Programmazione di Sistema in UNIX

Nicola Drago - Graziano Pravadelli

Università di Verona
Dipartimento di Informatica
Verona

Sommario

- Interfaccia tramite system call
- System call:
  - Gestione di file
  - Gestione di processi
  - Comunicazione tra processi

Interfaccia tramite system call

- L'accesso al kernel è permesso soltanto tramite le system call, che permettono di passare all'esecuzione in modo kernel.
- Dal punto di vista dell'utente, l'interfaccia tramite system call funziona come una normale chiamata C.
- In realtà più complicato:
  - Esiste una *system call library* contenente funzioni con lo stesso nome della system call
  - Le funzioni di libreria cambiano il modo user in modo kernel e fanno sì che il kernel esegua il vero e proprio codice delle system call
  - La funzione di libreria passa un identificatore, unico, al kernel, che identifica una precisa system call.
  - Simile a una routine di interrupt (detta *operating system trap*)

System Call

Classe	System Call	
File	`creat()`	`open()`
	`close()`	`read()`
	`write()`	`creat()`
	`lseek()`	`dup()`
	`link()`	`unlink()`
	`stat()`	`fstat()`
	`chmod()`	`chown()`
	`umask()`	`ioctl()`
Processi	`fork()`	`exec()`
	`wait()`	`exit()`
	`signal()`	`kill()`
	`getpid()`	`getppid()`
	`alarm()`	`chdir()`
Comunicazione tra processi	`pipe()`	`msgget()`
	`msgctl()`	`msgrcv()`
	`msgsnd()`	`semop()`
	`semget()`	`shmget()`
	`shmat()`	`shmdt()`

Efficienza delle system call

- L'utilizzo di system call è in genere meno efficiente delle (eventuali) corrispondenti chiamate di libreria C
- Particolarmente evidente nel caso di system call per il file system
  - Esempio:

```
/* PROG1 */
int main(void) {
    int c;
    while ((c = getchar()) != EOF) putchar(c);
}
/* PROG2 */
int main(void) {
    char c;
    while (read(0, &c, 1) > 0)
        if (write(1, &c, 1) != 1) perror("write"), exit(1);
}
```

    PROG1 è circa 5 volte più veloce!

Errori nelle chiamate di sistema

- In caso di errore, le system call ritornano tipicamente un valore -1, ed assegnano lo specifico codice di errore nella variabile `errno`, definita in `<errno.h>`
- Per mappare il codice di errore al tipo di errore, si utilizza la funzione

```
#include <stdio.h>
void perror (char *str)
```

  su `stderr` viene stampato:

$$str\ :\ messaggio\text{-}di\text{-}errore\ \texttt{\textbackslash n}$$

- Solitamente str è il nome del programma o della funzione.
- Per comodità definiamo una funzione di errore alternativa `syserr`, definita in un file `mylib.c`
  - Tutti i programmi descritti di seguito devono includere `mylib.h` e llinkare `mylib.o`

```
/*****************************************
MODULO: mylib.h
SCOPO: definizioni per la libreria mylib
*****************************************/

void syserr (char *prog, char *msg);
```

```
/*****************************************
MODULO: mylib.c
SCOPO: libreria di funzioni d'utilita'
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <errno.h>

#include "mylib.h"

void syserr (char *prog, char *msg)
{
  fprintf (stderr, "%s - errore: %s\n",prog, msg);
  perror ("system error");
  exit (1);
}
```

System Call per il File System

Introduzione

- In UNIX esistono quattro tipi di file
  1. File regolari
  2. Directory
  3. *pipe* o *fifo*
  4. *special file*
- Gli special file rappresentano un device (*block device* o *character device*)
- Non contengono dati, ma solo un puntatore al device driver:
  - *Major number*: indica il tipo del device (driver)
  - *Minor number*: indica il numero di unità del device

I/O non bufferizzato

- Le funzioni in `stdio.h` sono tutte bufferizzate. Per efficienza, si può lavorare direttamente sui buffer.
- In questo caso i file non sono più descritti da uno *stream* ma da un *descrittore* (un intero piccolo).
- Alla partenza di un processo, i primi tre descrittori vengono aperti automaticamente dalla shell:

```
0 ... stdin
1 ... stdout
2 ... stderr
```

- Per distinguere, si parla di *canali* o *stream* anziché di file.

Apertura di un canale

```
#include <fcntl.h>

int open (char *name, int access, mode_t mode)
```

Valori del parametro `access`:

- uno a scelta fra:
  `O_RDONLY O_WRONLY O_RDWR`
- uno o più fra:
  `O_APPEND O_CREAT O_EXCL O_SYNC O_TRUNC`

Valori del parametro `mode`: uno o più fra i seguenti:

`IRUSR IWUSR IXUSR IRGRP IWGRP IXGRP IROTH IWOTH IXOTH`

Corrispondenti ai modi di un file UNIX (u=RWX,g=RWX,o=RWX), e rimpiazzabili dai codici numerici (`000...777`)

Apertura di un canale (2)

- Modi speciali di `open`:
  - `O_EXCL`: apertura in modo esclusivo (nessun altro processo può aprire)
  - `O_SYNC`: apertura in modo sincronizzato (file tipo lock)
  - `O_TRUNC`: apertura di file esistente implica cancellazione
- Esempi di utilizzo:
  - `int fd = open("file.dat",O_RDONLY|O_EXCL,IRUSR|IRGRP|IROTH);`
  - `int fd = open("file.dat",O_CREAT, IRUSR|IWUSR|IXUSR);`
  - `int fd = open("file.dat",O_CREAT, 700);`

Apertura di un canale (3)

```
#include <fcntl.h>

int creat (char *name, int mode)
```

- `creat` crea un file (più precisamente un inode) e lo apre in lettura.
  - Parametro `mode`: come `access`
- Sebbene `open` sia usabile per creare un file, tipicamente si utilizza `creat` per creare un file, e la `open` per aprire un file esistente da leggere/scrivere.

Creazione di una directory

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>

int mknod(char *path, mode_t mode, dev_t dev)
```

- Simile a `creat`: crea un i-node per un file
- Può essere usata per creare un file
- Più tipicamente usata per creare directory e special file
- Solo il super-user può usarla (eccetto che per special file)

Creazione di una directory – (cont.)

- Valori di `mode`:
  - Per indicare tipo di file:

`S_IFIFO`	0010000	FIFO special
`S_IFCHR`	0020000	Character special
`S_IFDIR`	0040000	Directory
`S_IFBLK`	0060000	Block special
`S_IFREG`	0100000	
	0000000	Ordinary file

  - Per indicare il modo di esecuzione:

`S_ISUID`	0004000	Set user ID on execution
`S_ISGID`	0002000	Set group ID on execution
`S_ISVTX`	0001000	Save text image after execution

Creazione di una directory – (cont.)

- Per indicare i permessi:

S_IREAD	0000400	Read by owner
S_IWRITE	0000200	Write by owner
S_IEXEC	0000100	Execute (search on directory) by owner
s_IRWXG	0000070	Read, write, execute (search) by group
S_IRWXD	0000007	Read, write, execute (search) by others

- il parametro dev indica il major e minor number del device, mentre viene ignorato se non si tratta di uno special file.

Creazione di una directory – (cont.)

- La creazione con `creat` di una directory NON genera le entry "." e ".."
- Queste devono essere create "a mano" per rendere usabile la directory stessa.
- In alternativa (consigliato) si possono utilizzare le funzioni di libreria:

```
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>

int mkdir (const char *path, mode_t mode);
int rmdir (const char *path);
```

Manipolazione diretta di un file

```
#include <unistd.h>
ssize_t read  (int fildes, void *buf, size_t n)
ssize_t write (int fildes, void *buf, size_t n)
int close (int fildes)

#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
off_t  lseek (int fildes, off_t o, int whence)
```

- Tutte le funzioni restituiscono -1 in caso di errore.
- n: numero di byte letti. Massima efficienza quando $n =$ dimensione del blocco fisico (512 byte o 1K).
- read e write restituiscono il numero di byte letti o scritti, che può essere inferiore a quanto richiesto.
- Valori possibili di whence: SEEK_SET SEEK_CUR SEEK_END

```
/*****************************************
MODULO: lower.c
SCOPO: esempio di I/O non bufferizzato
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include "mylib.h"
#define BUFLEN 1024
#define STDIN 0
#define STDOUT 1

void lowerbuf (char *s, int l)
{
  while (l-- > 0) {
    if (isupper(*s)) *s = tolower(*s);
    s++;
  }
}
```

```
int main (int argc, char *argv[])
{
  char buffer[BUFLEN];
  int x;

  while ((x=read(STDIN,buffer,BUFLEN)) > 0) {
    lowerbuf (buffer, x);
    x = write (STDOUT, buffer, x);
    if (x == -1)
      syserr (argv[0], "write() failure");
  }
  if (x != 0)
    syserr (argv[0], "read() failure");
  return 0;
}
```

Duplicazione di canali

```
int dup (int oldd)
```

- Duplica un file descriptor esistente e ne ritorna uno nuovo che ha in comune con il vecchio le seguenti proprietà:
  - si riferisce allo stesso file
  - ha lo stesso $puntatore$ (per l'accesso casuale)
  - ha lo stesso modo di accesso.
- Proprietà importante: `dup` ritorna il primo descrittore libero a partire da 0!

Accesso ai direttori

- Sebbene sia possibile aprire e manipolare una directory con `open`, per motivi di portabilità è consigliato utilizzare le funzioni della libreria C (non system call)

```
#include <sys/types.h>
#include <dirent.h>

DIR *opendir (char *dirname)
struct dirent *readdir (DIR *dirp)
void rewinddir (DIR *dirp)
int closedir (DIR *dirp)
```

- `opendir` apre la directory specificata (cfr. `fopen`)
- `readdir` ritorna un puntatore alla prossima entry della directory `dirp`
- `rewinddir` resetta la posizione del puntatore all'inizio
- `closedir` chiude la directory specificata

Accesso ai direttori

- Struttura interna di una directory:

```
struct dirent  {
        __ino_t   d_ino;        /* inode # */
        __off_t   d_off;
        unsigned short int d_reclen; /* how large this structure really is */
        unsigned char d_type;
        char    d_name[256];
    };
```

- Campi della struttura `DIR`

```
typedef struct _dirdesc {
    int dd_fd;
    long    dd_loc;
    long    dd_size;
    long    dd_bbase;
    long    dd_entno;
    long    dd_bsize;
    char *  dd_buf;
} DIR;
```

```
/*****************************************
MODULO: dir.c
SCOPO: ricerca in un direttorio
*****************************************/
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/dir.h>

int dirsearch( char*, char*, char*);

int main (int argc, char **argv)
{
   dirsearch (argv[1],argv[2],".");
}
```

```
int dirsearch (char *file1, char* file2,  char *dir)
{
  DIR *dp;
  struct direct *dentry;
  int status = 1;

  if ((dp=opendir (dir)) == NULL) return -1;
  for (dentry=readdir(dp); dentry!=NULL; dentry=readdir(dp))
  if ((strcmp(dentry->d_name,file1)==0)) {
    printf("Replacing entry %s with %s",dentry->d_name,file2);
    strcpy(dentry->d_name,file2);
    return 0;
  }
  closedir (dp);
  return status;
}
```

Accesso ai direttori

```
int chdir (char *dirname);
```

- Cambia la directory corrente e si sposta in $dirname$.
- E' necessario che la directory abbia il permesso di esecuzione

Gestione dei Link

```
#include <unistd.h>

int link (char *orig_name, char *new_name);
int unlink (char *file_name);
```

- `link` crea un link a `orig_name`. E' possibile fare riferimento al file con entrambi i nomi
- `unlink`
  - cancella un file cancellando l'$i\text{-}number$ nella directory entry
  - sottrae uno al link count nell'i-node corrispondente
  - se questo diventa zero, libera lo spazio associato al file
- `unlink` è l'unica system call per cancellare file !

