di.unito.it

DIPARTIMENTO
DI INFORMATICA

laboratorio di sistemi operativi

semafori

Marco Botta
Materiale preparato da Daniele Radicioni

argomenti del laboratorio UNIX

- introduzione a UNIX;
- integrazione C: operatori bitwise, precedenze, preprocessore, pacchettizzazione del codice, compilazione condizionale e utility make;
- controllo dei processi;
- segnali;
- pipe e fifo;
- code di messaggi;
- semafori;
- memoria condivisa;
- introduzione alla programmazione bash.

credits

- il materiale di queste lezioni è tratto:
  - dai lucidi del Prof. Gunetti degli anni scorsi;
  - Michael Kerrisk, The Linux Programming interface - a Linux and UNIX® System Programming Handbook, No Starch Press, San Francisco, CA, 2010;
  - W. Richard Stevens (Author), Stephen A. Rago, Advanced Programming in the UNIX® Environment (2nd Edition), Addison-Wesley, 2005;

introduzione: i semafori

a che servono

- diversamente dagli altri strumenti per IPC visti finora, i semafori non servono a trasferire dati fra processi.
  - sono utilizzati per permettere ai processi di sincronizzare le proprie azioni: per esempio permettono di sincronizzare l'accesso a un blocco di memoria condivisa, per impedire a un processo di accedere alla memoria condivisa mentre un altro processo la sta aggiornando

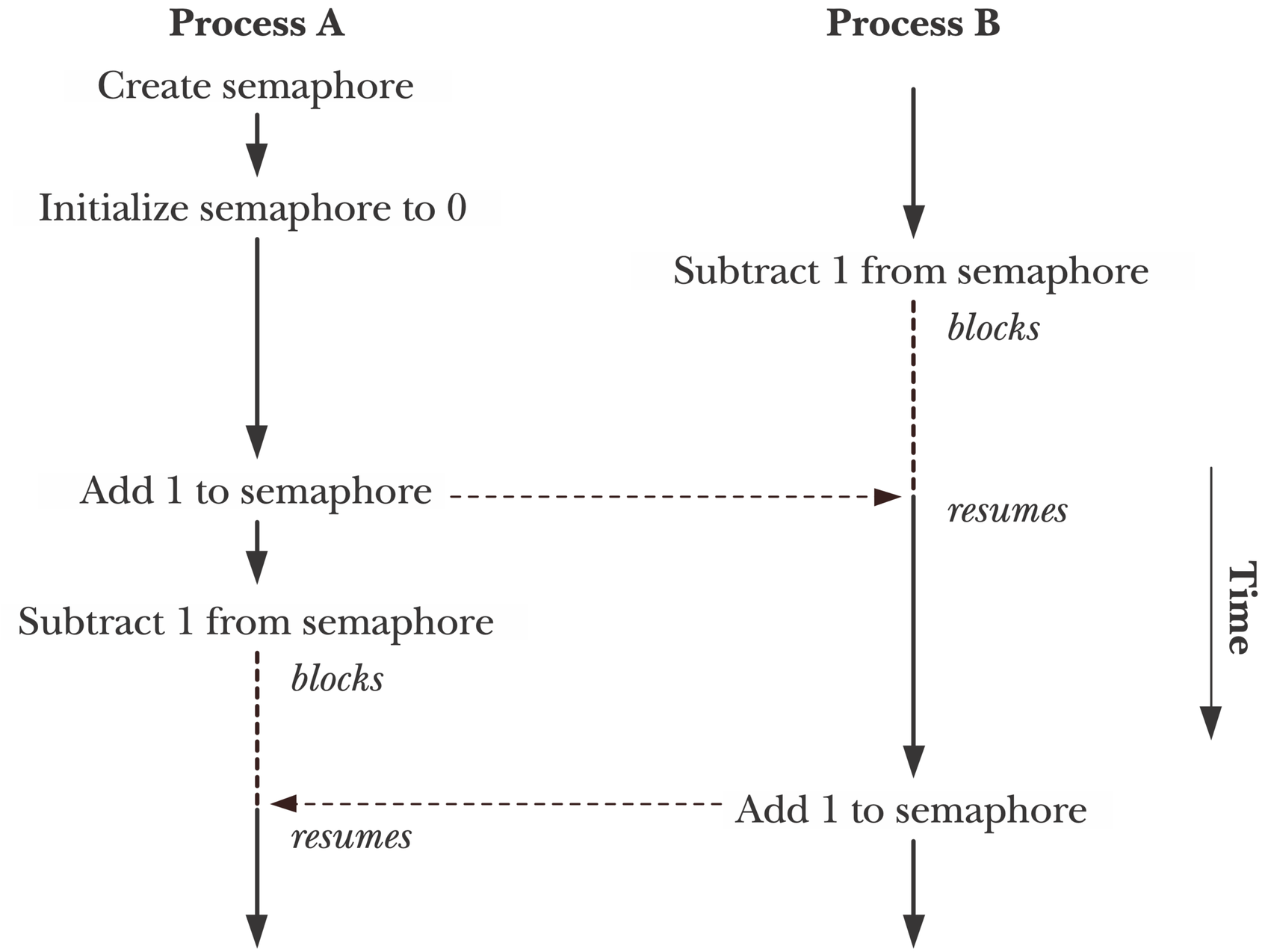
cos'è un semaforo

- un semaforo è un intero mantenuto dal kernel il cui valore è sempre ≥ 0.
  - è possibile effettuare varie operazioni su un semaforo, fra cui:
    1. impostare il semaforo ad un certo valore;
    2. aggiungere un numero al valore corrente del semaforo;
    3. sottrarre un numero dal valore corrente del semaforo; e
    4. attendere che il valore del semaforo sia 0.

