

Monitors

Sistemes Operatius 2

Grau d'Enginyeria Informàtica

Característiques

- Poden ser utilitzats per sincronitzar fils o processos.
- Permeten més graus de llibertat que els semàfors a l'hora de programar. Això és perquè:
 - Hi ha funcions per controlar l'entrada i sortida d'una secció crítica.
 - Hi ha funcions per adormir o despertar fils esperant a una cua.
- La gran majoria dels llenguatges (C, Java, ...) disposen de monitors per sincronitzar fils.
- Es recomana utilitzar-los per programar fils si estan disponibles.

Tingueu en compte que

- Les instruccions (en C) per utilitzar semàfors o monitors són diferents depenent de si treballem amb Windows o sistemes Unix. Els sistemes Unix (Linux, Mac, ...) utilitzen l'estàndard POSIX.
- Els monitors en C es coneixen també amb el nom de POSIX threads.

A l'hora de programar en C, un monitor es declara com

```
pthread_mutex_t mutex;
```

- La variable mutex és la clau! La paraula “**mutex**” significa “Mutual exclusion” (exclusió mutua).
- Aquesta variable és la que s'ha d'utilitzar per entrar i sortir de la secció crítica. Inclou una cua sobre la qual els fils s'adormen.
- Per inicialitzar una variable de mutex es pot utilitzar la funció `pthread_mutex_init`. Per defecte la variable de mutex s'inicialitza desbloquejada.

Per entrar i sortir d'una secció crítica

- `pthread_mutex_lock(mutex)`: Agafa el bloqueig sobre la clau. S'utilitza perquè un fil entri a la secció crítica. Només un fil hi pot entrar. La resta que vol entrar a la secció crítica es queda esperant (generalment de forma passiva) a la cua associada a la clau.
- `pthread_mutex_unlock(mutex)`: Allibera el bloqueig sobre la clau. S'utilitza per sortir de la secció crítica. El fil que crida aquesta funció desperta els fils que estan esperant per entrar.

En els monitors el mutex és **binari**: està bloquejat o desbloquejat. No es permeten mutex no binaris com amb els semàfors.

Els monitors incorporen a més tres funcions addicionals per **adormir o despertar fils d'una cua** quan vulguem (típicament quan es compleixi alguna condició sobre una determinada variable).

La cua sobre la qual els fils s'adormen és

```
pthread_cond_t cond;
```

- Aquesta variable s'anomena **variable condicional**. Només es pot utilitzar amb els monitors, no pas els semàfors.
- Intuïtivament només és una cua on els fils s'hi poden adormir de forma “voluntària”.

Per utilitzar aquesta cua tenim aquestes funcions. Cal tenir agafada la clau `mutex` per cridar-les.

- `pthread_cond_wait(cond, mutex)`: el fil que ho executa s'adorm (al final de) la cua `cond` i allibera la clau `mutex`.
- `pthread_cond_signal(cond)`: el fil que ho executa desperta al primer fil de la cua `cond`. El fil que es desperta haurà d'agafar la clau `mutex` (que havia alliberat en fer el `wait`) per continuar executant. Si la clau `mutex` està agafada, haurà d'esperar que s'alliberi.
- `pthread_cond_broadcast(cond)`: el fil que ho executa desperta a tots els fils de la cua `cond`. Tots els fils es posaran a la competir per agafar la clau `mutex`. Només un ho aconseguirà així que s'alliberi. La resta de fils es posen a dormir a, **atenció!**, al `mutex` (no pas a `cond`).

```
pthread_mutex_t mutex;
pthread_cond_t cond;

int adormit = 0;

void thread_fn(void *arg)
{
    // Cada fil te un identificador sencer
    int fil = (int *) arg;

    // Agafem la clau
    pthread_mutex_lock(&mutex);

    // Si soc el fil 0 ens adormim i
    // alliberem la clau
    if (fil == 0) {
        adormit = 1;
        pthread_cond_wait(&cond, &mutex);
    }

    // Si soc el fil 1 i el fil 0 esta
    // dormint el desperto de la cua
    if (fil == 1) && (adormit)
        pthread_cond_signal(&cond);

    pthread_mutex_unlock(&mutex);
}
```

- Suposem només dos fils: fil 0 i fil 1.
- Les funcions wait i signal es criden a l'interior de la secció crítica. No fer-ho pot portar a un comportament del programa no previsible.

