



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza
Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory
Make

Sistemi Operativi¹

Mattia Monga

Dip. di Informatica
Università degli Studi di Milano, Italia
mattia.monga@unimi.it

a.a. 2018/19

¹ © 2008–18 M. Monga. Creative Commons Attribuzione — Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale. <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.it>. Immagini tratte da [2] e da Wikipedia.



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

Lezione XV: Concorrenza



- **Concorrenza:** *run together & compete*
- Un processo non è piú un programma in esecuzione che può essere considerato in isolamento
- Non determinismo: il sistema nel suo complesso ($P_1 + P_2 + \text{Scheduler}$) rimane deterministico, ma se si ignora lo scheduler le esecuzioni di P_1 e P_2 possono combinarsi in molto modi, con output del tutto differenti
- **Sincronizzazione:** si usano meccanismi (Peterson, TSL, semafori, monitor, message passing, ...) per imporre la combinazione voluta di P_1 e P_2

Processi (senza mem. condivisa)



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

```
int shared[2] = {0, 0};
/* int clone(int (*fn)(void *),
 *          void *child_stack,
 *          int flags,
 *          void *arg);
 * crea una copia del chiamante (con le caratteristiche
 * specificate da flags) e lo esegue partendo da fn */
if (clone(run, /* il nuovo processo esegue run(shared) */
          malloc(4096)+4096, /* lo stack del nuovo processo
 * (cresce verso il basso!) */
          SIGCHLD, // in questo caso la clone è analoga alla fork
          shared) < 0){
    perror("Errore nella creazione");exit(1);
}
if (clone(run, malloc(4096)+4096, SIGCHLD, shared) < 0){
    perror("Errore nella creazione");exit(1);
}

/* Isolati: ciascuno dei figli esegue 10 volte. */
/* Per il padre shared[0] è \textbf{sempre} 0 */

while(shared[0] == 0) {
    sleep(1);
    printf("Processo padre. s = %d\n", shared[0]);
}
```

Processi (senza mem. condivisa)



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

```
int run(void* s)
{
    int* shared = (int*)s; // alias per comodit`a
    while (shared[0] < 10) {
        sleep(1);
        printf("Processo figlio (%d). s = %d\n",
            getpid(), shared[0]);
        if (!(shared[0] < 10)){
            printf("Corsa critica!!!!\n");
            abort();
        }
        shared[0] += 1;
    }
    return 0;
}
```

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

Thread (con mem. condivisa)



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

```
int shared[2] = {0, 0};
/* int clone(int (*fn)(void *),
 *          void *child_stack,
 *          int flags,
 *          void *arg);
 * crea una copia del chiamante (con le caratteristiche
 * specificate da flags) e lo esegue partendo da fn */
if (clone(run, /* il nuovo processo esegue run(shared) */
          malloc(4096)+4096, /* lo stack del nuovo processo
                               * (cresce verso il basso!) */
          CLONE_VM | SIGCHLD, // (virtual) memory condivisa
          shared) < 0){
    perror("Errore nella creazione");exit(1);
}
if (clone(run, malloc(4096)+4096, CLONE_VM | SIGCHLD, shared) < 0){
    perror("Errore nella creazione");exit(1);
}
/* Memoria condivisa: i due figli nell'insieme eseguono 10 o
 * 11 volte: è possibile una corsa critica. Il padre
 * condivide shared[0] con i figli */
while(shared[0] < 10) {
    sleep(1);
    printf("Processo padre. s = %d\n", shared[0]);
}
}
```

Thread (mutua esclusione con Peterson)



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

```
void enter_section(int process, int* turn, int* interested)
{
    int other = 1 - process;
    interested[process] = 1;
    *turn = process;
    while (*turn == process && interested[other]){
        printf("Busy waiting di %d\n", process);
    }
}

void leave_section(int process, int* interested)
{
    interested[process] = 0;
}
```

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

Thread (mutua esclusione con Peterson)



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

```
int run(const int p, void* s)
{
    int* shared = (int*)s; // alias per comodità
    // Comma operator: https://en.wikipedia.org/wiki/Comma\_operator
    while (enter_section(p, &shared[1], &shared[2]), shared[0] < 10) {
        sleep(1);
        printf("Processo figlio (%d). s = %d\n",
            getpid(), shared[0]);
        if (!(shared[0] < 10)){
            printf("Corsa critica!!!!\n");
            abort();
        }
        shared[0] += 1;
        leave_section(p, &shared[2]);
    }
    leave_section(p, &shared[2]); // il test nel while è dopo enter_section

    return 0;
}
```

