Semafori Posix

Laboratorio Sistemi Operativi

Antonino Staiano
Email: antonino.staiano@uniparthenope.it

Semafori Posix e System V

- Un semaforo è una primitiva usata per fornire un meccanismo di sincronizzazione tra vari processi o vari thread di un processo
- Consideriamo innanzitutto un **semaforo binario**: un semaforo che può assumere solo i valori 0 (bloccato) e 1 (sbloccato)
- Possiamo considerare tre tipologie di semafori
  - I semafori Posix (non mantenuti nel kernel) possono essere di due tipi
    - Basati su nome ed identificati da nomi Posix per IPC
    - Basati su memoria e memorizzati in memoria condivisa
  - I semafori nella versione System V (mantenuti all'interno del kernel)

Operazioni sui semafori

- Un processo può eseguire 3 operazioni sui semafori
  - Creazione: richiede di inizializzare anche il valore di partenza (0 o 1 per i semafori binari)
  - wait (o anche P): testa il valore del semaforo, si blocca se il valore ≤ 0, oppure decrementa il valore del semaforo una volta che risulta > 0

```
while (semaphore_value <= 0)
  ; /* wait, ovvero blocca il processo */
semaphore_value--;
```

E' necessario che il test del valore del semaforo ed il successivo decremento siano fatti con operazioni atomiche rispetto agli altri processi che accedono al semaforo

Operazioni sui semafori (2)

- post (o anche V o Signal) : incrementa il valore del semaforo
  - Se un processo è in attesa che il valore del semaforo sia >0, allora tale processo può essere risvegliato
  - Anche in questo caso è richiesto che l'operazione di incremento sia atomica

Semaforo contatore

- Il concetto di semaforo contatore generalizza quello di semaforo binario
  - È un semaforo il cui valore varia tra 0 e qualche valore limite (almeno 32767 per i semafori Posix)
  - Si utilizzano per contare le istanze disponibili di una qualche risorsa. Il valore indica il numero di risorse disponibili
  - Anche in questo caso, l'operazione wait aspetta che il valore del semaforo sia maggiore di 0 e poi decrementa tale valore
    - L'operazione post incrementa il valore del semaforo e risveglia un processo in attesa che il valore del semaforo sia > 0

Semaforo binario e mutua esclusione

- Un semaforo binario può essere usato per la mutua esclusione come un mutex:

```
inizializza il mutex;

pthread_mutex_lock(&mutex);
    regione critica;
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

```
inizializza il semaforo a 1;

sem_wait(&sem);
   regione critica;
sem_post(&sem);
```

- Inizializziamo il semaforo ad 1. La chiamata a sem_wait() attende che il valore sia >0 e poi decrementa il valore
- La chiamata sem_post() incrementa il valore (da 0 a 1) e risveglia un thread o processo bloccato da una sem_wait() sullo stesso semaforo

Semaforo binario e mutua esclusione

- Osservazione: sebbene possa essere usato come un mutex, un semaforo ha una caratteristica non disponibile con i mutex
  - un mutex deve sempre essere sbloccato dal thread che lo ha bloccato
    - Un'operazione post su di un semaforo non deve essere necessariamente effettuata dallo stesso thread che ha effettuato una wait sul semaforo
- Mostriamo questo punto considerando un versione semplificata del problema del produttore e del consumatore (con buffer condiviso che, per semplicità, assumiamo contenga un solo elemento) usando due semafori binari

Esempio

Produttore

```
inizializza semaforo get a 0;
inizializza semaforo put a 1;

for( ; ; ) {
   sem_wait(&put);
   inserimento dati nel buffer;
   sem_post(&get);
}
```

Consumatore

