

Cours Systèmes d'exploitation, 2009–2010

Premiers pas en Nachos

11 septembre 2009

Résumé

Les objectifs de ces premières séances sont :

- la mise en place d'une archive svn pour pouvoir travailler à plusieurs sur le même code ;
- la découverte du simulateur Nachos à travers la lecture du code source, le tracage d'exécution grâce aux options de débogage et à gdb. En plus du démarrage du simulateur, on observe l'exécution d'un programme utilisateur qui donnera un exemple d'appel système, puis la commutation et l'ordonnancement des threads noyaux.

1 Installation de NACHOS

Pour travailler dans de bonnes conditions, en binôme de surcroît, vous allez utiliser un outil permettant de gérer facilement le travail en équipe (partage de fichiers sources) et l'archivage de versions multiples. Il s'agit de svn (*subversion*), qui vous permettra en effet de travailler simultanément avec votre binôme sur les mêmes fichiers sources (y compris en édition), mais aussi de gérer facilement les versions successives des fichiers afin de pouvoir revenir en arrière, inspecter les dernières modifications, etc.

Pour vous faciliter la tâche, nous vous distribuons le simulateur NACHOS sous la forme d'une "base svn" prête à l'emploi.

1.1 Installation de la base svn

Une base svn est une arborescence de fichiers dans laquelle l'outil svn va mémoriser l'intégralité de votre projet (fichiers sources) sous une forme qui lui permettra de restituer l'historique complet des modifications, n'importe quelle version intermédiaire des fichiers, ou encore une synthèse des différences entre deux versions d'un même fichier. Le principe général est que chaque utilisateur travaille sur une copie locale (un *checkout*) des fichiers gérés par svn. Les synchronisations vers/depuis la base svn sont effectuées explicitement à l'aide de la commande svn, comme nous le verrons ci-après.

Dans le cadre des TP de système, il suffira d'utiliser une seule base svn par binôme, hébergée dans le compte d'une seule des personnes. Ensuite, chaque étudiant (y compris celui qui héberge la base) devra travailler sur un *checkout* des fichiers. Voici une illustration très concrète. Nous supposons ici que vous vous appelez Dupont et Durand, et que c'est Dupont qui hébergera la base svn.

Dupont (et lui seul, donc) choisit d'installer la base svn sous son répertoire HOME (/net/cremi/dupont/). Il extrait une copie de la base "prête à l'emploi" fournie par nos soins de cette façon :

```
cd
tar xfvz ~sathibau/distrib-nachos-svn.tar.gz
```

Le répertoire de la base svn ainsi installée est /net/cremi/dupont/svnnachos.

À présent, il faut s'assurer que les partenaires peuvent écrire dans ce répertoire et y créer des fichiers :

```
chmod +x /net/cremi/dupont
chmod -R a+rwX /net/cremi/dupont/svnnachos
```

L'inconvénient est que tous les membres du même groupe Unix peuvent aussi y accéder... Une méthode peut être d'utiliser un répertoire (~/.hidden par exemple) doté seulement du droit en exécution (i.e. traversée) mais pas en lecture et d'y créer un répertoire avec un nom complexe que vous ne communiquerez qu'à votre binôme en secret.

```
umask 0066
mkdir ~/.hidden
umask 022
mkdir ~/.hidden/V2P0KJK5VTqX
mv svnnachos ~/.hidden/V2P0KJK5VTqX/
```

Maintenant, tout est prêt pour commencer à travailler en binôme.

1.2 Utilisation de svn

ATTENTION : Dupont et Durand doivent exécuter, chacun de leur côté, les instructions suivantes (qui sont illustrées uniquement pour Durand).

Il faut d'abord à son fichier .bashrc la ligne suivante.

```
export EDITOR=emacs # Par exemple...
```

Il faut ensuite exécuter votre .bashrc pour bien positionner la variable d'environnement.

```
source ~/.bashrc
```

Lors de votre prochaine entrée sous le système, ce sera fait automatiquement à l'initialisation.

