

Programmation Concurrente, Réactive et Répartie

Cours N°1

Emmanuel Chailloux

Master d'Informatique
Université Pierre et Marie Curie

année 2015-2016

Informations sur le cours PC2R

Sites

www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/2015/PC2R

www-apr.lip6.fr/~chaillou/Public/enseignement/2015-2016/pc2r/

Equipe pédagogique

- ▶ cours : **Emmanuel Chailloux**
- ▶ TD/TME groupe 1 (lundi après-midi) :
Philippe Esling
- ▶ TD/TME groupe 2 (lundi après-midi) :
Romain Demangeon
- ▶ TD/TME groupe 3 (vendredi matin) :
Tong Lieu

Description de l'UE

- ▶ Comprendre la programmation concurrente (modèles de programmation, aspects théoriques et pratiques) et son utilisation pour l'expression d'algorithmes,
- ▶ apprécier la programmation synchrone pour la conservation du déterminisme ,
- ▶ maîtriser le modèle client/serveur (protocoles, ressources utilisées, modèles à plusieurs niveaux),
- ▶ savoir déployer des objets répartis (coût des appels distants, gestion mémoire, sécurité).

mots clés :

Concurrence. synchronisation. communication. déterminisme. synchronisme. réactivité. mémoire partagée. mémoire répartie. client-serveur. objets distants.

Plan du cours

1. généralités sur la concurrence, modèle à mémoire partagée, perte du déterminisme
2. modèle coopératif : Fair threads
3. modèle préemptif : Threads en OCaml et en Java
4. interneteries, client/serveur
5. modèles avancés : canaux synchrones, futures
6. programmation synchrone (1) : Esterel
7. programmation synchrone (2) : Lustre/Scade
8. persistance et communication
9. appels distants, RPC et RMI en Java
10. chargement dynamique, servlets, JSP modèles pour le Web

Logiciels du cours

Installation dans : `/users/Enseignants/chaillou/usr/local/`

- ▶ OCaml 4 (préinstallé)
- ▶ Java 1.8 (préinstallé)
- ▶ GCC 4.4.5 (préinstallé)
- ▶ FTthread pour C (à installer)
- ▶ Esterel (v5.100)
- ▶ Scade (sur machines Windows)

Sources de certaines installations dans :
`/users/Enseignants/chaillou/install`

Sources de certains exercices dans : `/Vrac/PC2R`

Evaluation

- ▶ 1ère session
 - ▶ Examen réparti 1 (40%) :
 - ▶ une épreuve de 2h la semaine du 29/02/2016 (20%)
 - ▶ devoir de programmation (20%) par binôme
 - ▶ Examen réparti 2 : semaine du 17/05/2016 (60%)
- ▶ 2ème session
 - ▶ semaine du 13/06/2016

Plan du cours 1

- ▶ concurrence
 - ▶ modèle à mémoire partagée
 - ▶ modèle à mémoire répartie
- ▶ section critique, exclusion mutuelle
 - ▶ algorithme de Dekker
 - ▶ algorithme de Peterson
 - ▶ sémaphores

pourquoi la concurrence ?

séquentialité & concurrence :

- ▶ séquentialité (dépendance causale) : une instruction s'exécute après une autre;
 - ▶ la concurrence (indépendance causale) : plusieurs instructions s'exécutent en « même temps »;
1. expressivité : facilité l'écriture d'algorithmes
 - ▶ séparation des tâches, explicitation de la communication, ...
 2. efficacité : machines multicœurs et en réseau
 - ▶ différence entre puissances théorique et réelle

Modèles de parallélisme

2 grands modèles de programmation parallèle (ou simultanée) :

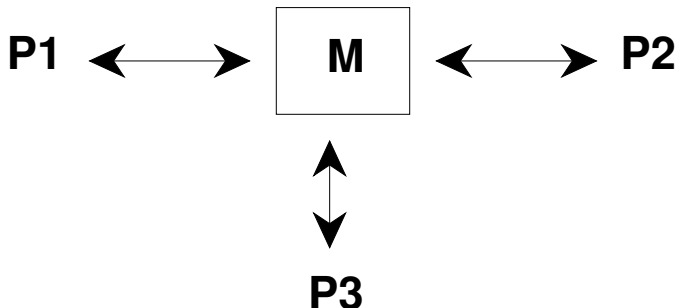
- ▶ systèmes à mémoire partagée
- ▶ systèmes répartis (à mémoire répartie)

Autres caractéristiques

- ▶ le non-déterminisme (une cause peut avoir plusieurs effets, mutuellement exclusifs) :
un même programme ne termine pas ou termine en produisant des résultats différents;
- ▶ la synchronisation (plusieurs causes indépendantes doivent s'être produites avant que l'effet puisse avoir lieu) :
attente d'une condition sur plusieurs processus;
- ▶ la communication (transfert d'informations) :
envoi et réception d'informations d'un ou plusieurs processus à un ou plusieurs processus.

