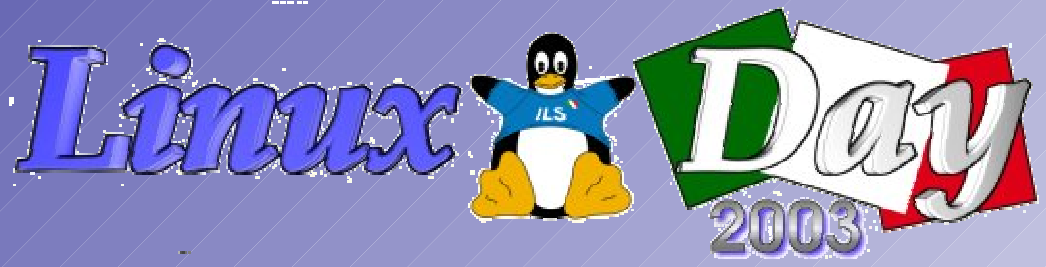
Programmazione concorrente tramite threads

Matteo Dessalvi
Gruppo Utenti Linux Cagliari



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Sommario

- Cosa è la programmazione concorrente?
- Definire i processi
- Programmazione multiprocesso
- Vantaggi e svantaggi
- Cosa sono i threads?
- Programmazione multithreading
- Vantaggi e svantaggi

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Configurazione della Linux box

- Distribuzione Mandrake 9.1
- Kernel 2.4.21 (va comunque bene uno qualunque dei kernel stabili della serie 2.4.x)
- Gcc 3.2.2
- Glibc 2.3.1
- Gdb 5.3 (con supporto al debug di applicazioni multi-threading)

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Cosa è la programmazione concorrente?

Con questo termine si indica quell'insieme di tecniche e di strumenti necessari a poter supportare più attività simultanee in una applicazione software.

Questa è una caratteristica dei cosidetti sistemi multiprogrammati.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Caratteristiche della multiprogrammazione

- Consentire a più utenti di accedere contemporaneamente ad un sistema informatico
- Consentire ad un solo utente l'esecuzione di più programmi simultaneamente
- Consentire ad un singolo programma di scomporre la propria attività in più attività concorrenti

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Processi

La programmazione concorrente è basata sul concetto di processo.
Un processo è considerato l'unità di esecuzione di base, su un s.o. Unix.

Ogni processo ha il suo spazio di indirizzamento privato, il suo stack ed il suo heap. Due processi non condividono mai il proprio spazio di indirizzamento.

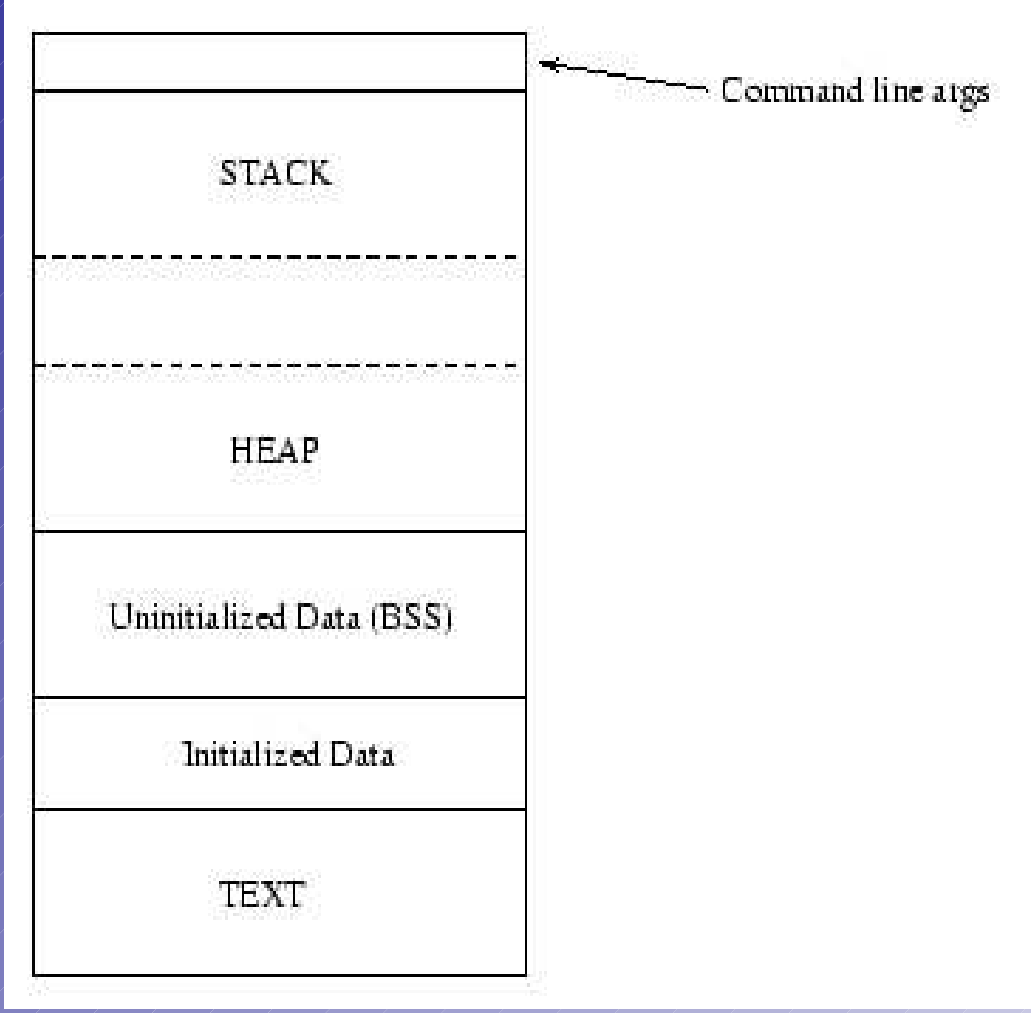
Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Caratteristiche di un processo

- Un program counter (PC)
- Un corpo (ossia il codice che viene eseguito)
- Uno spazio di indirizzamento privato (diviso in zona dati, stack e heap)
- Una tabella di descrittori di files
- Un descrittore di processo (PID)
- Una tabella dei segnali

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Struttura di un processo



Multiprocesso

Nei sistemi Unix il multitasking viene implementato tramite la system call fork(). Questo significa che il processo padre (che ha chiamato la fork) verrà "diviso" in due.

Il processo figlio eredita ogni caratteristica del processo padre:

i suoi dati, i file descriptors, il codice.

Da questo punto in poi i processi intraprendono strade differenti.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Vantaggi e svantaggi

- La programmazione multiprocesso permette l'esistenza dei sistemi multitasking.
- Ma il meccanismo di creazione di nuovi processi porta a 2 problemi principali:
- Per un numero elevato di processi in esecuzione (ad esempio un web server) questo può causare un elevato sovraccarico nella macchina.
- La condivisione dei dati è intrinsecamente complessa.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Cosa sono i threads?