Durand a décidé ici de travailler dans un répertoire Systeme/Nachos.

```
mkdir ~/Systeme
cd ~/Systeme/
mkdir Nachos
cd Nachos
```

Si vous avez protégé votre base svn en la cachant, il faut interdire aux autres personnes de lire ce répertoire (car il contiendra le nom du répertoire de la base dans certains fichiers).

```
chmod og-rwx $HOME/Systeme/Nachos
```

Exportez depuis la base svn la version courante du projet.

```
svn checkout \
file:///net/cremi/dupont/hidden/JK5VTqX/svnnachos/trunk nachos
```

Cela reconstruit au point d'exportation toute la hiérarchie de racine nachos.

Promenez-vous dans l'arborescence pour aller modifier un fichier. Par exemple

```
cd nachos/code/test
```

et modifiez le fichier halt.c.

```
echo "/* This is a strange comment... */" >> halt.c
```

Vérifiez avec svn status que la modification a bien été vue par svn (*locally modified*). Par contre, votre binôme ne la voit pas encore.

Maintenant, enregistrez cette modification.

```
svn commit
```

L'éditeur s'ouvre pour que vous puissiez documenter le changement que vous venez de faire, ici un simple test. Vous en êtes à la révision 3... Si votre binôme fait `svn checkout` ou `svn update` chez lui, il verra la nouvelle version.

De plus, si par hasard il était lui aussi en train de travailler sur `halt.c`, `svn` essaie de fusionner sa version et votre version de manière "raisonnable". En général, ce n'est pas trop mal. En cas de conflit insoluble, `svn` vous met un message et annote le fichier. Faites un essai !

Maintenant, détruisez (par erreur !) le fichier `halt.c`. Vous pouvez remettre à jour votre copie locale à partir de la base `svn` en tapant tout simplement :

```
svn update
```

De manière plus générale, à chaque fois que vous commencez à travailler, n'oubliez pas de faire `svn update` afin de mettre à jour votre copie locale à partir de la dernière version déposée dans la base. N'utilisez `svn checkout` que pour créer une nouvelle copie. Notez aussi qu'il n'y a aucune raison de travailler au même endroit de votre arborescence.

1.3 Test de NACHOS

Positionnez-vous sous `nachos/code` dans la copie que vous venez d'extraire, et construisez Nachos :

```
cd $HOME/Systeme/Nachos/nachos
cd code
make clean      # Pour se remettre dans un état standard (prudent!)
make            # Pour produire les fichiers de dépendances
               # et lancer la compilation (cela peut être long, ajoutez
               # éventuellement l'option -j4 pour profiter du
               # parallélisme de la machine...)
```

Normalement, tout doit bien se passer... Pendant cette compilation vous pouvez lire les conseils ci-dessous et commencer la partie suivante qui débute par une lecture du code.

Il vous suffit maintenant de lancer les tests. Nous reviendrons sur la signification de ces tests plus tard, rassurez-vous. Il s'agit juste de voir si tout est en ordre...

```
cd threads
./nachos
```

pour le premier, et pour le second

```
cd ..
cd userprog
./nachos -x ../test/halt
```

Si les affichages produits par ces deux tests ne comportent rien de suspect, alors tout devrait être valide.

1.4 Quelques conseils...

Ne faites des `svn commit` que lorsque votre partie est suffisamment testée. Sinon, votre binôme sera complètement perdu ! L'invariant doit être : la version disponible sous `svn` fonctionne.

Prenez le temps de mettre des commentaires significatifs dans le `log`. Cela vous aidera beaucoup dans les phases d'intégration.