```
for( ; ; ) {
   sem_wait(&get);
   elabora dati dal buffer;
   sem_post(&put);
}
```

- Il semaforo put controlla se il produttore può porre un elemento nel buffer condiviso
- Il semaforo get controlla se il consumatore può rimuovere un elemento dal buffer condiviso

Esempio (cont.)

- I passi che si possono verificare in esecuzione sono:
  1. Il produttore inizializza il buffer e i due semafori
  2. Assumiamo, poi, che venga eseguito il consumatore. Esso si blocca nella sua chiamata a sem_wait() poiché il valore di get è 0
  3. Dopo qualche istante, inizia il produttore. Quando chiama sem_wait(), il valore di put è decrementato da 1 a 0, e il produttore pone un elemento nel buffer
     - Poi invoca una sem_post() per incrementare il valore di get da 0 a 1. Poiché c'è un thread bloccato sul semaforo get, in attesa che il valore divenga positivo, il thread è marcato come pronto per l'esecuzione
     - Assumiamo che il produttore continui l'esecuzione. Allora il produttore si blocca nella sua chiamata a sem_wait() in cima al ciclo for, perché il valore di put è 0. Il produttore deve attendere fino a che il consumatore svuoti il buffer

Esempio (cont.)

4. Il consumatore ritorna dalla sua chiamata a sem_wait(), il che decrementa il valore del semaforo get da 1 a 0. Elabora l'elemento nel buffer e chiama sem_post() che incrementa il valore di put ad 0 a 1. Poiché un thread è bloccato su questo semaforo (il produttore), in attesa che il valore sia >0, il thread viene marcato come pronto per l'esecuzione. Ma assumiamo che il consumatore continui l'esecuzione. Il consumatore si blocca nella sua chiamata a sem_wait(), in cima al ciclo for, poiché il valore di get è 0
5. Il produttore ritorna dalla sua chiamata a sem_wait(), pone un elemento nel buffer e lo schema si ripete

Esempio (cont.)

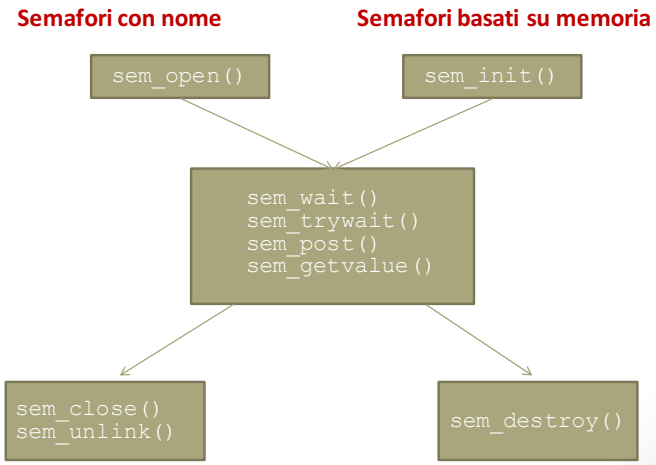
- Abbiamo assunto che ogni volta che è chiamata sem_post(), anche se un processo era in attesa e marcato come pronto per l'esecuzione, il chiamante continua l'esecuzione
  - Se il chiamante continua l'esecuzione o se il thread appena divenuto pronto viene eseguito non importa ai fini della sincronizzazione

Differenze tra meccanismi di sincronizzazione

- Possiamo elencare tre differenze tra i **semafori**, i **mutex** e le **variabili condizione**:
  1. Un mutex deve sempre essere sbloccato dal thread che lo ha bloccato, mentre un'operazione post su di un semaforo non deve essere necessariamente effettuata dallo stesso thread che ha invocato l'operazione wait sul semaforo
  2. Un mutex può essere nello stato bloccato o sbloccato (uno stato binario simile al semaforo binario)
  3. Poiché un semaforo ha uno stato associato con esso (il contatore), un'operazione post viene sempre ricordata
     - Quando una variabile condizione è segnalata, se nessun thread è in attesa per essa, il segnale viene perso

Funzioni per i semafori Posix

- Posix fornisce due tipi di semafori: con *nome* e *basati su memoria*



Semafori Posix basati su nome

Creazione di un semaforo

```
#include <semaphore.h>
 sem_t *sem_open(const char *name, int oflag, mode_t
                                          mode, int value);
/* Restituisce un puntatore al semaforo se OK, SEM_FAILED in caso
   di errore */
```

- La funzione sem_open() crea un nuovo semaforo con nome o apre un semaforo esistente. Un semaforo con nome può sempre essere usato per sincronizzare sia i thread che i processi
- Il primo argomento è un nome di **IPC Posix** che può essere o meno un pathname reale nel filesystem
- L'argomento *oflag* può essere 0, O_CREAT oppure O_CREAT|O_EXCL
  - Se è specificato O_CREAT, sono richiesti il terzo (bit di permesso) ed il quarto (valore iniziale del semaforo) argomento
  - Il valore iniziale non può superare SEM_VALUE_MAX (in limits.h) che deve essere almeno 32767. I semafori binari hanno solitamente un valore iniziale di 1 mentre i semafori contatore hanno un valore iniziale maggiore di 1

Creazione di un semaforo

- Se è specificato O_CREAT (senza O_EXCL), il semaforo è inizializzato solo se non esiste già. Specificare O_CREAT su un semaforo esistente non è un errore. Specificare O_CREAT|O_EXCL su un semaforo esistente è un errore
- Il valore di ritorno è un puntatore al tipo sem_t
- Il puntatore è utilizzato come argomento alle altre funzioni `sem_close()`, `sem_wait()`, `sem_trywait()`, `sem_post()` e `sem_getvalue()`

Chiusura di un semaforo