Possiamo definire un thread come un flusso di esecuzione, non necessariamente legato ad uno spazio di indirizzamento privato.

A differenza dei processi, quando un thread viene creato, condivide il suo spazio di memoria con tutti gli altri threads che fanno parte del processo.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

All'interno

Un thread è composto essenzialmente da:

1) un program counter privato
2) uno stack
3) una tabella dei segnali

Quindi, la creazione di un thread è molto meno dispendiosa di quella di un processo.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Threads POSIX sotto Linux

L'accesso alle funzioni per creare, distruggere e manipolare i threads avviene attraverso la libreria pthread (libpthread), che ormai da tempo è parte delle glibc.

Implementa lo standard POSIX 1003.1c API (Application Programming Interface).
L'unica parte non conforme allo standard è la gestione dei segnali.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Creazione di un thread

Faremo uso delle funzioni definite nell'header *pthread.h* della libreria Pthread. La chiamata per creare un thread è definita da questo prototipo:

```
pthread_create(pthread_t ThID,
               pthread_attribute ATTR,
               void* StartRoutine,
               void ARG)
```

Argomenti di pthread_create

- ThID : è l'id del thread creato e costituisce un identificativo univoco mentre esso è in uso. In particolare pthread_t è un tipo di dato opaco.
- ATTR: è un attributo del thread appena creato. Può indicare le caratteristiche del thread riguardo alle operazioni di join e detach, oppure allo scheduling.
- StartRoutine: è la routine di partenza del thread, a cui viene passato come argomento ARG.

Il primo programma

Il programma che vediamo esegue una stampa sullo schermo di un stringa, creando due thread.

I threads ricevono come argomento una parola della stringa, la stampano con la funzione printf(), ed all'uscita della funzione terminano il loro compito.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

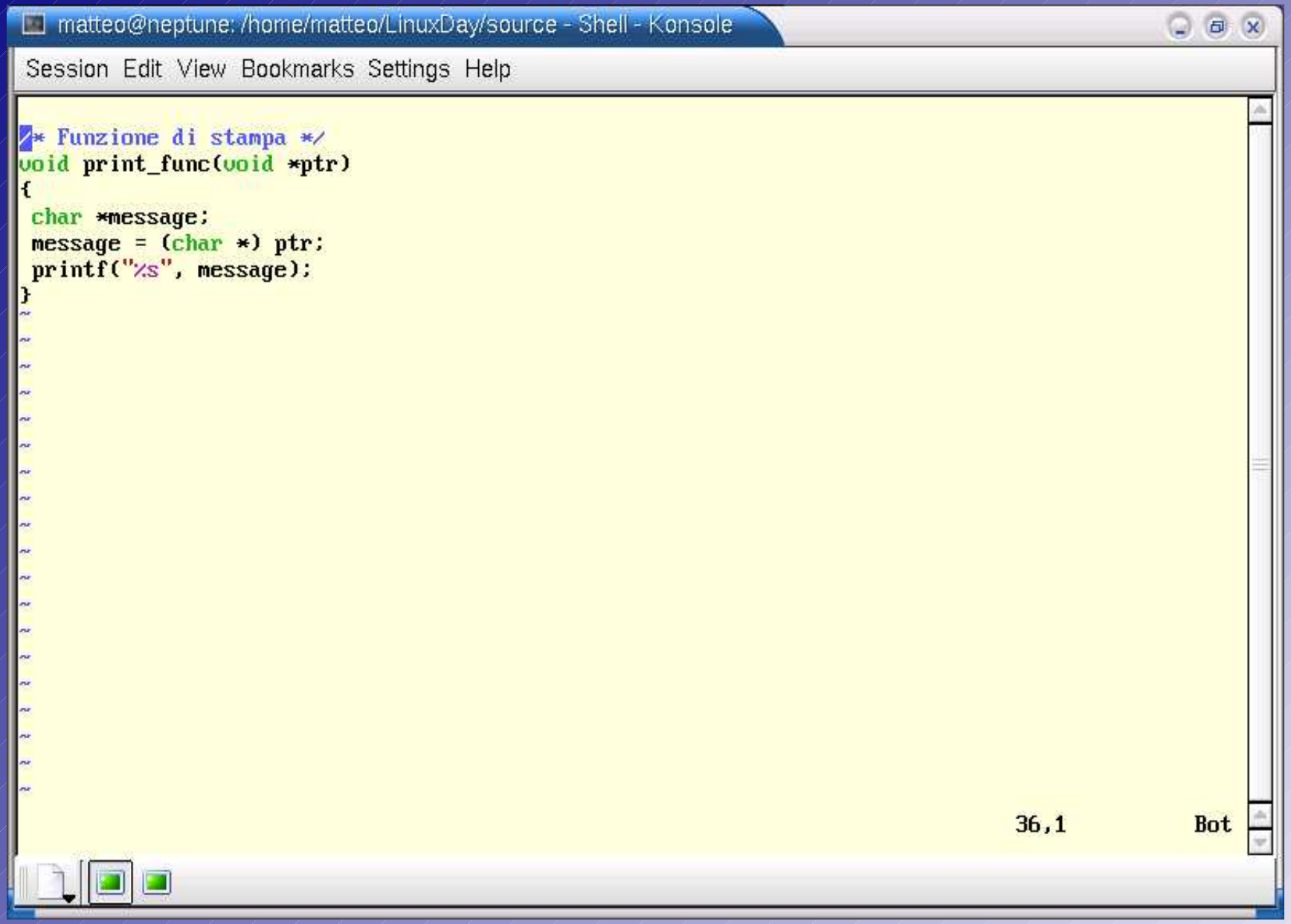
matteo@neptune: /home/matteo/LinuxDay/source - Shell - Konsole

Session Edit View Bookmarks Settings Help

```
/* "Hello world" threads! */

#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

void print_func(void *); /* prototipo */

main(void)
{
 pthread_t thread1, thread2;
 char *msg1 = "Hello ";
 char *msg2 = "world!";

 /* Creazione del primo thread: */
 pthread_create (&thread1, NULL, (void *)&print_func, (void*) msg1);

 /* Creazione del secondo thread: */
 pthread_create (&thread2, NULL, (void *)&print_func, (void*) msg2);

 printf("\n");

 exit(0);
}
```

1,1 Top

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Compilazione

Da linea di comando lanciamo il compilatore:

gcc hellopth.c -o hello -lpthread

Il flag -l è una opzione per il linker che permette di collegare il programma con la libreria pthread.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

In esecuzione

Se da cmd line lanciamo il programma:

./hello

otteniamo l'output:

Hello world!