Placez votre `svnnachos` dans une autre partie de votre arborescence que la partie dans laquelle vous travaillez habituellement. Prenez aussi le temps de faire des sauvegardes de temps en temps, on ne sait jamais...

```
mkdir ~/Sauvegardes
tar czvf ~/Sauvegardes/nachos.tar.gz \
/net/cremi/duPont/hidden/JK5VTqX/svnnachos
```

1.5 Travailler depuis chez soi avec svn

Vous pouvez aussi utiliser `svn` pour synchroniser votre travail réalisé en dehors du CREMI avec la base `svn` que vous venez d'installer. Pour cela il vous suffit de créer une copie locale sur votre machine personnelle en précisant que la base utilisée est au CREMI :

```
svn checkout svn+ssh://dupont@jaguar.emi.u-bordeaux1.fr\
/net/cremi/duPont/hidden/JK5VTqX/svnnachos/trunk nachos
```

Et toutes les autres commandes `svn` fonctionnent elles aussi comme précédemment. N'oubliez pas d'utiliser `svn commit` lorsque vous avez fini de travailler en dehors du CREMI, et `svn update` pour mettre à jour la première copie locale au CREMI.

2 Lecture du code source de Nachos

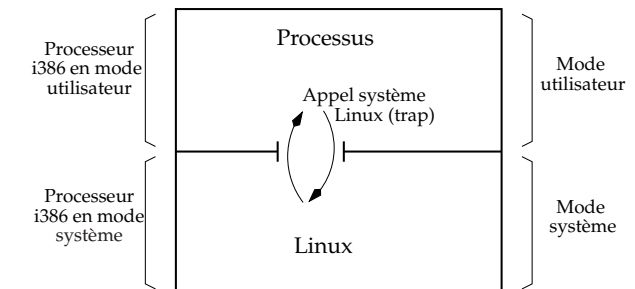
Avant de commencer ce chapitre, lisez les annexes.

2.1 Principes de la simulation

Dans un système réel monoprocesseur, il existe au moins deux modes d'utilisation du processeur :

- le **mode utilisateur** (*user mode*) dans lequel il exécute les instructions d'un programme utilisateur ;
- le **mode système** (*system mode*) dans lequel il organise les différentes tâches systèmes qui lui sont demandées : communication avec les périphériques (disque-dur, clavier, carte graphique ...), gestion des ressources (mémoire (swap, allocation), processeur (ordonancement des processus)), ...

Dans la réalité le système exécute alternativement le mode système et le mode utilisateur de la même façon sur un processeur, comme sur le schéma suivant.

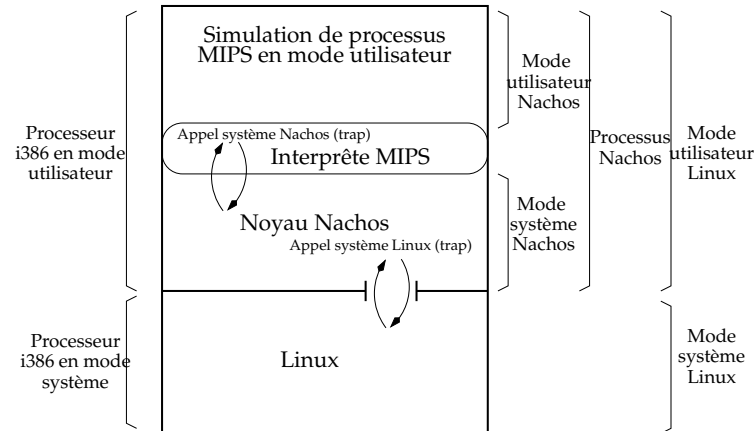


Dans le cas du simulateur Nachos le fonctionnement est différent : il vous faut bien distinguer ce qui est simulé de ce qui est réellement exécuté. Compilé en assembleur x86, le mode système Nachos est exécuté sur le processeur réel (i386 et affidés). En revanche, les programmes de niveau utilisateur nachos sont compilés pour processeur MIPS (un autre type de processeur

que l’x86 d’Intel) et émulés par un simulateur de processeur MIPS (aussi appelé “interprète MIPS”). Ce simulateur étant un programme comme un autre, il est donc exécuté sur le processeur réel (i386) de la machine sur laquelle vous travaillez.