cos'è un semaforo

- le ultime due operazioni (sottrarre un numero e attendere lo 0) possono causare il blocco del chiamante.
  - nel decrementare il valore del semaforo il kernel blocca qualsiasi tentativo di ridurlo sotto 0.
  - analogamente, l'attesa dello 0 blocca il chiamante se il semaforo non è attualmente a 0.
- in entrambi i casi, il chiamante resta bloccato finché qualche altro processo modifica il semaforo a un valore che consente all'operazione di procedere; a questo punto il kernel risveglia il processo bloccato.

Michael Kerrisk, *The Linux Programming interface - a Linux and UNIX® System Programming Handbook*, No Starch Press, San Francisco, CA, 2010.



utilizzo dei semafori

- i passi per utilizzare i semafori sono:
  - creazione o apertura di un set di semafori utilizzando la semget().
  - inizializzazione dei semafori presenti nel set, usando l'operazione SETVAL o SETALL della semctl().
  - esecuzione delle operazioni sui valori del semaforo, utilizzando semop().
    - i processi che utilizzano il semaforo tipicamente usano tali operazioni per indicare l'acquisizione e il rilascio di una risorsa condivisa.
  - quando tutti i processi hanno terminato di usare il set di semafori, rimozione del set per mezzo dell'operazione IPC_RMID della semctl().

set di semafori

- i semafori di System V sono resi complessi dal fatto di essere allocati in gruppi detti set di semafori.
  - il numero di semafori in un set è specificato al momento della creazione del set, per mezzo della system call semget().
  - molto spesso si utilizza un solo semaforo alla volta, ma la system call semop() consente di eseguire atomicamente un gruppo di operazioni su vari semafori in uno stesso set.

```
00  int main(int argc, char *argv[]) {
01    int semid;
02    if (argc == 2) { // ---------- creo e inizializzo un sem --------
03      union semun arg;
04  $ ./handle_sem 0
05  creato e inizializzato semaforo con ID = 371130369
06  $ ./handle_sem 371130369 -2 &
07
08  [1] 71130
09  about to semop at  2024-11-02__04:59:14.
10  $ ./handle_sem 371130369 +3
11  71136: about to semop at  2024-11-02__04:59:47.
12  71136: semop completed at 2024-11-02__04:59:47.
13  71130: semop completed at 2024-11-02__04:59:47.
14  [1]+ Done                ./handle_sem 371130369 -2
15  $
16
17  $
18      printf("%ld: about to semop at  %s\n",
19        (long) getpid(), get_curr_time());
20      if (semop(semid, &sop, 1) == -1)
21        ddErrExit("semop");
22      printf("%ld: semop completed at %s\n",
23        (long) getpid(), get_curr_time());
24    }
25    exit(EXIT_SUCCESS);}
```

```
00  int main(int argc, char *argv[]) {
01    int semid;
02    if (argc == 2) { // ----------- creo e inizializzo un sem --------
03      union semun arg;
04      semid = semget(IPC_PRIVATE, 1, S_IRUSR | S_IWUSR);
05      if (semid == -1) ddErrExit("semid");
06      arg.val = atoi(argv[1]);
07      if (semctl(semid, /* semnum= */ 0, SETVAL, arg) == -1)
08        ddErrExit("semctl");
09      printf("creato e inizializzato semaforo con ID = %d\n", semid);
10    } else { // -------- eseguo un'operazione sul primo semaforo -----
11      struct sembuf sop; // la struttura che definisce l'operazione
12      semid = atoi(argv[1]);
13      sop.sem_num = 0;  // specifica il primo semaforo nel set
14      sop.sem_op = atoi(argv[2]);
15                        // aggiungo, sottraggo o attendo 0
16      sop.sem_flg = 0;  // per ora NON settiamo flag per effettuare
17                        // operazioni speciali
18      printf("%ld: about to semop at  %s\n",
19        (long) getpid(), get_curr_time());
20      if (semop(semid, &sop, 1) == -1)
21        ddErrExit("semop");
22      printf("%ld: semop completed at %s\n",
23        (long) getpid(), get_curr_time());
24    }
25    exit(EXIT_SUCCESS);}
```

Creating or Opening a Semaphore Set

```
#include <sys/types.h>  /* For portability */
#include <sys/sem.h>

int semget(key_t key, int nsems, int semflg);

          Returns semaphore set identifier on success,
                                        or -1 on error
```