Notiamo che la funzione di partenza di entrambi i thread all'atto della creazione è la print_func().Un thread giunge al termine quando lascia la sua funzione iniziale.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Debolezze del codice

- I threads vengono eseguiti in modo concorrente. Nel caso precedente non esite alcuna garanzia che il thread1 venga eseguito prima del thread2! Di conseguenza l'output potrebbe anche essere:
  world! Hello
- Alla fine della funzione main() viene chiamata la funzione exit(). Se il 'main thread' esegue questa funzione prima dei 'child thread', non verrà stampato alcun output.

Possibili rimedi

- Per eliminare il problema della precedenza nell'esecuzione, è possibile usare la funzione sleep(), ma essa si riferisce ai processi e dunque non funzionerebbe in modo corretto con i threads.
- Per evitare i problemi con la funzione exit(), è possibile utilizzare la pthread_exit(), che termina esplicitamente un thread, ma non l'intero processo.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Thread joining

Nel programma precedente il problema della sincronizzazione non trova una soluzione soddisfacente. Ci serviremo allora dell'operazione di joining di un thread.

Questa operazione consiste nel bloccare il thread chiamante fino a che il thread (ThID) specificato non termina.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Uso di pthread_join()

Rifacendoci al programma precedente possiamo aggiungere in coda alla main():

```
.......
pthread_join(thread1, NULL);
pthread_join(thread2, NULL);
```

Il secondo argomento della funzione può, eventualmente,contenere il valore di ritorno del thread.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

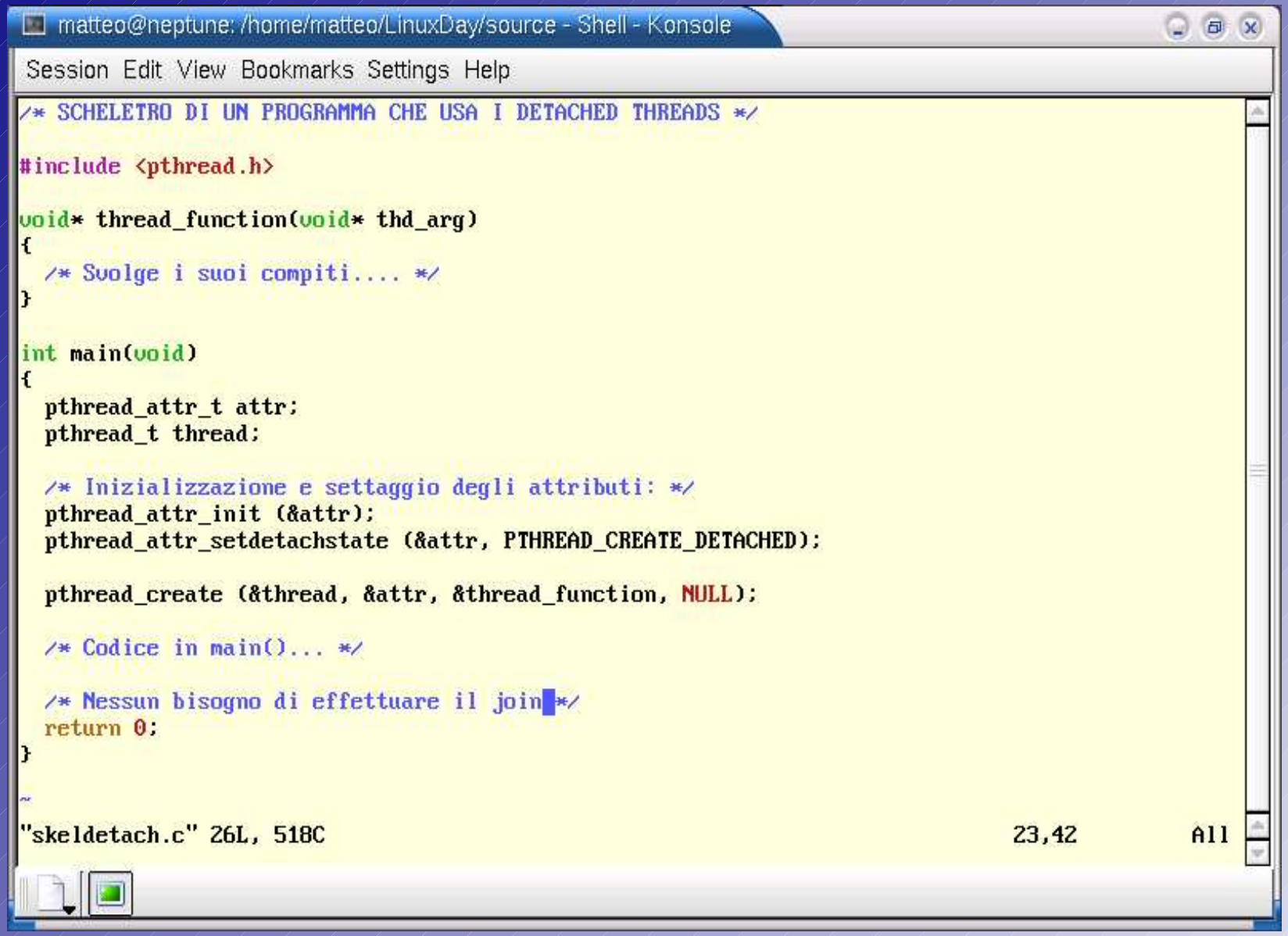
Attributi di un thread

Nella maggior parte delle applicazioni GNU/Linux, i threads che vengono creati sono di due tipi:

Joinable threads: non vengono rimossi quando il loro compito termina, ma aspettano che un altro thread chiami la pthread_join().

Detached threads: vengono rimossi istantaneamente quando terminano. Non è possibile effettuare una operazione di join con un thread di questo genere.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Stati di un thread

- READY: il thread è pronto per essere eseguito, ma si trova in attesa di un processore, oppure può essere appena stato sbloccato o essere stato “interrotto” da un altro thread.
- RUNNING: il thread è in esecuzione.
- BLOCKED: il thread non è in esecuzione perchè sta aspettando il completamento di qualche operazione o la disponibilità di una risorsa.