```
#define TMP "/tmp"

int  fd;
char fname[32];
...
strcpy(fname,"myfile.xxx");
if ((fd = open(fname, O_WRONLY)) == -1) {
  perror(fname);
  return 1;
} else if (unlink(fname) == -1) {
  perror(fname);
  return 2;
} else {
  /* use temporary file */
}
...
```

Privilegi e accessi

```
#include <unistd.h>
int access (char *file_name, int access_mode);
```

- access verifica i permessi specificati in access_mode sul file file_name.
- I permessi sono una combinazione bitwise dei valori R_OK, W_OK, e X_OK.
- Specificando F_OK verifica se il file esiste
- Ritorna 0 se il file ha i permessi specificati

Privilegi e accessi

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
int chmod (char *file_name, int mode);
int fchmod (int fildes, int mode);
```

- Permessi possibili: bitwise OR di

S_ISUID	04000	set user ID on execution
S_ISGID	02000	set group ID on execution
S_ISVTX	01000	save text image after execution
S_IRUSR	00400	read by owner
S_IWUSR	00200	write by owner
S_IXUSR	00100	execute (search on directory) by owner
S_IRWXG	00070	read, write, execute (search) by group
S_IRWXO	00007	read, write, execute (search) by others

Privilegi e accessi

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
int chown (char *file_name, int owner, int group);
```

- `owner` = UID
- `group` = GID
- ottenibili con system call `getuid()` e `getgid()` (cfr. sezione sui processi)
- Solo super-user!

Stato di un file

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>

int stat (char *file_name, struct stat *stat_buf);
int fstat (int fd, struct stat *stat_buf);
```

- Ritornano le informazioni contenute nell'i-node di un file
- L'informazione è ritornata dentro `stat_buf`.

Stato di un file

- Principali campi di `struct stat`:

```
dev_t         st_dev;      /* device */
ino_t         st_ino;      /* inode */
mode_t        st_mode;     /* protection */
nlink_t       st_nlink;    /* number of hard links */
uid_t         st_uid;      /* user ID of owner */
gid_t         st_gid;      /* group ID of owner */
dev_t         st_rdev;     /* device type (if inode device) */
off_t         st_size;     /* total size, in bytes */
unsigned long st_blksize;  /* blocksize for filesystem I/O */
unsigned long st_blocks;   /* number of blocks allocated */
time_t        st_atime;    /* time of last access */
time_t        st_mtime;    /* time of last modification */
time_t        st_ctime;    /* time of last change */
```

```
/* per stampare le informazioni con stat */
void display (char *fname, struct stat *sp)
{
  extern char *ctime();
  printf ("FILE %s\n", fname);
  printf ("Major number = %d\n", major(sp->st_dev));
  printf ("Minor number = %d\n", minor(sp->st_dev));
  printf ("File mode = %o\n", sp->mode);
  printf ("i-node number = %d\n", sp->ino);
  printf ("Links = %s\n", sp->nlink);
  printf ("Owner ID = %d\n", sp->st_uid);
  printf ("Group ID = %d\n", sp->st_gid);
  printf ("Size = %d\n", sp->size);
  printf ("Last access = %s\n", ctime(&sp->atime));
}
```

Controllo dei dispositivi

- Alcuni dispositivi (terminali, dispositivi di comunicazione) forniscono un insieme di comandi *device-specific*
- Questi comandi vengono eseguiti dai device driver
- Per questi dispositivi, il mezzo con cui i comandi vengono passati ai device driver è la system call `ioctl`.
- Tipicamente usata per determinare/cambiare lo stato di un terminale

```
#include <termio.h>
int ioctl(int fd, int request, structu termio *argptr);
```

- `request` è il comando device-specific, `argptr` definisce una struttura usata dal device driver eseguendo `request`.

Le variabili di ambiente

```
#include <stdlib.h>

char *getenv (char *env_var)
```

- Ritorna la definizione della variabile d'ambiente richiesta, oppure `NULL` se non è definita.
- E' possibile esaminare in sequenza tutte le variabili d'ambiente usando il terzo argomento del `main()`:

  ```
  int main (int argc, char *argv[], char *env[])
  ```

- Oppure accedendo la seguente variabile globale:

  ```
  extern char **environ;
  ```

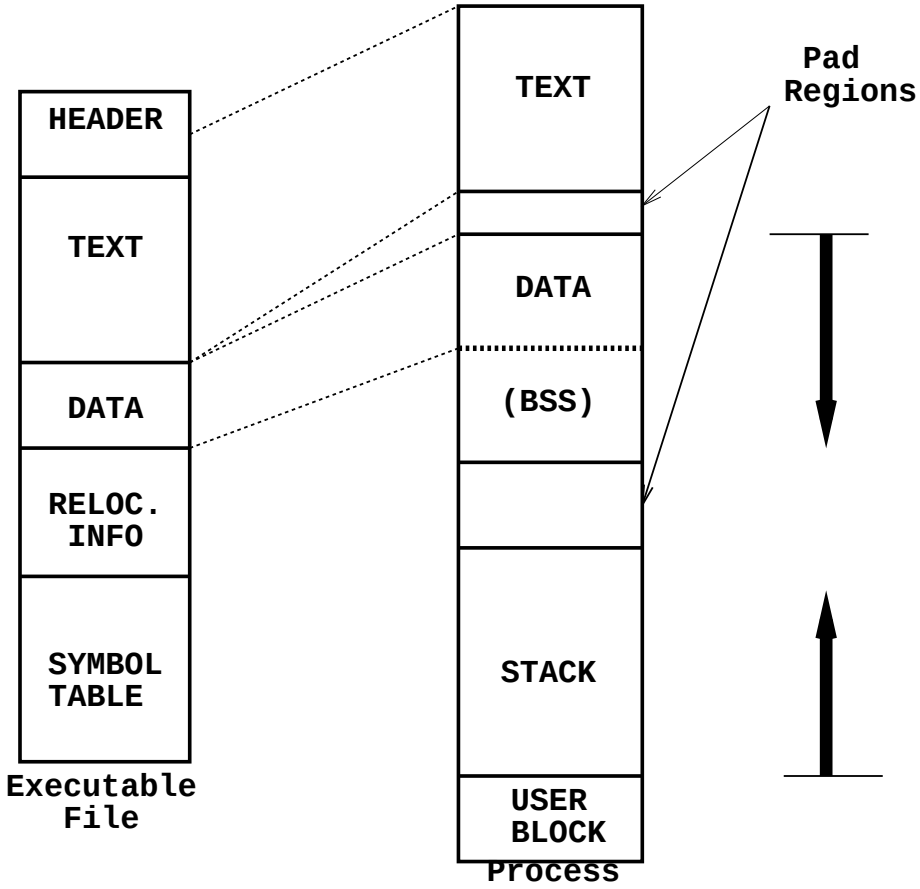
```
/*****************************************
MODULO: env.c
SCOPO: elenco delle variabili d'ambiente
*****************************************/
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[], char *env[])
{
  puts ("Variabili d'ambiente:");
  while (*env != NULL)
    puts (*env++);
  return 0;
}
```

System Call per la Gestione dei Processi

Gestione dei processi

- Come trasforma UNIX un programma eseguibile in processo (con il comando `ld`)?



Gestione dei processi – Programma eseguibile

- HEADER: definita in `/usr/include/filehdr.h`.
  - definisce la dimensione delle altre parti
  - definisce l'entry point dell'esecuzione
  - contiene il $magic\ number$, numero speciale per la trasformazione in processo (system-dependent)
- TEXT: le istruzioni del programma
- DATA: I dati inizializzati (statici, extern)
- BSS (Block Started by Symbol): I dati non inizializzati (automatici). Nella trasformazione in processo, vengono messi tutti a zero in una sezione separata.
- RELOCATION: come il loader carica il programma. Rimosso dopo il caricamento
- SYMBOL TABLE: Può essere rimossa (`ld -s`) o con `strip` (toglie anche la relocation info). Contiene informazioni quali la locazione, il tipo e lo scope di variabili, funzioni, tipi.

Gestione dei processi – Processo

- TEXT: copia di quello del programma eseguibile. Non cambia durante l'esecuzione
- DATA: possono crescere verso il basso ($heap$)
- BSS: occupa la parte bassa della sezione dati
- STACK: creato nella costruzione del processo. Contiene:
  - le variabili automatiche
  - i parametri delle procedure
  - gli argomenti del programma e le variabili d'ambiente
  - riallocato automaticamente dal sistema
  - cresce verso l'alto
- USER BLOCK: sottoinsieme delle informazioni mantenute dal sistema sul processo

Creazione di processi

```
#include <unistd.h>

pid_t fork (void)
```

- Crea un nuovo processo, figlio di quello corrente, che eredita dal padre:
  - I file aperti
  - Le variabili di ambiente
  - Tutti i settaggi dei segnali (v.dopo)
  - Directory di lavoro
- Al figlio viene ritornato `0`.
- Al padre viene ritornato il PID del figlio (o `-1` in caso di errore).
- NOTA: un processo solo chiama `fork`, ma è come se due processi ritornassero!

```
/*****************************************
MODULO: fork.c
SCOPO: esempio di creazione di un processo
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include "mylib.h"
int main (int argc, char *argv[]){
   pid_t status;
   if ((status=fork()) == -1)
   syserr (argv[0], "fork() fallita");
   if (status == 0) {
      sleep(10);
      puts ("Io sono il figlio!");
   } else {
      sleep(2);
      printf ("Io sono il padre e mio figlio ha PID=%d)\n",status);
   }
}
```

`fork` e debugging

- gdb non supporta automaticamente il debugging di programmi con `fork` $\Longrightarrow$ debugging sempre del padre
- Per debuggare il figlio:
  - Eseguire un gdb dello stesso programma da un'altra finestra
  - Usare il comando di gdb

    `attach` pid

    dove pid è il pid del figlio, determinato con `ps`
- Per garantire un minimo di sincronizzazione tra padre e figlio, è consigliato inserire una pausa condizionale all'ingresso del figlio

Esecuzione di un programma

```
#include <unistd.h>
int execl (char *file,char *arg0,char *arg1, ...,0)
int execlp(char *file,char *arg0,char *arg1, ...,0)
int execle(char *file,char *arg0,char *arg1, ...,0,char *envp[])
int execv (char *file,char *argv[])
int execvp(char *file,char *argv[])
int execve(char *file,char *argv[],char *envp[])
```

- Sostituiscono all'immagine attualmente in esecuzione quella specificata da `file`, che può essere:
  - un programma binario
  - un file di comandi
- In altri termini, `exec` trasforma un eseguibile in processo.
- NOTA: `exec` non ritorna!!

La Famiglia di `exec`

- `execl` utile quando so in anticipo il numero e gli argomenti, `execv` utile altrimenti.
- `execle` e `execve` ricevono anche come parametro la lista delle variabili d'ambiente.
- `execlp` e `execvp` utilizzano la variabile `PATH` per cercare il comando `file`.

```
/*****************************************
MODULO: exec.c
SCOPO: esempio d'uso di exec()
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include "mylib.h"

int main (int argc, char *argv[])
{
  puts ("Elenco dei file in /tmp");
  execl ("/bin/ls", "ls", "/tmp", NULL);
  syserr (argv[0], "execl() fallita");
}
```

fork e exec

- Tipicamente `fork` viene usata con `exec`.
- Il processo figlio generato con `fork` viene usato per fare la `exec` di un certo programma.
- Esempio:

```
int pid = fork ();
if (pid == -1) {
  perror("");
} else if (pid == 0) {
  char *args [2];
  args [0] = "ls"; args [1] = NULL;
  execvp (args [0], args);
  exit (1);   /* vedi dopo */
} else {
  printf ("Sono il padre, e mio figlio e' %d.\n", pid);
}
```

Sincronizzazione tra padre e figli

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>

void  exit(status)
void  _exit(status)
pid_t wait (int *status)
```

- `exit` è un wrapper all'effettiva system call `_exit()`
- `wait` sospende l'esecuzione di un processo fino a che uno dei figli termina.
  - Ne restituisce il PID ed il suo stato di terminazione, tipicamente ritornato come argomento dalla `exit`.
  - Restituisce `-1` se il processo non ha figli.
- Un figlio resta *zombie* da quando termina a quando il padre ne legge lo stato (con `wait()`).

Sincronizzazione tra padre e figli

- Lo stato può essere testato con le seguenti macro:

```
WIFEXITED(status)    WEXITSTATUS(status)    WIFSIGNALED(status)
WTERMSIG(status)     WIFSTOPPED(status)     WSTOPSIG(status)
```

- Informazione ritornata da `wait`
  - Se il figlio è terminato con `exit`
    - Byte 0: tutti zero
    - Byte 1: l'argomento della `exit`
  - Se il figlio è terminato con un segnale
    - Byte 0: il valore del segnale
    - Byte 1: tutti zero
- Comportamento di `wait` modificabile tramite segnali (v.dopo)

La Famiglia di `wait`

```
#include <sys/time.h>
#include <sys/resource.h>

pid_t waitpid (pid_t pid, int *status, int options)
pid_t wait3 (int *status, int options, struct rusage *rusage)
```

- `waitpid` attende la terminazione di un particolare processo
  - `pid = -1`: tutti i figli
  - `pid = 0`: tutti i figli con stesso GID del processo chiamante
  - `pid` $<$ `-1` : tutti i figli con GID $= |$`pid`$|$
  - `pid > 0`: il processo `pid`
- `wait3` e' simile a `waitpid`, ma ritorna informazioni aggiuntive sull'uso delle risorse all'interno della struttura `rusage`. Vedere `man getrusage` per ulteriori informazioni.