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make



```
$ time ./threads-peterson > /tmp/output
real      0m11.091s
user      0m0.000s
sys       0m0.089s
$ grep -c "Busy waiting" /tmp/output
92314477
```



Una variabile intera **condivisa** controllata da system call che interagiscono con lo scheduler:

down decrementa, **bloccando** il chiamante se il valore corrente è 0; `sem_wait`

up incrementa, rendendo **ready** altri processi precedentemente bloccati se il valore corrente è maggiore di 0; `sem_post`



```
statement1;                                statement2;  
      sem_init(&ss, 0, 0); // init a 0  
  
statement1;                                down(&semaforo);  
up(&semaforo);                             statement2;
```



1 deve eseguire prima di B, A deve eseguire prima di 2. Come fareste?

```
statement1;  
statement2
```

```
statementA;  
statementB
```

Mutua esclusione con semafori



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

```
void down(sem_t *s){
    if (sem_wait(s) < 0){
        perror("Errore semaforo (down)");
        exit(1);
    }
}

void up(sem_t *s){
    if (sem_post(s) < 0){
        perror("Errore semaforo (up)");
        exit(1);
    }
}
```

Concorrenza
Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory
Make

Mutua esclusione con semafori



```
int shared = 0;
pthread_t p1, p2;
sem_t ss;

void* run(void* s){
    while (down(&ss),
           shared < 10) {
        sleep(1);
        printf("Processo thread (%p). s = %d\n",
              pthread_self(), shared);
        if (!(shared < 10)){
            printf("Corsa critica!!!!\n");
            abort();
        }
        shared += 1;
        up(&ss);
        pthread_yield();
    }
    up(&ss);
    return NULL;
}
```

Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza
Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory
Make



POSIX threads

Lo standard POSIX specifica una serie di API per la programmazione concorrente chiamate **pthread** (su Linux saranno implementate tramite `clone`).

- “multiparadigma”: ci concentriamo sul modello a **monitor**, con `mutex` e `condition variable`. (Nota: i monitor sono costrutti specifici nel linguaggio, `pthread` usa il C, quindi p.es. l’incapsulamento dei dati va curato a mano)

```
pthread_create(thread,attr,start_routine,arg)
pthread_exit (status)
pthread_join (threadid,status)
pthread_mutex_init (mutex,attr)
pthread_mutex_lock (mutex)
pthread_mutex_unlock (mutex)
pthread_cond_init (condition,attr)
pthread_cond_wait (condition,mutex)
pthread_cond_signal (condition)
pthread_cond_broadcast (condition)
```

Sistemi Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make



Tralasciando le inizializzazioni dei puntatori mutex e condition:

```
// T1
pthread_mutex_lock(mutex); // Acquisire il lock
while (!predicate) // fintantochè 'e la condizione 'e falsa
    pthread_cond_wait(condition, mutex); // block
pthread_mutex_unlock(mutex); // rilasciare il lock

// T2
// qualche thread rende vero il predicato cos'\{i}
pthread_mutex_lock(mutex); // Acquisire il lock
predicate = TRUE;
pthread_cond_broadcast(condition); // e lo segnala
pthread_mutex_unlock(mutex); // rilasciare il lock
```




Perché il mutex?

Il mutex è necessario per sincronizzare il controllo della condizione, altrimenti

```
// T1                                // T2
pthread_mutex_lock(mutex);            //
while (!predicate)                    //
    //                                predicate = TRUE;
    //                                pthread_cond_signal(condition);
    pthread_cond_wait(condition, mutex);
pthread_mutex_unlock(mutex);          //
```

Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza
Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory
Make



- Il produttore smette di produrre se il buffer è pieno e deve essere avvisato quando non lo è piú (può ricominciare a produrre)
- Il consumatore smette di consumare se il buffer è vuoto e deve essere avvisato quando non lo è piú (può ricominciare a consumare)
- 2 condition variable: buffer pieno e buffer vuoto (ne servono due perché pieno $\neq \neg$ vuoto)

Produttore e consumatore



```
#define N 10
char* buffer[N];
int count = 0;

pthread_mutex_t lock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t full = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
pthread_cond_t empty = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void b_insert(char* o){
    pthread_mutex_lock(&lock);

    while (count == N) pthread_cond_wait(&full, &lock);
    printf("Inserimento in buffer con %d\n", count);
    buffer[count++] = o;
    if (count == 1) pthread_cond_signal(&empty);

    pthread_mutex_unlock(&lock);
}
```

Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make



```
void b_remove(char** result){
    pthread_mutex_lock(&lock);

    while (count == 0) pthread_cond_wait(&empty, &lock);
    printf("Rimozione in buffer con %d\n", count);
    *result = buffer[--count];
    if (count == N-1) pthread_cond_signal(&full);

    pthread_mutex_unlock(&lock);
}
```

Produttore e consumatore



```
void* producer(void* nonusato){
    printf("Esecuzione del produttore\n");
    while (1){
        char* o = (char*)malloc(sizeof(char));
        printf("Ho prodotto %p\n", o);
        b_insert(o);
    }
}

void* consumer(void* nonusato){
    printf("Esecuzione del consumatore\n");
    while (1){
        char* o;
        b_remove(&o);
        free(o);
        printf("Ho consumato %p\n", o);
    }
}
```

Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza
Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory
Make



```
int main(void){  
    pthread_t p1, p2;  
  
    pthread_create(&p1, NULL, consumer, NULL);  
    pthread_create(&p2, NULL, producer, NULL);  
  
    pthread_join(p1, NULL);  
    pthread_join(p2, NULL);  
  
    return 0;  
}
```



Un piccolo esperimento

```
#define LIMIT 1000000000
int printf(const char*, ...);

int main(){
    long i;
    long sum = 0;
    for (i=0; i<LIMIT; i++){
        sum += i;
    }
    printf("Sequential: %ld\n", sum);
    return 0;
}
```

Distribuire questa somma su N (p.es. 4) thread. Suggerimento:

```
void* run(void* param){
    int i = *((int*)(param));
    long start = (LIMIT / N) * i;
    long end = start + (LIMIT / N);
    // ....
}
```

Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza
Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory
Make



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

- UNIX nasce come sistema *per i programmatori* (l'unica tipologia di utente all'inizio degli anni '70...)
- progettato insieme ad un linguaggio di programmazione (C)
- la 'filosofia di UNIX' (piccoli programmi che fanno molto bene una sola cosa su file) si adatta perfettamente al paradigma di sviluppo **edit-compile-debug**
- tool all'avanguardia nell'elaborazione di *file di testo* (per lo piú organizzati per "righe") e per la scrittura dei programmi di elaborazione stessi (lex, yacc,...)



- Editor: `ed`, `vi`, `emacs` manipolano arbitrariamente i byte di un file, generalmente interpretandoli come caratteri stampabili (testo)
- Compilatore: `cc` (`gcc`)
 - 1 `cc` sorgente (`.c`) \rightsquigarrow assembly (`.s`)
 - 2 `as` assembly \rightsquigarrow *oggetto* (`.o`)
 - 3 `ar` archivia diversi oggetti in una *libreria* (`.a`)
 - 4 `ld` *oggetti* e *librerie* \rightsquigarrow eseguibile (`a.out`) (il formato storico è COFF, oggi ELF)

Si noti che a sua volta anche la compilazione vera e propria è fatta da due passi (pre-processore `cpp` e compilazione `cc1`).



- Scrivere in assembly (nasm) una funzione `somma` che restituisce (in `eax` secondo la convenzione del C) la somma di due interi (passati sullo stack, secondo la convenzione del C)
- Scrivere un programma C che usa la funzione `somma`
- Collegare i due programmi in un unico eseguibile



Stuart Feldman, 1977 at Bell Labs.

Permette di specificare **dipendenze** fra processi di generazione.

Dipendenze: se cambia (secondo la data dell'ultima modifica) un prerequisito, allora il processo di generazione deve essere ripetuto.

```
helloworld.o: helloworld.c
    cc -c -o helloworld helloworld.c
```

```
helloworld: helloworld.o
    cc -o $@ $<
```

```
.PHONY: clean
clean:
```

```
    rm helloworld.o helloworld
```



Sistemi
Operativi

Bruschi
Monga Re

Concorrenza

Semafori

Sincronizzazione
con monitor
pthreads

Software
factory

Make

- Scrivere in assembly (nasm) una funzione `somma` che restituisce (in `eax` secondo la convenzione del C) la somma di due interi (passati sullo stack, secondo la convenzione del C)
- Scrivere un programma C che usa la funzione `somma`
- Collegare i due programmi in un unico eseguibile
- **Codificare il procedimento in un Makefile**