- l'argomento key è una chiave generata specificando un numero casuale, o usando il valore IPC_PRIVATE o una chiave restituita da ftok().
- se stiamo usando semget() per creare un nuovo set di semafori, allora nsems specifica il numero di semafori in quell'insieme, e deve essere maggiore di 0. se invece stiamo usando la semget() per ottenere l'identificatore di un set esistente, nsems deve essere minore o uguale alla dimensione del set (o si incorrerà nell'errore EINVAL).
- NB: non è possibile modificare il numero di semafori presenti in un dato set.

```
#include <sys/types.h>  /* For portability */
#include <sys/sem.h>

int semget(key_t key, int nsems, int semflg);

          Returns semaphore set identifier on success,
                                        or -1 on error
```

- l'argomento semflg è una maschera di bit che specifica i permessi da assegnare a un nuovo set di semafori o da verificare su un set esistente.

Constant	Octal value	Permission bit
S_ISUID	04000	Set-user-ID
S_ISGID	02000	Set-group-ID
S_ISVTX	01000	Sticky
S_IRUSR	0400	User-read
S_IWUSR	0200	User-write
S_IXUSR	0100	User-execute
S_IRGRP	040	Group-read
S_IWGRP	020	Group-write
S_IXGRP	010	Group-execute
S_IROTH	04	Other-read
S_IWOTH	02	Other-write
S_IXOTH	01	Other-execute

```
#include <sys/types.h>  /* For portability */
#include <sys/sem.h>

int semget(key_t key, int nsems, int semflg);

          Returns semaphore set identifier on success,
                                        or -1 on error
```

- zero o più dei seguenti flag possono essere messi in OR (|) nel semflg per controllare l'operazione semget():
  - IPC_CREAT. se non esiste un set di semafori con la chiave specificata, crea un nuovo set.
  - IPC_EXCL. se è stato specificato anche IPC_CREAT, e un set di semafori con la chiave specificata esiste già, restituisci un fallimento, con errore EEXIST.

Semaphore Control Operations

```
#include <sys/types.h>  /* For portability */
#include <sys/sem.h>

int semctl(int semid, int semnum,
           int cmd, ... /* union semun arg */);

                Returns nonnegative integer on success;
                                    returns -1 on error
```

- l'argomento semid è l'identificatore del set di semafori sul quale l'operazione viene eseguita.
- per le operazioni su un singolo semaforo l'argomento semnum identifica un semaforo all'interno del set. per le altre operazioni questo argomento è ignorato, e possiamo lasciarlo a 0.
- l'argomento cmd specifica l'operazione.

```
#include <sys/types.h>  /* For portability */
#include <sys/sem.h>

int semctl(int semid, int semnum,
           int cmd, ... /* union semun arg */);

            Returns nonnegative integer on success (see text);
                                          returns -1 on error
```

- alcune operazioni richiedono un quarto argomento di nome arg.
- si tratta di una union che deve essere esplicitamente definita nei nostri programmi (a meno che non sia già presente in <sys/types.h>, come in Mac OS X).

```
union semun {
  // value for SETVAL
  int val;
  // buffer for IPC_STAT, IPC_SET
  struct semid_ds* buf;
  // array for GETALL, SETALL
  unsigned short* array;
  // Linux specific part
#if defined(__linux__)
  // buffer for IPC_INFO
  struct seminfo* __buf;
#endif
};
```

Generic control operations

```
int semctl(int semid, int semnum,
           int cmd, ... /* union semun arg */);
```

- le seguenti operazioni (IPC_RMID, IPC_STAT, IPC_SET) sono le stesse applicabili agli altri tipi di oggetti IPC di System V.
  - IPC_RMID. rimuove immediatamente il set di semafori e l'associata struttura semid_ds. qualsiasi processo bloccato in chiamate semop() in attesa su semafori è immediatamente svegliato, e semop() riporta l'errore EIDRM.
  - l'argomento arg non è richiesto.

Generic control operations

```
int semctl(int semid, int semnum,
           int cmd, ... /* union semun arg */);
```

- IPC_STAT. copia la struttura semid_ds associata con il set di semafori nel buffer puntato da arg.buf.
- IPC_SET. aggiorna i membri della struttura semid_ds associata al set di semafori utilizzando i valori nel buffer puntato da arg.buf.

Retrieving and initializing semaphore values

```
int semctl(int semid, int semnum,
           int cmd, ... /* union semun arg */);
```

- le seguenti operazioni prelevano o inizializzano il valore (o i valori) di un singolo semaforo o di tutti i semafori del set.
  - la copia del valore di un semaforo richiede permessi in lettura sul semaforo, mentre l'inizializzazione del valore richiede permessi in scrittura.