Le programme nachos est un exécutable comme les autres sur votre machine réelle qui dispose de temps à autre du processeur réel (i386) pour exécuter des instructions en mode système ou bien pour simuler divers éléments matériels comme un processeur MIPS (pour l’exécution des programmes utilisateur en mode utilisateur), une console pour les entrée/sorties clavier ou écran, un disque-dur ...

Tout ceci est résumé sur le schéma suivant.



Donner un exemple de fichier source d’un programme utilisateur MIPS, et un exemple de fichier source du noyau Nachos. Quel est le langage de programmation utilisé à chaque fois ?

Pour les distinguer rapidement on appelle *mémoire réelle* la mémoire du processus (espace d’adressage) dans lequel est exécuté Nachos et *mémoire MIPS* la mémoire simulée associée au processeur MIPS simulé. On fera la même chose pour le processeur réel et le processeur MIPS qui est simulé.

Pour rattacher ce discours général à la réalité on se propose de lire dans le code source, l’exécution de la commande

```
nachos -x ../test/halt
```

nachos ayant été compilé avec le seul "drapeau" (flag) `USER_PROGRAM`. Le comportement de cette commande est d’initialiser le système nachos et d’exécuter le programme utilisateur MIPS `../test/halt` qui demande l’arrêt du système.

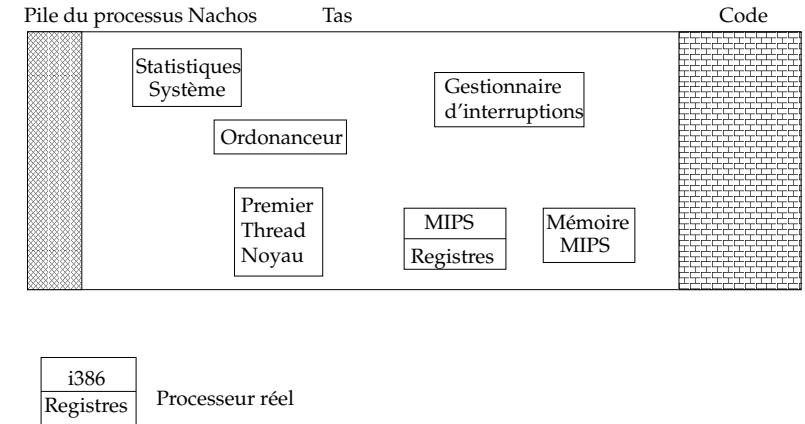
Avant de lire le code vous pouvez (devez) consulter l’annexe sur l’utilisation des tags qui peut vous faciliter grandement la vie.

2.2 Initialisation du système

Comme tout processus, l’exécutable nachos dispose de mémoire réelle (espace d’adressage) subdivisée en zones de code, tas et pile. Le point d’entrée de ce programme est naturellement la fonction `main` du fichier `threads/main.cc`. Le premier objectif de cette partie est d’observer

comment un exécutable usuel se “transforme” en un système d’exploitation sur lequel il existe un unique thread noyau. Le second objectif (plus délicat) est de distinguer ce qui correspond à une exécution réelle en mode système de ce qui correspond à une simulation de matériel (le processeur MIPS, le disque dur ...).

Allocation du simulateur Le schéma suivant représente les ressources du processus nachos et les éléments du système qui sont initialisés à la fin de la fonction `Initialize()`. Ces éléments sont créés par l’opérateur C++ `new` qui est l’"équivalent" de `malloc` en C.



Indiquez sur le schéma le nom des classes C++ qui codent ces éléments. Précisez dans quelle mesure ces éléments appartiennent au mode système ou à la simulation de matériel.

Le premier thread noyau On s’intéresse à la création du premier thread noyau. Pour répondre aux questions on conseille aussi la lecture des fichiers `threads/thread.h` et `threads/thread.cc`. Comment est créé ce premier thread noyau ? C’est à dire d’où viennent sa pile et ses registres ? Quel est le rôle (futur) de la structure de données allouée par

```
currentThread = new Thread("main");
```

Les prochains threads noyaux peuvent ils être créés de la même façon ?