Systèmes à mémoire partagée (1)

On considère un ensemble S de processus séquentiels P_i interagissant sur une mémoire commune (ou partagée) que l'on note $S = [P_1 || \dots || P_n]$. Ces processus peuvent être aussi bien physiquement indépendants (un processus correspond à un processeur) que simulés logiquement par un unique processeur (comme les Threads en OCaml).



Systèmes à mémoire partagée (2)

La communication dans ce modèle est implicite.

L'information est transmise lors de l'écriture dans une zone de la mémoire partagée, puis quand un autre processus vient lire cette zone. Ce mécanisme est asynchrone, i.e. il ne nécessite pas que le récepteur soit prêt à écouter l'émetteur.

Par contre la synchronisation doit être explicite, en utilisant des instructions élémentaires.

Systèmes à mémoire partagée (3)

Sans synchronisation explicite, le résultat d'un programme est imprévisible. Par exemple, soit l'ensemble S de processus (avec x valant 0) défini ainsi : $S = [x := x + 1; x := x + 1 || x := 2 * x]$. Après l'exécution de S , x peut valoir 2,3, ou 4.

La synchronisation la plus simple est l'attente d'une condition. On la note *wait* b , où b est une expression booléenne. Un processus ne peut exécuter cette instruction que si b est vraie. En reprenant

l'exemple précédent :

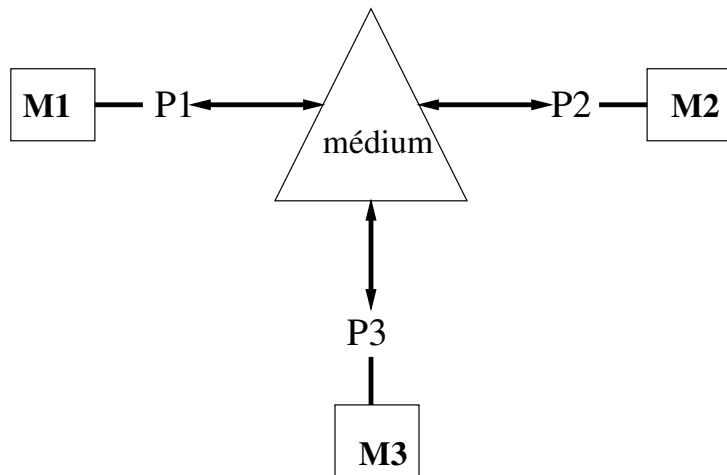
$S = [x := x + 1; x := x + 1 || \text{wait}(x = 1); x := 2 * x]$ on obtient comme valeur pour x que 3 ou 4. Par contre il est possible que le second processus reste bloqué s'il n'a testé x que pour les valeurs 0 ou 2.

Systèmes à mémoire partagée (4)

Cela amène le problème de l'atomicité. Il peut être utile de manipuler l'atomicité de manière explicite.

L'instruction *await b do P* attend que la condition *b* soit vraie pour exécuter les instructions de *P* de manière atomique dans le même état mémoire que le test de *b*.

Modèle à mémoire répartie (1)



La difficulté de ce modèle provient de l'implantation du médium. Les programmes s'en chargeant s'appellent des *protocoles*.

Protocoles et communication

- ▶ **protocole** : organisés en couche. Les protocoles de haut niveau, implantant des services élaborés, utilisent les couches de plus bas niveaux (7 couches : modèle ISO).
- ▶ **parallélisme** : modèle valable dans le cas de parallélisme physique (réseau d'ordinateurs) ou logique (processus Unix communiquant par "pipes" ou threads O'CamI communiquant par canaux). Il n'y a pas de valeurs globales connues par tous les processus (comme un temps global). La seule contrainte sur le temps est l'impossibilité de recevoir un message avant son émission.
- ▶ **communication et synchronisation** : Dans ce modèle la communication est explicite alors que la synchronisation est implicite (elle est en fait produite par la communication). Ce modèle est le dual du précédent.