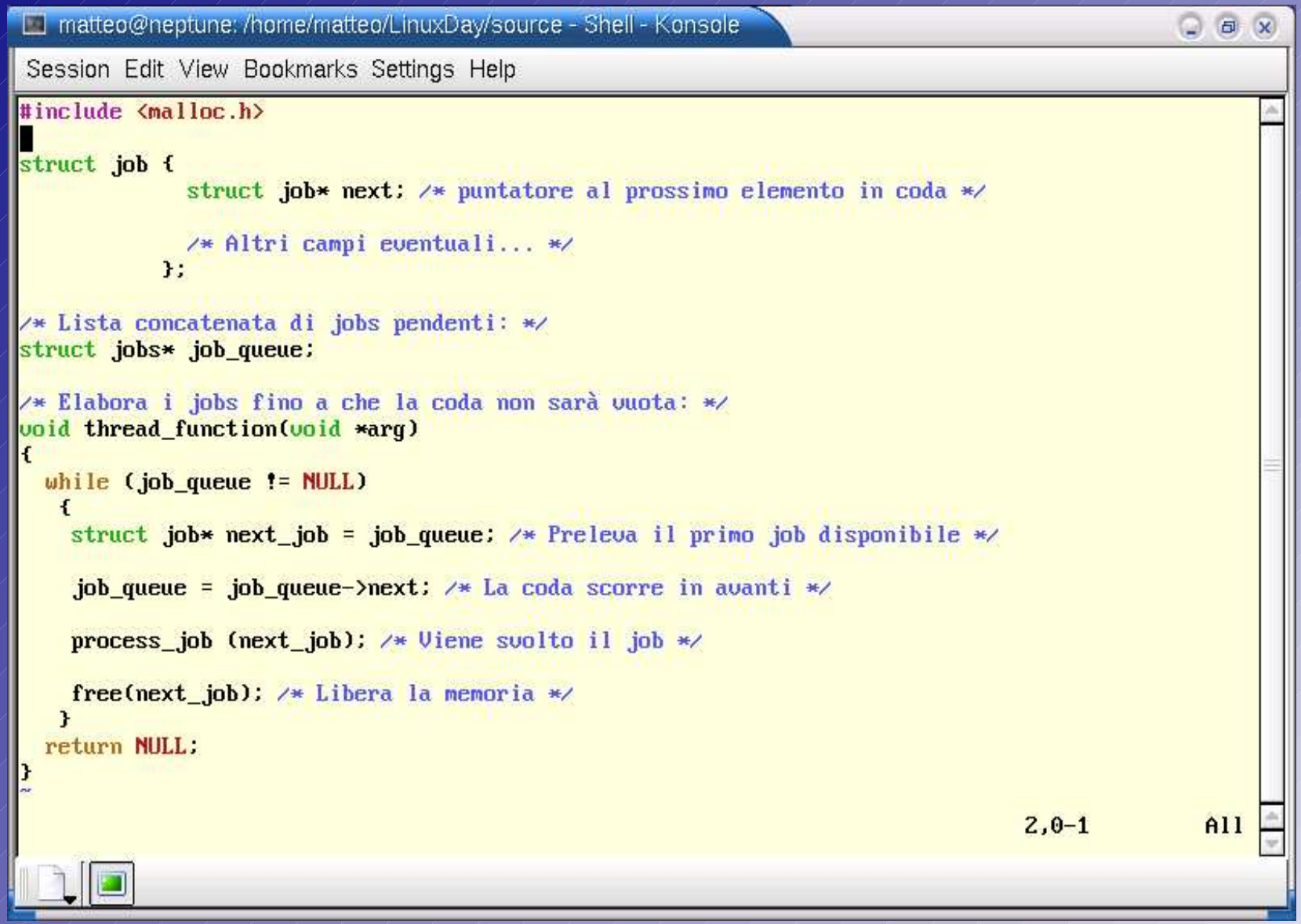
Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Race conditions

E' impossibile conoscere con esattezza quando un determinato thread verrà schedulato.
La possibilità di condividere i dati facilmente è anche una delle maggiori cause di errore.

Programmi che funzionano solo se un thread viene eseguito prima o più spesso di altri si dice che contengano delle *race conditions*.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Supponiamo che...

Se due thread finiscono il proprio lavoro, più o meno nello stesso momento, e rimane un solo job da elaborare, può accadere che:

1) Il thread 1 verifica se la coda è vuota. Non lo è, quindi inizia il lavoro, ma viene bloccato dal kernel.
2) Il thread 2 inizia il proprio lavoro e, trovando la coda non vuota, elabora anch'esso il job.

Ci sono due thread che elaborano lo stesso job!

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Uno per volta

Ciò di cui abbiamo bisogno è che le operazioni di controllo della consistenza della coda siano rese *atomiche*.

Ovvero: è impossibile metterle in pausa oppure interromperle. Per far questo ci avvarremo del supporto fornito dal sistema operativo.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

MUTual Exclusion locks

Pensiamo ai *mutex* come a delle serrature: il primo thread che ha accesso alla coda dei lavori lascia fuori gli altri thread, fino a che non ha portato a termine il suo compito.

I threads piazzano un mutex nelle sezioni di codice nelle quali vengono condivisi i dati.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

pthread_mutex

Per creare un mutex è necessario usare una variabile di tipo pthread_mutex_t e passarla come puntatore a pthread_mutex_init:

```
pthread_mutex_t mutex;
pthread_mutex_init (&mutex, NULL);
```

Oppure con:

```
pthread_mutex_t mutex =
    PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER
```

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

matteo@neptune: /home/matteo/LinuxDay/source - Shell - Konsole

Session Edit View Bookmarks Settings Help

```
#include <pthread.h>
#include <malloc.h>
/* ... */
pthread_mutex_t job_q_mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
void * thread(void * arg)
{
 while (1)
 {
  struct job* next_job;
  pthread_mutex_lock (&job_q_mutex); /* Inseriamo il mutex nella coda dei jobs */

  if(job_queue == NULL) /* Ora è possibile verificare con sicurezza se la coda è vuota */
    next_job = NULL;
  else {
        next_job = job_queue;
        job_queue = job_queue->next;
       }
  pthread_mutex_unlock(&job_q_mutex); /* Mutex unlock! */

  if (next_job == NULL) /* Se la coda è vuota la funzione termina */
    break;

  process_job (next_job); /* Esegue il job */
  free (next_job);      /* Libera la memoria */
 }
 return NULL;
}
```

27,1 All

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Mutex deadlocks

Una situazione di deadlock si verifica quando uno o più thread sono bloccati aspettando un evento che non si verificherà mai.

Il fast mutex, creato di default sui sistemi GNU/Linux ,è soggetto a questo tipo di problema.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Tipi di mutex

Fast mutex: questo tipo di mutex può causare un deadlock quando un thread tenta di impostare lo stesso mutex due volte di seguito.

Recursive mutex: non causa deadlock. Il mutex ricorda quanti lock ha applicato e si sbloccherà solo dopo lo stesso numero di unlock.

Error check mutex: il secondo lock consecutivo di un mutex genera un errore (solo su Linux).

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Settare il tipo di mutex

Vediamo come creare un *mutex error checking*:

```
int type = PTHREAD_MUTEX_ERRORCHECK_NP
pthread_mutexattr_t attr;
pthread_mutex_t mutex;

pthread_mutexattr_init (&attr)
pthread_mutexattr_settype (&attr, type);
pthread_mutex_init (&mutex, &attr);
pthread_mutexattr_destroy(&attr);
```

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Semafori

Se i threads lavorano molto velocemente potrebbero svuotare la coda e terminare le loro operazioni prima che essa sia di nuova piena.

Ciò di cui abbiamo bisogno è un meccanismo che blocchi i threads fino a che nella coda non vengano immessi nuovi jobs. Useremo i *semafori*.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Cosa sono i semafori?