2.3 Exécution d’un programme utilisateur

Le processeur MIPS Repérez dans le code de la fonction `Initialize()` l’allocation du processeur MIPS et lisez le code d’initialisation de cet objet pour répondre aux questions suivantes : Comment sont initialisés les registres de ce processeur ? Quelle variable représente la mémoire MIPS ?

Revenez à la fonction `main()` et vérifiez que la fonction `StartProcess()` est appelée avec le nom du fichier `../test/halt`. Survolez le code de cette fonction pour y reconnaître le chargement du programme en mémoire (simulée ou réelle ?), l’initialisation des registres du processeur MIPS et surtout le lancement de l’exécution du processeur MIPS par la fonction `Machine::Run`.

Lisez le code de la fonction `Machine::Run`, repérez la fonction qui exécute une instruction MIPS. L'observation de cette fonction vous permet de connaître le nom de l'exception levée lorsqu'une addition (instruction assembleur `OP_ADD`) déborde (même si cela ne s'avère pas crucial pour la suite). Observez la fin de cette fonction pour trouver le registre contenant le compteur de programme.

L'appel système Halt Une fois dans la fonction `Machine::Run` la simulation d'un programme utilisateur ne peut être interrompue que de deux façons : soit une interruption est déclenchée (cf la fonction `Interrupt::OneTick()`), soit le programme utilisateur fait un appel système.

On se propose d'observer la fin du déroulement de l'appel système `Halt()` présent à la fin du programme `../test/halt.c`. L'instruction assembleur codant un appel système dans `OneInstruction()` est `OP_SYSCALL`. Observer le traitement de cette instruction, notamment le moment où le système reprend la main et le passage du numéro de l'appel système (ici `SC_Halt`) par un registre (lequel ?) du processeur MIPS. Suivre le code jusqu'à l'exécution de la fonction `CleanUp()` dont le rôle est de désallouer tout le simulateur.

3 Utilisation du système Nachos

3.1 Observation de l'exécution d'un programme utilisateur

Déplacez-vous sous le répertoire `test`, et regardez le programme `halt.c`. Faire `make halt` pour le compiler.

Placez-vous ensuite sous `userprog`. Lancez

```
./nachos -x ../test/halt
```

Les programmes utilisateurs sont écrits en C, compilés en binaires MIPS qui sont chargés et exécutés par la machine Nachos, instruction par instruction.

Tracer pour comprendre Essayez de tracer l'exécution du programme `halt` :

```
./nachos -d m -x ../test/halt
```

```
./nachos -rs 0 -d m -x ../test/halt
```

Vous pouvez en plus exécuter le simulateur MIPS pas à pas :

```
./nachos -s -d m -x ../test/halt
```

Notez la présence de l'option `-h` qui documente brièvement les options.

Modifiez le programme `halt.c` pour y introduire un peu de calcul, par exemple en faisant quelques opérations sur une variable entière. Tracez pas à pas pour bien voir que cela change quelque chose...

N'oubliez pas que dans ce monde MIPS, vous n'avez à votre disposition que les fonctions du langage C et les appels systèmes de Nachos. Aucune fonction de bibliothèque (`printf`, ...) n'est disponible.

Il est aussi possible de générer facilement la version assembleur d'un programme MIPS, en lançant `make test.s`. Exécutez de nouveau `halt` pas à pas en suivant maintenant les instructions code assembleur !

Repérez les instructions assembleur codant les calculs et l'appel à la fonction `Halt`. On peut trouver le code de cette fonction `Halt` dans le fichier `test/start.S` ce qui permet de faire le lien avec l'étude de la fin de l'appel système dans la partie précédente.

(Question facultative) Pourquoi la première instruction MIPS est-elle exécutée au dixième *tick* d'horloge ? (cf la fonction `Interrupt::OneTick()` et l'initialisation du système)

3.2 Observation des threads noyau

Nous allons tester le système NACHOS "seul", c'est-à-dire en configuration d'auto-test. En l'occurrence, ce test consiste à lancer deux threads internes au noyau qui affichent tour à tour une ligne à l'écran pendant 5 itérations. Placez-vous dans le répertoire `threads`. Lancez NACHOS :

```
./nachos
```

Quelles sont les options de compilation de ce répertoire ? Ces options de compilation font que Nachos lance la fonction `ThreadTest` dans `main.cc` (allez jeter un œil !) Cette fonction est définie dans `threadtest.cc`. Examinez attentivement sa définition.

