Semàfors

Sistemes Operatius 2

Grau d'Enginyeria Informàtica

Introducció

Una mica d'història...

- Inventats per Dijkstra cap al 1962, moment en què va començar a desenvolupar-se la programació concurrent.
- En aquells anys es van desenvolupar els primers dispositius que permetien realitzar operacions d'entrada-sortida mentre que la CPU realitzava altres operacions!
- Calia doncs algun sistema de sincronització. La solució: el semàfors!

Introducció

Els semàfors proveeixen (des d'un punt de vista històric) un sistema de senyalització. En un sistema operatiu:

1. Suposem una tasca que vol escriure a un dispostiu i que aquest està disponible perquè s'hi pugui escriure.
2. Quan la tasca hi vol escriure, posa el semàfor en vermell perquè altres tasques no puguin accedir al dispositiu (pex dormint al semàfor).
3. Així que el dispositiu ha rebut les dades i torna a estar disponible, senyalitza (pex amb una interrupció) al sistema operatiu que s'hi pot tornar a escriure. El semàfor es torna a posar en verd...

Observar que és la tasca qui posa el semàfor en vermell i el perifèric qui demana posar-lo en verd. Els semàfors són doncs un sistema de senyalització.

Sintaxi i semàntica

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

sem_t s;

- El semàfor es pot interpretar com una variable sencera no negativa.
- Només hi ha dues funcions per operar amb el semàfor: sem_wait i sem_post. No hi ha altres funcions per manipular semàfors llevat de la inicialització i destrucció de semàfors.
- Dijkstra, originalment, va donar a aquestes funcions els noms holandesos P (passeren = passar) i V (vrigeren = deixar anar).

Sintaxi i semàntica

La "definició" de sem_wait i sem_post amb espera activa és[1]:

```
sem_wait(s):
    while (true) {
        <if (s > 0)
            s = s - 1;
            return;>
        }
```

```
sem_post(s):
    <s = s+1;>
    return;
```

- sem_post(s): utilitzat per notificar que el recurs ha quedat alliberat (increment del valor d's).
- sem_wait(s): utilitzat per esperar fins que el recurs estigui disponible. Mentre s sigui zero espera (de forma activa o passiva). Decrementa el valor d's només si aquest és estrictament positiu.

[1] Atenció! La implementació real dels semàfors no es realitza necessàriament amb espera activa, tal com es mostra a sobre, sinó que generalment s'adormen els fils o processos que esperen.

Funcions disponibles en C

Els semàfors poden ser utilitzats per sincronitzar processos o fils (o perifèrics).

- Per inicialitzar un semàfor
  - sem_open(...): inicialització per a processos diferents
  - sem_init(...): inicialització per fils (o processos amb memòria compartida)
- Per sincronitzar
  - sem_wait(s): s'espera que el(s) recurs(os) estigui disponible. Si ho està es decrementa el valor d's.
  - sem_post(s): notifica que el recurs està disponible incrementant el valor d's.
- Per alliberar els recursos associats a un semàfor
  - sem_close(...): alliberament per a processos
  - sem_destroy(...): alliberament per a fils

Tipus de semàfors

Depenent del valor d's, els semàfors poden ser

- Binaris si el valor d's només pot tenir valor 0 o 1.
- Generals si s pot tenir qualsevol valor sencer positiu (incloent el zero).

Els exemples que es mostren a continuació són exemples per a fils que utilitzen les funcions disponibles en C. Anem a veure com implementar:

- L'exclusió mútua
- El paradigma dels productors i consumidors
- El paradigma dels lectors i escriptors

Exclusió mútua amb semàfors (algorisme 1)

Estructura del codi per a l'exclusió mútua.

variables globals:

```
sem_t s;
```

funcio_fil:

```
codi independent per a cada fil
sem_wait(&s);
secció crítica
sem_post(&s);
codi independent per a cada fil
```

inicialització semàfor:

```
sem_init(&s, 0, 1); // inicialitzacio s = 1
```

Proveu el codi `semafor_exlusio_mutua.c`.

Exclusió mútua amb semàfors (algorisme 1)

Només dues funcions per manipular un semàfor: sem_wait i sem_post.