- GETVAL. come risultato della chiamata, semctl() restituisce il valore del semaforo (numero) semnum nel set di semafori specificato da semid. l'argomento arg non è richiesto.
- SETVAL. il valore del semaforo semnum nel set riferito da semid è inizializzato al valore arg.val.

```
int semctl(int semid, int semnum,
  int cmd, ... /* union semun arg */);
```

```
union semun {
  int val;
  struct semid_ds* buf;
  unsigned short* array;
#if defined(__linux__)
  struct seminfo* __buf;
#endif
};
```

- le seguenti operazioni prelevano o inizializzano il valore (i valori) di un singolo semaforo o di tutti i semafori nel set.
  - GETALL. preleva i valori di tutti i semafori nel set riferito da semid, copiandoli nell'array puntato da arg.array. il programmatore deve garantire che l'array sia abbastanza capiente. semnum è ignorato.
  - SETALL. inizializza tutti i semafori del set riferito da semid, usando i valori forniti nell'array puntato da arg.array. semnum è ignorato.

Retrieving per-semaphore information

- le seguenti operazioni restituiscono (attraverso il valore restituito dalla funzione) informazioni sul semaforo numero semnum del set riferito da semid.
- per tutte queste operazioni, è richiesto il permesso in lettura sul set di semafori, e l'argomento arg non è richiesto.
  - GETPID. restituisce il PID dell'ultimo processo che ha eseguito una semop() su questo semaforo; questo è riferito come il valore sempid. se nessun processo ha ancora eseguito una semop() su questo semaforo, restituisce 0.
  - GETNCNT. restituisce il numero di processi attualmente in attesa di un incremento del valore del semaforo; questo è riferito come il valore semncnt.
  - GETZCNT. restituisce il numero di processi attualmente in attesa che il valore del semaforo divenga 0; questo è riferito come valore semzcnt.

```
struct semid_ds {
  /* Ownership and permissions */
  struct ipc_perm sem_perm;
  /* Last semop time */
  time_t          sem_otime;
  /* Last change time */
  time_t          sem_ctime;
  /* No. of semaphores in set */
  unsigned short  sem_nsems;
};
```

```
union semun {
  int val;
  struct semid_ds* buf;
  unsigned short* array;
#if defined(__linux__)
  struct seminfo* __buf;
#endif
};
```

- ogni set di semafori ha associata una struttura semid_ds data;
- i membri della struttura semid_ds sono implicitamente aggiornati da varie system call sul semaforo, e alcuni membri della struttura sem_perm possono essere aggiornati esplicitamente con l'operazione semctl() IPC_SET.

```
struct semid_ds {
  struct ipc_perm sem_perm; /* Ownership and permissions */
  time_t  sem_otime; /* Last semop time */
  time_t  sem_ctime; /* Last change time */
  unsigned short  sem_nsems; /* No. of semaphores in set */
};
```

- sem_perm. quando il set di semafori è creato, i membri di questa struttura sono inizializzati. i membri uid, gid, e mode possono essere aggiornati con l'operazione IPC_SET.
- sem_otime. questo membro è settato a 0 alla creazione del set di semafori, ed aggiornato all'ora corrente ad ogni semop() che va a buon fine, o quando il valore del semaforo è modificato in seguito a un'operazione SEM_UNDO.
- sem_ctime. questo membro è impostato all'ora corrente al momento della creazione del semaforo, e in seguito a ogni operazione IPC_SET, SETALL, o SETVAL.
- sem_nsems. membro inizializzato al momento della creazione del set di semafori: contiene il numero di semafori nel set.

esercizio

- programma per monitorare lo stato dei semafori: prende in input l'ID, e stampa quando è stato modificato, l'orario dell'ultima semop(), e poi crea una tabella (utilizzare le opzioni di formattazione per allineare i valori) in cui sono riportati:

- numero semaforo; valore; SEMPID, SEMNCNT e SEMZCNT.
  - GETNCNT. Return the number of processes currently waiting for the value of this semaphore to increase; this is referred to as the semncnt value.
  - GETZCNT. Return the number of processes currently waiting for the value of this semaphore to become 0; this is referred to as the semzcnt value.