I semafori sono contatori usati per sincronizzare le operazioni di thread multipli.

GNU/Linux garantisce, anche per queste primitive, l'atomicità. Quindi, ogni modifica o check del valore di un semaforo può essere effettuata senza sollevare race conditions.

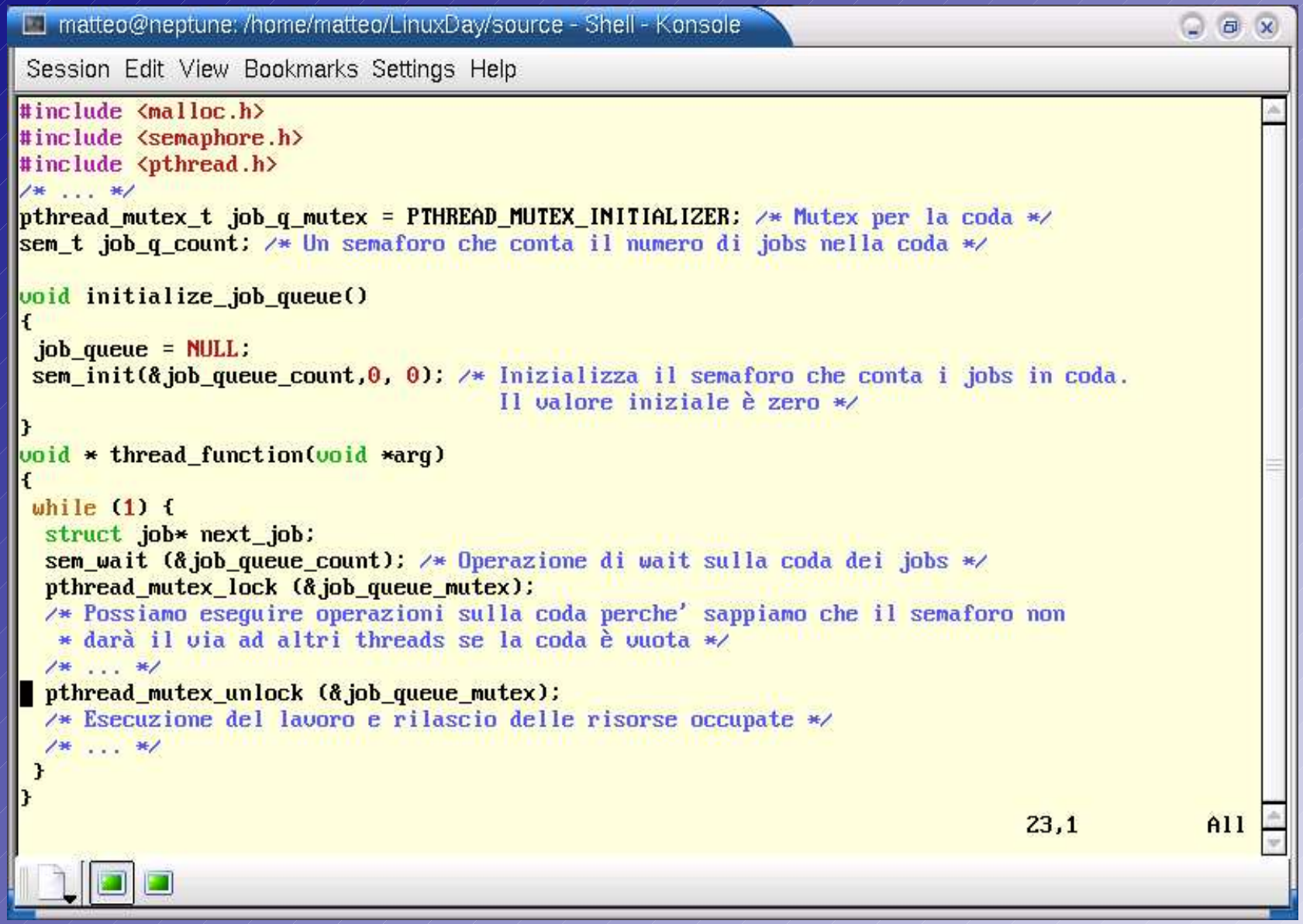
Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Operazioni di base

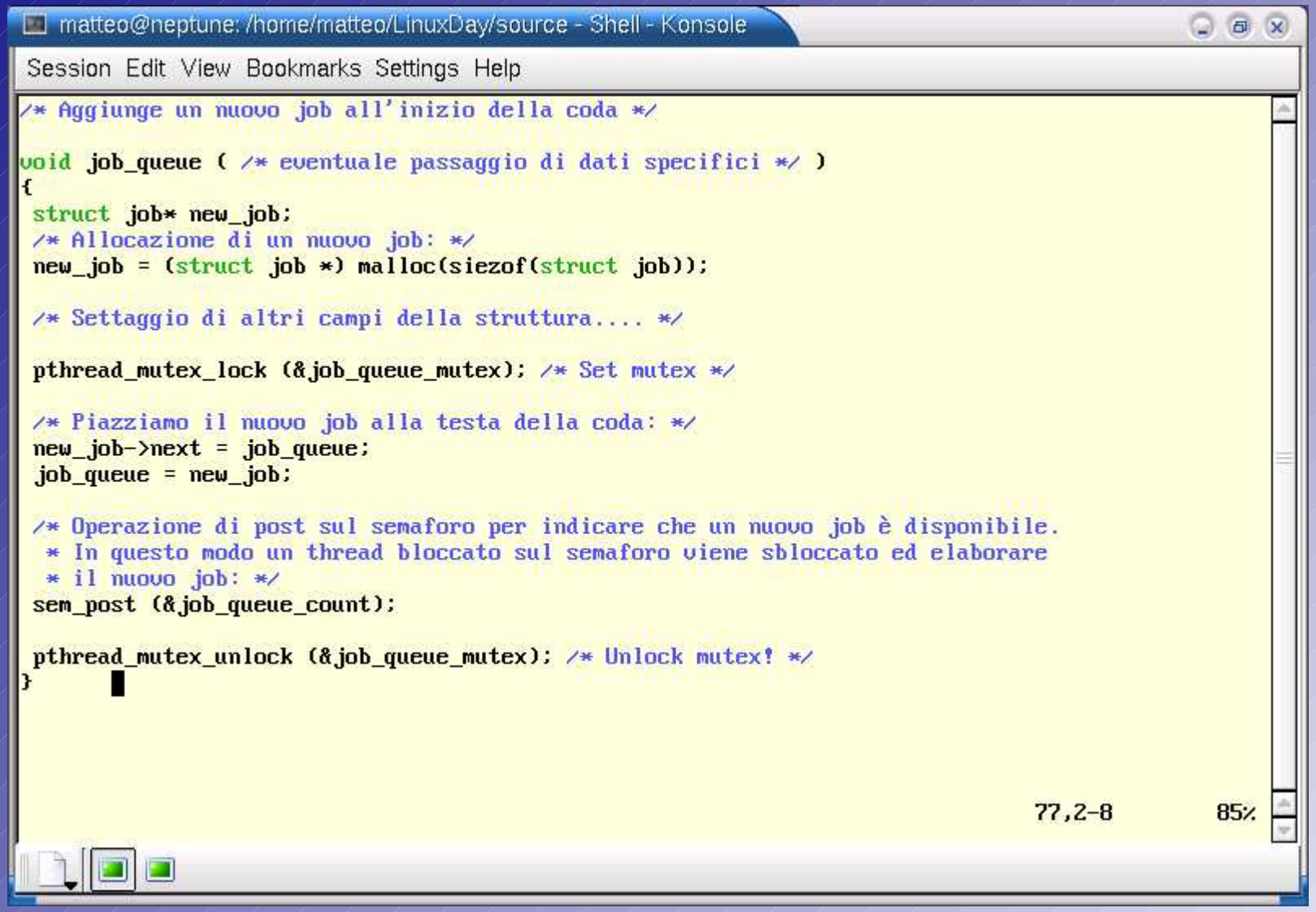
Wait: decrementa di 1 il valore del semaforo. Se il valore è zero, l'operazione viene bloccata fino a che il valore non ridiviene positivo.