Suposem que el fil 0 és el primer en entrar a la secció crítica

- El fil 0 s'adormirà al wait i alliberarà la clau **mutex** (equivalent a fer un unlock).
- El fil 1 podrà entrar a la secció crítica i veurà el fil 0 adormit. El fil 1 despertarà el fil 0 de la cua **cond** amb el signal.
- El fil 0 es desperta, intentarà agafar la clau **mutex** però no pot ja que el fil 1 la té. Immediatament el fil 0 s'adorm a la cua de la clau **mutex**.
- Així que el fil 1 surti de la secció crítica allibera la clau **mutex** i desperta tots els fils que estan dormint en aquesta clau. Això fa que el fil 0 es desperti i pugui continuar l'execució!
- **Important!** El fil que fa unlock només desperta els fils que estan esperant per agafar el **mutex**, no desperta els fils adormits a la variable **cond**.

```
pthread_mutex_t mutex1, mutex2;
pthread_cond_t cond;

int adormit = 0;

void thread_fn(void *arg)
{
    // Cada fil te un identificador sencer
    int fil = (int *) arg;

    pthread_mutex_lock(&mutex1);
    pthread_mutex_lock(&mutex2);

    // Si soc el fil 0 ens adormim i
    // alliberem la clau
    if (fil == 0) {
        adormit = 1;
        pthread_cond_wait(&cond, &mutex2);
    }

    // Si soc el fil 1 i el fil 0 esta
    // dormint el desperto de la cua
    if (fil == 1) && (adormit)
        pthread_cond_signal(&cond);

    pthread_mutex_unlock(&mutex2);
    pthread_mutex_unlock(&mutex1);
}
```

- Aquest codi no funcionarà en determinats casos!
- En cridar al wait el fil 0 només alliberarà la clau mutex2, no pas la mutex1. Per tant, tal com està el codi, el fil 1 no podrà entrar a la secció crítica de mutex1 si el fil 0 hi entra abans.

Anem a veure els següents algorismes amb monitors

- Implementació d'un semàfor amb monitors
- Implementació d'una barrera (paradigma paral·lisme iteratiu)
- Productors i consumidors
- Lectors i escriptors

A l'hora d'analitzar els algorismes no us espanteu!

- Identifiqueu primer les seccions crítiques (les funcions lock i unlock)
- Identifiqueu després on són els wait i el signal/broadcast

Implementació d'un semàfor amb monitors (algorisme 1)

variables globals:

```
pthread_mutex_t mutex; pthread_cond_t cond;  
int s = M; // semàfor general
```

sem_wait:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);  
while (s == 0) {  
    pthread_cond_wait(&cond, &mutex);  
}  
s = s - 1;  
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

sem_post:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);  
s = s + 1;  
pthread_cond_signal(&cond);  
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

Implementació d'un semàfor amb monitors (algorisme 1)

Observeu que

- Mitjançant monitors podem implementar el protocol d'entrada i sortida dels semàfors.
- Amb el `signal` a la funció `sem_post` despertem només el primer fil adormit a la variable `cond`. També es pot utilitzar un `broadcast`.
- Recordar de les transparències dels semàfors que mitjançant aquesta solució es pot limitar l'accés dels fils a la secció crítica. En particular, en aquesta codi hi pot haver a tot estirar M fils a la secció crítica. Així s'aconsegueix limitar l'accés als recursos.

Implementació d'un semàfor amb monitors (algorisme 1)

És **molt important utilitzar el while**. La raó és que en despertar-se el fil adormit al while cal tornar a comprovar la condició $s == 0$ ja que és possible que passi el següent

- 1 Suposem que un fil A ha cridat (i retornat) de `sem_wait` i que s és 0. Suposem també hi ha un altre fil B adormit per entrar al `lock` del `sem_wait` i un altre fil C adormit al `wait`.
- 2 Quan el fil A crida a `sem_post` es posa s a 1, es fa un `signal` i un `unlock`.
- 3 El fil C es desperta de `cond` i competeix amb B per agafar la clau `mutex`. Qualsevol dels dos pot obtenir-la primer.
- 4 Suposem que l'agafa primer el fil B. Aquest posa s a 0. En fer el fil B l'`unlock` del `sem_wait`, el fil C agafa la clau.
- 5 Si només fem un "if" (i no un while) el fil B decrementarà s i el posarà a -1!! Fatal!!! És per això que cal fer un while: amb un while el fil B es tornarà a dormir a la variable condicional si s és 0.

Els “whiles”

Regla molt important! Típicament els “waits” es realitzen quan es compleix una condició

```
if (condicio)
    wait(cond, mutex)
```

Això generalment no funcionarà! En despertar-se un fil d'un wait, cal que torni a comprovar la condició que el va fer adormir

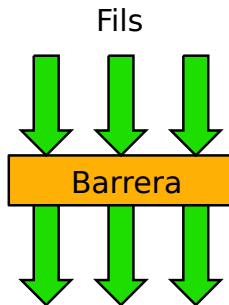
```
while (condicio)
    wait(cond, mutex)
```

És important que torni a comprovar la condició que el va fer adormir perquè, en general, en continuar el fil l'execució creurà que la condició es compleix. En general tots els algorismes fan servir whiles!

Implementació d'una barrera (algorisme 2)

Una barrera és un mecanisme de sincronització de fils molt utilitzat en computació paral·lela (paradigma de **paral·lelisme iteratiu**)

- Cada fil realitza la seva part del processament.
- En acabar el fil crida a la funció **barrera**: el fil s'adorm per esperar que els altres acabin.
- El darrer fil que crida a barrera ha de despertar a tota la resta perquè els fils puguin continuar.