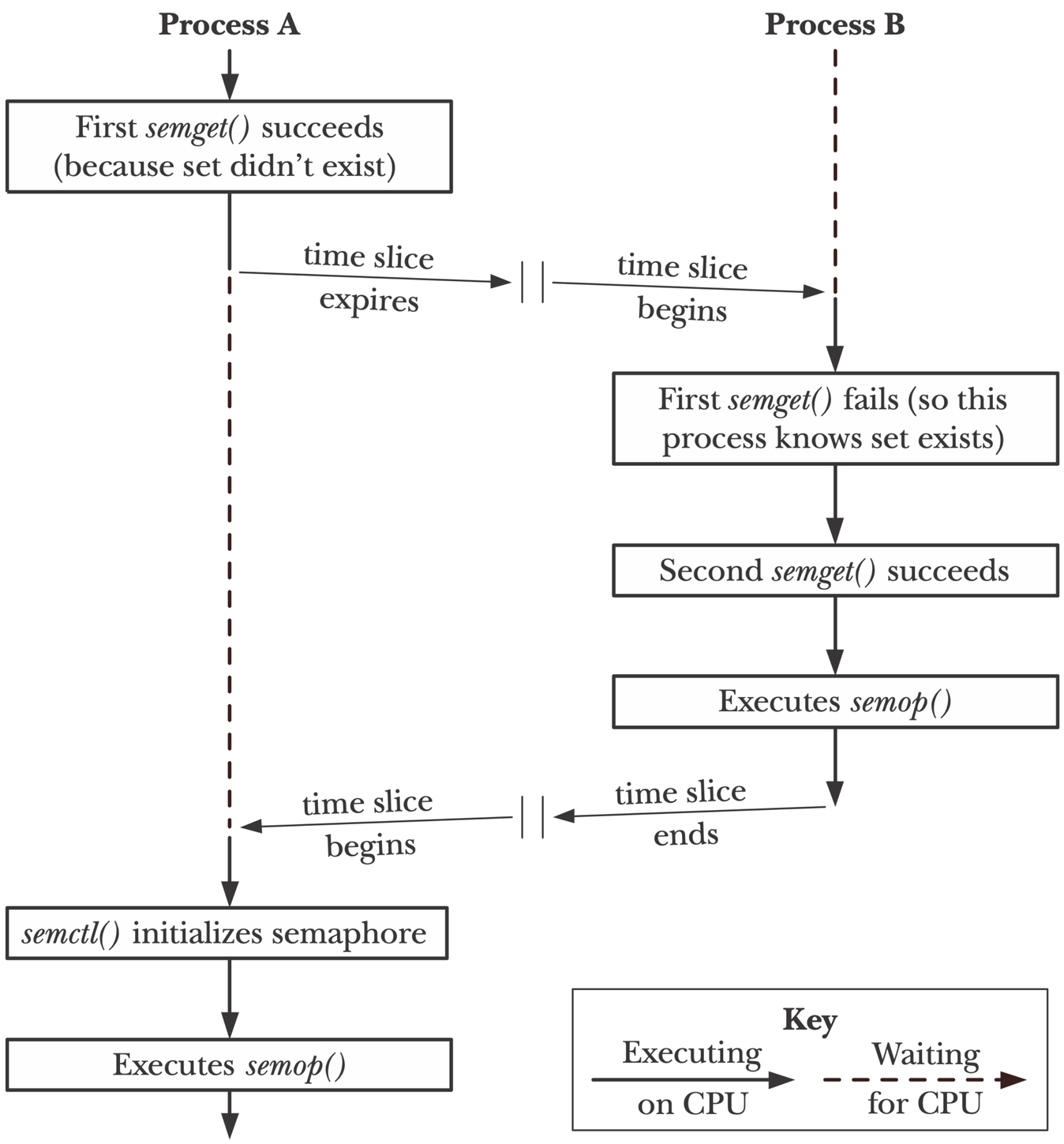
problemi di inizializzazione e race condition

```
00 semid = semget(key, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | perms);
01 if (semid != -1) { // semaforo creato
02   union semun arg;
03
04   // ------ XXXXXXX
05
06   arg.val = 0; // inizializzazione
07   if (semctl(semid, 0, SETVAL, arg) == -1)
08     ddErrExit("semctl");
09 } else { // --- non abbiamo creato il sem: esisteva già?
10   if (errno != EEXIST){ // errore inatteso dalla semget()
11     ddErrExit("semget 1");
12   } else { // errore era EEXIST: semaforo già esistente
13     semid = semget(key, 1, perms); // preleviamone l'ID
14     if (semid == -1)
15       ddErrExit("semget 2");
16   }
17 }
18 // esecuzione di un'azione sul semaforo
19 sops[0].sem_op = 1; // aggiunta di 1
20 sops[0].sem_num = 0; // al semaforo 0
21 sops[0].sem_flg = 0; // senza specificare opzioni
22 if (semop(semid, sops, 1) == -1) ddErrExit("semop");
```

race condition

- se due processi eseguono il codice precedente allo stesso tempo, potrebbe verificarsi una sequenza errata se il primo processo viene interrotto al punto marcato nel codice con XXXX. questa sequenza pone i seguenti problemi.
  - il processo B esegue una semop() su un semaforo non inizializzato (cioè, che contiene un valore arbitrario!).
  - la chiamata semctl() nel processo A sovrascrive le modifiche fatte dal processo B.

```
00 semid = semget(key, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | perms);
01 if (semid != -1) { // semaforo creato
02   union semun arg;
03
04   // ------ XXXXXXX
05
06   arg.val = 0; // inizializzazione
07   if (semctl(semid, 0, SETVAL, arg) == -1)
08     ddErrExit("semctl");
09 } else { // --- non abbiamo creato il sem: esisteva già?
10   if (errno != EEXIST){ // errore inatteso dalla semget()
11     ddErrExit("semget 1");
12   } else { // semaforo già esistente
13     semid = semget(key, 1, perms); // preleviamone l'ID
14     if (semid == -1)
15       ddErrExit("semget 2");
16   }
17 }
18 // esecuzione di un'azione sul semaforo
19 sops[0].sem_op = 1; // aggiunta di 1
20 sops[0].sem_num = 0; // al semaforo 0
21 sops[0].sem_flg = 0;
22 if (semop(semid, sops, 1) == -1) ddErrExit("semop");
```