```
/*****************************************
MODULO: wait.c
SCOPO: esempio d'uso di wait()
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>
#include <sys/types.h>
#include "mylib.h"

int main (int argc, char *argv[]){
  pid_t child;
  int status;

  if ((child=fork()) == 0) {
    sleep(5);
    puts ("figlio 1 - termino con stato 3");
```

```
  exit (3);
}

if (child == -1)
  syserr (argv[0], "fork() fallita");

if ((child=fork()) == 0) {
  puts ("figlio 2 - sono in loop infinito, uccidimi con:");
  printf ("  kill -9 %d\n", getpid());

  while (1) ;
}

if (child == -1)
  syserr (argv[0], "fork() fallita");

/*while ((child=wait(&status)) != -1) {*/
while ((child=waitpid(-1, &status, WUNTRACED|WCONTINUED)) != -1) {
```

```
    printf ("il figlio con PID %d e'", child);
    if (WIFEXITED(status)) {
      printf ("terminato (stato di uscita: %d)\n\n",
        WEXITSTATUS(status));
    } else if (WIFSIGNALED(status)) {
      printf ("stato ucciso (segnale omicida: %d)\n\n",
        WTERMSIG(status));
    } else if (WIFSTOPPED(status)) {
      puts ("stato bloccato");
      printf ("(segnale bloccante: %d)\n\n",
        WSTOPSIG(status));
    } else if (WIFCONTINUED(status)) {
      puts ("stato sbloccato");
    } else
      puts ("non c'e` piu` !?");
  }
  return 0;
}
```

Informazioni sui processi

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

pid_t uid = getpid()
pid_t gid = getppid()
```

- `getpid` ritorna il PID del processo corrente
- `getppid` ritorna il PID del padre del processo corrente

```
/*****************************************
MODULO: fork2.c
SCOPO: funzionamento di getpid() e getppid()
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include "mylib.h"

int main (int argc, char *argv[])
{
  pid_t status;
  if ((status=fork()) == -1) {
    syserr (argv[0], "fork() fallita");
  }
  if (status == 0) {
    puts ("Io sono il figlio:\n");
    printf("PID = %d\tPPID = %d\n",getpid(),getppid());
  }
```

```
  else {
    printf ("Io sono il padre:\n");
    printf("PID = %d\tPPID = %d\n",getpid(),getppid());
  }
}
```

Informazioni sui processi – (cont.)

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

uid_t uid = getuid()
uid_t gid = getgid()
uid_t euid = geteuid()
uid_t egid = getegid()
```

- Ritornano la corrispondente informazione del processo corrente
- `geteuid` e `getegid` ritornano l'informazione sull'*effective* UID e GID, eventualmente settato con `chmod` (bit `s,S,t`).

Segnalazioni tra processi

- E' possibile spedire asincronamente dei segnali ai processi

```
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>

int kill (pid_t pid, int sig)
```

- Valori possibili di `pid`:

  (`pid` > 0) segnale inviato al processo con PID=`pid`

  (`pid` $= 0$) segnale inviato a tutti i processi con gruppo uguale a quello del processo chiamante

  (`pid` -1) segnale inviato a tutti i processi (tranne quelli di sistema)

  (`pid` < -1) segnale inviato a tutti i processi nel gruppo -`pid`

- *Gruppo di processi*: insieme dei processi aventi un antenato in comune.

Segnalazioni tra processi – (cont.)

- Il processo che riceve un segnale asincrono può specificare una routine da attivarsi alla sua ricezione.

```
#include <signal.h>
typedef void (*sighandler_t)(int);
sighandler_t signal (int signum, sighandler_t func);
```

- `func` è la funzione da attivare, anche detta *signal handler*. Può essere una funzione definita dall'utente oppure:

  `SIG_DFL` per specificare il comportamento di default

  `SIG_IGN` per specificare di ignorare il segnale

- All'arrivo di un segnale l'handler e' resettato a `SIG_DFL`.

Segnalazioni tra processi – (cont.)

- Segnali disponibilii (Linux): con il comando `kill -l` o su `man 7 signal`

SIGHUP	1+	Hangup	SIGINT	2+	Interrupt
SIGQUIT	3*	Quit	SIGILL	4*	Illegal instr.
SIGTRAP	5*	Trace trap	SIGABRT	6*	Abort signal.
SIGBUS	7*	Bus error	SIGFPE	8*	FP exception
SIGKILL	9+@	Kill	SIGUSR1	10+	User defined 1
SIGSEGV	11*	Segm. viol.	SIGUSR2	12+	User defined 2
SIGPIPE	13+	write on pipe	SIGALRM	14	Alarm clock
SIGTERM	15+	Software termination signal	-	16	
SIGCHLD	17#	Child stop/termination	SIGCONT	18	Continue after stop
SIGSTOP	19$@	Stop process	SIGTSTP	20$	Stop typed at tty
SIGTTIN	21$	Background read from tty	SIGTTOU	22$	Background write to tty
SIGURG	23#	Urgent condition on socket	SIGXCPU	24*	Cpu time limit
SIGXFSZ	25*	File size limit	SIGVTALRM	26+	Virtual time alarm
SIGPROF	27+	Profiling timer alarm	SIGWINCH	28#	Window size change
SIGIO	29+	I/O now possible	SIGPWR	30+	Power failure
SIGSYS	31+	Bad args to system call			

Segnalazioni tra processi – (cont.)

- Segnali con '+': azione di default = terminazione
- Segnali con '*': azione di default = terminazione e scrittura di un *core file*
- Segnali con '#': azione di default = ignorare il segnale
- Segnali con '$': azione di default = stoppare il processo
- Segnali con '@': non possono essere nè ignorati nè intercettati.
- I segnali 10 e 12 sono a disposizione dell'utente per gestire dei meccanismi di interrupt ad hoc.

  Sono tipicamente utilizzati insieme al *comando* `kill` per attivare la funzione desiderata in modo asincrono
- Esempio:
  Se un programma include l'istruzione `signal(SIGUSR1,int_proc);`, la funzione `int_proc` verrà eseguita tutte le volte che eseguo il comando

  `kill -10` *<PID del processo che esegue la* `signal`*>* .

```
#include <stdio.h>      /* standard I/O functions                  */
#include <unistd.h>     /* standard unix functions, like getpid()*/
#include <signal.h>     /* signal name macros, and the signal()
                           prototype */

/* first, here is the signal handler */
void catch_int(int sig_num)
{
    /* re-set the signal handler again to catch_int, for next time */
    signal(SIGINT, catch_int);
    printf("Don't do that\n");
    fflush(stdout);
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    /* set the INT (Ctrl-C) signal handler to 'catch_int' */
    signal(SIGINT, catch_int);
```

```
    /* now, lets get into an infinite loop of doing nothing. */
    for ( ;; )
        pause();
}
```

```
/*****************************************
MODULO: signal.c
SCOPO: esempio di ricezione di segnali
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <limits.h>
#include <math.h>
#include <signal.h>
#include <stdlib.h>

long maxprim = 0;
long np=0;

void usr12_handler (int s) {
  printf ("\nRicevuto segnale n.%d\n",s);
  printf ("Il piu‘ grande primo trovato e‘ %ld\n",maxprim);
  printf ("Totale dei  numeri primi=%d\n",np);
}
```

```
void good_bye (int s) {
  printf ("\nIl piu‘ grande primo trovato e‘ %ld\n",maxprim);
  printf ("Totale dei  numeri primi=%d\n",np);
  printf ("Ciao!\n");
  exit (1);
}

int is_prime (long x) {
  long fatt;
  long maxfatt = (long)ceil(sqrt((double)x));
  if (x < 4) return 1;
  if (x % 2 == 0) return 0;

  for (fatt=3; fatt<=maxfatt; fatt+=2)
    return (x % fatt == 0 ? 0: 1);
}
```

```
int main (int argc, char *argv[]) {
  long n;

  signal (SIGUSR1, usr12_handler);
  /* signal (SIGUSR2, usr12_handler); */
  signal (SIGHUP, good_bye);

  printf("Usa kill -SIGUSR1 %d per vedere il numero
          primo corrente\n", getpid());
  printf("Usa kill -SIGHUP %d per uscire", getpid());
  fflush(stdout);

  for (n=0; n<LONG_MAX; n++)
  if (is_prime(n)) {
    maxprim = n;
    np++;
  }
}
```

Segnali e terminazione di processi

- Il segnale `SIGCLD` viene inviato da un processo figlio che termina al padre
- L'azione di default è quella di ignorare il segnale (che causa lo sblocco della `wait()`)
- Può essere intercettato per modificare l'azione corrispondente

Timeout e Sospensione

```
#include <unistd.h>
unsigned int alarm (unsigned seconds)
```

- `alarm` invia un segnale (SIGALRM) al processo chiamante dopo `seconds` secondi. Se `seconds` vale 0, l'allarme è annullato.
- La chiamata resetta ogni precedente allarme
- Utile per implementare dei *timeout*, fondamentali per risorse utilizzate da più processi.
- Valore di ritorno:
  - 0 nel caso normale
  - Nel caso esistano delle `alarm()` con tempo residuo, il numero di secondi che mancavano all'allarme.
- Per cancellare eventuali allarmi sospesi: `alarm(0);`

```
#include <stdio.h>      /* standard I/O functions */
#include <unistd.h>     /* standard unix functions, like alarm() */
#include <signal.h>     /* signal name macros,
                           and the signal() prototype */
#include <stdlib.h>

char user[40];    /* buffer to read user name from the user */

/* define an alarm signal handler. */
void catch_alarm(int sig_num)
{
    printf("Operation timed out. Exiting...\n\n");
    exit(0);
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    /* set a signal handler for ALRM signals */
```

```
    signal(SIGALRM, catch_alarm);

    /* prompt the user for input */
    printf("Username: ");
    fflush(stdout);
    /* start a 10 seconds alarm */
    alarm(10);
    /* wait for user input */
    scanf("%s",user);
    /* remove the timer, now that we've got the user's input */
    alarm(0);

    printf("User name: '%s'\n", user);

    return 0;
}
```

Timeout e Sospensione

```
#include <unistd.h>

void pause ()
```

- Sospende un processo fino alla ricezione di un qualunque segnale.
- Ritorna sempre -1
- N.B.: se si usa la `alarm` per uscire da una `pause` bisogna inserire l'istruzione `alarm(0)` dopo la `pause` per disabilitare l'allarme. Questo serve per evitare che l'allarme scatti dopo anche se la `pause` e' già uscita a causa di un'altro segnale.

System Call per la Comunicazione tra Processi (IPC)

Introduzione

- UNIX e IPC
- Pipe
- FIFO (*named pipe*)
- Code di messaggi (*message queue*)
- Memoria condivisa (*shared memory*)
- Semafori

UNIX e IPC

- `ipcs`: riporta lo stato di tutte le risorse, o selettivamente, con le seguenti opzioni:
  - `-s` informazioni sui semafori;
  - `-m` informazioni sulla memoria condivisa;
  - `-q` informazioni sulle code di messaggi.
- `ipcrm`: elimina le risorse (se permesso) dal sistema.
  - Nel caso di terminazioni anomale, le risorse possono rimanere allocate
  - Le opzioni sono quelle `ipcs`
  - Va specificato un ID di risorsa, come ritornato da `ipcs`

- Esempio:

```
host:user> ipcs
IPC status from /dev/kmem as of Wed Oct 16 12:32:13 1996
Message Queues:
T     ID     KEY         MODE       OWNER    GROUP
*** No message queues are currently defined ***

Shared Memory
T     ID     KEY         MODE       OWNER    GROUP
m   1300           0 D-rw-------     root   system
m   1301           0 D-rw-------     root   system
m   1302           0 D-rw-------     root   system

Semaphores
T     ID     KEY         MODE       OWNER    GROUP
*** No semaphores are currently defined ***
```

Pipe

- Il modo più semplice di stabilire un canale di comunicazione *unidirezionale e sequenziale* **in memoria** tra due processi consiste nel creare una *pipe*:

```
#include <unistd.h>

int pipe (int fildes[2])
```

- La chiamata ritorna zero in caso di successo, `-1` in caso di errore.
- Il primo descrittore (`[0]`) viene usato per leggere, il secondo `[1]` per scrivere.
- NOTA: L'interfaccia è quella dei file, quindi sono applicabili le system call che utilizzano file descriptor.