```
#include <semaphore.h>
int sem_close(sem_t *sem);
    /* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- Un semaforo aperto con sem_open() è chiuso con sem_close()
- Questa operazione si verifica automaticamente anche quando viene terminato (volontariamente o involontariamente) un processo per qualsiasi semaforo con nome aperto
- La chiusura di un semaforo non lo rimuove dal sistema. I nomi di semafori Posix sono **persistenti almeno a livello kernel**: mantengono il proprio valore anche se nessun processo ha il semaforo aperto

Persistenza degli oggetti di IPC

- La persistenza di un oggetto di un qualsiasi tipo di IPC è definita come la quantità di tempo in cui l'oggetto di quel tipo esiste
  - Persistenza di processo: l'oggetto esiste fino a che l'ultimo processo che mantiene l'oggetto aperto lo chiude (*pipe e FIFO*)
  - Persistenza a livello kernel: l'oggetto esiste fino al reboot o fino a che l'oggetto è cancellato esplicitamente (*semafori SV*). I semafori Posix e la memoria condivisa Posix devono essere persistenti almeno al livello kernel, ma possono anche essere persistenti a livello di file system, a seconda dell'implementazione
  - Persistenza a livello di file system: l'oggetto esiste fino a che esso è esplicitamente cancellato. L'oggetto mantiene il proprio valore anche se il kernel effettua un reboot (*semafori e memoria condivisa Posix* possono avere tale proprietà)

Rimozione di un semaforo

- Un semaforo con nome è rimosso dal sistema con la funzione sem_unlink()

```
#include <semaphore.h>
int sem_unlink(const char *name);
 /* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- I semafori hanno un contatore di riferimento che tiene traccia di quante volte sono aperti correntemente
  - Il nome del semaforo può essere rimosso dal filesystem mentre il suo contatore è maggiore di zero
  - La sua rimozione effettiva, però, non avviene fino a che non si verifica l'ultima sem_close()

sem_wait e sem_trywait

```
#include <semaphore.h>
int sem_wait(sem_t *sem);
int sem_trywait(sem_t *sem);
  /* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- La funzione sem_wait() testa il valore del semaforo specificato, e se il valore è maggiore di 0, il valore è decrementato e la funzione ritorna immediatamente
- Se il valore è 0 quando la funzione è invocata, il thread chiamante è messo in attesa (sleep) fino a che il valore del semaforo diventa maggiore di 0, momento in cui il valore sarà decrementato e la funzione ritorna
- Le operazioni "testa e decrementa" devono essere atomiche rispetto agli altri thread che accedono al semaforo
- La differenza tra sem_wait() e sem_trywait() è che la seconda non pone il thread in attesa nel caso in cui il valore del semaforo sia 0. Invece, viene restituito l'errore EAGAIN
- sem_wait() può ritornare prima se interrotta da un segnale (errore EINTR)

sem_post e sem_getvalue

```
#include <semaphore.h>
int sem_post(sem_t *sem);
int sem_getvalue(sem_t *sem,int *valp);
    /* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- sem_post() incrementa il valore del semaforo di 1 e risveglia qualsiasi thread in attesa che il suo valore diventi positivo
- sem_getvalue() restituisce il valore corrente del semaforo nell'intero puntato da *valp*. Se il semaforo è bloccato, **Posix.1-2001** indica due possibilità:
  - il valore restituito è 0 (soluzione adottata da Linux e OpenSolaris)
  - o un numero negativo il cui valore assoluto è il numero di thread in attesa che il semaforo sia sbloccato

Esempio

- Vediamo qualche esempio di programmi che operano sui semafori Posix con nome
- Poiché i semafori Posix hanno almeno persistenza a livello del kernel li possiamo usare attraverso programmi multipli
- Il programma che segue (*semcreate*) crea un semaforo e consente di specificare due opzioni: *-e* per specificare una creazione esclusiva e *-i* per specificare un valore iniziale (diverso da 1, quello di default)

semcreate

```
#define FILE_MODE S_IRUSR|S_IWUSR      ...
int main(int argc, char **argv)
{ int          c, flags;
  sem_t        *sem;
  unsigned int value;
  flags = O_CREAT;
  value = 1;
  while ( (c = getopt(argc, argv, "ei:")) != -1) {
       switch (c) {
       case 'e':
               flags |= O_EXCL;
               break;
       case 'i':
               value = atoi(optarg);
               break;
       }
  }
  if (optind != argc-1){
    fprintf(stderr,"usage: semcreate [-e] [-i initialvalue] <name>");
    exit(-1);}
  sem = sem_open(argv[optind], flags, FILE_MODE, value);
  sem_close(sem);
  exit(0);
}
```


Funzione getopt

