# Sincronizzazione dei Processi

Sistemi Operativi

Antonino Staiano
Email: antonino.staiano@uniparthenope.it

## Introduzione

- Cosa è la sincronizzazione dei processi?
- Race condition
- Sezioni critiche
- Sincronizzazione di controllo e operazioni indivisibili
- Approcci alla sincronizzazione
- Struttura dei sistemi concorrenti




## Introduzione (cont.)

- Problemi di sincronizzazione di processi classici
- Approccio algoritmico per implementare le sezioni critiche
- Semafori
- Monitor
- Casi di studio




## Cosa è la Sincronizzazione dei Processi?

- Il termine processo è un termine generico usato sia per processi che per thread
- Notazione
  - ***read_set***$_i$-> insieme di dati letti dal processo $P_i$ e messaggi interprocesso o segnali ricevuti da $P_i$
  - ***write_set***$_i$-> insieme di dati modificati dal processo $P_i$ e messaggi interprocesso o segnali inviati da $P_i$

***Processi interagenti***: i processi $P_i$ e $P_j$ sono processi interagenti se la *write_set* di uno dei processi si sovrappone con *la write_set* o *read_set* dell'altro

- I processi che non interagiscono sono *processi indipendenti*
- La *sincronizzazione dei processi* è un termine generico per le tecniche usate per ritardare e ripristinare i processi per implementare le interazione tra i processi

# Convenzioni in Pseudocodice per i Programmi Concorrenti

- The control structure **Parbegin** <*list of statements*> **Parend** encloses code that is to be executed in parallel. (Parbegin stands for parallel-begin, and Parend for parallel-end.) If <*list of statements*> contains $n$ statements, execution of the **Parbegin–Parend** control structure spawns $n$ processes, each process consisting of the execution of one statement in <*list of statements*>. For example, **Parbegin** $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$ **Parend** initiates four processes that execute $S_1$, $S_2$, $S_3$ and $S_4$, respectively.

  The statement grouping facilities of a language such as **begin–end**, can be used if a process is to consist of a block of code instead of a single statement. For visual convenience, we depict concurrent processes created in a **Parbegin–Parend** control structure as follows:

**Parbegin**

$$\begin{array}{cccc} S_{11} & S_{21} & \cdots & S_{n1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{1m} & S_{2m} & \cdots & S_{nm} \end{array}$$

**Parend**

*Process* $P_1$ *Process* $P_2$ *Process* $P_n$

  where statements $S_{11} \cdots S_{1m}$ form the code of process $P_1$, etc.
- Declarations of shared variables are placed before a **Parbegin**.
- Declarations of local variables are placed at the start of a process.
- Comments are enclosed within braces "{}".
- Indentation is used to show nesting of control structures.