Process A
Process B
First semget() succeeds (because set didn't exist)
time slice expires
time slice begins
First semget() fails (so this process knows set exists)
Second semget() succeeds
Executes semop()
time slice begins
time slice ends
semctl() initializes semaphore
Executes semop()
Key
Executing on CPU
Waiting for CPU

soluzione

- la soluzione a questo problema è basata su una caratteristica dell'inizializzazione del membro sem_otime della struttura semid_ds associata con il set di semafori.
  - al momento della creazione del set di semafori, il membro sem_otime è inizializzato a 0, ed è modificato solo da una successiva chiamata alla semop().
- possiamo quindi eliminare la race condition inserendo del codice per forzare il secondo processo (quello che NON crea il semaforo) ad attendere finché il primo processo ha inizializzato il semaforo ed eseguito la propria semop() che aggiorni il membro sem_otime.

```
00  semid = semget(key, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | perms);
01
02  if (semid != -1) {  // ---- semaforo creato
03    union semun arg;
04    struct sembuf sop;
05
06    arg.val = 0;    // inizializzazione
07    if (semctl(semid, 0, SETVAL, arg) == -1)
08      ddErrExit("semctl 1");
09
10    /* esecuzione di operazione "no-op". modifico
11   sem_otime in modo che gli altri processi vedano che
12   non è ancora inizializzato */
13    sop.sem_num = 0; // semaforo numero 0
14    sop.sem_op = 0;  // attendi per il valore 0
15    sop.sem_flg = 0;
16    if (semop(semid, &sop, 1) == -1)
17    ddErrExit("semop");
18
19  } else { // ---- non abbiamo creato il semaforo
20    ...
21  }
```

```
00  semid = semget(key, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | perms);
01
02  if (semid != -1) {  // ---- semaforo creato
03    union semun arg;
04    struct sembuf sop;
05
06    arg.val = 0;    // inizializzazione
07    if (semctl(semid, 0, SETVAL, arg) == -1)
08      ddErrExit("semctl 1");
09
10    /* esecuzione di operazione "no-op". modifico
11   sem_otime in modo che gli altri processi vedano che
12   non è ancora inizializzato */
13    sop.sem_num = 0; // semaforo numero 0
14    sop.sem_op = 0;  // attendi per il valore 0
15    sop.sem_flg = 0;
16    if (semop(semid, &sop, 1) == -1)
17    ddErrExit("semop");
18
19  } else { // ---- non abbiamo creato il semaforo
20    ...
21  }
```

```
00 if (semid != -1) {  // ---- semaforo creato
01    ...
02 } else { // ---- non abbiamo creato il semaforo
03    if (errno != EEXIST) ddErrExit("semget 1");
04    // il sem era già stato creato
05    const int MAX_TRIES = 10;
06    int j;
07    union semun arg;
08    struct semid_ds ds;
09    semid = semget(key, 1, perms); // preleviamo l'ID
10    if (semid == -1) ddErrExit("semget 2");
11    // Attesa che un altro processo chiami semop()
12    arg.buf = &ds;
13    for (j = 0; j < MAX_TRIES; ++j) {
14       if (semctl(semid, 0, IPC_STAT, arg) == -1)
15          ddErrExit("semctl 2");
16       if (ds.sem_otime != 0) // è stata eseguita Semop()?
17          break;  // sì, usciamo dal ciclo
18       sleep(1);   // diversamente, attendiamo e ritentiamo
19    }
20  if (ds.sem_otime == 0) // siamo usciti ma sem_otime è 0
21       ddErrExit("Existing semaphore not initialized");
22 }
```

```
00  semid = semget(key, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | perms);
01
02  if (semid != -1) { // ---- semaforo creato
03    /* esecuzione di operazione "no-op". modifico
04    sem_otime in modo che gli altri processi vedano che
05    non è ancora inizializzato */
06  } else { // ---- non abbiamo creato il semaforo
07    // il sem era già stato creato
08    // Attesa che un altro processo chiami semop()
09  }
10  // esecuzione di un'azione sul semaforo
11  sops[0].sem_num = 0; /* operazione su semaforo 0... */
12  sops[0].sem_op = (short) atoi(argv[1]);
13  sops[0].sem_flg = 0;
14  if (semop(semid, sops, 1) == -1)
15    ddErrExit("semop");
```

note

- questa soluzione al race problem non è richiesta in tutte le applicazioni.
  - e in alcune varianti di BSD è inefficace, in quanto il momento di esecuzione della semop() non viene registrato dal campo sem_otime…
- in generale non ne abbiamo bisogno se un processo è in grado di creare e inizializzare il semaforo prima che qualsiasi altro tenti di utilizzarlo.
- è questo il caso, per esempio, in cui un genitore crea e inizializza il semaforo prima di creare i processi figli con cui condivide il semaforo
  - in questi casi, è sufficiente che il genitore subito dopo la semget() esegua un'operazione SETVAL o SETALL con la system call semctl().