```
#include <unistd.h>

int getopt(int argc, char *const argv[], const
char *optstring);
extern char *optarg;
extern int optind;
```

- La funzione getopt effettua il parsing incrementale degli argomenti da riga di comando (argv) e restituisce il carattere d'opzione noto successivo
- L'opzione è nota se è stata specificata nella stringa dei caratteri d'opzione accettati, **optstring**
  - In *optstring*, se un carattere è seguito dai due punti (:), l'opzione richiede un argomento
- La variabile *optind* è l'indice del successivo elemento di *argv*[] da elaborare
  - Inizializzato ad 1 dal sistema ed aggiornato da *getopt*()

Funzione getopt (cont.)

- La funzione *getopt*() restituisce il prossimo carattere d'opzione (se trovato) da *argv* che corrisponde ad un carattere in *optstring*
- Se l'opzione richiede un argomento, *getopt*() imposterà *optarg* in modo da puntare all'argomento opzione

semcreate

- Dal momento che si usa sempre O_CREAT dobbiamo invocare sem_open() con quattro argomenti
  - I due argomenti finali, però, sono usati da sem_open() solo se il semaforo non esiste già

semunlink

```
#include    …

int main(int argc, char **argv)
{
  if (argc != 2){
      fprintf(stderr,"usage: semunlink <name>");
      exit(-1);
  }

  sem_unlink(argv[1]);

  exit(0);
}
```


semgetvalue

```
#include      …
int
main(int argc, char **argv)
{
  sem_t       *sem;
  int         val;

  if (argc != 2) ){
       fprintf(stderr,"usage: semgetvalue <name>");
       exit(-1);
  }
  sem = sem_open(argv[1], 0);
  sem_getvalue(sem, &val);
  printf("value = %d\n", val);

  exit(0);
}
```

semgetvalue

- Apre un semaforo, preleva il suo valore corrente ed infine ne stampa il valore
- Quando si sta per aprire un semaforo che esiste già, il secondo argomento di sem_open() è 0: non viene specificato O_CREAT

semwait

```
#include      …

int
main(int argc, char **argv)
{
  sem_t       *sem;
  int         val;

  if (argc != 2){
       fprintf(stderr,"usage: semwait <name>");
       exit(-1);}
  sem = sem_open(argv[1], 0);
  sem_wait(sem);
  sem_getvalue(sem, &val);
  printf("pid %ld has semaphore, value = %d\n", (long)
  getpid(), val);

  pause(); /* bloccato fino a terminazione da utente */
  exit(0);
}
```


semwait

- Apre un semaforo
- Chiama sem_wait() (che si bloccherà se il valore corrente del semaforo è minore o uguale di 0 e dopo decrementa il valore del semaforo)
- Preleva e stampa il valore del semaforo e poi si blocca per sempre chiamando una pause()

sempost

```
#include      …

int
main(int argc, char **argv)
{
  sem_t       *sem;
  int         val;

  if (argc != 2){
       fprintf(stderr,"usage: sempost <name>");
       exit(-1);
  }
  sem = sem_open(argv[1], 0);
  sem_post(sem);
  sem_getvalue(sem, &val);
  printf("value = %d\n", val);

  exit(0);
}
```

sempost

- Invia un post ad un semaforo (ne incrementa il valore di 1) e successivamente preleva e stampa il valore del semaforo

Semafori Posix sotto Linux e OpenSolaris

- I semafori Posix non sono disponibili in tutti i sistemi
- Per compilare un sorgente che usa semafori Posix è necessario includere la libreria real-time *librt* o *libpthread*
  - gcc nomefile.c –lrt
- Il nome del semaforo è specificato con */nomesemaforo*
  - Linux
    - Il nome è creato nel file system e montato in /dev/shm con il nome *sem.nomesemaforo*
  - OpenSolaris
    - Il nome è creato nel file system e montato in /tmp con il nome *.SEMDnomesemaforo*

Esempio di esecuzione su Linux e OpenSolaris

```
$ semcreate /test1
```
- Linux: creato *sem.test1* in */dev/shm*
- OpenSolaris: creato *.SEMDtest1* in */tmp*

```
$ semgetvalue /test1
value = 1
```
- Il kernel non effettua un post ad un semaforo in modo automatico quando il processo che mantiene il semaforo occupato termina senza rilasciarlo:

```
$ semwait /test1
Pid 4133 has semaphore, value = 0
^?
$ semgetvalue /test1
value = 0
```


Esempio di esecuzione su Linux

```
$ semgetvalue /test1
value = 0                          ancora 0 dall'esempio di prima
$ semwait /test1 &                 parte in bckgrn e si blocca
[1] 4257
$ semgetvalue /test1
value = 0                          non usa valori negativi
$ semwait /test1 &                  un altro processo in bckgrn che si blocca
[2] 4263
$ semgetvalue /test1               due processi in attesa, ma il valore resta 0
value = 0
$ sempost /test1
pid 4257 has semaphore, value =0   output del programma semwait
value = 0
$ sempost /test1
pid 4263 has semaphore, value = 0  output del programma semwait
value = 0
$
```

Esempio di esecuzione su Digital Unix

- Verifichiamo una diversa implementazione rispetto a Linux e OpenSolaris
- Creiamo un semaforo con nome e ne stampiamo il suo valore di default