```
/*****************************************
MODULO: pipe.c
SCOPO: esempio di IPC mediante pipe
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
  int status, p[2];
  char buf[64];

  pipe (p);
  if ((status=fork()) == -1)  /* errore */
    syserr (argv[0], "fork() fallita");
  else if (status == 0) { /* figlio */
    close (p[1]);
```

```
    if (read(p[0],buf,BUFSIZ) == -1)
      syserr (argv[0], "read() fallita");
    printf ("Figlio - ricevuto: %s\n", buf);
    exit(0);
  } else  {  /* padre */
    close(p[0]);
    printf("Padre - invio nella pipe 'In bocca al lupo'\n");
    write(p[1], "In bocca al lupo", 17);
    wait(&status);
    exit(0);
  }
}
```

Pipe e I/O

- Non è previsto l'accesso random (no `lseek`).
- La dimensione fisica delle pipe è limitata (dipendente dal sistema – BSD classico = 4K).
- L'operazione di `write` su una pipe è **atomica**
- La scrittura di un numero di Byte superiore a questo numero:
  - Blocca il processo scrivente fino a che non si libera spazio
  - la `write` viene eseguita a "pezzi", con risultati non prevedibili (es. più processi che scrivono)
- La `read` si blocca su pipe vuota e si sblocca non appena un Byte è disponibile (anche se ci sono meno dati di quelli attesi!)
- Chiusura prematura di un estremo della pipe:
  - scrittura: le `read` ritornano 0.
  - lettura: i processi in scrittura ricevono il segnale SIGPIPE (broken pipe)

Pipe e comandi

```
/*********************************************
MODULO: pipe2.c
SCOPO: Realizzare il comando "ps | sort"
*********************************************/
#include <sys/types.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

main ()
{
       pid_t pid;
       int pipefd[2];

       pipe (pipefd);
       if ((pid = fork()) == 0) { /* figlio */
            close(1);      /* close stdout */
```

```
            dup (pipefd[1]);
            close (pipefd[0]);
            execlp ("ps", "ps", NULL);
        }
        else if (pid > 0) { /* padre */
            close(0); /* close stdin  */
            dup (pipefd[0]);
            close (pipefd[1]);
            execlp ("sort", "sort", NULL);
        }
}
```

Pipe e I/O non bloccante

- E' possibile forzare il comportamento di `write` e `read` rimuovendo la limitazione del bloccaggio.
- Realizzato tipicamente con `fcntl` per impostare la flag `O_NDELAY` sul corrispondente file descriptor (0 o 1)
- Utile per implementare meccanismi di polling su pipe.
  - Se la flag `O_NDELAY` è impostata, una `write` su una pipe piena ritorna subito 0, e una `read` su una pipe vuota ritorna subito 0.

Pipe

- Limitazioni
  - possono essere stabilite soltanto tra processi *imparentati* (es., un processo ed un suo "progenitore", o tra due discendenti di un unico processo)
  - Non sono permanenti e sono distrutte quando il processo che le crea termina
- Soluzione: assegnare un nome *unico* alla pipe: *named pipe* dette anche FIFO.
- Funzionamento identico, ma il riferimento avviene attraverso il nome anzichè attraverso il file descriptor.
- Esistono fisicamente su disco e devono essere rimossi esplicitamente con `unlink`

Named Pipe (FIFO)

- Si creano con `mknod` (l'argomento `dev` viene ignorato)

  `mknod` (*nome*, `S_IFIFO|`*mode*, `0`)

  – valore di ritorno: 0 in caso di successo, -1 in caso di errore.

- apertura, lettura/scrittura, chiusura avvengono come per un normale file
- Possono essere usate da processi non in relazione, in quanto il nome del file è unico nel sistema.
- Le operazioni di I/O su FIFO sono atomiche
- I/O normalmente bloccante, ma è possibile aprire (con `open` e flag `O_NDELAY`) un FIFO in modo non bloccante. In tal modo sia `read` che `write` saranno non bloccanti.
- Utilizzabile anche la funzione `mkfifo()`

```
/*****************************************
MODULO: fifo.c
SCOPO: esempio di IPC mediante named pipe

USO: Lanciare due copie del programma su due
shell separate, una con flag -0 e
l'altra con flag -1.
Lanciare prima quella con flag -1 che crea
la fifo.
La copia del programma con flag -0 leggera'
quanto scritto dalla copia con flag -1.
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>
```

```
int main (int argc, char *argv[]) {
  int i,fd;
  char buf[64];

  if (argc != 2) {
    printf("Usage: fifo.x -[0|1]\n\t -0 to read\n\t -1 to write\n");
    exit(1);
  } else if (strncmp(argv[1], "-1", 2)==0){
    if (mknod("fifo",S_IFIFO|0777,0)== -1) {
      perror("mknod");
      exit(1);
    }
    if ((fd = open("fifo",O_WRONLY))==-1){
      perror("FIFO: -1");
      unlink("fifo");
      exit(1);
    }
```

```
} else if (strncmp(argv[1], "-0", 2)==0){
  if ((fd = open("fifo",O_RDONLY))==-1){
    perror("FIFO: -1");
    unlink("fifo");
    exit(1);
  }
} else {
  printf("Wrong parameter: %s\n", argv[1]);
  unlink("fifo");
  exit(1);
}
for (i=0;i<20;i++) {
  if (strncmp(argv[1], "-1", 2)==0){
    write(fd,"HELLO",6);
    printf("Written HELLO %d \n", i);
  } else {
    read(fd,buf,6);
    printf("Read %s %d\n",buf,i);}}}
```

Meccanismi di IPC Avanzati

- Cosiddette IPC SystemV:
  - Code di messaggi
  - Memoria condivisa
  - Semafori
- Disponibili API alternative (es. POSIX IPC).
  Particolarmente usate quelle per semafori!

Meccanismi di IPC Avanzati – (cont.)

- Caratteristiche comuni:
  - Una primitiva "`get`" per creare una nuova entry o recuperarne una esistente
  - Una primitiva "`ctl`" (control) per:
    * verificare lo stato di una entry,
    * cambiare lo stato di una entry
    * rimuovere una entry.

Meccanismi di IPC Avanzati – (cont.)

- La primitiva "`get`" specifica due informazioni associate ad ogni entry:
  - Una *chiave*, usata per la creazione dell'oggetto:
    - Valore intero arbitrario;
    - Valore intero generato con la funzione
      `key_t ftok(char *path, char id);`
      - dato un nome di file esistente ed un carattere.
      - Utile per evitare conflitti tra processi diversi;
    - `IPC_PRIVATE`, costante usata per creare una nuova entry
  - Dei *flag* di utilizzo:
    - `IPC_CREAT`: si crea una nuova entry se la chiave non esiste
    - `IPC_CREATE` + `IPC_EXCL`: si crea una nuova entry ad uso esclusivo da parte del processo
    - Permessi relativi all'accesso (tipo `rwxrwxrwx`)

Meccanismi di IPC Avanzati – (cont.)

- L'identificatore ritornato dalla "`get`" (se diverso da -1) è un descrittore utilizzabile dalle altre system call
- La creazione di un oggetto IPC causa anche l'inizializzazione di:
  - una struttura dati, diversa per i vari tipi di oggetto contenente informazioni su
    - UID, GID
    - PID dell'ultimo processo che l'ha modificata
    - Tempi dell'ultimo accesso o modifica
  - una struttura di permessi `ipc_perm`, contenente:

```
ushort cuid;    /* creator user id */
ushort cgid;    /* creator group id */
ushort uid; /* owner user id */
ushort gid; /* owner group id */
ushort mode; /* r/w permissions */
```

Code di Messaggi

- Un messaggio è una unità di informazione di dimensione variabile, senza un formato predefinito
- Vengono memorizzati nelle *code*, che vengono individuate dalla chiave

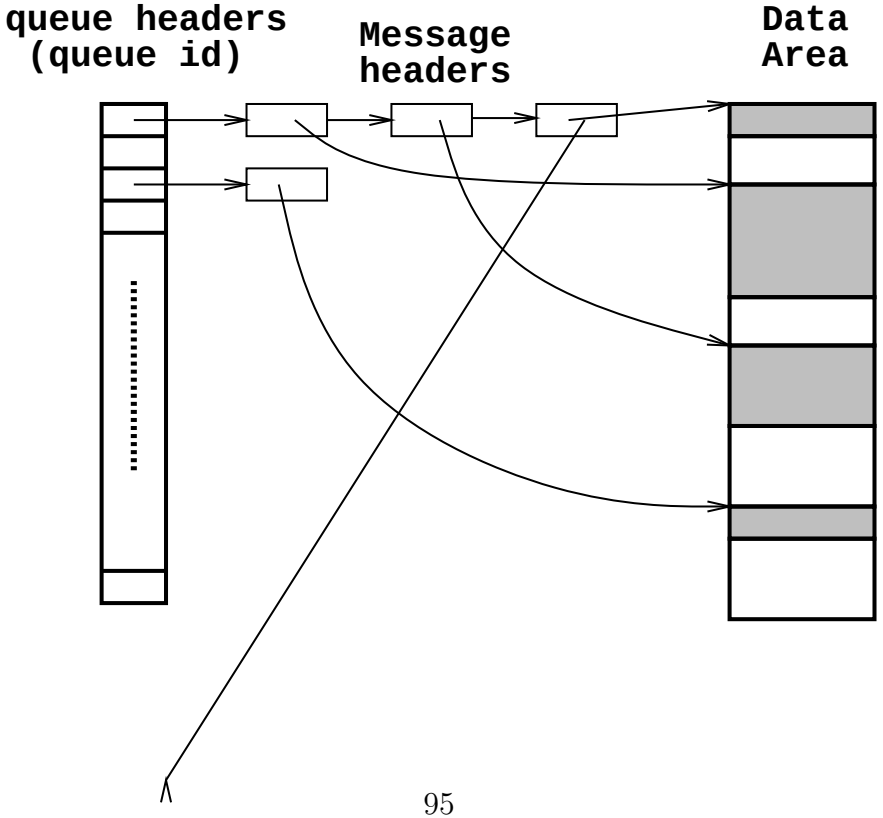
```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>

int msgget (key_t key, int flag)
```

- Crea una coda di messaggi data la chiave `key` (di tipo `long`) se
  - `key` = `IPC_PRIVATE`, oppure
  - `key` non è definita, e `flag & IPC_CREAT` è vero.

Code di Messaggi – (cont.)

- I permessi associati ad una entry vengono specificati nei 9 LSb del campo `flag` (cfr. `creat`).
- Hanno significato solo i flag di lettura e scrittura.
- Struttura delle code di messaggi:



Code di Messaggi: Gestione

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>

int msgctl (int id, int command, struct msqid_ds *buffer)
```

- `id` è il descrittore ritornato da `msgget`
- `command`:

`IPC_RMID`	Cancella la coda (`buffer` non usato)
`IPC_STAT`	Ritorna informazioni relative alla coda nella struttura puntata da `buffer` (contiene info su UID, GID, stato della coda)
`IPC_SET`	Modifica un sottoinsieme dei campi contenuti nella struct

Code di Messaggi: Gestione – (Cont.)