- sem_wait(&s): els fils que no poden entrar s'esperen (activament o passivament) a una cua associada al semàfor s.
- sem_post(&s): en sortir es desperten els fils que estan esperant a la cua del semàfor s. Aquests competiran per entrar a la secció crítica.

Observar que

- L'algorisme funciona per qualsevol nombre de fils.
- El semàfor utilitzat és un semàfor binari. Mitjançant el semàfor binari assegurem que només un fil pot entrar a la secció crítica.

Podem aconseguir que múltiples fils entrin a la "secció crítica"?

Exclusió mútua amb semàfors (algorisme 1)

variables globals:

```
sem_t s;
```

funcio_fil:

```
codi independent per a cada fil
sem_wait(&s);
secció crítica amb M recursos disponibles
sem_post(&s);
codi independent per a cada fil
```

inicialització semàfor:

```
sem_init(&s, 0, M); // inicialitzacio s = M
```

Exclusió mútua amb semàfors (algorisme 1)

Observar que

- S'utilitza un semàfor general inicialitzat a M
- Mitjançant aquesta solució es pot limitar el nombre de fils que hi pot haver a la secció crítica. En particular, en aquest codi hi pot haver a tot estirar M fils a la secció crítica. Així s'aconsegueix limitar l'accés al número de recursos disponibles.

Productors i consumidors

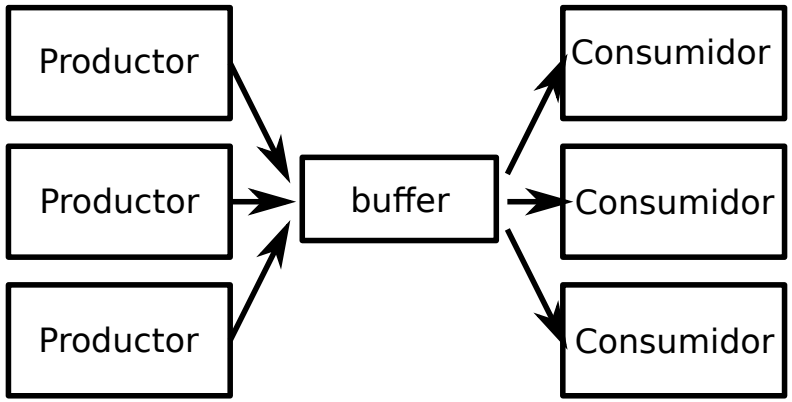
A continuació es presentarà l'algorisme de productors i consumidors. Per això es presentaran algorismes en què s'anirà incrementant la complexitat fins cobrir el cas més general. Veurem

1. Un algorisme amb múltiples productors i consumidors amb un buffer de mida 1.
2. Un algorisme amb un productor i un consumidor amb un buffer de mida M.
3. Un algorisme amb múltiples productors i consumidors amb un buffer de mida M.

Recordar que el "buffer" és el canal a través del qual el productor dóna (o entrega) les dades al consumidor.

Múltiples productors i consumidors amb un buffer de mida 1 (algorisme 2)

Es proposa a continuació una solució per múltiples productors i consumidors amb un buffer de mida 1



- Un sol productor pot transferir una dada al buffer. Si el buffer es ple, els productors s'han d'esperar que un consumidor agafi la dada.
- Un sol consumidor pot agafar la dada del buffer. Si el buffer es buit, els consumidors s'han d'esperar que un productor hi dipositi una dada.

Múltiples productors i consumidors amb un buffer de mida 1 (algorisme 2)

variables globals:

```
typeT buffer;
sem_t buit (=1), ocupat (=0);
```

productors:

```
typeT data;
while (true) {
    produeix "data"
    sem_wait(&buit);
    transferir "data" a "buffer"
    sem_post(&ocupat);
}
```

consumidors:

```
typeT data;
while (true) {
    sem_wait(&ocupat);
    transferir "buffer" a "data"
    sem_post(&buit);
    processa "data"
}
```

Múltiples productors i consumidors amb un buffer de mida 1 (algorisme 2)

- El semàfor binari buit s'utilitza per indicar si el *buffer* està buit.
  El semàfor binari ocupat s'utilitza per indicar si el *buffer* és ple.