Nachos dispose d'options de débogage. Essayez par exemple

```
./nachos -d + # + = all possible options
```

Vous pouvez voir les *ticks* de l'horloge interne de Nachos, les commutations entre threads, la gestion des interruptions, etc.

Il est possible de n'afficher qu'une partie de ces informations. Au lieu du `+`, on peut mettre :

t pour ce qui a trait aux threads système Nachos,

a pour ce qui a trait à la mémoire MIPS,

m pour ce qui a trait à la machine Nachos,

t pour ce qui a trait à la gestion des threads,

i pour ce qui a trait aux interruptions,

n pour ce qui a trait au réseau Nachos,

f pour ce qui a trait au filesystem Nachos,

d pour ce qui a trait aux disques Nachos.

Certaines parties de Nachos (disques, ...) ne sont pas manipulées pour l'instant. Le flag correspondant n'affichera alors aucun message supplémentaire.

Allons maintenant éditer le fichier `threadtest.cc`. Compilez, lancez l'exécution en règle, observez attentivement...

Ajoutez le lancement d'un thread supplémentaire dans la fonction `ThreadTest()`. Ça marche toujours ?

La sémantique de la méthode `fork` de l'objet `thread` n'a rien à voir avec celle de la fonction Unix `fork`. Que fait la méthode `fork` dans Nachos ? À quel moment les threads nachos sont-ils créés (mémoire allouée, structures initialisées, ...) ?

Maintenant, commentez la ligne suivante :

```
currentThread->Yield();
```

Recompilez (`make`) et examinez ce qui se passe. Qu'en déduisez-vous pour la préemption des threads systèmes par défaut ?

Restaurez cette ligne. On peut lancer Nachos en forçant un certain degré de préemption par l'option `-rs <n>`. De plus, la semence passée en paramètre rend aléatoire (mais *reproductible* !) l'entrelacement des threads (le nombre `n` n'a pas de signification particulière, autre qu'être celui servant à initialiser le générateur aléatoire).

```
./nachos -rs 0
```

```
./nachos -rs 1
```

```
./nachos -rs 7
```

Que se passe-t-il ? Couplez cela avec l'option `-d +`. Combien de ticks d'horloge maintenant ?

Ce point est assez difficile à comprendre. Vérifiez votre intuition en commentant la ligne :

```
currentThread->Yield();
```

Vos conclusions ?

3.3 Découverte de l'ordonnanceur

L'objectif est maintenant de comprendre une partie du fonctionnement de l'ordonnanceur en s'appuyant sur l'expérience précédente.

Le changement de contexte explicite Que se passe-t-il exactement lors d'un appel à la fonction `yield()` ? Allez inspecter le source de cette fonction dans le fichier `code/thread/thread.cc`. À quel moment un thread ressort-il de cette fonction ?

La classe Scheduler Examinez les méthodes de la classe `Scheduler` appelées par la fonction `yield()`. Quels sont les rôles respectifs des fonctions `ReadyToRun()`, `FindNextToRun()` et `Run()` ?

Au cœur du changement de contexte Dans quelle fonction de la classe `Scheduler` trouve-t-on la véritable instruction provoquant un changement de contexte (i.e. une commutation) entre deux processus ? Trouvez le source de la fonction de bas niveau correspondante. Que fait-elle ?

3.4 Exécution de NACHOS pas à pas

Dans les situations extrêmes, il vous sera toujours possible de suivre l'exécution de NACHOS réellement pas à pas, en utilisant un débogueur tel que `gdb`. Par défaut, NACHOS est d'ailleurs compilé avec l'option `-g` (voir les `Makefile`).

