

Sistemi Operativi

Unità 5: I processi

I Segnali

Martino Trevisan
Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Argomenti

1. Concetto di segnale
2. Segnali in Linux
3. System Call `sigaction`
4. System Call `kill`
5. System Call `raise`
6. System Call `pause`
7. System Call `alarm`
8. Considerazioni
9. Segnali nella shell

Concetto di segnale

In quasi tutti i sistemi ad elaboratore, esistono gli **interrupt**:

Un interrupt informa la CPU che deve interrompere il compito corrente per eseguire un'azione impellente

Un interrupt viene generato da:

- Un dispositivo hardware che vuole notificare al sistema un evento
- Particolari istruzioni nel codice (e.g., istruzione `INT`)
 - Quando un processo chiama una System Call genera un interrupt software

Concetto di segnale

Un **segnale** permette la gestione di eventi asincroni che interrompono il normale funzionamento di un processo

- E' un interrupt software
- Notifica un evento a un processo specifico

Possono essere **generati** da

- Kernel per comunicare eventi eccezionali:
 - Condizioni di errore
 - Azioni dell'utente (e.g., `CTRL+C` su tastiera)
- Un altro processo (se ne ha i permessi):
 - Permettono una primitiva comunicazione tra processi
 - Usando la system call `kill`

Concetto di segnale

Esistono dalle prime versioni di **Unix**

- Formalizzati in Unix 4

In principio erano inaffidabile e gestiti in modo *best-effort*

- Potevano andare perduti
- La gestione era complicata
- Poca configurazione possibile

I segnali esistono anche in **Windows**, sebbene abbiano un funzionamento leggermente diverso

Segnali in Linux

Esistono diversi tipi di segnali in Linux

- Dipende dalle versioni di Linux
- Comando `kill -l` lista i segnali
 - 64 in Ubuntu 20

Ogni segnale ha un identificatore mnemonico e numerico

- Identificatori di segnali iniziano con i tre caratteri SIG
- Es. `SIGINT` è il segnale di interruzione e ha numero 2
- I nomi simbolici corrispondono ad un intero positivo (`signal.h`)

Segnali in Linux

Ogni segnale viene generato da un evento specifico nel SO, o *manualmente* da un processo.

Un segnale può avere i seguenti effetti su un processo:

Importanti

1. Viene ignorato
2. Termina il processo
3. Interrompe momentaneamente il processo. Esegue una **funzione handler**. Dopodichè il processo riprende

Secondari

4. Crea un **core dump**: un file che contiene lo stato del programma per poter essere debuggato
5. Stoppa il processo
6. Fa ripartire il processo

Segnali in Linux

Segnali ignorati di default:

- `SIGCHLD` : inviato al padre quando un figlio termina

Segnali che di default terminano il processo:

- `SIGINT` : viene inviato al processo in esecuzione quando si preme `CTRL+C`
- `SIGABRT` : inviato da system call `abort()`
- `SIGFPE` : inviato da eccezione aritmetica

Segnali in Linux

- `SIGHUP` : Inviato ad un processo se il terminale viene disconnesso
- `SIGKILL` : Maniera sicura per uccidere un processo.
Nota: Non si può creare un handler per `SIGKILL`
- `SIGSEGV` : Accesso di memoria non valido
- `SIGTERM` : Segnale di terminazione normalmente usato.
Generato dal comando `kill` di default
- `SIGUSR1` e `SIGUSR2` : generati solo da processi utente, mai dal SO. Servono per comunicazione tra processi

Segnali in Linux

Lista più completa.

Il comportamento di default può essere modificato:

- Per ignorare un segnale
- Per *gestirlo* tramite un *handler*
- **NON** per indurre Terminazione o Core Dump
- Tranne `SIGKILL` e `SIGSTOP`