```
$ semcreate /tmp/test2
$ ls -l /tmp/test2
-rw-r- -r--  1  username groupname /tmp/test2
$ semgetvalue /temp/test2
value = 1
```

- Il sistema crea un file nel filesystem che corrisponde al nome che abbiamo specificato per il semaforo

Esempio di esecuzione

- Aspettiamo il semaforo e terminiamo (abort) il programma che mantiene il semaforo bloccato

```
$ semwait /temp/test2
Pid 9702 has semaphore, value = 0
^?
$ semgetvalue /tmp/test2
value = 0
```

- Questo esempio mostra due caratteristiche menzionate in precedenza
  1. Il valore di un semaforo è persistente nel kernel, ovvero il valore 1 è mantenuto dal kernel da quando il semaforo è stato creato, anche se nessun programma ha il semaforo aperto in quel momento
  2. Quando terminiamo *semwait* che mantiene il semaforo bloccato, il valore del semaforo non cambia. Cioè, il semaforo non è sbloccato dal kernel quando il processo che mantiene il blocco termina senza sbloccare

Esempio di esecuzione

- Mostriamo che questa implementazione usa valori negativi del contatore per indicare il numero di processi in attesa che il semaforo si sblocchi

```
$ semgetvalue /tmp/test2
value = 0                 ancora 0 dall'esempio di prima
$ semwait /tmp/test2 &    parte in bckgrn e si blocca
[1] 9718
$ semgetvalue /tmp/test2
value = -1                un processo in attesa
$ semwait /tmp/test2 &    un altro processo in bckgrn
                          che si blocca
[2] 9727
$ semgetvalue /tmp/test2  due processi in attesa
value = -2
```


Esempio di esecuzione

```
$ sempost /tmp/test2
value = -1
pid 9718 has the semaphore, value = -1
$ sempost /tmp/test2
value = 0
pid 9727 has semaphore, value = 0
```

- Quando il valore è -2 ed eseguiamo sempost, il valore è incrementato a -1 ed uno dei processi bloccati nella chiamata a sem_wait() ritorna

Il problema produttore-consumatore

- Introducendo mutex e variabili di condizione, abbiamo visto alcune soluzioni possibili per sincronizzare l'attività di n thread produttori che inserivano elementi in un buffer condiviso ed elaborati da un singolo thread consumatore
  1. Nella prima soluzione, il consumatore era avviato solo dopo che gli n produttori avevano completato il loro compito. Il problema si risolveva con un unico mutex
  2. Nella soluzione successiva, il consumatore era avviato prima che gli n produttori finissero il loro compito. Ciò ha richiesto un mutex per sincronizzare i produttori ed una variabile di condizione (con relativo mutex) per sincronizzare il consumatore con i produttori

Problema Produttore-Consumatore

- Estendiamo il problema del produttore e del consumatore visto per i mutex e le variabili condizione usando un buffer condiviso circolare:
  - Dopo che il produttore ha riempito l'ultima entrata (buff[NBUFF-1]), ritorna indietro e riempie la prima entrata (buff[0]). Il consumatore fa lo stesso
  - Ciò aggiunge un ulteriore problema di sincronizzazione poiché il produttore non deve superare il consumatore
  - Assumiamo che produttore e consumatore siano thread (possono essere anche processi)

Problema Produttore-Consumatore

- Tre condizioni devono essere rispettate quando il buffer è circolare:
  1. Il consumatore non può cercare di rimuovere un elemento dal buffer quando il buffer è vuoto
  2. Il produttore non può provare a inserire un elemento quando il buffer è pieno
  3. Le variabili condivise possono descrivere lo stato del buffer (indici, contatori …), per cui tutti gli accessi al buffer del produttore e del consumatore devono essere protetti per evitare race condition

Problema Produttore-Consumatore

- La soluzione adotta tre tipi differenti di semafori:
  1. Un semaforo binario chiamato *mutex* protegge le regioni critiche: l'inserimento di un elemento nel buffer (produttore) e la rimozione di un elemento dal buffer (consumatore). Il semaforo binario usato come *mutex* è inizializzato a 1
  2. Un semaforo contatore chiamato *nempty* conta il numero di posti vuoti nel buffer. Questo semaforo è inizializzato al numero di locazioni del buffer (NBUFF)
  3. Un semaforo contatore *nstored* conta il numero di locazioni occupate del buffer. Questo semaforo è inizializzato a 0, poiché all'inizio il buffer è vuoto

Problema Produttore-Consumatore

- In questo esempio, il produttore memorizza gli interi tra **0** e **nitems** nel buffer (buff[0]=0, buff[1]=1, …), usando il buffer come buffer circolare
- Il consumatore prende gli interi dal buffer e verifica che essi siano corretti, stampando eventuali errori sullo standard output

Variabili globali