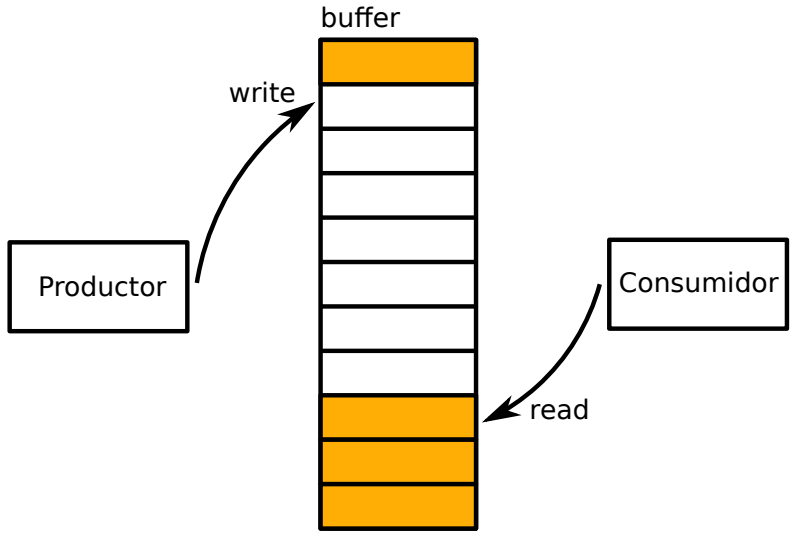
- Els productors
  1. Comproven si el *buffer* és buit.
  2. El productor que entra a la secció crítica transfereix la dada al *buffer*.
  3. Senyalitza als consumidors que el *buffer* es ple.

- Els consumidors
  1. Comproven si el *buffer* es ple.
  2. El consumidor que entra a la secció crítica transfereix el *buffer* a una variable local.
  3. Senyalitza als productors que el *buffer* es buit.

Un productor i un consumidor amb un buffer de mida M (algorisme 3)

Anem a ampliar l'algorisme anterior per un *buffer* de mida M amb un productor i un consumidor.

- El productor només pot escriure dades al *buffer* si aquest no és ple.
- El consumidor ha de comprovar que hi ha una dada al *buffer* abans d'agafar-la.



- Per implementar aquest algorisme s'utilitzen semàfors generals.

Un productor i un consumidor amb un buffer de mida M (algorisme 3)

variables globals:

```
typeT buffer[M];   int w = 0, r = 0;
sem_t buit (=M), ocupat (=0);
```

productor:

```
typeT data;
while (true) {
    produeix "data"
    sem_wait(&buit);
    transferir "data" a "buffer[w]"
    w = (w + 1) % M;
    sem_post(&ocupat);
}
```

consumidor:

```
typeT data;
while (true) {
    sem_wait(&ocupat);
    transferir "buffer[r]" a "data"
    r = (r + 1) % M;
    sem_post(&buit);
    processa "data"
}
```

Proveu el codi `semafor_1prod1cons.c` i "juguem" amb els paràmetres i el codi...

Un productor i un consumidor amb un buffer de mida M (algorisme 3)

Observar que

- S'utilitzen semàfors generals que indiquen la mida del *buffer* utilitzat.