Post: incrementa il valore di 1 del semaforo. Se il valore precedente era zero, e vi sono threads in attesa, uno di questi viene sbloccato e la sua operazione di wait è completata.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Condition variables

Questa è la terza primitiva di sincronizzazione che riguarda i thread POSIX.

Attraverso essa è possibile implementare condizioni più complesse che i thread devono soddisfare per essere eseguiti. Linux garantisce che i threads bloccati su una condizione verranno sbloccati quando essa cambierà.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Condition variables e mutex

Una variabile condizione non fornisce la mutua esclusione. C'è bisogno di un mutex per poter sincronizzare l'accesso ai dati.

Pthreads garantisce che le operazioni di unlock e di wait (o signal) vengano rese atomiche, in modo da evitare che si verifichino race conditions tra le due operazioni durante lo scheduling di due thread.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Funzioni per le condition variables

Una variabile condizione è rappresentata da una istanza del tipo pthread_cond_t.
Inizializzazione:
pthread_cond_init(pthread_cond_t *COND, NULL)
Linux non supporta attributi per le condition variables.

Pthread_cond_signal(): segnala una variabile condizione

Pthread_cond_wait():blocca il thread chiamante finchè non la variabile condizione non è segnalata.

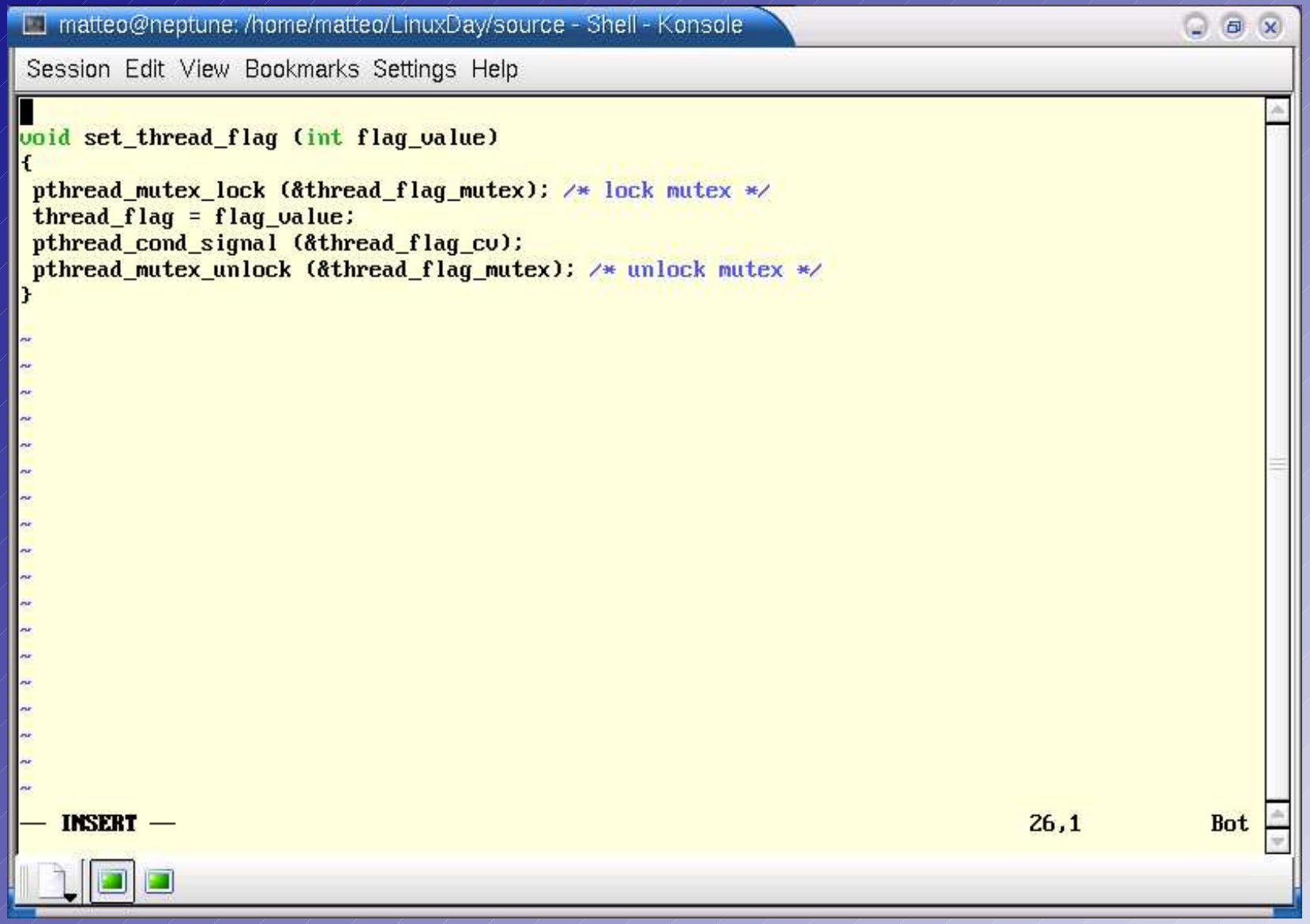
Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

matteo@neptune: /home/matteo/LinuxDay/source - Shell - Konsole

Session Edit View Bookmarks Settings Help

```
#include <pthread.h>

int thread_flag;
pthread_cond_t thread_flag_cv;
pthread_mutex_t thread_flag_mutex;

void init_flag()
{
 pthread_mutex_init (&thread_flag_mutex, NULL); /* inizializzo la cond. variables */
 pthread_cond_init (&thread_flag_cv, NULL); /* inizializzo il mutex */
 thread_flag = 0;
}
/* Svolge ripetutamente qualche compito mentre il flag è settato ad 1, mentre si blocca
 * quando il flag è settato a zero. */
void * thread_function(void * thread_arg)
{
  while(1) {
   pthread_mutex_lock(&thread_flag_mutex); /* inserisce il mutex prima di accedere al flag */
   while(!thread_flag)
   pthread_cond_wait(&thread_flag_cv, &thread_flag_mutex);
   pthread_mutex_unlock(&thread_flag_mutex);
   /* ... Svolge qualche compito ... */
  }
  return NULL;
}


-- INSERT --                                                16,1          Top
```

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Debugging

Lo standard Pthreads non definisce alcun sistema esplicito per il debug del codice.