operazioni sui semafori

operazioni sui semafori

```
#include <sys/types.h>/* For portability */
#include <sys/sem.h>

int semop(int semid, struct sembuf *sops, unsigned int nsops);

                                    Returns 0 on success, or -1 on error
```

- la system call semop() esegue una o più operazioni sui semafori nel set identificato da semid.
  - l'argomento sops è un puntatore a un array che contiene le operazioni da eseguirsi, e
  - nsops è la dimensione dell'array (che deve contenere almeno un elemento).

sembuf: semaphore operations

```
struct sembuf {
  unsigned short sem_num; // numero semaforo
  short sem_op;    // operazione da eseguire
  short sem_flg;   // flags operazione
                   // (IPC_NOWAIT and SEM_UNDO)
};
```

- le operazioni sono eseguite atomicamente e nell'ordine in cui compaiono nell'array. Gli elementi dell'array sops sono strutture con queste caratteristiche:
  - il membro sem_num identifica, all'interno del set, il semaforo sul quale si intende effettuare l'operazione.

sembuf: semaphore operations

```
struct sembuf {
  unsigned short sem_num;
  // operazione da eseguire
  short sem_op;
  short sem_flg;
};
```

- il membro sem_op specifica l'operazione da eseguire:
  - se sem_op è maggiore di 0, il valore di sem_op è aggiunto al valore del semaforo.
    - quindi altri processi in attesa di diminuire il valore del semaforo possono essere svegliati per eseguire le proprie operazioni. Il processo chiamante deve avere diritti di scrittura sul semaforo.
  - se sem_op è uguale a 0, il valore del semaforo è testato per vedere se attualmente è uguale a 0. Se sì, l'operazione è completata immediatamente; diversamente, la semop() si blocca finché il valore del semaforo diviene 0.
    - il chiamante deve avere permessi in scrittura sul semaforo.

sembuf: semaphore operations

```
struct sembuf {
  unsigned short sem_num;
  // operazione da eseguire
  short sem_op;
  short sem_flg;
};
```

- se sem_op è minore di 0, decrementa il valore del semaforo del valore specificato da sem_op.
  - se il valore corrente del semaforo è maggiore o uguale al valore assoluto specificato da sem_op, l'operazione è completata immediatamente.
  - diversamente, semop() si blocca finché il valore del semaforo è stato aumentato tanto da permettere che l'operazione venga eseguita (senza produrre un valore negativo).
- il chiamante deve avere diritti di scrittura sul semaforo.

semantica sottostante

- l'incremento del valore di un semaforo corrisponde a rendere disponibile una risorsa così che altri processi possano utilizzarla;
- il decremento del valore di semaforo corrisponde a riservare la risorsa per un uso esclusivo da parte di questo processo.
  - Il tentativo di ridurre il valore di un semaforo può restare bloccato se il valore del semaforo è troppo basso, cioè se qualche altro processo ha già ottenuto l'uso esclusivo per la risorsa in questione.

cosa accade a un processo bloccato

- quando una system call semop() si blocca, il processo resta bloccato finché:
  - un altro processo modifica il valore del semaforo così che la richiesta possa procedere;
  - un segnale interrompe la system call semop(). In questo caso la semop() fallisce con l'errore EINTR.
  - un altro processo cancella il semaforo identificato da semid. In questo caso, la semop() fallisce con l'errore EIDRM.

non-blocking semop()

```
struct sembuf {
  unsigned short sem_num;
  // operazione da eseguire
  short sem_op;
  short sem_flg;
};
```

- è possibile prevenire il blocco della semop() nell'esecuzione di un'operazione su un dato semaforo specificando il flag IPC_NOWAIT nel membro sem_flg della struttura sembuf.
  - in questo caso, invece di restare bloccata, la semop() fallisce con l'errore EAGAIN.

operations on multiple semaphores

- è possibile eseguire una semop() per compiere operazioni su molteplici semafori in uno stesso set.
- questo gruppo di operazioni è eseguito atomicamente; cioè, o la semop() esegue tutte le operazioni, o si blocca fino a quando non diventa possibile eseguirle simultaneamente tutte.

