

Architecture et Systèmes

Stefan Schwoon

Cours L3, 2019/20, ENS Cachan

Programmation concurrente

Motivation :

séparation des tâches

meilleure efficacité (si le CPU dispose de plusieurs cœurs)

Technique connue : les processus

sécuré, puissant, mais lourd

communication entre processus par pipe/signaux

On regardera un autre moyen appelé *threads* (ou *processus légers*)

Les threads

Un **thread** est un fil d'exécution *à l'intérieur d'un processus*.

Rappel: Les processus sont des unités d'exécution avec leurs propres ressources (mémoire, signaux, . . .) qui sont entièrement indépendants l'un de l'autre.

Par contre, les threads d'un processus se partagent la plupart de leurs ressources.

Ressources privés et partagés

Un thread possède :

son propre compteur de programme, son jeu de registres et sa propre pile

ses variables locales (non `static`), allouées sur la pile

code de retour (un pointeur `void*`)

Les threads d'un même processus se partagent :

tout le reste de la mémoire (code et tas)

leurs fichiers ouverts

(partiellement) les signaux

Travailler avec les threads

Librairie standard : Posix threads (Pthreads)

Pour compiler, inclure `pthread.h` et utiliser `gcc -pthread`.

Voir `pthread(7)` pour un survol de la thématique.

Remarques

On peut imaginer un processus comme une collection de threads (normalement, il y en a un seul).

Il n'existe aucune hiérarchie entre les threads d'un même processus.

Les threads obtiennent leur temps de calcul par le noyau (*kernel threads*). Certains versions de Linux connaissent aussi les *user threads*, où l'ordonnancement entre threads se fait par un ordonnanceur à l'intérieur du processus (donc à l'extérieur du noyau).

Un thread possède un identifiant (type `pthread_t`).

Cet identifiant peut être utilisé avec les fonctions de la famille `pthread`.

Création d'un thread

N'importe quel thread peut en créer un autre avec `pthread_create`.

Contrairement à `fork`, le thread actuel n'est pas dupliqué ; le nouveau thread commence sa vie dans une fonction de départ fournie comme paramètre.

Cette fonction de départ prend un argument de type `void*` et renvoie un `void*`.

Terminaison d'un thread

Un thread est vivant jusqu'à ce qu'il termine sa fonction de départ.
Il peut aussi terminer avec `pthread_exit`.

Dans les deux cas, on enregistre une valeur de sortie.

N'importe quel thread peut attendre la terminaison d'un autre thread et rattraper sa valeur de sortie, avec `pthread_join`.

Un thread peut en tuer un autre – en inclus le thread de départ – avec `pthread_cancel`.

Divers

`pstree` affiche les threads en accolades.

`pthread_detach` rend un thread “non-joignable”:

Lors de la terminaison, il sera supprimé entièrement;
il n’entrera pas dans un état de “zombie”.

Par contre, ce thread ne pourra pas laisser une valeur de sortie.

Vie et mort d'un processus avec threads

Un processus est vivant lorsqu'il possède au moins un thread vivant.

Par ailleurs, les actions suivantes tuent le processus avec tous ses threads :

un appel d'`exit` (par n'importe quel thread);

le thread principal termine la fonction `main` (ce qui appelle `exit` implicitement) ;

le processus ou l'un de ses threads reçoit un signal terminant.

Avantages et inconvénients

Avantages des threads par rapport aux processus :

Communication entre threads plus faciles (par mémoire partagée au lieu des fichiers/tubes/signaux).

Création des threads moins coûteux pour le système.

Bref, c'est plus efficace.

Inconvénients :

Moins sécurisée - une erreur dans un seul thread peut tuer le processus entier.

Certains appels système ne sont pas **thread-safe**, deux threads ne peuvent pas s'en servir simultanément (voir *pthread(7)* pour une liste).

Attention lors des accès mémoire (*situations de compétition*) !

Programmation concurrente

Les threads sont un exemple de *programmation concurrente*.

Autres exemples :

Arbitration dans le noyau

Protocoles de réseau

Dans toutes ces situations on se trouve devant les problèmes suivants :

Coordonner l'accès aux ressources partagés (exclusion mutuelle); éviter les situations de compétition, communication avec périphériques

Signaler qu'une ressource est prête à consommer

Programmation concurrente

Les solutions à ces problèmes dépendent du contexte :

Concurrence entrelacée ou vraie (calcul multi-cœur ou distribué)

Mémoire partagée ou pas

Accès mémoire en écriture/lecture seulement

Moyens de communication (synchrone/asynchrone/délai borné)

Existence d'une autorité centrale qui peut résoudre des conflits (p.ex. noyau, serveur).

Premier exemple: Section critique

Modèle abstrait :

On a un ensemble de processus/threads qui possède tous des **sections critiques** (une partie du code).