- `buffer` è un puntatore a una struttura definita in `sys/msg.h` contenente (campi utili):

```
struct msqid_ds
{
  struct ipc_perm msg_perm;     /* permissions (rwxrwxrwx) */
  __time_t msg_stime;           /* time of last msgsnd command */
  __time_t msg_rtime;           /* time of last msgrcv command */
  __time_t msg_ctime;           /* time of last change */
  unsigned long int __msg_cbytes; /* current number of bytes on queue */
  msgqnum_t msg_qnum;           /* number of messages currently on queue */
  msglen_t msg_qbytes;          /* max number of bytes allowed on queue */
  __pid_t msg_lspid;            /* pid of last msgsnd() */
  __pid_t msg_lrpid;            /* pid of last msgrcv() */
};
```

Code di Messaggi: Scambio di Informazione

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>
int msgsnd(int id,struct msgbuf *msg,size_t size,int flag)
int msgrcv(int id,struct msgbuf *msg,size_t size,long type,int flag);
```

- `id` è il descrittore ritornato da `msgget`
- Struttura dei messaggi:

```
struct msgbuf {
   long    mtype;       /* message type */
   char    mtext[1];    /* message text */
};
```

- Da interpretare come "template" di messaggio!
- In pratica, si usa una `struct` costruita dall'utente

Code di Messaggi: Scambio di Informazione – (cont.)

- `flag`:

`IPC_NOWAIT`	(`msgsnd` e `msgrcv`)	non si blocca se non ci sono messaggi da leggere
`MSG_NOERRROR`	(`msgrcv`)	tronca i messaggi a `size` byte senza errore

- `type` indica quale messaggio prelevare:
  - 0 Il primo messaggio, indipendentemente dal tipo
  - > 0 Il primo messaggio di tipo `type`
  - < 0 Il primo messaggio con tipo più "vicino" al valore assoluto di `type`

```
/*************************************
PROCESSO SERVER
*************************************/
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MSGKEY  75
#define MSGTYPE  1

int main (int argc,char **argv) {
  key_t msgkey;
  int msgid, pid;
  struct msg {
```

```
    int mtype;
    char mtext[256];
  } Message;

  if ((msgid = msgget(MSGKEY,(0666|IPC_CREAT|IPC_EXCL))) == -1) {
    perror(argv[0]);
  }

  /* leggo dalla coda */
  msgrcv(msgid,&Message,sizeof(Message.mtext),MSGTYPE,0);  /* WAIT */
  printf("Received from client: %s\n",Message.mtext);

  /* scrivo in un messagio il pid e lo invio*/
  pid = getpid();
  sprintf(Message.mtext,"%d",pid);
  Message.mtype = MSGTYPE;
  msgsnd(msgid,&Message,sizeof(Message.mtext),0);  /* WAIT */
}
```

```
/*************************************
  PROCESSO CLIENT
*************************************/
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MSGKEY  75
#define MSGTYPE  1

int main (int argc,char **argv) {
  key_t msgkey;
  int msgid, pid;
  struct msg {
```

```
    int mtype;
    char mtext[256];
  } Message;

  if ((msgid = msgget(MSGKEY,0666)) == -1) {
    perror(argv[0]);
  }
  /* scrivo il PID in un messagio e lo
     invio nella coda */
  pid = getpid();
  sprintf(Message.mtext,"%d",pid);
  Message.mtype = MSGTYPE;
  msgsnd(msgid,&Message,sizeof(Message.mtext),0);  /* WAIT */

  /* Ricevo dalla coda il messaggio del server */
  msgrcv(msgid,&Message,sizeof(Message.mtext),MSGTYPE,0);  /* WAIT */
  printf("Received message from server: %s\n",Message.mtext);
}
```

```
/*****************************************
MODULO: msgctl.c
SCOPO: Illustrare il funz. di msgctl()
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/msg.h>
#include <time.h>

void do_msgctl();
char warning_message[] = "If you remove read permission for
            yourself, this program will fail frequently!";

int main(int argc, char* argv[]) {
  struct msqid_ds buf; /*buffer per msgctl()*/
  int cmd;   /* comando per msgctl() */
```

```
int msqid; /* ID della coda da passare a msgctl() */

if (argc!=2){
  printf("Usage: msgctl.x <msgid>\n");
  exit(1);
}

msqid = atoi(argv[1]);

fprintf(stderr, "\tIPC_RMID = %d\n", IPC_RMID);
fprintf(stderr, "\tIPC_SET = %d\n", IPC_SET);
fprintf(stderr, "\tIPC_STAT = %d\n", IPC_STAT);
fprintf(stderr, "\nScegliere l'opzione desiderata: ");

scanf("%i", &cmd);

switch (cmd) {
case IPC_SET:
```

```
  fprintf(stderr, "Prima della IPC_SET,
                   controlla i valori correnti:");
  /* notare: non e' stato inserito il break, quindi di seguito
  vengono eseguite le istruzioni del case IPC_STAT */

case IPC_STAT:
  do_msgctl(msqid, IPC_STAT, &buf);
  fprintf(stderr, "msg_perm.uid = %d\n", buf.msg_perm.uid);
  fprintf(stderr,"msg_perm.gid = %d\n", buf.msg_perm.gid);
  fprintf(stderr, "msg_perm.cuid = %d\n", buf.msg_perm.cuid);
  fprintf(stderr, "msg_perm.cgid = %d\n", buf.msg_perm.cgid);
  fprintf(stderr, "msg_perm.mode = %#o, ", buf.msg_perm.mode);
  fprintf(stderr, "access permissions = %#o\n",
                  buf.msg_perm.mode & 0777);
  fprintf(stderr, "msg_cbytes = %d\n", buf.msg_cbytes);
  fprintf(stderr, "msg_qbytes = %d\n",buf.msg_qbytes);
  fprintf(stderr, "msg_qnum = %d\n", buf.msg_qnum);
  fprintf(stderr, "msg_lspid = %d\n", buf.msg_lspid);
```

```
fprintf(stderr, "msg_lrpid = %d\n", buf.msg_lrpid);
if (buf.msg_stime) {
  fprintf(stderr, "msg_stime = %s\n", ctime(&buf.msg_stime));
}
if (buf.msg_rtime) {
  fprintf(stderr, "msg_rtime = %s\n", ctime(&buf.msg_rtime));
}
  fprintf(stderr, "msg_ctime = %s", ctime(&buf.msg_ctime));

/* se il comando originario era IPC_STAT allora esco
   dal case, altrimenti proseguo con le operazioni
   specifiche per la modifica dei parametri della coda.
*/
if (cmd == IPC_STAT)
  break;

/* Modifichiamo alcuni parametri della coda */
fprintf(stderr, "Enter msg_perm.uid: ");
```

```
  scanf ("%hi", &buf.msg_perm.uid);
  fprintf(stderr, "Enter msg_perm.gid: ");
  scanf("%hi", &buf.msg_perm.gid);
  fprintf(stderr, "%s\n", warning_message);
  fprintf(stderr, "Enter msg_perm.mode: ");
  scanf("%hi", &buf.msg_perm.mode);
  fprintf(stderr, "Enter msg_qbytes: ");
  scanf("%hi", &buf.msg_qbytes);
  do_msgctl(msqid, IPC_SET, &buf);
  break;

case IPC_RMID:
default:
  /* Rimuove la coda di messaggi. */
  do_msgctl(msqid, cmd, (struct msqid_ds *)NULL);
  break;
}
exit(0);
```

```
}

void do_msgctl(int msqid, int cmd, struct msqid_ds* buf) {
  int rtrn; /* per memorizzare il valore di ritorno della msgctl() */

  fprintf(stderr, "\nmsgctl: Calling msgctl(%d, %d, %s)\n",
          msqid, cmd, buf ? "&buf" : "(struct msqid_ds *)NULL");
  rtrn = msgctl(msqid, cmd, buf);

  if (rtrn == -1) {
    perror("msgctl: msgctl failed");
    exit(1);
  } else {
    fprintf(stderr, "msgctl: msgctl returned %d\n", rtrn);
  }
}
```

Analisi esempi

Per provare gli esempi precedenti:

- lanciare il programma server
- lanciare il programma client su una shell separata
  - client e server si scambieranno un messaggio e termineranno lasciando la coda di messaggi attiva.
- eseguire il comando `ipcs -q` per verificare che effettivamente esista una coda attiva.
- lanciare il programma `msgctl.c` passandogli come parametro il valore $msquid$ visualizzato dal comando `ipcs -q`
- provare le varie opzioni del programma `msgctl.c`, in particulare usare `IPC_SET` per variare le caratteristiche della coda e `IPC_RMID` per rimuovere la coda

Memoria Condivisa

- Due o più processi possono comunicare anche condividendo una parte del loro spazio di indirizzamento (virtuale).
- Questo spazio condiviso è detto *memoria condivisa* (*shared memory*), e la comunicazione avviene scrivendo e leggendo questa parte di memoria

```
#include <sys/shm.h>
#include <sys/ipc.h>

shm_id  shmget(key_t key, int size, int flags);
```

- I parametri hanno lo stesso significato di quelli utilizzati da `msgget`.
- `size` indica la dimensione in byte della regione condivisa.

Memoria Condivisa – (cont.)

- Una volta creata, l'area di memoria non è subito disponibile
- Deve essere *collegata* all'area dati dei processi che vogliono utilizzarla.

```
#include <sys/shm.h>
#include <sys/ipc.h>

char *shmat (int shmid, char *shmaddr, int flag)
```

- `shmaddr` indica l'indirizzo virtuale dove il processo vuole `attaccare` il segmento di memoria condivisa.
- Il valore di ritorno rappresenta l'indirizzo di memoria condivisa effettivamente risultante

Memoria Condivisa – (cont.)

- In base ai valori di `flag` e di `shmaddr` si determina il punto di attacco del segmento:

`shmaddr = 0 && (flag & SHM_RND)`	al primo indirizzo disponibile
`shmaddr != 0 && !(flag & SHM_RND)`	all'indirizzo indicato da `shmaddr`

- Il segmento è attaccato in lettura se `flag & SHM_RDONLY` è vero, contemporaneamente in lettura e scrittura altrimenti.
- Un segmento attaccato in precedenza può essere "staccato" (*detached*) con `shmdt`

```
int shmdt (char *shmaddr)
```

  dove `shmaddr` è l'indirizzo che individua il segmento di memoria condivisa.

- Non viene passato l'ID della regione perchè è possibile avere più aree di memoria identificate dallo stesso ID (cioè attaccate ad indirizzi diversi);

Memoria Condivisa: Gestione

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>

int shmctl (int shmid, int cmd, struct shmid_ds *buffer);
```

- `shmid` è il descrittore ritornato da `shmget`
- Valori di `cmd`:

`IPC_RMID`	Cancella il segm. di memoria condivisa
`IPC_STAT`	Ritorna informazioni relative all'area di memoria condivisa nella struttura puntata da `buffer` (contiene info su UID, GID, permessi, stato della memoria)
`IPC_SET`	Modifica un sottoinsieme dei campi contenuti nella struct (UID, GID, permessi)
`SHM_LOCK`	Impedisce che il segmento venga swappato o paginato

Memoria Condivisa: Gestione – (Cont.)