Name	Description	Default
SIGABRT	Abort process	Core
SIGALRM	Real-time timer expiration	Term
SIGBUS	Memory access error	Core
SIGCHLD	Child stopped or terminated	Ignore
SIGCONT	Continue if stopped	Cont
SIGFPE	Arithmetic exception	Core
SIGHUP	Hangup	Term
SIGILL	Illegal Instruction	Core
SIGINT	Interrupt from keyboard	Term
SIGIO	I/O Possible	Term
SIGKILL	Sure kill	Term
SIGPIPE	Broken pipe	Term
SIGPROF	Profiling timer expired	Term
SIGPWR	Power about to fail	Term
SIGQUIT	Terminal quit	Core
SIGSEGV	Invalid memory reference	Core
SIGSTKFLT	Stack fault on coprocessor	Term
SIGSTOP	Sure stop	Stop
SIGSYS	Invalid system call	Core
SIGTERM	Terminate process	Term
SIGTRAP	Trace/breakpoint trap	Core
SIGTSTP	Terminal stop	Stop
SIGTTIN	Terminal input from background	Stop
SIGTTOU	Terminal output from background	Stop
SIGURG	Urgent data on socket	Ignore
SIGUSR1	User-defined signal 1	Term
SIGUSR2	User-defined signal 2	Term
SIGVTALRM	Virtual timer expired	Term
SIGWINCH	Terminal window size changed	Ignore
SIGXCPU	CPU time limit exceeded	Core
SIGXFSZ	File size limit exceeded	Core

Segnali in Linux

Un processo può definire un **signal handler**.

- Una funzione che viene eseguita quando il processo riceve il segnale
- Se non lo fa, c'è il comportamento di default

"Se e quando ricevi un certo segnale, esegui questa funzione"

Segnali in Linux

Fasi di vita di un segnale:

1. **Generazione:** da parte del kernel o di un processo
2. **Consegna:** nel più breve tempo possibile consegna il segnale al processo.
 - Finchè un segnale non è consegnato è *pending*
3. **Gestione:**
 - Il kernel avvia la funzione handler del processo nel caso ce ne sia una
 - Altrimenti compie l'azione di default per quel segnale (termina o ignora)

Segnali in Linux

Osservazione:

I segnali non vengono accodati.

I segnali pendenti per un processo sono una *mask*

- Se lo stesso segnale è generato più volte prima che sia consegnato, esso lo sarà una volta sola

System Call **sigaction**

```
#include <signal.h>
int sigaction(int signum, const struct sigaction *act,
              struct sigaction *oldact);
```

Modifica il comportamento del processo corrente a un segnale particolare

Argomenti:

- **signum** : segnale da trattare
- **act** : puntatore a struttura che definisce trattamento
- **oldact** : puntatore a comportamento precedente. Può servire per ristabilire il comportamento precedente

Ritorna -1 se c'è stato errore

System Call `sigaction`

```
struct sigaction {  
    void      (* sa_handler )( int );  
    sigset_t   sa_mask ;  
    int        sa_flags ;  
    void      (* sa_restorer )( void );  
};
```

- `sa_handler` specifica il comportamento
 - Se funzione, specifica un handler
 - Se `SIG_IGN` ignora
 - Se `SIG_DFL` ripristina comportamento di default

System Call `sigaction`

```
struct sigaction {  
    void (* sa_handler )( int );  
    sigset_t sa_mask ;  
    int sa_flags ;  
    void (* sa_restorer )( void );  
};
```

- `sa_mask` : segnali da bloccare mentre l'handler è in esecuzione
 - Si inizializza con `int sigemptyset(sigset_t *set);`
 - Nel corso non faremo altre operazioni su questo campo
- `sa_flags` : flag (non vediamo). Settiamo sempre a **0**
- `sa_restorer` : per uso interno

System Call `sigaction`

Esempio: si crei una funzione per ignorare un segnale definito dal chiamante

```
int ignoreSignal ( int sig )
{
    struct sigaction sa ;
    sa.sa_handler = SIG_IGN ;
    sa.sa_flags = 0;
    sigemptyset (&sa.sa_mask );
    return sigaction ( sig , &sa , NULL );
}
```

System Call **sigaction**

La funzione handler deve prendere un argomento `int`

- Quando invocata dal SO, contiene il numero del segnale

E ritornare `void`

```
void myHandler ( int sig )
{
    /* Actions to be performed when signal
    is delivered */
}
```

Nota: L'handler è una funzione del programma.