Retournez dans le répertoire `threads` et lancez Nachos dans le débogueur `gdb`.

```
gdb nachos
[...]
(gdb) break main
Breakpoint 1 at 0x804d6fa: file main.cc, line 84.
(gdb) run
Starting program: nachos
[...]
Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0x8046db0) at main.cc:84
84         DEBUG('t', "Entering main");
(gdb)
```

Vous pouvez progresser avec les commandes `s` (atomic step), `n` (next instruction in the current fonction), `c` (continue jusqu'au prochain breakpoint), `r` (run : (re)démarre l'exécution du programme), etc. Essayez surtout :

```
(gdb) break ThreadTest
[...]
(gdb) cont
[...]
```

Ceci place un point d'arrêt sur la fonction `ThreadTest`, puis dit à Nachos de continuer son exécution jusqu'à ce qu'il arrive sur un point d'arrêt. Remarque : pour positionner un point d'arrêt sur une méthode de classe, il faut préciser le nom de la classe, par exemple : `break Thread::Start`

Modifiez la fonction `SimpleThread()`, recompilez, relancez, réfléchissez, etc.

Exécutez `SimpleThread()` pas à pas. Que se passe-t-il quand on appuie sur `n` (next) lorsque `gdb` est prêt à exécuter la méthode `yield` ? Comment peut-on placer un point d'arrêt pour reprendre la main dans `gdb` chaque fois qu'un changement de contexte est exécuté par Nachos ?

3.5 Exercice

Modifiez la méthode `yield` pour qu'elle ne fasse de changement de contexte qu'une fois tous les deux appels.

Relancez le programmes Nachos dans le répertoire `thread` et observez le déroulement (avec l'option `-d` de Nachos et/ou avec `gdb`).

Annexe : Outils pour la lecture du code

Le code de NACHOS est réparti dans de nombreux fichiers et lors de sa lecture on est amené à sauter de fichier en fichier. Les *tags* ("étiquettes" en français), permettent de trouver automatiquement la définition d'une fonction à partir d'un endroit où elle est appelée.

Pour cela il faut dans un premier temps construire un dictionnaire référençant les définitions des fonctions. Ce dictionnaire diffère selon l'éditeur utilisé. C'est le programme `etags` pour `emacs` qui construit un tel dictionnaire et le stocke dans le fichier `TAGS` (les adeptes de `vim` peuvent utiliser `ctags` qui crée le fichier `tags`).

Ensuite `emacs` va lire dans ce fichier (quand il l'a trouvé) la position de la définition d'une fonction et saura ouvrir le fichier correspondant.

Mise en œuvre pratique pour l'éditeur emacs

Pour le C++, la commande `etags` sera utilisée. Pour créer le dictionnaire des fonctions de NACHOS taper :

```
cd Mon_Nachos/nachos/code
etags */*.cc */*.c
et vous devez voir apparaître un fichier TAGS dans le répertoire courant (ici Mon_Nachos/nachos/code).
```

Pour l'utiliser lancer `emacs thread/main.cc` par exemple, et pour chercher la définition d'une fonction, placer le curseur sur son nom et taper `Meta-.` ("Méta - point"). Pour revenir à la définition précédente taper `Meta-*`. On peut aussi taper à la main le nom d'une fonction.

Lors de la première recherche d'un tag, `emacs` demande le nom du fichier du dictionnaire, ici c'est `Mon_Nachos/nachos/code/TAGS`.

Note : il peut être utile de préciser la classe à la main en tapant son nom complet après `Meta-.`, par exemple `Meta-. Thread : :setStatus`

Note2 : lorsque vous ajouterez vos propres fonctions il faudra relancer `etags`

La commande grep

Si on cherche autre chose que la définition d'une fonction (par exemple un appel de cette fonction ou un nom de variable) la commande `grep` est utile.

```
cd Mon_Nachos/nachos/code
grep -r ``currentThread`` */*.cc */*.h */*.c
Cela affiche les lignes contenant la variable currentThread dans tous les fichiers sources.
```