- `buffer` è un puntatore a una struttura definita in `sys/shm.h` contenente:

```
struct shmid_ds   {
    struct ipc_perm shm_perm;          /* operation permission struct */
    size_t shm_segsz;                  /* size of segment in bytes */
    __time_t shm_atime;                /* time of last shmat() */
    __time_t shm_dtime;                /* time of last shmdt() */
    __time_t shm_ctime;                /* time of last change by shmctl() */
    __pid_t shm_cpid;                  /* pid of creator */
    __pid_t shm_lpid;                  /* pid of last shmop */
    shmatt_t shm_nattch;               /* number of current attaches */
  };
```

```
/************************************************
MODULO: shmctl.c
SCOPO: Illustrare il funz. di shmctl()
USO: Lanciare il programma e fornire l'ID
     di un segmento di memoria condivisa
     precedentemente creato.
     Usare il comando della shell ipcs per vedere
     i segmenti di memoria condivisa attivi
************************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#include <time.h>

void do_shmctl();

int main(int argc, char *argv[]) {
  int cmd; /* comando per shmctl() */
```

```
int shmid; /* ID dell'area di memoria condivisa*/
struct shmid_ds shmid_ds; /* struttura per il controllo
                             dell'area di memoria condivisa*/

fprintf(stderr, "Inserire l'ID del segmento di memoria condiviso: ");
scanf("%i", &shmid);

fprintf(stderr, "Comandi validi:\n");
fprintf(stderr, "\tIPC_RMID =\t%d\n", IPC_RMID);
fprintf(stderr, "\tIPC_SET =\t%d\n", IPC_SET);
fprintf(stderr, "\tIPC_STAT =\t%d\n", IPC_STAT);
fprintf(stderr, "\tSHM_LOCK =\t%d\n", SHM_LOCK);
fprintf(stderr, "\tSHM_UNLOCK =\t%d\n", SHM_UNLOCK);
fprintf(stderr, "Scegliere il comando desiderato: ");
scanf("%i", &cmd);

switch (cmd) {
  case IPC_STAT:
    /* Le informazioni sullo stato della memoria condivisa
    vengono recuperate con la chiamata alla funzione
```

```
  do_shmctl(shmid, cmd, &shmid_ds) eseguita al termine
  del case. Le informazioni saranno inserite nella
  struttura shmid_ds*/
  break;
case IPC_SET:
  /*visualizzazione dello stato attuale della memoria */
  do_shmctl(shmid, IPC_STAT, &shmid_ds);
  /* Lettura da tastiera dei valori di UID, GID, e permessi da settare */
  fprintf(stderr, "\nInserire shm_perm.uid: ");
  scanf("%hi", &shmid_ds.shm_perm.uid);
  fprintf(stderr, "Inserire shm_perm.gid: ");
  scanf("%hi", &shmid_ds.shm_perm.gid);
  fprintf(stderr, "N.B.: Mantieni il permesso di lettura per te stesso!\n");
  fprintf(stderr, "Inserire shm_perm.mode: ");
  scanf("%hi", &shmid_ds.shm_perm.mode);
  break;
case IPC_RMID: /* Rimuove il segmento */
  break;
case SHM_LOCK: /* Esegui il lock sul segmento */
  break;
```

```
    case SHM_UNLOCK: /* Esegui unlock sul segmento */
      break;
    default: /* Comando sconosciuto passato a do_shmctl */
      break;
  }
  /* La funzione do_shmctl esegue il comando scelto dall'utente */
  do_shmctl(shmid, cmd, &shmid_ds);
  exit(0);
}

void do_shmctl(int shmid, int cmd, struct shmid_ds* buf) {
  int rtrn; /* valore di ritorno della shmctl */

  fprintf(stderr, "shmctl: Chiamo shmctl(%d, %d, buf)\n", shmid, cmd);
  if (cmd == IPC_SET) {
    fprintf(stderr, "\tbuf->shm_perm.uid == %d\n", buf->shm_perm.uid);
    fprintf(stderr, "\tbuf->shm_perm.gid == %d\n", buf->shm_perm.gid);
    fprintf(stderr, "\tbuf->shm_perm.mode == %#o\n", buf->shm_perm.mode);
  }
  if ((rtrn = shmctl(shmid, cmd, buf)) == -1) {
```

```
  perror("shmctl: shmctl fallita.");
  exit(1);
} else {
  fprintf(stderr, "shmctl: shmctl ha ritornato %d\n", rtrn);
}
if (cmd != IPC_STAT && cmd != IPC_SET)
  return; /* ritorno perche' il comando e' stato eseguito e non
             devo visualizzare nessuna informazione sullo stato */

/* Stampa lo stato corrente del segmento */
fprintf(stderr, "\nCurrent status:\n");
fprintf(stderr, "\tshm_perm.uid = %d\n", buf->shm_perm.uid);
fprintf(stderr, "\tshm_perm.gid = %d\n", buf->shm_perm.gid);
fprintf(stderr, "\tshm_perm.cuid = %d\n", buf->shm_perm.cuid);
fprintf(stderr, "\tshm_perm.cgid = %d\n", buf->shm_perm.cgid);
fprintf(stderr, "\tshm_perm.mode = %#o\n", buf->shm_perm.mode);
fprintf(stderr, "\tshm_perm.key = %#x\n", buf->shm_perm.__key);
fprintf(stderr, "\tshm_segsz = %d\n", buf->shm_segsz);
fprintf(stderr, "\tshm_lpid = %d\n", buf->shm_lpid);
fprintf(stderr, "\tshm_cpid = %d\n", buf->shm_cpid);
```

```
  fprintf(stderr, "\tshm_nattch = %d\n", buf->shm_nattch);
  if (buf->shm_atime)
    fprintf(stderr, "\tshm_atime = %s", ctime(&buf->shm_atime));
  if (buf->shm_dtime)
    fprintf(stderr, "\tshm_dtime = %s", ctime(&buf->shm_dtime));
  fprintf(stderr, "\tshm_ctime = %s", ctime(&buf->shm_ctime));
}
```

```
/*************************************************************
NOME: shm1.c
SCOPO: ‘‘attaccare’’ due volte un’area di memoria condivisa
       Ricordarsi di rimuovere la memoria condivisa al termine
       del programma lanciando shmctl.c oppure tramite il comando
       della shell ipcrm.
*************************************************************/
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#define K 1
#define SHMKEY 75
#define N 10

int shmid;
int main (int argc, char **argv) {
  int i, *pint;
  char *addr1, *addr2;
```

```
/* Creao il segmento condiviso di dimensione 128*K byte */
shmid = shmget(SHMKEY, 128*K, 0777|IPC_CREAT);
/* Attacco il segmento in due zone diverse */
addr1 = shmat(shmid,0,0);
addr2 = shmat(shmid,0,0);

printf("Address1 = 0x%x\t Address2 = 0x%x\t\n", addr1,addr2);

/* scrivo nella regione 1 */
pint = (int*)addr1;
for (i=0;i<N;i++) {
  *pint = i;
  printf("Writing: Index %4d\tValue: %4d\tAddress: 0x%x\n",
                  i,*pint,pint);
  pint++;
}
/* leggo dalla regione 2 */
pint = (int*)addr2;
for (i=0;i<N;i++) {
```

```
    printf("Reading: Index %4d\tValue: %4d\tAddress: 0x%x\n",
                     i,*pint,pint);
    pint++;
  }
}
```

```
/*************************************************************
NOME:  shm2.c
SCOPO: ‘‘attaccarsi’’ ad un area di memoria condivisa
USO:   lanciare prima il programma shm1.c per creare la memoria
       condivisa.
       Ricordarsi di rimuovere la memoria condivisa al termine
       del programma lanciando shmctl.c oppure tramite il comando
       della shell ipcrm.
*************************************************************/
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#include <stdio.h>
#define K 1
#define N 20
#define SHMKEY 75

int shmid;
int main (int argc, char **argv) {
  int i, *pint;
```

```
  char *addr;

  /*mi attacco alla regione creata dal programma shm1.c*/
  shmid = shmget(SHMKEY, 128*K, 0777);
  addr = shmat(shmid,0,0);
  printf("Address = 0x%x\n", addr);
  pint = (int*) addr;
  /* leggo dalla regione attaccata in precedenza */
  for (i=0;i<N;i++) {
    printf("Reading: (Value = %4d)\n",*pint++);
  }
}
```

```
/*********************************************************
MODULO: shm_server.c
SCOPO: server memoria condivisa
USO: lanciare il programma shm_server.c in una shell
     e il programma shm_client.c in un'altra shell
     Ricordarsi di rimuovere la memoria condivisa creata
     dal server al termine del programma lanciando shmctl.c
     oppure tramite il comando della shell ipcrm.
*********************************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#include <stdio.h>
#define SHMSZ 27

int main(int argc, char *argv[]) {
  char c;
  int shmid;
```

```
key_t key;
char *shm, *s;
key = 5678;


/* Creo il segmento */
if ((shmid = shmget(key, SHMSZ, IPC_CREAT | 0666)) < 0) {
  perror("shmget");
  exit(1);
}
/* Attacco il segmento all'area dati del processo */
if ((shm = shmat(shmid, NULL, 0)) == (char *) -1) {
  perror("shmat");
  exit(1);
}
s = shm;
for (c = 'a'; c <= 'z'; c++)
  *s++ = c;

*s = NULL;
```

```
  while (*shm != '*')
    sleep(1);

  printf("Received '*'. Exiting...\n");
  exit(0);
}
```

```
/*********************************************************
MODULO: shm_client.c
SCOPO: client memoria condivisa
USO: lanciare il programma shm_server.c in una shell
     e il programma shm_client.c in un'altra shell
     Ricordarsi di rimuovere la memoria condivisa creata
     dal server al termine del programma lanciando shmctl.c
     oppure tramite il comando della shell ipcrm.
*********************************************************/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>
#include <stdio.h>
#define SHMSZ 27

int main(int argc, char *argv[]) {
  int shmid;
  key_t key;
```

```
char *shm, *s;
key = 5678;

/* Recupero il segmento creato dal server */
if ((shmid = shmget(key, SHMSZ, 0666)) < 0) {
  perror("shmget");
  exit(1);
}

/* Attacco il segmento all'area dati del processo */
if ((shm = shmat(shmid, NULL, 0)) == (char *) -1) {
  perror("shmat");
  exit(1);
}

/* Stampo il contenuto della memoria */
printf("Contenuto del segmento condiviso con il server: ");
for (s = shm; *s != NULL; s++)
  putchar(*s);
```

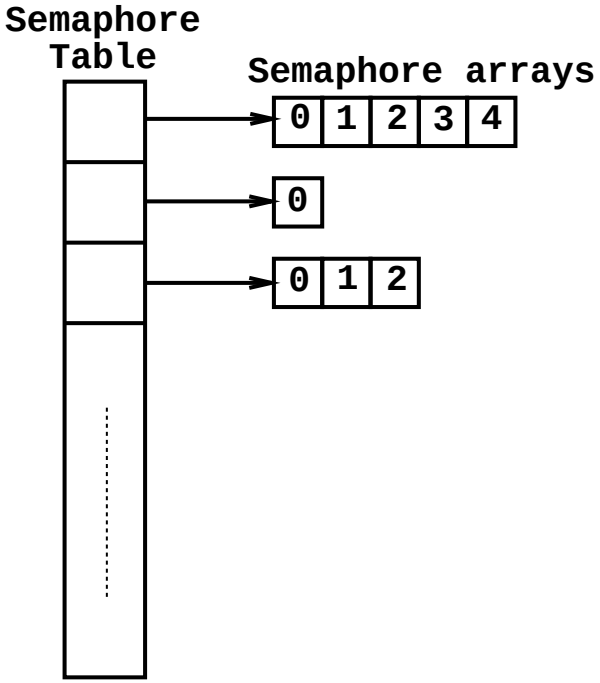
```
  putchar('\n');
  sleep(3);
  /* ritorno * al server affinche' possa terminare */
  *shm = '*';
  exit(0);
}
```

Sincronizzazione tra Processi

- I semafori permettono la sincronizzazione dell'esecuzione di due o più processi
  - Sincronizzazione su un dato valore
  - Mutua esclusione
- Semafori SystemV:
  - piuttosto diversi da semafori classici
  - "pesanti" dal punto di vista della gestione
- Disponibili varie API (per es. POSIX semaphores)

Semafori (SystemV API)

- Non è possibile allocare un singolo semaforo, ma è necessario crearne un insieme (vettore di semafori)
- Struttura interna di un semaforo



Semafori (SystemV API)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int semid = semget(int key, int count, short flags);
```

- I valori di `key` e di `flags` sono identici al caso delle code di messaggi e della shared memory.
- `count` è il numero di semafori identificati dal `semid` (quanti semafori sono contenuti nel vettore).
  - Il primo vettore del semaforo ha indice 0
- NOTA: I semafori hanno sempre valore iniziale = 0 $\Rightarrow$ potenziali deadlock durante la creazione!

Operazioni su Semafori

```
int semctl(int semid, int semnum, int command, union semun *args);
union semun {
   int val;
   struct semid_ds* buffer;
   unsigned short *array;
};
```

- Operazioni (`command`):

`IPC_RMID`*	Rimuove il set di semafori
`IPC_SET`@	Modifica il set di semafori
`IPC_STAT`@	Statistiche sul set di semafori
`GETVAL`*	legge il valore del semaforo `semnum` in `args.val`
`GETALL`#	legge tutti i valori in `args.array`
`SETVAL`*	assegna il valore del semaforo `semnum` in `args.val`
`SETALL`#	assegna tutti i semafori con i valori in `args.array`
`GETPID`*	Valore di PID dell'ultimo processo che ha fatto operazioni
`GETNCNT`*	numero di processi in attesa che un semaforo aumenti
`GETZCNT`*	numero di processi in attesa che un semaforo diventi 0

Operazioni su Semafori

- Operazioni con "*": `arg` = `arg.val` (intero)
- Operazioni con "#": `arg` = `arg.array` (puntatore a array di `short`)
- Operazioni con "@": `arg` = `arg.buf` (puntatore a buffer di tipo `semid_ds`)
- `buffer` è un puntatore ad una struttura `semid_ds` definita in `sys/sem.h`:

```
struct semid_ds   {
    struct ipc_perm sem_perm;           /* operation permission struct */
    time_t sem_otime;                   /* Last semop time */
    time_t sem_ctime;                   /* Last change time */
    unsigned short sem_nsems;           /* No. of semaphores */
  };
```

- La union `semun` deve essere definita nel codice del processo che chiama la `semctl()`

Operazioni su Semafori

La `semctl()` ritorna valori diversi a seconda del comando eseguito :

- `GETNCNT`: il numero di processi in attesa che il semaforo `semnum` venga incrementato
- `GETPID`: il PID dell'ultimo processo che ha effettuato `semop()` sul semaforo `semnum` dell'insieme
- `GETVAL`: il valore del semaforo `semnum` dell'insieme
- `GETZCNT`: il numero di processi in attesa che il semaforo `semnum` diventi 0

```
/*****************************************************************
MODULO: semctl.c
SCOPO:  Illustrare il funz. di semctl()
USO:    prima di lanciare semctl.c() creare un semaforo usando un altro
        programma (ad esempio sem.x)
*****************************************************************/
#include   <stdlib.h>
#include   <stdio.h>
#include   <sys/types.h>
#include   <sys/ipc.h>
#include   <sys/sem.h>
#include   <time.h>

struct semid_ds semid_ds;

/* explicit declaration required */
union semun {
  int val;
  struct semid_ds* buf;
  unsigned short int *array;
```