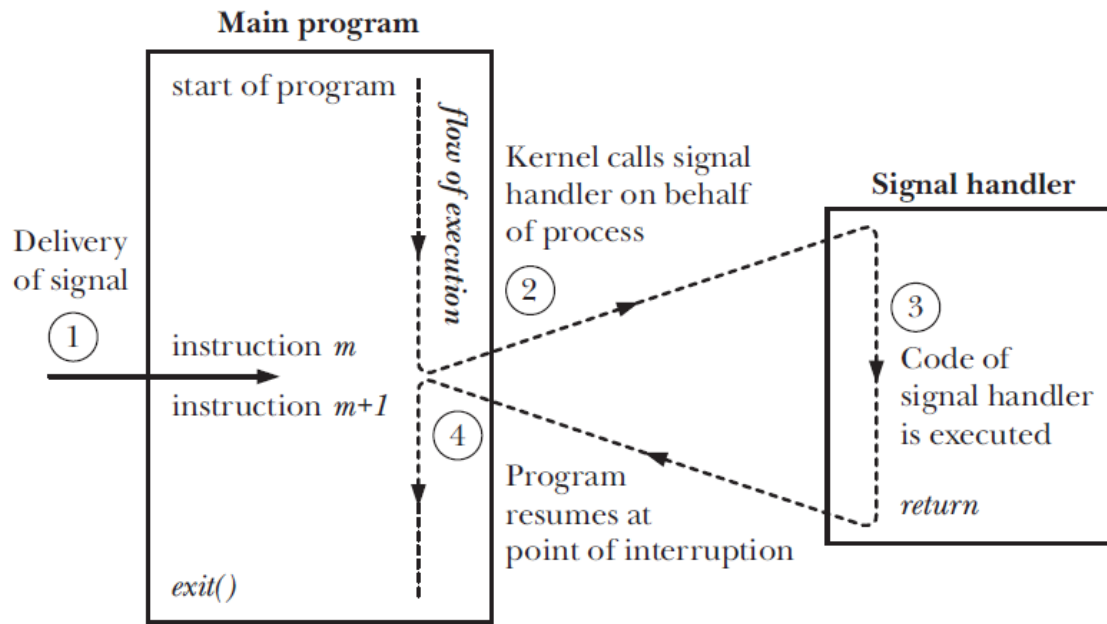
- Che viene invocata **automaticamente** dal SO alla ricezione del segnale
- E non dal programmatore. Potrebbe, ma non ha senso

System Call **sigaction**

Viene invocata automaticamente dal kernel alla consegna del segnale

Il programma si interrompe, esegue l'handler

Infine, continua l'esecuzione dal punto di interruzione



System Call **sigaction**

Esempio: si crei un programma che gestisce i segnali **SIGINT**, **SIGHUP** e **SIGTERM**

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
void func(int signum){
    printf("ricevo %d\n", signum);
}

int main (){
    struct sigaction new_action, old_action;

    new_action.sa_handler = func;
    sigemptyset ( &new_action.sa_mask); /* Si noti l'uso di sigemptyset */
    new_action.sa_flags = 0;

    sigaction (SIGINT, &new_action, NULL);
    sigaction (SIGHUP, &new_action, NULL);
    sigaction (SIGTERM, &new_action, NULL);

    while(1) ;
    return 0;
}
```

Per terminare il programma, bisogna mandargli un segnale **SIGKILL**.

```
pkill -KILL <nome prog>
```

System Call `sigaction`

Esiste la System Call `signal`, più a basso livello.

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

Argomenti:

- `sig`: quale segnale gestire
- `handler` specifica il comportamento. E' puntatore a funzione.

Nota: consigliato usare `sigaction`

System Call `kill`

Manda un segnale ad un processo oppure a un gruppo di processi