```
#include    …

#define     NBUFF        10
#define     SEM_MUTEX    "/mutex"
#define     SEM_NEMPTY   "/nempty"
#define     SEM_NSTORED  "/nstored"

int   nitems;/* sola lettura per prod. e  cons.*/
struct {    /* dati condivisi da prod. e cons. */
  int buff[NBUFF];
  sem_t     *mutex, *nempty, *nstored;
} shared;

void  *produce(void *), *consume(void *);
```


Variabili globali

- Il buffer contenente NBUFF elementi è condiviso dai due thread così come i puntatori ai semafori
- Raggruppiamo questi elementi in una struttura per evidenziare che i semafori sono usati per sincronizzare l'accesso al buffer

main

```
int
main(int argc, char **argv)
{
  pthread_t    tid_produce, tid_consume;
  if (argc != 2)
       {printf("usage: prodcons1 <#items>");exit(-1);}
  nitems = atoi(argv[1]);
       /* crea i tre semafori */
  shared.mutex = sem_open(SEM_MUTEX, O_CREAT | O_EXCL,FILE_MODE, 1);
  shared.nempty = sem_open(SEM_NEMPTY, O_CREAT | O_EXCL,FILE_MODE,
  NBUFF);
  shared.nstored = sem_open(SEM_NSTORED, O_CREAT | O_EXCL,
  FILE_MODE, 0);
       /* crea un thread produttore ed un thread consumatore */
   pthread_create(&tid_produce, NULL, produce, NULL);
   pthread_create(&tid_consume, NULL, consume, NULL);
       /* attende i due thread */
   pthread_join(tid_produce, NULL);
   pthread_join(tid_consume, NULL);
       /* rimuove i semafori */
  sem_unlink(SEM_MUTEX); sem_unlink(SEM_NEMPTY);
  sem_unlink(SEM_NSTORED);     exit(0);
}
```

main

- Sono creati tre semafori
- Ci assicuriamo che i semafori siano correttamente inizializzati usando il flag O_EXCL (che restituisce un errore se il semaforo già esiste)
- Creiamo due thread senza passare alcun argomento ad essi

Produttore

```
void *produce(void *arg)
{
  int         i;

  for (i = 0; i < nitems; i++) {
       sem_wait(shared.nempty);
/* attende almeno un posto vuoto */
       sem_wait(shared.mutex);
       shared.buff[i % NBUFF] = i;
/* memorizza i nel buffer circolare */
       sem_post(shared.mutex);
       sem_post(shared.nstored);
/* un altro elemento è disponibile */

  }
  return(NULL);
}
```


Produttore

- Il produttore chiama sem_wait() sul semaforo nempty per aspettare che ci sia spazio disponibile per un altro elemento nel buffer
  - La prima volta che è eseguita questa istruzione il valore del semaforo andrà da NBUFF a NBUFF-1
- Prima di memorizzare un nuovo elemento nel buffer, il produttore deve ottenere il semaforo *mutex*
  - Dopo aver memorizzato l'elemento nel buffer, il semaforo *mutex* è rilasciato (il valore va da 0 a 1), e viene fatto un post al semaforo *nstored*. La prima volta che è eseguita questa parte, il valore di nstored va da 0 a 1

Consumatore

```
void *consume(void *arg)
{
  int         i;

