor */

lettori_scrittori LS; /* istanza del monitor*/

void lettore() /*codice di un generico lettore */
{     LS.inizio_lettura();
      <lettura>;
      LS.fine_lettura()
}
void scrittore() /*codice di un generico scrittore */
{     LS.inizio_scrittura();
      <scrittura>;
      LS.fine_scrittura()
}
```

Chiamate innestate a procedure di monitor

- Durante l'esecuzione della procedura **A1** del monitor **A** viene chiamata la procedura **B1** del monitor **B** e durante l'esecuzione di tale procedura il processo viene sospeso sulla variabile *condizione* **X.**
- Viene rilasciata la mutua esclusione per il monitor **B**, mentre il monitor **A** rimane occupato.
- Se la procedura **B2** di **B**, a cui è demandato il compito di riattivare il processo, viene richiamata solo attraverso la procedura **A2** di **A**, si ha una situazione di ***blocco critico***.
- Questa soluzione è imposta da un problema di congruenza dei dati; non essendo terminata **A1**, se il monitor **A** viene liberato, un nuovo processo può trovare **la struttura dei dati del monitor** *non consistente.*

CHIAMATE INNESTATE A MONITOR

Monitor A

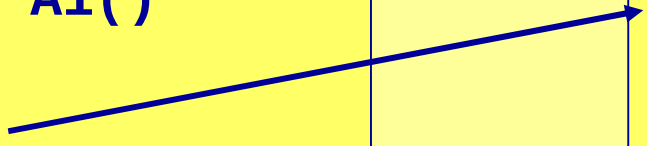
```
...
public void A1()
{       ...
        B.B1;
        ...
}


public void A2()
{       ...
        B.B2;
}
```

Monitor B

```
...
public void B1()
{       ...
        X.wait;
        ...
}


public void B2()
{       ...
        X.signal;
        ...}
```



Soluzioni

1. proibire l'innestamento
2. in caso di sospensione, vengono liberati tutti i monitor interessati dalla catena di chiamate. -> difficile implementazione:
    - necessita` di garantire la consistenza delle variabili del monitor prima di chiamate innestate;
    - al risveglio, il processo deve riacquisire tutti i monitor.
3. permettere procedure del monitor non mutuamente esclusive