Modèles de communication

- ▶ **un-à-un** (point-à-point) : communication d'un processus à un autre; les autres processus ignorent cette communication. Les deux primitives sont "envoi d'une valeur sur un canal" et "réception d'une valeur d'un canal".
- ▶ **un-à-tous** (diffusion) : communication d'un processus à tous les processus. Les primitives de communication sont : "envoi d'une valeur à tous" et "réception d'une valeur".
- ▶ **tous-à-tous** (diffusion) : communication de tous les processus à tous les processus. La réception tient compte alors des différentes valeurs envoyées.

Types de communication

- ▶ **synchrone** : le transfert d'informations n'est possible que lors d'une synchronisation globale des processeurs émetteur et récepteur. L'émission et la réception peuvent être bloquantes.
- ▶ **asynchrone** : le medium peut stocker des messages en vue de leur acheminement futur. Il faut donc spécifier la capacité de stockage, l'ordre d'acheminement, les délais de transmissions et la fiabilité de transmission. L'émission est non bloquante.
- ▶ **évanescent** : l'émission est non bloquante et le medium ne peut pas stocker de messages. Le message émis est reçu par les processus prêt à le recevoir et perdu pour les autres.

Section critique, exclusion mutuelle

On appelle *section critique* une ressource qui ne doit être utilisée que par un processus au plus.

- ▶ Par exemple, on désire qu'un seul processus puisse utiliser une imprimante. C'est le cas du système Unix qui gère une queue d'impression sur les périphériques d'impression.

Pour cela les processus doivent s'exclure mutuellement de la section critique. On dit que l'activité A_1 du processus P_1 et l'activité A_2 du processus P_2 sont en *exclusion mutuelle* lorsque l'exécution de A_1 ne doit pas se produire en même temps que celle de A_2 .

- ▶ algorithmes d'exclusion mutuelle
 - ▶ Dekker, Peterson, Lamport (Bakery)

Algorithme de Dekker (1)

Le problème de l'exclusion mutuelle, dans un cas simple de deux processus, n'est pas si évident que cela.

algorithme de Dekker:

Il utilise une variable globale *turn* que chaque processus peut consulter et changer dans la section critique.

Les processus indiquent leur volonté d'entrer dans la section critique en mettant à 0 l'élément de tableau *c* les concernant.

Après avoir marqué son élément de tableau le processus va regarder si l'autre processus est dans le même état (volonté d'entrer dans la section critique).

Si ce n'est pas le cas, il entre dans la section critique, sinon il doit consulter l'arbitre (*turn*) qui indique à qui est le tour. Cet arbitre ne peut être modifié que dans la section critique (ici à la sortie). De ce fait, seul le processus étant entré dans la section critique modifiera l'arbitre à la fin de son travail en lui indiquant l'autre processus.

Algorithme de Dekker (2)

```
1  let turn = ref 1 and c = Array.create 2 1;;
2  let crit i = ();; (* action dans la section critique *)
3  let suite i = ();; (* hors section critique *)
4  let p i =
5    while true do
6      c.(i)<-0; (* desire entrer dans la section critique *)
7      (* tant que l'autre processus desire aussi entrer dans la section ←
8         critique *)
9      while c.((i+1) mod 2) = 0 do
10         if !turn = ((i+1) mod 2) then
11           (* si c'est au tour de l'autre *)
12           begin
13             c.(i)<-1; (* abandon *)
14             while !turn = ((i+1) mod 2) do done; (* et attente de son tour *)
15             c.(i)<-0 (* puis reprise *)
16           end;
17         done;
18         crit i;
19         turn := ((i+1) mod 2); (* passe le droit au 2ème proc*)
20         c.(i)<-1; (* remise \a 1 : sortie de la SC *)
21         suite i
22     done ;;
```

Algorithme de Dekker (3)

Lancement :

```
1
2 (* initialisation *)
3 c.(0)<-1;;
4 c.(1)<-1;;
5 turn:=1;;
6
7 (* lancement des processus *)
8 Thread.create p 0;;
9 Thread.create p 1;;
```

algorithme de Peterson (1)

Il utilise une variable globale `turn` que chaque processus peut consulter et changer dans la section critique.

Les processus indiquent leur volonté d'entrer dans la section critique en mettant à 0 l'élément de tableau `c` les concernant.