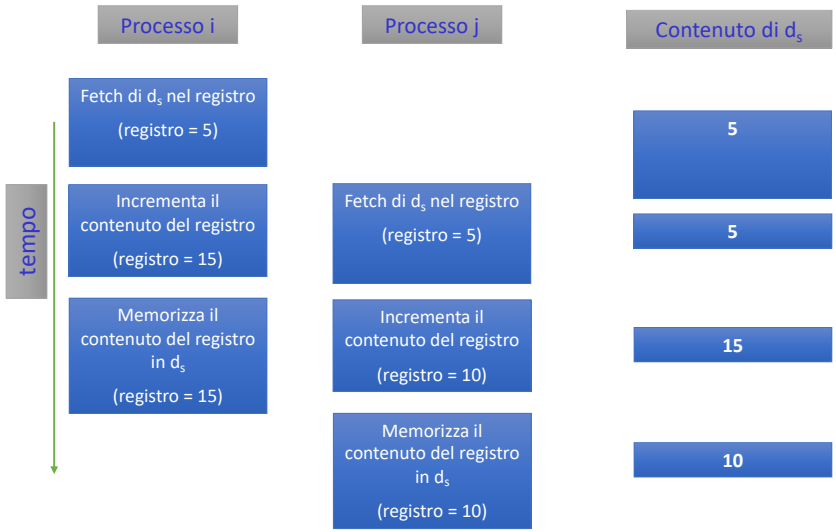
# Race Condition

- Gli accessi non coordinati ai dati condivisi possono compromettere la consistenza dei dati
- Consideriamo i processi $P_i$ e $P_j$ che aggiornano il valore di $d_s$ con le operazioni $a_i$ e $a_j$, rispettivamente:
  - Operazione $a_i$: $d_s := d_s + 10$; Sia $f_i(d_s)$ il risultato
  - Operazione $a_j$: $d_s := d_s + 5$; Sia $f_j(d_s)$ il risultato
  - Cosa può succedere se tali operazioni sono eseguite concorrentemente?

***Race condition:*** Una condizione in cui il valore di un oggetto condiviso $d_s$, risultante dall'esecuzione delle operazioni $a_i$ e $a_j$ su $d_s$ nei processi interagenti, può essere diversa da ambo $f_i(f_j(d_s))$ e $f_j(f_i(d_s))$ ).



# Due thread non sincronizzati che incrementano la stessa variabile





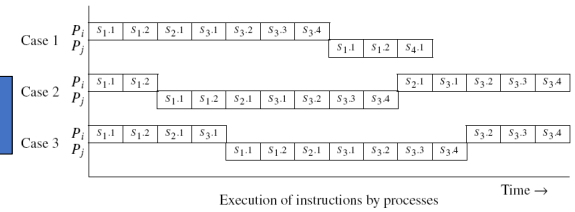

# Esempio di *Race Condition*

*nextseatno = 200*
*Capacity = 200*

*$P_i$ e $P_j$ eseguono lo stesso codice*

| | Code of processes | | Corresponding machine instructions |
|---|---|---|---|
| $S_1$ | **if** *nextseatno* ≤ *capacity* | $S_1.1$ | Load *nextseatno* in $reg_k$ |
| | | $S_1.2$ | If $reg_k$ > *capacity* goto $S_4.1$ |
| | **then** | | |
| $S_2$ | *allotedno:=nextseatno;* | $S_2.1$ | Move *nextseatno* to *allotedno* |
| $S_3$ | *nextseatno:=nextseatno+1;* | $S_3.1$ | Load *nextseatno* in $reg_j$ |
| | | $S_3.2$ | Add 1 to $reg_j$ |
| | | $S_3.3$ | Store $reg_j$ in *nextseatno* |
| | | $S_3.4$ | Go to $S_5.1$ |
| | **else** | | |
| $S_4$ | *display "sorry, no seats available"* | $S_4.1$ | Display "*sorry, . . .* " |
| $S_5$ | . . . | $S_5.1$ | . . . |

**Some execution cases**




Execution of instructions by processes

Race condition nei casi 2 e 3

**Condivisione dei dati di processi di un'applicazione di prenotazione**

# Race Condition (cont.)

- Le race condition sono prevenute garantendo che le operazioni $a_i$ e $a_j$ non siano eseguite concorrentemente
  - *mutua esclusione*
    - Solo un'operazione accede ai dati in ogni istante
- La sincronizzazione per l'accesso ai dati è il coordinamento dei processi per implementare la mutua esclusione su dati condivisi
- Con la mutua esclusione è assicurato che il risultato delle operazioni $a_i$ e $a_j$ sarà $f_i(f_j(d_s))$ oppure $f_j(f_i(d_s))$




# Race Condition (cont.)

- Definiamo
  - ***update_set$_i$*** -> insieme di dati aggiornati dal processo Pi (letti, modificati e scritti)
- Per prevenire una race condition:
  - Si controlla che la logica dei processi causa una race
    - $update\_seti \cap update\_setj \neq \emptyset$
  - Es.: Nel sistema di prenotazione aereo
    - $update_{set_i} = update\_setj$ = {nextseatno}
  - Noto il dato su cui c'è una race
    - Si usano tecniche di sincronizzazione per l'accesso ai dati che implementano la mutua esclusione