On doit assurer qu'au plus un seul processus est dans une section critique en même temps.

On souhaite une structure de données (on l'appelle **mutex**) qui permet au moins les opérations suivantes:

acquérir : si plusieurs processus essayent à obtenir le mutex, un seul réussira.

relâcher : un processus qui detient le mutex le rend accessible aux autres.

Propriétés intéressantes : correction, absence de blocages, justice

Propriétés d'un mutex

Correction: Un seul processus/thread peut detenir le mutex en même temps.

Absence de blocages: Si plusieurs processus/threads tentent d'obtenir le mutex, au moins un réussira.

Justice: Si un processus tente d'obtenir un mutex, il réussira à un moment donné.

Algorithme de Peterson

Solution pour deux processus avec mémoire partagée (trois bits)

On suppose que la lecture/écriture d'un bit est atomique.

Variables:

`flag[0]` : premier processus veut entrer dans une section critique

`flag[1]` : deuxième processus veut entrer dans une section critique

`victim`: pour résoudre des conflits

Algorithme de Peterson

Au départ : `flag[0] = flag[1] = 0;`

Code du processus `i=0,1` (autour de la section critique) :

```
autre = 1-i;
flag[i] = 1;
victim = i;
while (victim == i && flag[autre]);
... critical section ...
flag[i] = 0;
```

Remarque: La conjonction (`&&`) peut être non-atomique et évaluée dans n'importe quel ordre.

En supposant que les processus terminent toujours leurs section critiques,
l'algorithme de Peterson est ...

correct (un seul processus peut être critique à la fois) ;

juste (tout processus réussit finalement à entrer dans sa section critique);

libre de blocages.

Il est possible de généraliser le principe à n participants qui font $n - 1$ tours
d'élimination.

Extension à n participants

Idée: exécuter l'algorithme de Peterson à $n - 1$ niveaux où chaque fois filtre un participant.

Variables:

`level[0], ..., level[n-1]`: niveau du i -ème participant

`victim[1], ..., victim[n-1]`: la "victime" au niveau i

Note : toujours pour mémoire partagée, mais avec lecture/écriture d'un entier atomique

Extension: pseudocode

Initialement, `level` est 0 pour tous les niveaux.

Vue de participant numéro $i=0,\dots,n-1$:

```
for (int L = 1; L < n; L++) {
    level[i] = L;
    victim[L] = i;
    while (( $\exists$  k != i: level[k] >= L) && victim[L] == i);
}
... critical section ...
level[i] = 0;
```

Problèmes

Un algorithme tel que Peterson résout le problème en absence d'autorité centrale, mais présente des inconvénients:

Du code compliqué à écrire autour de chaque accès.

Il est facile de se tromper dans la programmation.

Nécessite la mémoire partagée.

Assez lourd pour plusieurs processus.

Attention aux réordonnements dans le processeur !

Avec le noyau comme autorité centrale, POSIX propose plusieurs solutions (sémaphores, spinlocks).

Sémaphores

Un **sémaphore** est une structure de donnée gérée par le noyau qui offre une solution si tous les processus sont dans un même ordinateur.

Gère un compteur de *créneaux* disponibles, avec les opérations suivantes :

Init(n), où n est un nombre de *créneaux* initiaux

Wait: si compteur positif, décroître et renvoyer;
sinon on attend qu'il devient positif pour le faire

Post: augmenter le compteur

Implémentation d'une sémaphore

Naïvement :

```
Init(n) { ctr = n; }
```

```
Wait() { while (ctr == 0); ctr = ctr-1; }
```

```
Post() { ctr = ctr+1; }
```

Notes :

Les opérations sont “atomiques” (le noyau utilise un mécanisme de mutex pour l’assurer).

pendant l’attente, le thread/processus concerné est mis en sommeil (pas d’attente active).

Exemple : Sémaphore pour sections critiques

```
                                Init(1);  
  
while (1) {                      while (1) {  
    ...;  
    Wait();  
    Critical1();  
    Post();  
    ...;  
}  
  
                                }  
                                ...;  
                                Wait();  
                                Critical2();  
                                Post();  
                                ...;  
                                }
```

Mettre **Wait** et **Post** autour des accès.

Sémaphores dans Unix

Supporté par le noyau, voir `sem_overview(7)`:

Sémaphores **anonymes** (entre threads/processus père et fils):

`sem_init`, `sem_wait`, `sem_post`

Sémaphores **nommés** (dans tout le système):

`sem_open`, `sem_unlink`

Spinlocks

Alternative aux sémaphores, avec attente active.

peut être efficace dans un contexte de vraie concurrence quand les attentes sont courtes.

ne jamais utiliser dans un contexte de concurrence entrelacée !

Voir : `pthread_spin_lock`