  for (i = 0; i < nitems; i++) {
       sem_wait(shared.nstored);
/* attende almeno un elemento */
       sem_wait(shared.mutex);
       if (shared.buff[i % NBUFF] != i)
        printf("buff[%d] = %d\n", i, shared.buff[i% NBUFF]);
       sem_post(shared.mutex);
       sem_post(shared.nempty); /* un altro posto libero */
  }
  return(NULL);
}
```

Consumatore

- Quando il valore del semaforo *nstored* è maggiore di 0, sono disponibili diversi valori da elaborare
- Il consumatore prende un elemento dal buffer e verifica che il valore sia corretto, proteggendo l'accesso al buffer con il semaforo *mutex*
- Il consumatore poi fa un post al semaforo *nempty* comunicando al produttore che c'è un altro posto vuoto

Deadlock

- Se scambiamo l'ordine delle due chiamate a sem_wait() nella funzione consume, assumendo che il produttore inizi per primo
  - esso memorizza NBUFF elementi nel buffer
  - decrementa il valore del semaforo nempty da NBUFF a 0 e incrementa il valore del semaforo nstored da 0 a NBUFF
  - A quel punto il produttore si blocca nella chiamata a `sem_wait(shared.nempty)` poiché il buffer è pieno e non ci sono locazioni libere per un altro elemento
- Il consumatore inizia e verifica i primi NBUFF elementi del buffer
  - Decrementa il valore del semaforo nstored da NBUFF a 0 e incrementa il valore del semaforo nempty da 0 a NBUFF
  - Il consumatore poi si blocca nella chiamata a `sem_wait(shared.nstored)` dopo aver chiamato `sem_wait(shared.mutex)`
- Il produttore può riprendere poiché il valore di nempty è maggiore di 0, ma il produttore poi chiama `sem_wait(shared.mutex)` e si blocca
- Abbiamo così un *deadlock*: il produttore aspetta il semaforo mutex, ma il consumatore occupa questo semaforo ed aspetta il semaforo nstored. Ma il produttore non può fare un post al semaforo nstored fino a che non ottiene il semaforo mutex

Semafori Posix basati su memoria

sem_init e sem_destroy

- Fin qui abbiamo considerato i semafori con nome
  - Identificati da un nome che referenzia un file nel filesystem
- Posix fornisce anche i semafori basati su memoria in cui l'applicazione alloca la memoria per il semaforo che successivamente il sistema provvede ad inizializzare

sem_init e sem_destroy

```
#include<semaphore.h>
int sem_init(sem_t *sem, int shared, unsigned int value);
int sem_destroy(sem_t *sem);
```

- Un semaforo basato su memoria è inizializzato con sem_init() L'argomento *sem* punta ad una variabile sem_t che l'applicazione deve allocare
  - Se *shared* è 0, allora il semaforo è condiviso tra i thread del processo, altrimenti il semaforo è condiviso tra processi
  - Quando *shared* è diverso da 0, il semaforo deve essere memorizzato in qualche tipo di memoria condivisa che è accessibile a tutti i processi che useranno il semaforo
  - *value* è il valore iniziale del semaforo
- Una volta finito, il semaforo è deallocato con sem_destroy()

Esempio: produttore-consumatore

- Come esempio di uso di semafori basati su memoria, consideriamo il problema Produttore - Consumatore con più produttori ed un consumatore

Globali

```
#include     …

#define      NBUFF          10
#define      MAXNTHREADS    100

int   nitems, nproducers;
/* sola lettura per produttori e consumatore */

struct {   /* dati condivisi tra prods. e cons. */
  int buff[NBUFF];
  int nput;
  int nputval;
  sem_t mutex, nempty, nstored; // semafori non puntatori
} shared;

void  *produce(void *), *consume(void *);
```


Globali

- nitems è il numero totale di elementi da produrre per tutti i produttori e nproducers è il numero di thread produttori. Entrambi sono impostati da linea di comando
- Ci sono due nuove variabili nella struttura share: nput, l'indice della prossima entrata del buffer in cui memorizzare (modulo NBUFF) e nputval, il prossimo valore da memorizzare nel buffer. Queste variabili servono per sincronizzare i thread produttori multipli

main ...

```
int
main(int argc, char **argv)
{
  int          i, count[MAXNTHREADS];
  pthread_t    tid_produce[MAXNTHREADS], tid_consume;

  if (argc != 3)
       {printf("usage: prodcons3 <#items>
  <#producers>");exit(-1);}
  nitems = atoi(argv[1]);
  nproducers = MIN(atoi(argv[2]), MAXNTHREADS);
       /* inizializza tre semafori */
  sem_init(&shared.mutex, 0, 1);
  sem_init(&shared.nempty, 0, NBUFF);
  sem_init(&shared.nstored, 0, 0);
       /* crea tutti i produttori ed un consumatore */
  for (i = 0; i < nproducers; i++) {
       count[i] = 0;
       pthread_create(&tid_produce[i], NULL, produce,
  &count[i]);
  }
  pthread_create(&tid_consume, NULL, consume, NULL);
```


... main

```
/* aspetta tutti i produttori ed il consumatore*/
  for (i = 0; i < nproducers; i++) {
       pthread_join(tid_produce[i], NULL);
       printf("count[%d] = %d\n", i, count[i]);
  }
  pthread_join(tid_consume, NULL);

  sem_destroy(&shared.mutex);
  sem_destroy(&shared.nempty);
  sem_destroy(&shared.nstored);
  exit(0);
}
```


main

- Gli argomenti da linea di comando specificano il numero di elementi da memorizzare nel buffer ed il numero di thread produttori da creare
- Inizializzati i semafori, sono creati tutti i thread produttori ed il thread consumatore
- Aspettiamo poi che tutti i thread terminino

Produttori