# Sezioni Critiche

- La mutua esclusione è implementata usando le sezioni critiche di codice

**Sezione critica (SC)**: una sezione critica per un oggetto $d_s$ è una sezione di codice che è progettata in modo che non possa essere eseguita concorrentemente con se stessa o con altre sezioni critiche per $d_s$

- Nei codici di esempio, una SC è indicata con un rettangolo grigio
- Se un processo $\mathbf{P_i}$ sta eseguendo una SC per $\mathbf{d_s}$, un altro processo che intendesse eseguire una SC per $\mathbf{d_s}$ dovrebbe attendere la fine dell'esecuzione della SC di $\mathbf{P_i}$
  - Una SC per un dato $\mathbf{d_s}$, è una regione di mutua esclusione rispetto agli accessi a $\mathbf{d_s}$




# Sezioni Critiche (cont.)

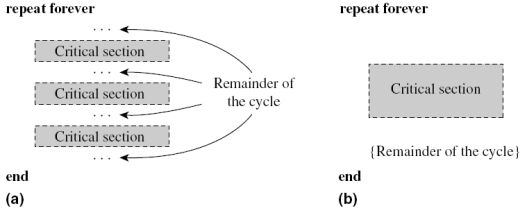



**Figure 6.3** (a) A process with many critical sections; (b) a simpler way of depicting this process.

```
if nextseatno ≤ capacity
then
    allotedno:=nextseatno;
    nextseatno:=nextseatno+1;
else
    display "sorry, no seats
             available";
```

Process $P_i$

```
if nextseatno ≤ capacity
then
    allotedno:=nextseatno;
    nextseatno:=nextseatno+1;
else
    display "sorry, no seats
             available";
```

Process $P_j$

Uso di sezioni critiche in un sistema di prenotazione aereo

# Sezioni Critiche (cont.)

- Usare SC causa ritardi nelle operazioni dei processi
  - Un processo non deve essere eseguito a lungo in una SC
  - Il processo non deve invocare chiamate di sistema che possono portarlo in uno stato bloccato, all'interno di una SC
  - Il kernel non deve prelazionare un processo che è alle prese con l'esecuzione di una SC
    - Il kernel dovrebbe essere sempre informato se un processo è in una SC
    - Non è possibile implementarlo nel caso un processo implementi una SC da solo
- Assumeremo che un processo trascorra poco tempo in una SC



# Proprietà Implementazione di una Sezione Critica

- Proprietà essenziali di un'implementazione di una SC

| Property | Description |
|---|---|
| Mutual exclusion | At any moment, at most one process may execute a CS for a data item $d_S$. |
| Progress | When no process is executing a CS for a data item $d_S$, one of the processes wishing to enter a CS for $d_S$ will be granted entry. |
| Bounded wait | After a process $P_i$ has indicated its desire to enter a CS for $d_S$, the number of times other processes can gain entry to a CS for $d_S$ ahead of $P_i$ is bounded by a finite integer. |

- Il *progresso* e l'*attesa limitata* insieme prevengono la ***starvation***



# Sincronizzazione di Controllo e Operazioni Indivisibili

- I processi interagenti devono coordinare la loro esecuzione uno rispetto all'altro, per eseguire le rispettive azioni nell'ordine desiderato
  - Requisito soddisfatto mediante la sincronizzazione di controllo

| | |
|---|---|
| {Perform operation $a_i$ only after $P_j$ performs operation $a_j$} | Perform operation $a_j$ |
| | . . . |
| *Process* $P_i$ | *Process* $P_j$ |

**Processi che richiedono la sincronizzazione di controllo**

- La segnalazione è una tecnica generale di sincronizzazione di controllo



# Sincronizzazione di Controllo e Operazioni Indivisibili (cont.)

```
var
        operation_aj_performed : boolean;
        pi_blocked : boolean;
begin
        operation_aj_performed := false;
        pi_blocked := false;

Parbegin
        . . .                                   . . .
        if operation_aj_performed = false       {perform operation aj}
        then                                    if pi_blocked = true
            pi_blocked := true;                 then
            block (Pi);                             pi_blocked := false;
        {perform operation ai}                      activate (Pi);
        . . .                                   else
        . . .                                       operation_aj_performed := true
        . . .                                   . . .
Parend;
end.
```