Puis il donne la priorité (le tour) à l'autre processus et attend que l'autre processus signale qu'il ne veut pas y aller ou qu'il lui (re)donne la priorité (atomique). .

algorithme de Peterson (2)

```
1  let turn = ref 1;;
2  let c = Array.create 2 1;;
3
4  let crit i = ();; (* action dans la section critique *)
5  let suite i = ();; (*          hors section critique      *)
6
7  let p i =
8    while true do
9      c.(i) <- 0; (*désire entrer dans la section critique*)
10     turn := (i + 1) mod 2; (* donne le tour à l'autre *)
11     (* tant que l'autre processus désire entrer et que c'est son tour *)
12     while ( c.(i+1 mod 2) = 0 && !turn == (i+1) mod 2 ) do
13       done;
14     crit i;
15     c.(i) <- 1;
16     suite i
17   done ;;
```


Sémaphores (1)

Un sémaphore est une variable entière s ne pouvant prendre que des valeurs positives (ou nulles). Une fois s initialisé, les seules opérations admises sont : $wait(s)$ et $signal(s)$, notées respectivement $P(s)$ et $V(s)$. Elles sont définies ainsi :

- ▶ $wait(s)$: si $s > 0$ alors $s := s - 1$ (*await s do s := s - 1*), sinon l'exécution du processus ayant appelé $wait(s)$ est suspendue.
- ▶ $signal(s)$: si un processus a été suspendu lors d'une exécution antérieure d'un $wait(s)$ alors le réveiller, sinon $s := s + 1$.

s correspond au nombre de ressources d'un type donné.

Sémaphores (2)

remarques:

- ▶ Un sémaphore ne prenant que les valeurs 0 ou 1 est appelé *sémaphore binaire*.
- ▶ Les primitives *wait(s)* et *signal(s)* s'excluent mutuellement si elles portent sur le même sémaphore (l'ordre n'est donc pas connu).
- ▶ La définition de *signal* ne précise pas quel processus est réveillé s'il y en a plusieurs.

Sémaphores (3)

On peut utiliser les sémaphores pour l'exclusion mutuelle. Les deux processus p 1 et p 2 sont exécutés en parallèle grâce à la bibliothèque de threads d'OCaml.

```
1  let crit () = ...
2  let suite () = ...
3  let s = ref 1;;
4
5  let p i =
6    while true do
7      begin
8        wait(s);
9        crit();
10       signal(s);
11       suite()
12     end
13   ;;
14
15  Thread.create p 1;;
16  Thread.create p 2;;
```

Sémaphores (4)

Dans cet exemple, si un processus veut entrer en section critique, il entrera en section critique si :

- ▶ il n'y a que 2 processus (si P_1 est suspendu alors P_2 est en section critique);
- ▶ si aucun processus ne s'arrête en section critique (si P_2 est dans crit alors il exécutera *signal(s)*).

Cette vérification ne fonctionne plus à partir de 3 processus. Il peut y avoir privation si le choix du processus se fait toujours en faveur de certains processus.

Par exemple, si le choix s'effectue toujours en faveur du processus d'indice le plus bas, P_1 et P_2 pourraient se liguier pour se réveiller mutuellement, P_3 étant alors indéfiniment suspendu.

Le dîner des philosophes (1)

Le "dîner des philosophes", dû à Dijkstra, illustre les différents pièges du modèle à mémoire partagée.

L'histoire se passe dans un monastère reclus où 5 moines se consacrent exclusivement à la philosophie. Ils passeraient bien tout leur temps à la réflexion s'ils ne devaient manger de temps en temps. La vie d'un philosophe se résume en une boucle infinie : penser - manger. Ils possèdent une table commune ronde. Au centre se trouve un plat de spaguettis qui est toujours rempli.

Le dîner des philosophes (2)

Il y a 5 assiettes et 5 fourchettes. Le philosophe qui veut manger sort de sa cellule, s'assoit à table, mange et retourne ensuite à ses pensées. Les spaguettis sont si enchevêtrés qu'il faut deux fourchettes pour pouvoir les manger. Un philosophe ne peut utiliser que les deux fourchettes autour de son assiette. Les problèmes

posés sont :

- ▶ l'interblocage : chaque philosophe tient une fourchette et attend qu'une autre se libère;
- ▶ privation (ou famine) : un philosophe n'arrive jamais à obtenir 2 fourchettes.