```
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>
int kill(pid_t pid, int sig);
```

Argomenti:

- `sig` : segnale da mandare
- `pid` :
 - se `> 0` : spedito al processo identificato da `pid`
 - se `0` : spedito a tutti i processi appartenenti allo stesso gruppo del processo che invoca `kill()`
 - se `0` : spedito al gruppo di processi identificati da `-pid`
 - se `-1` : non definito

Privilegi: un processo può mandare un segnale solo a processi dello stesso utente. Tranne **root**, che può mandare a tutti.

System Call `sigaction`

Esercizio: si crei un programma che genera un processo figlio. Il padre manda al figlio un segnale `SIGUSR1` ogni secondo. Il figlio stampa l'avvenuta ricezione.

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

void handler(int signum){
    printf("Ricevuto\n");
}

int main (){
    pid_t pid;
    struct sigaction action;

    pid = fork();
    if (pid!=0){ /* Father */
        while(1){
            sleep(1);
            kill (pid, SIGUSR1);
            /* pause(); Would be equivalent */
        }
    } else{ /* Child */
        action.sa_handler = handler;
        sigemptyset (&action.sa_mask);
        action.sa_flags = 0;
        sigaction (SIGUSR1, &action, NULL);
        while (1);
    }
    return 0;
}
```

System Call **raise**

```
#include <signal.h>  
int raise (int sig);
```

Permette a un processo di inviare un segnale a se stesso.

Di fatto:

```
raise (sig);
```

equivale a:

```
kill (getpid(), sig);
```


System Call **pause**

```
#include <unistd.h>  
int pause (void);
```

Sospende il processo fino all'arrivo di un segnale

Serve a implementare l'attesa passiva di un segnale

Ritorna dopo che il segnale è stato catturato ed il gestore è stato eseguito, restituisce sempre (-1)

System Call `alarm`

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

Implementa un timeout

Il SO manda un segnale `SIGALRM` al processo dopo `seconds` secondi

- Se non vi era già un timeout settato, restituisce `0`
- Altrimenti, restituisce i secondi che mancano allo scadere dell'ultimo allarme settato. Cancella il vecchio timeout e inserisce il nuovo
- Se `seconds` è `0`, si disattiva il timeout

System Call `alarm`

Osservazioni:

Il timeout è gestito dal kernel.

Il tempo effettivo può essere leggermente maggiore a causa del tempo di reazione del kernel

System Call `alarm`

Esempio: funzione `sleep` implementata con `alarm` e `pause`

```
static void myAlarm (int signo) {  
    return;  
}  
void mySleep (unsigned int nsecs) {  
    signal(SIGALRM, myAlarm)  
    alarm (nsecs);  
    pause ();  
}
```

Considerazioni

Un handler è un flusso di esecuzione concorrente

- Può iniziare in qualsiasi istante
- Mentre il flusso principale sta compiendo qualsiasi azione

Importante:

L'handler non deve modificare variabili globali che sono usate anche dal flusso principale

- Potrebbe portare in stato inconsistente

Considerazioni

- Immaginiamo che il programma venga interrotto tra la riga **2** e la riga **3** del seguente codice:

```
1 local = global; /* Supponiamo global = 1 */
2 local++;        /* Local = 2 */
--- Interruzione ---
3 global = local;
```

- L'handler esegue l'operazione:

```
global++;        /* Global = 2 */
```

- La variabile `global` viene incrementata
- Il programma riprende dall'istruzione **3**.

```
...
--- Interruzione ---
3 global = local; /* Global = 2 */
```

- L'incremento dell'handler si è perso. `global` = **2** anzichè **3**

Problema che vedremo approfonditamente per i programmi multi-thread

Considerazioni

Definizioni:

Funzione rientrante: può essere usata con sicurezza in più flussi

Funzione non rientrante: **NON** può essere usata con sicurezza in più flussi

In generale, negli handler, bisogna:

- Chiamare solo funzioni rientranti
- Evitare di manipolare variabili globali che sono usate dal flusso principale.

Considerazioni

- Molte funzioni di libreria C **NON** sono rientranti
 - `fprintf`, `fscanf` : gestione del **buffer** problematica.
Non vanno chiamate dentro un handler!
- Alcune funzioni sono rientranti e possono essere interrotte senza problemi: `sleep`, etc. Vedi `man`
- Le **System Call** sono rientranti:
 - Se un programma riceve un segnale mentre è eseguita una sua system call (e.g., `read`):
 - Le System Call bloccanti terminano e non riprendono (e.g., `read`, `write`, `wait`)
 - Le System Call non bloccanti riprendono (e.g., `fork`, `getpid`)

Segnali nella shell

```
kill pid
```

Invia un segnale al processo `PID` .

Di default manda `SIGTERM` .