*Process* $P_i$ | *Process* $P_j$

**Un tentativo di segnalazione naive mediante variabili booleane**

# Sincronizzazione di Controllo e Operazioni Indivisibili (cont.)

- Una segnalazione naive non funziona
  - $P_i$ potrebbe bloccarsi indefinitamente in alcune situazioni

**Race condition nella sincronizzazione di Processi**

| Time | Actions of process $P_i$ | Actions of process $P_j$ |
|---|---|---|
| $t_1$ | **if** *action_aj_performed = false* | |
| $t_2$ | | {*perform action* $a_j$} |
| $t_3$ | | **if** *pi_blocked = true* |
| $t_4$ | | *action_aj_performed :=true* |
| ⋮ | | |
| $t_{20}$ | *pi_blocked :=true*; | |
| $t_{21}$ | *block* ($P_i$); | |

- Usare invece operazioni atomiche o indivisibili



# Sincronizzazione di Controllo e Operazioni Indivisibili (cont.)

**Operazione indivisibile**: un'operazione su un insieme di oggetti che non può essere eseguita concorrentemente con se stessa o altra operazione su un oggetto incluso nell'insieme

```
procedure check_aj
begin
    if operation_aj_performed=false
     then
        pi_blocked:=true;
        block (Pi)
end;

procedure post_aj
begin
    if pi_blocked=true
     then
        pi_blocked:=false;
        activate(Pj)
    else
        operation_aj_performed:=true;
end;
```

**Operazioni indivisibili *check_$a_j$* e *post_$a_j$* per la segnalazione**



# Approcci alla Sincronizzazione

- Ciclare vs bloccare
- Supporto HW per la sincronizzazione dei processi
- Approcci algoritmici, primitive di sincronizzazione e costrutti di programmazione concorrente



# Ciclare vs Bloccare

- Busy wait (attesa attiva)

```
while (some process is in a critical section on {ds} or
       is executing an indivisible operation using {ds})
  { do nothing }
```

Critical section or indivisible operation using $\{d_s\}$

- Un'attesa attiva ha molte conseguenze
  - Non può fornire la proprietà di attesa limitata
  - Degrado delle prestazioni a causa del ciclare
  - Deadlock
  - Inversione di priorità
    - Tipicamente affrontato mediante il protocollo di ereditarietà della priorità

# Ciclare vs Bloccare (cont.)

- Per evitare le attese attive, un processo in attesa di entrare in una SC è posto in uno stato *bloccato*
  - Cambiato in *pronto* solo quando può entrare nella SC

**if** (some process is in a critical section on $\{d_s\}$ or
is executing an indivisible operation using $\{d_s\}$)
**then** *make a system call to block itself;*

Critical section or
indivisible operation
using $\{d_s\}$

- Il processo decide se ciclare o bloccarsi
  - La decisione è soggetta a race condition
    - Evitata attraverso
      - Un approccio algoritmico
      - Uso di caratteristiche HW del computer



# Supporto HW per la Sincronizzazione dei Processi

- Istruzioni indivisibili
  - Evita race condition sulle locazioni di memoria
- Usate con una **variabile di lock** per implementare la SC e le operazioni indivisibili

*entry_test:* **if** *lock = closed*
**then goto** *entry_test;*
*lock := closed;*

Performed by an indivisible instruction

{Critical section or indivisible operation}

*lock := open;*

- *entry_test* eseguita con un'istruzione indivisibile
  - istruzione Test-and-set (TS)
  - Istruzione swap