El productor

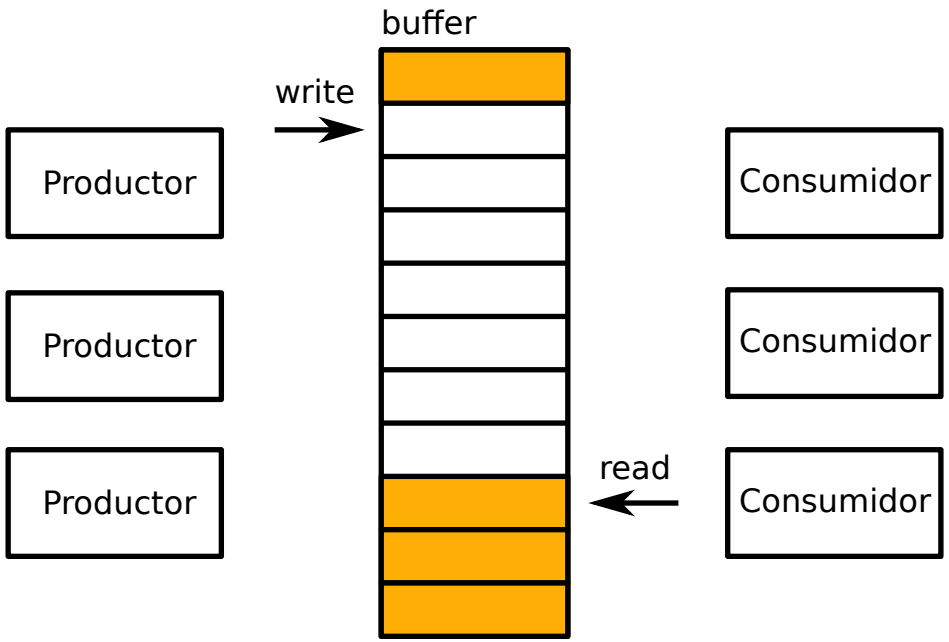
- No pot entrar a la secció crítica si el *buffer* es ple.
- En transferir les dades al *buffer* notifica al consumidor la presència d'una nova dada.

El consumidor

- No pot entrar a la secció crítica si no hi ha dades al *buffer*.
- En transferir del *buffer* notifica al productor que ha agafat una dada.

Múltiples consumidors i productors amb un buffer de mida M (algorisme 4)

Ampliem l'algorisme anterior per múltiples consumidors i productors



- Cal assegurar que només un productor pugui transferir la dada al buffer[w].
- Cal assegurar que només un consumidor pugui agafar la dada de buffer[r].

Múltiples consumidors i productors amb un buffer de mida M (algorisme 4)

variables globals:

```
typeT buffer[M];   int w = 0, r = 0;
sem_t buit (=M), ocupat (=0);
sem_t clauProd (=1), clauCons (=1);
```

productor:

```
typeT data;
while (true) {
    produeix "data"
    sem_wait(&buit);
    sem_wait(&clauProd);
    transferir "data" a "buffer[w]"
    w = (w + 1) % M;
    sem_post(&clauProd);
    sem_post(&ocupat);
}
```

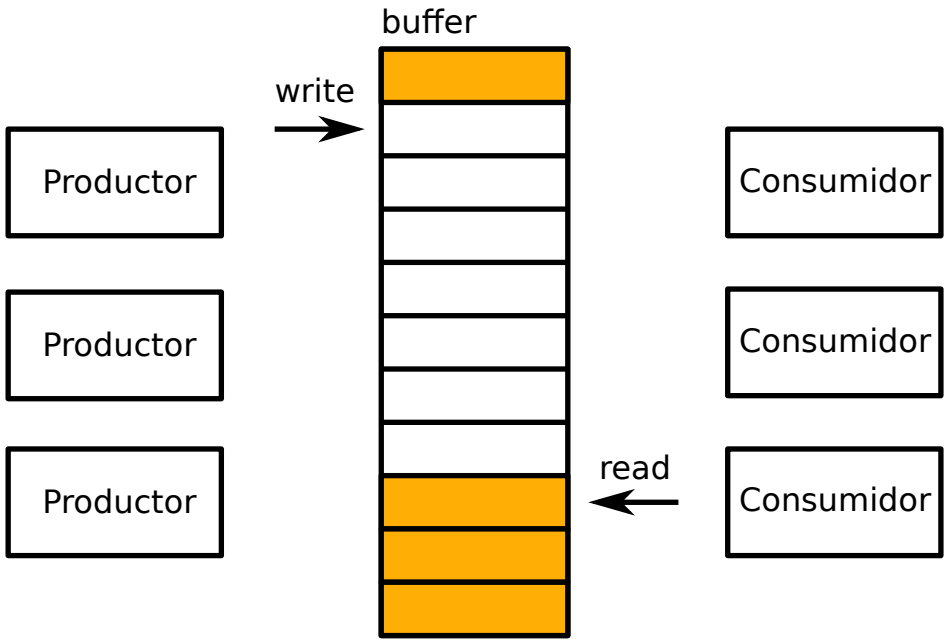
consumidor:

```
typeT data;
while (true) {
    sem_wait(&ocupat);
    sem_wait(&clauCons);
    transferir "buffer[r]" a "data"
    r = (r + 1) % M;
    sem_post(&clauCons);
    sem_post(&buit);
    processa "data"
}
```