Implementació d'una barrera (algorisme 2)

variables globals:

```
pthread_mutex_t mutex; pthread_cond_t cond;  
int comptador = N; // nombre de fils
```

barrera:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);  
comptador = comptador - 1;  
if (comptador != 0) {  
    pthread_cond_wait(&cond, &mutex);  
} else {  
    comptador = N;  
    pthread_cond_broadcast(&cond);  
}  
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

Implementació d'una barrera (algorisme 2)

Observeu que

- Tot fil que entri a la barrera i no sigui el darrer es posarà a dormir a la cua `cond`.
- El darrer fil desperta tots els fils adormits a la cua `cond` amb broadcast. En alliberar el darrer fil la clau mutex, els fils despertats agafen un a un la clau mutex al wait i l'alliberen a l'unlock.

Tingueu en compte que

- La llibreria POSIX de monitors disposa de funcions de barrera (funció `pthread_barrier_wait`).
- La barrera també es pot implementar amb espera activa, tot i que és més complicat fer-ho.

Múltiples cons. i prod. amb un buffer de mida M (algo. 3)

variables globals:

```
typeT buffer[M]; int w = 0, r = 0;  
int comptador = 0; // nombre d'elements ocupats  
pthread_mutex_t mutex; pthread_cond_t condP, condC;
```

productor:

```
while (true) {  
    generar "data"  
    lock(&mutex);  
    while (comptador == M) {  
        wait(&condP, &mutex);  
    }  
    copia "data" a "buffer[w]"  
    w = (w + 1) % M;  
    comptador++;  
    signal(&condC);  
    unlock(&mutex);  
}
```

consumidor:

```
while (true) {  
    lock(&mutex);  
    while (comptador == 0) {  
        wait(&condC, &mutex);  
    }  
    copia "buffer[r]" a "data"  
    r = (r + 1) % M;  
    comptador--;  
    signal(&condP);  
    unlock(&mutex);  
    consumir "data"  
}
```

Múltiples consumidors i productors amb un buffer de mida M (algorisme 3)

Nota:

- Comparar aquesta solució amb la dels semàfors.
- A l'algorisme anterior no s'utilitzen les funcions amb el nom complet per falta d'espai.

El productors

- En col·locar un element al buffer avisa amb signal als consumidors esperant per agafar una dada.
- En emplenar-se el buffer esperen al wait (amb un while!)

Els consumidors

- En agafar una dada del buffer avisa amb signal als productors esperant per col·locar-hi una dada.
- Si el buffer es buit els consumidors esperen al wait (amb un while!)

Lectors i escriptors amb preferència sobre els lectors (algorisme 4)

variables globals:

```
int nr = 0;   boolean w = false;  
pthread_mutex_t mutex;   pthread_cond_t cond;
```

read_lock:

```
lock(&mutex);  
while (w) {  
    wait(&cond, &mutex);  
}  
nr++;  
unlock(&mutex);
```

read_unlock:

```
lock(&mutex);  
nr--;  
if (nr == 0) broadcast(&cond);  
unlock(&mutex);
```

write_lock:

```
lock(&mutex);  
while (nr > 0 || w) {  
    wait(&cond, &mutex);  
}  
w = true;  
unlock(&mutex);
```

write_unlock:

```
lock(&mutex);  
w = false;  
broadcast(&cond);  
unlock(&mutex);
```

Lectors i escriptors amb preferència sobre els lectors (algorisme 4)

Observeu que

- La variable `w` s'utilitza per saber si l'escriptor està escrivint.
- S'utilitza una única variable condicional `cond` sobre la qual dormen lectors i escriptors.
- **Els lectors tenen preferència sobre els escriptors:** si hi ha un lector llegint poden entrar nous lectors encara que hi hagi escriptors esperant.
- En fer un lector un broadcast (al `read_unlock`) a tot estirar hi ha escriptors dormint al `wait`. En fer un escriptor un broadcast (al `write_unlock`) hi pot haver lectors i escriptors dormint al `wait`.

Lectors i escriptors justos (algorisme 5)

variables globals:

```
int nr = 0;   boolean w = false;  
pthread_mutex_t mutex;  pthread_cond_t cond;
```

read_lock:

```
lock(&mutex);  
while (w) {  
    wait(&cond, &mutex);  
}  
nr++;  
unlock(&mutex);
```

read_unlock:

```
lock(&mutex);  
nr--;  
if (nr == 0) broadcast(&cond);  
unlock(&mutex);
```

write_lock:

```
lock(&mutex);  
while (w) {  
    wait(&cond, &mutex);  
}  
w = true;  
while (nr != 0) {  
    wait(&cond, &mutex);  
}  
unlock(&mutex);
```

write_unlock:

igual que abans

Lectors i escriptors justos (algorisme 5)

Observeu que

- La variable w s'utilitza per indicar que un escriptor desitja escriure (no pas que està escrivint).
- S'utilitza una única variable condicional $cond$ sobre la qual dormen lectors i escriptors, igual que abans.
- El lector, abans de llegir, comprova si un escriptor vol escriure. Si és així es posa a dormir.
- L'escriptor, abans d'escriure, comprova si un lector està llegint. Si és així es posa a dormir.
- En fer un broadcast els lectors i escriptors competeixen per adquirir la clau mutex. Si w és *true*, només un escriptor podrà accedir al recurs.