operations on multiple semaphores

- consideriamo un esempio:
  - l'uso di semop() per eseguire operazioni su tre semafori in un set.
  - Le operazioni sui semafori 0 e 2 possono non essere in grado di procedere immediatamente, a seconda dei valori correnti dei semafori.
  - se l'operazione sul semaforo 0 non può essere eseguita immediatamente, allora nessuna delle operazioni richieste viene eseguita, e la semop() pone in attesa il chiamante.
  - se l'operazione sul semaforo 0 può essere eseguita immediatamente, ma non l'operazione sul semaforo 2, allora se è stato specificato il flag IPC_NOWAIT sul semaforo 2, nessuna delle operazioni è eseguita, e la semop() restituisce immediatamente con l'errore EAGAIN.

```
struct sembuf sops[3];

sops[0].sem_num = 0;
sops[0].sem_op = -1; // DECREMENTO di 1 il semaforo 0
sops[0].sem_flg = 0;

sops[1].sem_num = 1;
sops[1].sem_op = 2; // INCREMENTO di 2 il semaforo 1
sops[1].sem_flg = 0;

sops[2].sem_num = 2;
sops[2].sem_op = 0; // ATTESA che il semaforo 2 valga 0
sops[2].sem_flg = IPC_NOWAIT; /* operazione NON SOSPENSIVA: se
l'operazione non può essere effettuata, NON attendere */

if (semop(semid, sops, 3) == -1) {
   if (errno == EAGAIN) /* il semaforo 2 si sarebbe bloccato; invece
grazie a IPC_NOWAIT ha restituito EAGAIN */
   printf("Operation would have blocked\n");
else
   errExit("semop"); // si è verificato qualche altro errore
```

gestione di blocchi multipli

l'ordine in cui vengono soddisfatte le richieste

- if multiple processes are blocked trying to decrease the value of a semaphore by the same amount, then it is indeterminate which process will be permitted to perform the operation first when it becomes possible.
- on the other hand, if processes are blocked trying to decrease a semaphore value by different amounts, then the requests are served in the order in which they become possible.

starvation (by decrease amount)

- suppose that a semaphore currently has the value 0, and process A requests to decrease the semaphore's value by 2, and then process B requests to decrease the value by 1.
- if a third process then adds 1 to the semaphore, process B would be the first to unblock and perform its operation, even though process A was the first to request an operation against the semaphore.
- in poorly designed applications, such scenarios can lead to starvation, whereby a process remains blocked forever because the state of the semaphore is never such that the requested operation proceeds.
- also in case multiple processes adjust the semaphore in such a way that its value is never more than 1, process A remains blocked forever.

starvation (by multiple sem operations)

- starvation can also occur if a process is blocked trying to perform operations on multiple semaphores. consider the following example, with a pair of semaphores, both of which initially have the value 0:

1. process A makes a request to subtract 1 from semaphores 0 and 1 (blocks).
2. process B makes a request to subtract 1 from semaphore 0 (blocks).
3. process C adds 1 to semaphore 0.

- at this point, process B unblocks and completes its request, even though it placed its request later than process A.
  - again, it is possible to devise scenarios in which process A is starved while other processes adjust and block on the values of the individual semaphores.

Implementing a Binary Semaphores Protocol

complessità e semplificazione

- la API per i semafori di System V semaphores è complessa,
  - perché il valore dei semafori può essere modificato di quantità arbitrarie,
  - perché i semafori sono allocati in set di semafori, e le operazioni sono eseguite su set di semafori.
- entrambe queste caratteristiche forniscono funzionalità più estese di quelle tipicamente necessarie, quindi è utile implementare protocolli più semplici.

binary semaphores

- un protocollo largamente utilizzato è quello dei semafori binari. Un semaforo binario ha due valori: available (libero) e reserved (in uso). sui semafori binari sono definite due operazioni:
  - Reserve (wait, o P): Tenta di riservare questo semaforo per uso esclusivo.
    - se il semaforo è già stato riservato da un altro processo, l'operazione si blocca fino a quando il semaforo è rilasciato.
  - Release (signal, o V): Libera un semaforo correntemente riservato, così che possa essere riservato da un altro processo.

- un modo abituale per rappresentare questi stati è utilizzare il valore 1 per indicare free e il valore 0 per riservato, con le operazioni reserve e release: l'una decrementa di uno il valore del semaforo, l'altra lo incrementa di uno.

implementazione

- tutte le funzioni in questa implementazione hanno due argomenti, che identificano un set di semafori e il numero di un semaforo all'interno di quel set.

```
int initSemAvailable(int semId, int semNum);
int initSemInUse(int semId, int semNum);
int reserveSem(int semId, int semNum);
int releaseSem(int semId, int semNum);
```

```
// Initialize semaphore to 1 (i.e., "available")
int initSemAvailable(int semId, int semNum) {
    union semun arg;

    arg.val = 1;
    return semctl(semId, semNum, SETVAL, arg);
}

// Initialize semaphore to 0 (i.e., "in use")
int initSemInUse(int semId, int semNum) {
    union semun arg;

    arg.val = 0;
    return semctl(semId, semNum, SETVAL, arg);
}
```

```
// Reserve semaphore - decrement it by 1
int reserveSem(int semId, int semNum) {
    struct sembuf sops;

    sops.sem_num = semNum;
    sops.sem_op = -1;
    sops.sem_flg = 0;

    return semop(semId, &sops, 1);
}

// Release semaphore - increment it by 1
int releaseSem(int semId, int semNum) {
    struct sembuf sops;

    sops.sem_num = semNum;
    sops.sem_op = 1;
    sops.sem_flg = 0;

    return semop(semId, &sops, 1);
}
```