# Supporto HW per la Sincronizzazione dei Processi: Istruzione Test-and-Set

```
LOCK         DC   X'00'          Lock is initialized to open
ENTRY_TEST   TS   LOCK           Test-and-set lock
             BC   7, ENTRY_TEST  Loop if lock was closed

             ...                 { Critical section or
                                   indivisible operation }

             MVI  LOCK, X'00'    Open the lock(by moving 0s)
```

**Implementazione di SC o operazione indivisibile con Test-and-Set**



# Supporto HW per la Sincronizzazione dei Processi: Swap

```
TEMP         DS   1              Reserve one byte for TEMP
LOCK         DC   X'00'          Lock is initialized to open
             MVI  TEMP, X'FF'    X'FF' is used to close the lock
ENTRY_TEST   SWAP LOCK, TEMP
             COMP TEMP, X'00'    Test old value of lock
             BC   7, ENTRY_TEST  Loop if lock was closed

             ...                 { Critical section or
                                   indivisible operation }

             MVI  LOCK, X'00'    Open the lock
```

**Implementazione di SC o operazione indivisibile con Swap**

# Approcci Algoritmici, Primitive di Sincronizzazione e Costrutti di Programmazione Concorrente

- Approcci algoritmici
  - Per implementare la mutua esclusione
  - Indipendente dalla piattaforma HW o SW
    - Attesa attiva per la sincronizzazione
- Primitive di sincronizzazione
  - Implementate usando istruzioni indivisibili e supporto del kernel
  - Ad esempio, *wait* e *signal* dei semafori
    - Problema: possono essere usate alla rinfusa
- Costrutti di programmazione concorrente
  - Monitor





# Struttura dei Sistemi Concorrenti

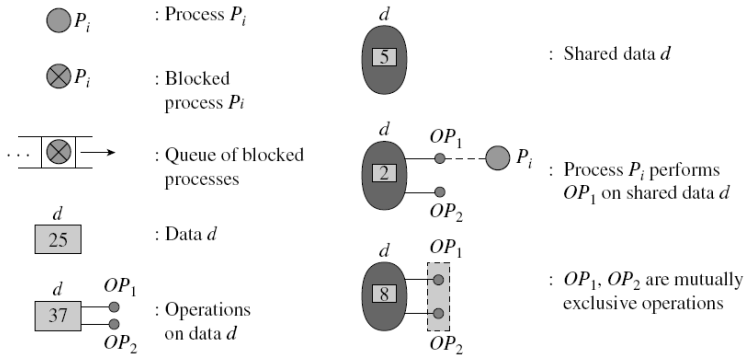
- Tre componenti chiave
  - Dati condivisi
    - Dati dell'applicazione usati e manipolati dai processi
    - Dati di sincronizzazione
  - Operazioni sui dati condivisi
    - Unità di codice (funzione o procedura) che accede e manipola i dati condivisi
      - Un'operazione di sincronizzazione è sui dati di sincronizzazione
  - Processi interagenti
- Un'istantanea (snapshot) di un sistema concorrente è una vista del sistema in un istante specifico





# Struttura dei Sistemi Concorrenti (cont.)

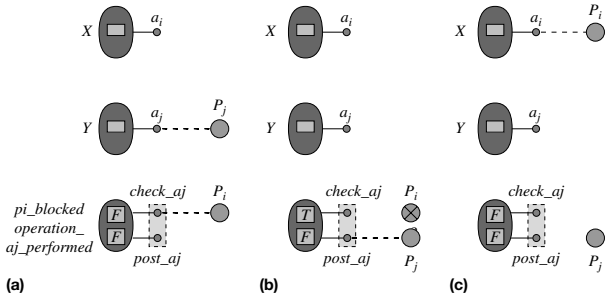
Convenzioni grafiche per le istantanee dei sistemi concorrenti








# Esempio: Snapshot di un Sistema Concorrente




(a) $P_i$ esegue l'operazione *check_aj*

(b) $P_i$ è bloccato; $P_j$ esegue l'operazione *post_aj*

(c) *post_aj* attiva $P_i$; $P_j$ esce da *post_aj*