```
void *produce(void *arg)
{
  for ( ; ; ) {
       sem_wait(&shared.nempty);
  /* aspetta almeno una locazione libera */
       sem_wait(&shared.mutex);

       if (shared.nput >= nitems) {
              sem_post(&shared.nempty);
              sem_post(&shared.mutex);
              return(NULL);          /* tutto prodotto */
       }

       shared.buff[shared.nput % NBUFF] = shared.nputval;
       shared.nput++;
       shared.nputval++;

       sem_post(&shared.mutex);
       sem_post(&shared.nstored);
/* un altro elemento memorizzato */
       *((int *) arg) += 1;
  }
}
```

Produttori

- Il ciclo termina quando gli nitem valori sono stati posti nel buffer da tutti i thread
- Osserviamo che i produttori multipli possono acquisire il semaforo nempty allo stesso tempo, ma solo un produttore può acquisire il semaforo mutex per proteggere le variabili nput e nputval

Consumatore

```
void *consume(void *arg)
{
  int        i;
  for (i = 0; i < nitems; i++) {
   sem_wait(&shared.nstored);
/* attende almeno un elemento memorizzato */
   sem_wait(&shared.mutex);

   if (shared.buff[i % NBUFF] != i)
    printf("error:buff[%d]=%d\n",i,shared.buff[i% NBUFF]);
   sem_post(&shared.mutex);
   sem_post(&shared.nempty);
/* un altro posto libero */
  }
  return(NULL);
}
```


Consumatore

- Verifica che ciascuna entrata del buffer sia corretta, mentre stampa un messaggio in caso contrario

Condivisione di semafori tra processi

- Le regole per condividere semafori basati su memoria sono semplici: il semaforo stesso (il tipo sem_t) risiede in un'area di memoria che deve essere condivisa da tutti i processi che vogliono condividere il semaforo, ed il secondo argomento di sem_init() deve essere 1
- Per i semafori con nome, processi differenti possono sempre far riferimento allo stesso semaforo facendo si che ogni chiamata a sem_open() specifichi lo stesso nome

Condivisione di semafori tra Processi

- I semafori basati su memoria hanno persistenza di processo, ma la reale persistenza dipende dal tipo di memoria in cui il semaforo è memorizzato
  - Il semaforo esiste fin quando la memoria che lo contiene è valida
    - Se il semaforo di memoria è condiviso tra thread di un processo singolo (l'argomento *shared* di sem_init() è 0), allora il semaforo ha persistenza di processo e scompare quando il processo termina
    - Se invece è condiviso tra processi differenti (*shared* vale 1 in sem_init()), allora il semaforo deve essere memorizzato in memoria condivisa e resta disponibile fino a che la porzione di memoria condivisa rimane disponibile

Condivisione di semafori tra Processi

- Poniamo l'accento sul fatto che il seguente codice non può funzionare:

```
sem_t mysem;
 sem_init(&mysem,1,0);
 if (fork()==0){
     …
     sem_post(&mysem);
}
sem_wait(&mysem);
```

- Il semaforo *mysem*, infatti, non è in memoria condivisa. La memoria non è condivisa tra padre e figlio attraverso una fork. Il figlio inizia con una copia della memoria del padre, ma questo è diverso dal condividere la memoria

Un altro (semplice) esempio

- I semafori possono essere usati per risolvere diversi problemi di sincronizzazione
- Si considerino, per esempio, due processi in esecuzione concorrente:
  - *P1* esegue un'istruzione *S1* e *P2* esegue un'istruzione *S2*
  - Si supponga di voler eseguire *S2* solo dopo che *S1* è terminata (indipendentemente dallo scheduling dei due processi)
- Questo schema si può realizzare facendo condividere a *P1* e *P2* un semaforo comune, *sincronizzazione*, inizializzato a 0

Un altro (semplice) esempio

- Nel processo *P1* si inseriscono le istruzioni

```
…
S1;
sem_post(sincronizzazione);
```

- E nel processo *P2* le istruzioni:

```
…
sem_wait(sincronizzazione);
S2;
```

```
#include …
int main(int arg, char **argv){
  sem_t *sincronizzazione;
  int pid;
  sincronizzazione = sem_open("/test",O_CREAT,0666,0);
  pid = fork();
  if (pid==0){
       sem_wait(sincronizzazione);
       printf("di Sistemi Operativi\n");  /* Istruzione S2*/
       exit(0);
  }
  else {
       printf("Laboratorio ");        /* Istruzione S1 */
       sem_post(sincronizzazione);
       fflush(NULL);
       wait(NULL);
       sem_unlink("/test");
       exit(0);
       }
}
```


Esercizio

- Realizzare un programma C e Posix sotto Linux che con l'uso dei semafori Posix sincronizzi un processo padre ed un processo figlio che scrivono e leggono, rispettivamente, un numero intero alla volta (da 1 a n, dove n è passato da riga di comando) nella prima posizione di un file temporaneo opportunamente creato