Múltiples consumidors i productors amb un buffer de mida M (algorisme 4)

Observar que

- S'utilitzen dos nous semàfors binaris, clauProd i clauCons, utilitzats per assegurar que un sol productor o un sol consumidor accedeixen a la secció crítica. Els semàfors clauProd i clauCons asseguren l'exclusió mútua.



Múltiples lectors i escriptors: primera proposta (algorisme 5)

Es proposa a continuació una solució per múltiples lectors i escriptors.

Recordem les regles per evitar interferències entre fils

- Un escriptor necessita accés exclusiu a la base de dades (o el registre) en escriure-hi.
- Si no hi ha cap escriptor a la base de dades (o el registre), múltiples lectors poden accedir a la vegada per realitzar transaccions.

Múltiples lectors i escriptors: primera proposta (algorisme 5)

variables globals:

```
sem_t rw (=1);
```

lectors:

```
while (true) {
    sem_wait(&rw);
    llegeix dades
    sem_post(&rw);
    processa dades
}
```

escriptors:

```
while (true) {
    processa dades
    sem_wait(&rw);
    escriu dades
    sem_post(&rw);
}
```

Múltiples lectors i escriptors: primera proposta (algorisme 5)

Observar que

- Només hi ha un escriptor modificant la dada.
- Però aquest algorisme no aconsegueix que hi pugui haver múltiples lectors accedint a una dada.

Es proposa una modificació de l'anterior algorisme per permetre que múltiples lectors puguin accedir a la dada

- Només el primer lector agafarà el semàfor. La resta de lectors no cal que l'agafin.

Múltiples lectors i escriptors: segona proposta (algorisme 6)

variables globals:

```
int nr = 0;
sem_t rw (=1), clauLec (=1);
```

lectors:

```
while (true) {
    sem_wait(&clauLec);
    nr = nr + 1;
    if (nr == 1) sem_wait(&rw);
    sem_post(&clauLec);
    llegeix les dades
    sem_wait(&clauLec);
    nr = nr - 1;
    if (nr == 0) sem_post(&rw);
    sem_post(&clauLec);
    processa dades
}
```

escriptors:

```
while (true) {
    processa dades
    sem_wait(&rw);
    escriu dades
    sem_post(&rw);
}
```

Múltiples lectors i escriptors: segona proposta (algorisme 6)

Observar que

- El codi dels escriptors no canvia respecte la primera solució.
- Els lectors utilitzen un protocol d'entrada i un de sortida per llegir dades. Aquest protocol només el pot executar un lector cada cop. El primer lector que entra al protocol executa sem_wait(&rw). El darrer lector que surt del protocol executa sem_post(&rw).

Quin defecte té aquesta solució ?

- L'algorisme proposat dóna preferència als lectors sobre els escriptors. Un cop hi ha un lector llegint dades, poden entrar tants lectors com vulguin mentre els escriptors s'esperen.

Múltiples lectors i escriptors: segona proposta (algorisme 6)

- No es proposarà una solució justa pels lectors-escriptors fent servir semàfors: és un codi molt llarg!
- Es farà servir un altre mecanisme que permet implementar-ho de forma molt més senzilla: els monitors.

Conclusions

Els semàfors són un mecanisme de senyalització entre tasques (fils o processos).

- sem_wait(s): els fils que no poden entrar s'esperen (activament o passivament) a una cua associada al semàfor s.
- sem_post(s): en sortir de la secció crítica s'envia un senyal als processos o fils que estan esperant a la cua del semàfor s.

Els semàfors són el mecanisme que poden fer servir internament els sistemes operatius per sincronitzar tasques i perifèrics.

No hi ha una separació clara entre

- El protocol per entrar o sortir d'una secció crítica.
- El procediment per senyalitzar altres fils d'un esdeveniment.

Els monitors ho separen de forma explícita cosa que permetrà més graus de llibertat en programar.