Possibile specificare con opzioni `-KILL` `-INT`

```
pkill nome  
killall nome
```

Stesso comportamento, ma manda il segnale a tutti i processi del programma `nome`

Segnali nella shell

Esercizio: si scriva un programma in C che memorizza quanti `SIGTERM` ha ricevuto. Alla pressione di `CTRL+C` stampa tale numero e termina. Si nomini il programma `sample`.

Si scriva anche uno script bash che manda 10 segnali `SIGTERM` al processo.

Programma Bash:

```
for i in $( seq 5) ; do
    pkill sample
done
```

Segnali nella shell

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

int c;

void handler(int signum){
    if (signum==SIGTERM)
        c+=1;
    else if (signum==SIGINT){
        printf("Ricevuti %d SIGTERM\n", c);
        exit (0);
    }
}

int main (){
    struct sigaction action;
    c=0;
    action.sa_handler = handler;
    sigemptyset (&action.sa_mask);
    action.sa_flags = 0;
    sigaction (SIGTERM, &action, NULL);
    sigaction (SIGINT, &action, NULL);

    while (1);
}
```

Segnali nella shell

Quando si preme `CTRL+C`, viene mandato un `SIGINT` al programma, che stampa `c` e termina

Extra: si faccia uno script bash che automatizza tutta la sequenza: avvio del programma in C, consegna segnali e chiusura.

```
./sample &  
PID=$!  
for i in $( seq 5) ; do  
    kill $PID  
done  
kill -INT $PID
```

Segnali nella shell

Se `CTRL+C`, viene inviato `SIGINT`

- Programma termina se non c'è un handler

Se `CTRL+Z` viene inviato `SIGTSTP`

- Di default l'applicazione viene sospesa
- E messa in background dalla shell
- A questo punto:
 - `fg` fa riprendere l'esecuzione in foreground
 - `bg` far riprendere l'esecuzione in background

Segnali nella shell

Molto utile se ho lanciato un comando lungo e voglio usare la shell mentre esegue

```
$ ./longjob
^Z
[1]+  Stopped                  ./longjob
$ bg
[1]+  ./longjob &
$ terminale libero
```

Segnali nella shell

Quando eseguo un programma in background (`./job &`) e chiudo il terminale, viene mandato il segnale di Hang Up `SIGHUP`

- Di default il programma viene terminato
- Si può modificare comportamento

Oppure uso il comando `nohup` che esegue un comando immune a `SIGHUP`

```
nohup ./job
```

Utile se lancio job su terminale remoto e devo andare a casa!

Alternativa più pulita: comando `screen` che genera terminale virtuale

Segnali nella shell

Handler di segnali in script bash

```
trap command SIGNAL
```

Esegue il comando o la funzione `command` se lo script riceve il segnale `SIGNAL`

Esiste lo pseudo-segnale aggiuntivo `EXIT`, chiamato quando lo script termina

Esempio tipico:

```
tempfile=/tmp/tmpdata  
trap "rm -f $tempfile" EXIT
```


Segnali nella shell

Esercizio: si crei un programma bash che conta quanti SIGUSR2 riceve, e li stampa quando viene premuto `CTRL+C` e lo si nomina `sample.sh`

```
#!/bin/bash

count=0
function husr(){
    let count++
}
function hint(){
    echo "Ricevuti $count SIGUSR2"
    exit 0
}

trap husr SIGUSR2
trap hint SIGINT

while true; do
    sleep 1
done
```

Si inviino i segnali col comando: `bash pkill -USR2 sample.sh`

Nota: dichiarazione di funzione in Bash

Domande

Quale System Call si usa per generare un segnale?

- `signal`
- `kill`
- `write`
- `send`

Una funzione handler riceve degli argomenti?

- No
- Riceve una stringa
- Riceve un intero

Quale è il comportamento di default di un processo quando riceve un segnale?

- Il segnale viene ignorato
- Il processo termina
- Dipende dal segnale

Un signal handler può modificare le variabili globali del processo?

- Si
- No

Quale segnale viene inviato dal SO quando si preme `CTRL+C` sulla tastiera?

- `SIGKILL`
- `SIGINT`
- `SIGHUB`
- `SIGSTP`