```
  struct seminfo *__buf;
} arg;

void do_semctl(int semid, int semnum, int cmd, union semun arg);
void do_stat();
char warning_message[] = "If you remove read permission for yourself,
                          this program will fail frequently!";

int main(int argc, char *argv[]) {
  union semun arg; /* union to pass to semctl() */
  int cmd;         /* command to give to semctl() */
  int i;
  int semid;       /* semid to pass to semctl() */
  int semnum;      /* semnum to pass to semctl() */

  fprintf(stderr, "Enter semid value: ");
  scanf("%i", &semid);

  fprintf(stderr, "Valid semctl cmd values are:\n");
  fprintf(stderr, "\tGETALL = %d\n", GETALL);
```

```
fprintf(stderr, "\tGETNCNT = %d\n", GETNCNT);
fprintf(stderr, "\tGETPID = %d\n", GETPID);
fprintf(stderr, "\tGETVAL = %d\n", GETVAL);
fprintf(stderr, "\tGETZCNT = %d\n", GETZCNT);
fprintf(stderr, "\tIPC_RMID = %d\n", IPC_RMID);
fprintf(stderr, "\tIPC_SET = %d\n", IPC_SET);
fprintf(stderr, "\tIPC_STAT = %d\n", IPC_STAT);
fprintf(stderr, "\tSETALL = %d\n", SETALL);
fprintf(stderr, "\tSETVAL = %d\n", SETVAL);
fprintf(stderr, "\nEnter cmd: ");
scanf("%i", &cmd);

/* Do some setup operations needed by multiple commands. */
switch (cmd) {
  case GETVAL:
  case SETVAL:
  case GETNCNT:
  case GETZCNT:
  /* Get the semaphore number for these commands. */
    fprintf(stderr, "\nEnter semnum value: ");
```

```
    scanf("%i", &semnum);
    break;
  case GETALL:
  case SETALL:
    /* Allocate a buffer for the semaphore values. */
    fprintf(stderr,"Get number of semaphores in the set.\n");
    arg.buf = &semid_ds;
    /* when IPC_STAT is called the second argument of semctl() is ignored.
       IPC_STAT is called to retrieve info semid_ds on the semaphore set */
    do_semctl(semid, 0, IPC_STAT, arg);
    if (arg.array =
       (u_short *)malloc((unsigned) (semid_ds.sem_nsems * sizeof(u_short)))) {
       /* Break out if you got what you needed */
       break;
    }
    fprintf(stderr,"semctl: unable to allocate space for %d values\n",
            semid_ds.sem_nsems);
    exit(2);
}
```

```
 /* Get the rest of the arguments needed for the specified command. */
switch (cmd) {
  case SETVAL:
    /* Set value of one semaphore. */
    fprintf(stderr, "\nEnter semaphore value: ");
    scanf("%i", &arg.val);
    do_semctl(semid, semnum, SETVAL, arg);
    /* Fall through to verify the result. */
    fprintf(stderr, "Executing semctl GETVAL command to verify results...\n");
  case GETVAL:
    /* Get value of one semaphore. */
    arg.val = 0;
    do_semctl(semid, semnum, GETVAL, arg);
    break;
  case GETPID:
    /* Get PID of the last process that successfully completes a
    semctl(SETVAL), semctl(SETALL), or semop() on the semaphore. */
    arg.val = 0;
    do_semctl(semid, 0, GETPID, arg);
    break;
```

```
case GETNCNT:
  /* Get number of processes waiting for semaphore value to increase. */
  arg.val = 0;
  do_semctl(semid, semnum, GETNCNT, arg);
  break;
case GETZCNT:
  /* Get number of processes waiting for semaphore value to become zero. */
  arg.val = 0;
  do_semctl(semid, semnum, GETZCNT, arg);
  break;
case SETALL:
  /* Set the values of all semaphores in the set. */
  fprintf(stderr, "There are %d semaphores in the set.\n", semid_ds.sem_nsems);
  fprintf(stderr, "Enter semaphore values:\n");
  for (i = 0; i < semid_ds.sem_nsems; i++) {
    fprintf(stderr, "Semaphore %d: ", i);
    scanf("%hi", &arg.array[i]);
  }
  do_semctl(semid, 0, SETALL, arg);
  /* Fall through to verify the results. */
```

```
  fprintf(stderr, "Do semctl GETALL command to verify results.\n");
case GETALL:
  /* Get and print the values of all semaphores in the set.*/
  do_semctl(semid, 0, GETALL, arg);
  fprintf(stderr, "The values of the %d semaphores are:\n", semid_ds.sem_nsems);
  for (i = 0; i < semid_ds.sem_nsems; i++)
    fprintf(stderr, "%d ", arg.array[i]);
  fprintf(stderr, "\n");
  break;
case IPC_SET:
  /* Modify mode and/or ownership. */
  arg.buf = &semid_ds;
  do_semctl(semid, 0, IPC_STAT, arg);
  fprintf(stderr, "Status before IPC_SET:\n");
  do_stat();
  fprintf(stderr, "Enter sem_perm.uid value: ");
  scanf("%hi", &semid_ds.sem_perm.uid);
  fprintf(stderr, "Enter sem_perm.gid value: ");
  scanf("%hi", &semid_ds.sem_perm.gid);
  fprintf(stderr, "%s\n", warning_message);
```

```
  fprintf(stderr, "Enter sem_perm.mode value: ");
  scanf("%hi", &semid_ds.sem_perm.mode);
  do_semctl(semid, 0, IPC_SET, arg);
  /* Fall through to verify changes. */
  fprintf(stderr, "Status after IPC_SET:\n");
case IPC_STAT:
  /* Get and print current status. */
  arg.buf = &semid_ds;
  do_semctl(semid, 0, IPC_STAT, arg);
  do_stat();
  break;
case IPC_RMID:
  /* Remove the semaphore set. */
  arg.val = 0;
  do_semctl(semid, 0, IPC_RMID, arg);
  break;
default:
  /* Pass unknown command to semctl. */
  arg.val = 0;
  do_semctl(semid, 0, cmd, arg);
```

```
      break;
    }
 exit(0);
}

void do_semctl(int semid, int semnum, int cmd, union semun arg) {
  int i;

  fprintf(stderr, "\nsemctl: Calling semctl(%d, %d, %d, ", semid, semnum, cmd);
  switch (cmd) {
    case GETALL:
      fprintf(stderr, "arg.array = %#x)\n", arg.array);
      break;
    case IPC_STAT:
    case IPC_SET:
      fprintf(stderr, "arg.buf = %#x)\n", arg.buf);
      break;
    case SETALL:
      fprintf(stderr, "arg.array = [");
      for (i = 0;i < semid_ds.sem_nsems;i++) {
```

```
        fprintf(stderr, "%d", arg.array[i]);
       if (i < semid_ds.sem_nsems)
          fprintf(stderr, ", ");
      }
      fprintf(stderr, "])\n");
      break;
    case SETVAL:
    default:
      fprintf(stderr, "arg.val = %d)\n", arg.val);
      break;
  }
  /* call to semctl() */
  i = semctl(semid, semnum, cmd, arg);
  if (i == -1) {
    perror("semctl: semctl failed");
    exit(1);
  }
  fprintf(stderr, "semctl: semctl returned %d\n", i);
  return;
}
```

```
void do_stat() {
  fprintf(stderr, "sem_perm.uid = %d\n", semid_ds.sem_perm.uid);
  fprintf(stderr, "sem_perm.gid = %d\n", semid_ds.sem_perm.gid);
  fprintf(stderr, "sem_perm.cuid = %d\n", semid_ds.sem_perm.cuid);
  fprintf(stderr, "sem_perm.cgid = %d\n", semid_ds.sem_perm.cgid);
  fprintf(stderr, "sem_perm.mode = %#o, ", semid_ds.sem_perm.mode);
  fprintf(stderr, "access permissions = %#o\n", semid_ds.sem_perm.mode & 0777);
  fprintf(stderr, "sem_nsems = %d\n", semid_ds.sem_nsems);
  fprintf(stderr, "sem_otime = %s",
          semid_ds.sem_otime ? ctime(&semid_ds.sem_otime) : "Not Set\n");
  fprintf(stderr, "sem_ctime = %s", ctime(&semid_ds.sem_ctime));
}
```

Operazioni su Semafori

```
int oldval = semop(int id, struct sembuf* ops, int count);
```

- Applica l'insieme `ops` di operazioni (in numero pari a `count`) al semaforo `id`.
- Le operazioni, contenute in un vettore opportunamente allocato, sono descritte dalla `struct sembuf`:

```
struct sembuf {
  short sem_num;
  short sem_op;
  short sem_flg;
};
```

  - `sem_num`: semaforo su cui l'operazione (i-esima) viene applicata
  - `sem_op`: l'operazione da applicare
  - `sem_flag`: le modalità con cui l'operazione viene applicata

Operazioni su Semafori

- Valori di `sem_op`:

< 0	equivale a `P` (si blocca se `sem_val` $\leq$ `0`) Decrementa il semaforo della quantità `ops.sem_op`
$= 0$	In attesa che il valore del semaforo diventi 0
> 0	equivalente a `V` Incrementa il semaforo della quantità `ops.sem_op`

- Valori di `sem_flg`:

`IPC_NOWAIT`	Per realizzare `P` e `V` non bloccanti (comodo per realizzare *polling*)
`SEM_UNDO`	Ripristina il vecchio valore quando termina (serve nel caso di terminazioni precoci)

Operazioni su Semafori

NOTA BENE: L'insieme di operazioni inserite in una chiamata alla system calla `semop()` viene eseguito in modo atomico. Se una delle operazioni non può essere eseguita, il comportamento della system call `semop()` dipende dalla flag `IPC_NOWAIT`:

- se `IPC_NOWAIT` è settato, `semop()` fallisce e ritorna -1;
- se `IPC_NOWAIT` non è settato, il processo viene bloccato;

```
/*************************************************
MODULO: sem.c
SCOPO:  Illustrare il funz. di semop() e semctl()
USO:    Lanciare il programma sem.x e quindi
        semop.x o semctl.x in una shell separata
*************************************************/

#include    <stdio.h>
#include    <stdlib.h>
#include    <sys/types.h>
#include    <sys/ipc.h>
#include    <sys/sem.h>

#define KEY 14

int main(int argc, char *argv[]) {

  int semid;  /* identificatore dei semafori */
  int i;
```

```
/* struttura per le operazioni sui semafori */
struct sembuf * sops = (struct sembuf *) malloc (sizeof(struct sembuf));

/*
  Creazione di due semafori con permessi di lettura e scrittura per tutti.
  Le flag ICP_CREAT e IPC_EXCL fanno si che la funzione semget ritorni
  errore se esiste gi un vettore di semafori con chiave KEY.
  Vedere man semget.
*/
if((semid = semget(KEY, 2, IPC_CREAT | IPC_EXCL | 0666)) == -1) {
  perror("semget");
  exit(1);
}

/* Inizializzo i due semafori a 1 */

/*
  Per eseguire operazioni ATOMICHE sui semafori si usa la funzione
  semop(). Vedere man semop.
  Alla funzione semop() vengono passati 3 argomenti:
```

```
  - l'identificatore dell'array di semafori su cui eseguire l'operazione
  - il puntatore alla struttura sembuf necessaria per eseguire le operazioni
  - il numero di operazioni da eseguire

  Per ogni operazione da eseguire  necessario creare una struttura di tipo
  sembuf. La struttura contiene 3 campi:
  - il numero del semaforo da utilizzare. Ricordare che la semget ritorna
    array di semafori.
  - un intero N che rappresenta l'operazione da eseguire.
    Se l'intero N e' > 0 il valore del semaforo viene incrementato di tale
    quantit. Se N = 0 la semop blocca il processo in attesa che il valore
    del semaforo diventi 0. Se N < 0 la semop blocca il processo in attesa
    che il valore del semaforo meno N sia maggiore o uguale a 0.
  - una eventuale flag (IPC_NOWAIT o SEM_UNDO)
    IPC_NOWAIT serve per avere semafori non bloccanti
    SEM_UNDO serve per ripristinare il vecchio valore del semaforo in caso
             di terminazioni precoci.
*/

  sops[0].sem_num = 0;  /* semaforo 0 */
```

```
sops[0].sem_op = 1;   /* incrementa di uno il valore del semaforo 0 */
sops[0].sem_flg = 0;  /* nessuna flag settata */
/* esecuzione dell'operazione sul semaforo 0 */
semop(semid, sops, 1);

sops[0].sem_num = 1;  /* semaforo 1 */
sops[0].sem_op = 1;   /* incrementa di uno il valore del semaforo 1 */
sops[0].sem_flg = 0;
/* esecuzione dell'operazione sul semaforo 1 */
semop(semid, sops, 1);

printf("I semafori sono stati inizializzati a 1.\n");
printf("Lanciare il programma semctl.x o semop.x su un'altra shell
        e fornire semid=%d\n", semid);

while(1) {

  sops->sem_num = 0;  /* semaforo 0 */
  sops->sem_op = 0;   /* attende che il semaforo valga zero */
  sops->sem_flg = 0;
```