Nel caso i threads si integrino con il s.o., puo' essere fornito uno strumento che permetta di listare e verificare lo stato dei thread, mutex, cond. variables.

Con implementazioni in user-space è improbabile che vi sia integrazione col debugger. Al massimo si può trovare un comando di stampa per le info.

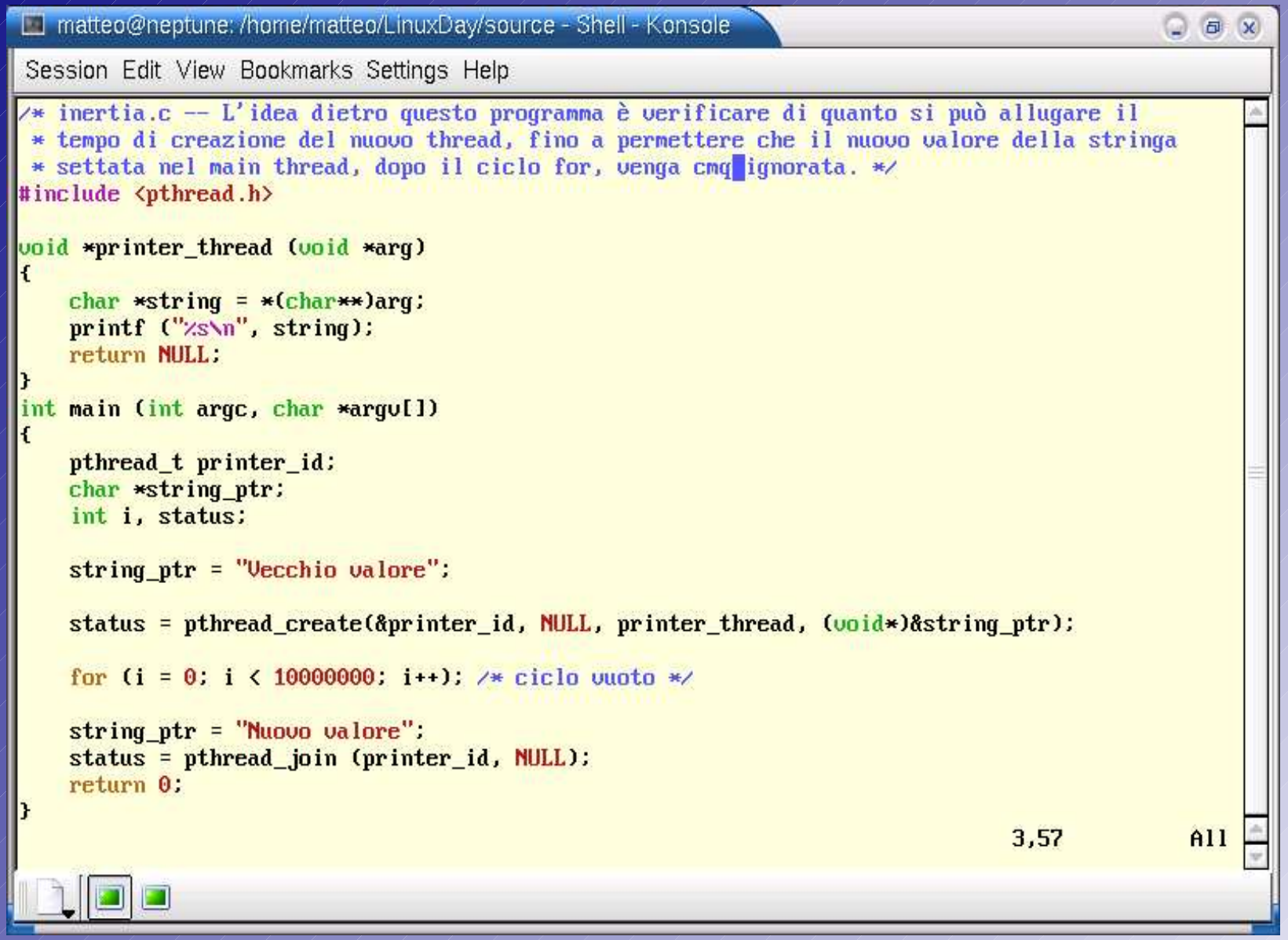
Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

I thread sono asincroni

Sebbene sia scontato, è bene non dimenticarlo mai. Tuttavia, considerando soprattutto le macchine che dispongono di un solo processore, non possiamo fare alcun tipo di previsione sulla velocità con la quale un nuovo thread viene creato e avviato.

Lo vediamo col programma seguente.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?



Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Identificare le race conditions

I processori eseguono i threads a differenti velocità, dipendenti dal carico. Il timeslicing può interrompe-re un thread in qualunque punto e per un tempo variabile.
In questo modo ricreare le condizioni di una race conditions può essere impossibile.

E' preferibile assumemere che:
“Threads will run in the most evil order possibile”

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Deadlocks

I deadlocks si verificano quando vi sono dei conflitti nell'uso della sincronizzazione. In questo caso il debugging evidenzia, dopo qualche tempo, che vi sono dei threads che semplicemente stanno fermi ad aspettare, per un tempo indefinito, una qualche risorsa che per varie cause non otterrano mai.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Vantaggi del multithreading

- I threads sono molto più leggeri dei processi. Questo comporta un minor utilizzo delle risorse per crearli e per effettuare lo switch context.
- Dato che i threads condividono la stessa area di memoria è estremamente più facile scambiare i dati, rispetto all'uso delle primitive IPC.
- I threads dovrebbero essere usati per programmi che richiedono “parallelismo fine”.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Svantaggi del multithreading

- La facilità nello scambio di dati può essere anche un punto debole: si possono avere race conditions sui dati condivisi.
- In generale è più difficile effettuare il debug a causa della non riproducibilità di molte situazioni di errore.
- Un thread errato può corrompere lo spazio di memoria condiviso, causando un SEGFAULT.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Modelli di implementazione

- 1:1 Ogni thread è visto come un processo separato nel kernel. E' sempre lo scheduler che si occuperà di loro, esattamente come fa per i processi.Questa è l'implementazione supportata da GNU/Linux.
- M:1 M threads in user space sono mappati in un solo thread in kernel-space.
- M:N M threads in user-space sono mappati in N threads in kernel-space. Sono presenti in AIX, Solaris, IRIX, True64.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

User-space vs Kernel-space

- Kernel-space: quando i thread sono implmentati a questo livello, la commutazione di contesto fra threads avviene senza che l'applicazione ne sappia nulla.
- User-space: in questo caso la commutazione di contesto avviene ad opera della libreria applicativa che fornisce il supporto per i threads, senza che il kernel venga avvertito.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Il modello LinuxThreads

LinuxThreads è l'implementazione dei threads POSIX supportata da Linux a livello kernel.

In pratica, ogniqualvolta utilizziamo la chiamata *pthread_create*, quello che stiamo facendo è utilizzare la sys-call *__clone()*, una versione più generica della *fork()*.

Vediamo col programma seguente.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

matteo@neptune: /home/matteo/LinuxDay/source - Shell - Konsole

Session Edit View Bookmarks Settings Help

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

void *thread_function (void *arg)
{
  fprintf (stderr, "child thread pid: %d\n", (int) getpid());
  /* Loop infinito */
  while(1);
  return NULL;
}

int main(void)
{
  pthread_t thread;
  fprintf(stderr, "main thread pid: %d\n", (int) getpid());
  pthread_create (&thread, NULL, &thread_function, NULL);
  /* Loop infinito */
  while(1);
  return 0;
}
~
~
~
~
~
~
                                                    21,1          All
```

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Output di pidthd.c

Compiliamo il programma lanciando gcc:

gcc pidthd.c -o pid -lpthread

Lanciamo il programma da cmd line come:

./pid &

L'output sarà:

[1] 2092
main thread pid 2092
child thread pid 2094

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Output di ps

Lanciando da cmd line ps -x otteniamo:

. . . .

```
2092   pts/2      R   1.46   ./pid
2093   pts/2      S   0.00   ./pid
2094   pts/2      R   1.46   ./pid
```

Il thread 2093 è chiamato manager thread ed è parte dell'implementazione interna LinuxThreads. Viene creato la prima volta che il programma fa ricorso alla pthread_create.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Signal handling & threads

Dato che su GNU/Linux i threads sono implementati come processi non esiste ambiguità nello spedire o ricevere segnali.

Di solito i segnali spediti dall'esterno al programma vengono inviati al main thread e da lì vengono ridistribuiti ai thread destinatari.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Nuove librerie

- NPTL (Native POSIX Thread Library) di cui è possibile leggere un paper su: (http://people.redhat.com/drepper/nptl-design.pdf) a cura di Ulrich Drepper e Ingo Molnar.
- NGPL (Next Generation POSIX Library) è stata sviluppata presso IBM, ma il suo sviluppo si è interrotto alla release 2.2.2. (www-124.ibm.com/developerworks/oss/pthreads/)

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Risorse utili

- Newsgroup sui threads e questioni correlate: (comp.programming.threads)
- E' disponibile anche una FAQ del newsgroup: (http://w3imagis.imag.fr/Membres/Eric.Ferley/pthreadsFAQ.html)
- Tutorial sui thread POSIX (anche in PS): (http://dis.cs.umass.edu/~wagner/threads_html/tutorial.html)

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Strumenti utilizzati

- Info sul GDB: (http://sources.redhat.com/gdb)
- Info specifiche su tutti gli strumenti GNU: (http://www.gnu.org)
- Lanciando da linea di comando:
- info libc (tutte le informazioni sulla lib C)
- info gdb (tutte le informazioni sul debugger)
- info gcc (tutte le informazioni sul compilatore)

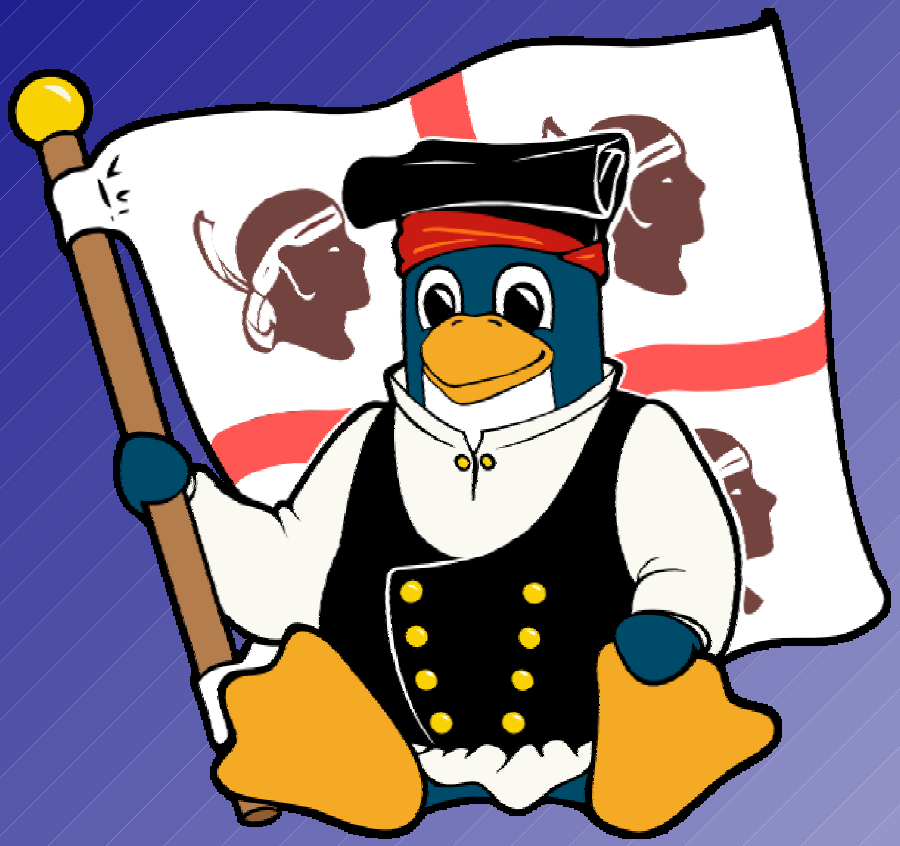
Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

Info su questo documento

- Per creare queste slides è stato usato OOImpress che è parte del pacchetto OpenOffice (ver. 1.0.2)
- Tutte le immagini e gli schemi sono in formato png e sono stati creati/modificati con KPaint.
- Per gli snapshot dello schermo è stato usato il programma Ksnapshot.
- Goppai, il logo GULCh, è stato creato da Ivana e Alceste Scalas.

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?

The end



- Grazie a tutti per l'attenzione.
- Ci si vede al LinuxDay 2004.
- Happy hacking!

Gruppo Utenti Linux Cagliari h...?