```
        /* quando viene eseguita questa operazione il codice
           si blocca in attesa che il valore del semaforo 0 diventi 0 */
        semop(semid, sops, 1);
        /* Quando il semaforo diventa 0 stampo che il processo
           e' stato sbloccato */
        printf("Sbloccato 1\n");

        sops->sem_num = 1;  /* semaforo 1 */
        sops->sem_op = 0;   /* attende che il semaforo valga zero */
        sops->sem_flg = 0; /* notare il comportamento diverso del semaforo 1*/

        /* quando viene eseguita questa operazione il codice
         si blocca in attesa che il valore del semaforo 1 diventi 0 */
        semop(semid, sops, 1);
        /* Quando il semaforo diventa 0 stampo che il processo
           e' stato sbloccato */
        printf("              Sbloccato 2\n");

    }
}
```

```
/*****************************************
MODULO: semop.c
SCOPO: Illustrare il funz. di semop()
*****************************************/
#include    <stdio.h>
#include    <stdlib.h>
#include    <sys/types.h>
#include    <sys/ipc.h>
#include    <sys/sem.h>

union semun {
  int               val;    /* Valore per SETVAL */
  struct semid_ds *buf;    /* Buffer per IPC_STAT, IPC_SET */
  unsigned short  *array;  /* Array per GETALL, SETALL */
  struct seminfo  *__buf;  /* Buffer per IPC_INFO (specifico di Linux) */
};

int ask(int* semidp, struct sembuf **sopsp);
```

```
static struct semid_ds  semid_ds;  /* stato del set di semafori */
static char error_mesg1[] = "semop: Non posso allocare spazio per un vettore
                            di %d valori.\n";
static char error_mesg2[] = "semop: Non posso allocare spazio per %d strutture
                            sembuf. \n";

int main(int argc, char* argv[]) {
  int    i;
  int    nsops;        /* numero di operazioni da fare */
  int    semid;        /* semid per il set di semafori */
  struct sembuf *sops; /* puntatore alle operazioni da eseguire */

  /* Cicla finche' l'utente vuole eseguire operazioni chiamando la funzione ask */
  while (nsops = ask(&semid, &sops)) {
    /* Inizializza il vettore di operazioni da eseguire */
    for (i = 0; i < nsops; i++) {
      fprintf(stderr,"\nInserire il valore per l'operazione %d di %d.\n",i+1,nsops);
      fprintf(stderr,"sem_num(i valori validi sono 0 <= sem_num < %d): ",
              semid_ds.sem_nsems);
      scanf("%d", &sops[i].sem_num);
```

```
  fprintf(stderr, "sem_op: ");
  scanf("%d", &sops[i].sem_op);
  fprintf(stderr,"Possibili flag per sem_flg:\n");
  fprintf(stderr, "\tIPC_NOWAIT =\t%#6.6o\n",IPC_NOWAIT);
  fprintf(stderr, "\tSEM_UNDO =\t%#6.6o\n",SEM_UNDO);
  fprintf(stderr, "\tNESSUNO =\t%6d\n",0);
  fprintf(stderr, "sem_flg: ");
  /* controllare cosa fa %i su man scanf */
  scanf("%i", &sops[i].sem_flg);
}

/* Ricapitola la chiamata da fare a semop() */
fprintf(stderr,"\nsemop: Chiamo semop(%d, &sops, %d) with:",semid, nsops);
for (i = 0; i < nsops; i++) {
  fprintf(stderr, "\nsops[%d].sem_num = %d, ",i,sops[i].sem_num);
  fprintf(stderr, "sem_op = %d, ", sops[i].sem_op);
  fprintf(stderr, "sem_flg = %o\n",sops[i].sem_flg);
}

/* Chiama la semop() e riporta il risultato */
```

```
    if ((i = semop(semid, sops, nsops)) == -1) {
      perror("semop: semop failed");
    } else {
      fprintf(stderr, "semop: valore di ritorno = %d\n", i);
    }
  }
}


int ask(int *semidp, struct sembuf **sopsp) {
  static union semun arg;     /* argomento per semctl() */
  static int nsops = 0;       /* dimensione del vettore di sembuf */
  static int semid = -1;      /* semid del set di semafori */
  static struct sembuf *sops; /* puntatore al vettore di sembuf */
  int i;

  if (semid < 0) {
    /* Prima chiamata alla funzione ask()
       Recuperiamo semid dall'utente e lo stato corrente del set di semafori */
    fprintf(stderr,"Inserire semid del set di semafori su cui operare: ");
```

```
scanf("%d", &semid);
*semidp = semid;

arg.buf = &semid_ds;

/* chiamata a semctl() */
if (semctl(semid, 0, IPC_STAT, arg) == -1) {
  perror("semop: semctl(IPC_STAT) fallita.");
  /* Notare che se semctl() fallisce, semid_ds viene riempita con 0,
     e successivi test per controllare il numero di semafori
     ritorneranno 0.
     Se invece semctl() va a buon fine, arg.buf verra'
     riempito con le informazioni relative al set di semafori */

  /* allocazione della memoria per un vettore di interi la cui
     dimensione dipende dal numero di semafori inclusi nel set */
} else if ((arg.array =
          (ushort *)malloc(sizeof(ushort) * semid_ds.sem_nsems)) == NULL) {
  fprintf(stderr, error_mesg1, semid_ds.sem_nsems);
  exit(1);
```

```
  }
}

/* Stampa i valori correnti dei semafori */
if (semid_ds.sem_nsems != 0) {
  fprintf(stderr, "Ci sono %d semaphores.\n", semid_ds.sem_nsems);
  /* Chiama la funzione semctl per recuperare i valori
     di tutti i semafori del set. Nel caso di GETALL il secondo
     argomento della semctl() viene ignorato e si utilizza il
     campo array della union semun arg */
  if (semctl(semid, 0, GETALL, arg) == -1) {
    perror("semop: semctl(GETALL) fallita");
  } else {
    fprintf(stderr, "I valori correnti dei semafori sono:");
    for (i = 0; i < semid_ds.sem_nsems; i++)
      fprintf(stderr, " %d", arg.array[i]);
    fprintf(stderr, "\n");
  }
}
```

```
  /* Allocazione dello spazio per le operazioni che l'utente desidera eseguire */
  fprintf(stderr, "Quante operazioni vuoi eseguire con la prossima semop()?\n");
  fprintf(stderr, "Inserire 0 or control-D per uscire: ");
  i = 0;
  if (scanf("%d", &i) == EOF || i == 0)
    exit(0);
  if (i > nsops) {
    if (nsops != 0) /* libero la memoria precedentemente allocata */
      free((char *)sops);
    nsops = i;
    /* Allocazione della memoria per le operazioni da eseguire*/
    if ((sops =
        (struct sembuf *)malloc((nsops * sizeof(struct sembuf)))) == NULL) {
      fprintf(stderr, error_mesg2, nsops);
      exit(2);
    }
  }
  *sopsp = sops;
  return (i);
}
```

```
/*****************************************
MODULO: semaph.c
SCOPO: Utilizzo di semafori
*****************************************/
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>
#include <stdlib.h>

union semun {
  int val;
  struct semid_ds *buf;
  ushort *array;
};

int main(int argc, char *argv[]) {
  int i,j;
  int pid;
```

```
int semid; /* semid of semaphore set */
key_t key = 1234; /* key to pass to semget() */
int semflg = IPC_CREAT | 0666; /* semflg to pass to semget() */
int nsems = 1; /* nsems to pass to semget() */
int nsops; /* number of operations to do */
struct sembuf *sops = (struct sembuf *) malloc(2*sizeof(struct sembuf));
/* ptr to operations to perform */

/* set up semaphore */

 fprintf(stderr, "\nsemget: Setting up seamaphore:
         semget(%#lx, %d, %#o)\n",key, nsems, semflg);
 if ((semid = semget(key, nsems, semflg)) == -1) {
    perror("semget: semget failed");
    exit(1);
 } else
    fprintf(stderr, "semget: semget succeeded: semid = %d\n", semid);

/* get child process */
if ((pid = fork()) < 0) {
```

```
    perror("fork");
    exit(1);
}

if (pid == 0)  { /* child */
    i = 0;
    while (i  < 3) {/* allow for 3 semaphore sets */

      nsops = 2;

      /* wait for semaphore to reach zero */

      sops[0].sem_num = 0; /* We only use one track */
      sops[0].sem_op = 0; /* wait for semaphore flag to become zero */
      sops[0].sem_flg = SEM_UNDO; /* take off semaphore asynchronous  */

      sops[1].sem_num = 0;
      sops[1].sem_op = 1; /* increment semaphore -- take control of track */
      sops[1].sem_flg = SEM_UNDO | IPC_NOWAIT; /* take off semaphore */
```

```
/* Recap the call to be made. */
fprintf(stderr,"\nsemop:Child Calling semop(%d,&sops,%d) \
        with:",semid,nsops);
for (j = 0; j < nsops; j++) {
  fprintf(stderr, "\n\tsops[%d].sem_num = %d, ", j, sops[j].sem_num);
  fprintf(stderr, "sem_op = %d, ", sops[j].sem_op);
  fprintf(stderr, "sem_flg = %#o\n", sops[j].sem_flg);
}

/* Make the semop() call and report the results. */
if ((j = semop(semid, sops, nsops)) == -1) {
   perror("semop: semop failed");
} else {
  fprintf(stderr, "\tsemop: semop returned %d\n", j);
  fprintf(stderr, "\n\nChild Process Taking Control of Track:
          %d/3 times\n", i+1);
  sleep(5); /* DO Nothing for 5 seconds */
}
nsops = 1;
/* wait for semaphore to reach zero */
```

```
    sops[0].sem_num = 0;
    sops[0].sem_op = -1; /* Give UP COntrol of track */
    sops[0].sem_flg = SEM_UNDO | IPC_NOWAIT; /* take off semaphore, async */

    if ((j = semop(semid, sops, nsops)) == -1) {
       perror("semop: semop failed");
    } else {
      fprintf(stderr, "Child Process Giving up Control of Track:
              %d/3 times\n", i+1);
      sleep(5);
      /* halt process to allow parent to catch semaphor change first */
    }
    ++i;
  }
} else /* parent */ {
  i = 0;

  while (i  < 3) { /* allow for 3 semaphore sets */
    nsops = 2;
    /* wait for semaphore to reach zero */
```

```
sops[0].sem_num = 0;
sops[0].sem_op = 0; /* wait for semaphore flag to become zero */
sops[0].sem_flg = SEM_UNDO; /* take off semaphore asynchronous  */

sops[1].sem_num = 0;
sops[1].sem_op = 1; /* increment semaphore -- take control of track */
sops[1].sem_flg = SEM_UNDO | IPC_NOWAIT; /* take off semaphore */

/* Recap the call to be made. */
fprintf(stderr,"\nsemop:Parent Calling semop(%d, &sops, %d) \
        with:", semid, nsops);
for (j = 0; j < nsops; j++)  {
  fprintf(stderr, "\n\tsops[%d].sem_num = %d, ", j, sops[j].sem_num);
  fprintf(stderr, "sem_op = %d, ", sops[j].sem_op);
  fprintf(stderr, "sem_flg = %#o\n", sops[j].sem_flg);
}
/* Make the semop() call and report the results. */
if ((j = semop(semid, sops, nsops)) == -1) {
  perror("semop: semop failed");
} else {
```

```
fprintf(stderr, "semop: semop returned %d\n", j);
fprintf(stderr, "Parent Process Taking Control of Track:
        %d/3 times\n", i+1);
sleep(5); /* Do nothing for 5 seconds */
nsops = 1;

/* wait for semaphore to reach zero */
sops[0].sem_num = 0;
sops[0].sem_op = -1; /* Give UP COntrol of track */
sops[0].sem_flg = SEM_UNDO | IPC_NOWAIT;
/* take off semaphore, asynchronous  */
if ((j = semop(semid, sops, nsops)) == -1) {
  perror("semop: semop failed");
} else {
  fprintf(stderr, "Parent Process Giving up Control of Track:
          %d/3 times\n", i+1);
  sleep(5);
  /* halt process to allow child to catch semaphor change first */
}
++i;
```

```
            }
        }
    }
}
```