Les processus

Louis Mandel
louis.mandel@lri.fr
Laboratoire de Recherche en Informatique
Université Paris-Sud 11

IFIPS
Cycle ingénieur de la filière étudiant
année 2008/2009

Processus

- Processus = Instance d'un programme en cours d'exécution
  - plusieurs exécutions de programmes
  - plusieurs exécutions d'un même programme
  - plusieurs exécutions « simultanées » de programmes différents
  - plusieurs exécutions « simultanées » du même programme
- Ressources nécessaire à un processus
  - Ressources matérielles : processeur, périphériques ...
  - Ressources logicielles :
    - code
    - contexte d'exécution : compteur ordinal, fichiers ouverts ...
    - mémoires
- Mode d'exécution
  - utilisateur
  - noyau (ou système ou superviseur)

Processus

- Information sur les processus
  - Commandes shells
    - `ps`
    - `pstree`
  - Système de fichier
    - `/proc`

Attributs d'un processus

- Identification
  - numéro du processus (*process id*) : `pid_t getpid(void);`
  - numéro du processus père : `pid_t getppid(void);`
- Propriétaire réel
  - Utilisateur qui a lancé le processus et son group

    ```
    uid_t getuid(void);
    gid_t getgid(void);
    ```
- Propriétaire effectif
  - Détermine les droits du processus

    ```
    uid_t geteuid(void);
    gid_t getegid(void);
    ```
  - Le propriétaire effectif peut être modifié

    ```
    int setuid(uid_t uid);
    int setgid(gid_t gid);
    ```

Attributs d'un processus

- Répertoire de travail
  - Origine de l'interprétation des chemins relatifs

    ```
    char *getcwd(char *buf, size_t size);
    ```

  - Peut être changé

    ```
    int chdir(const char *path);
    ```

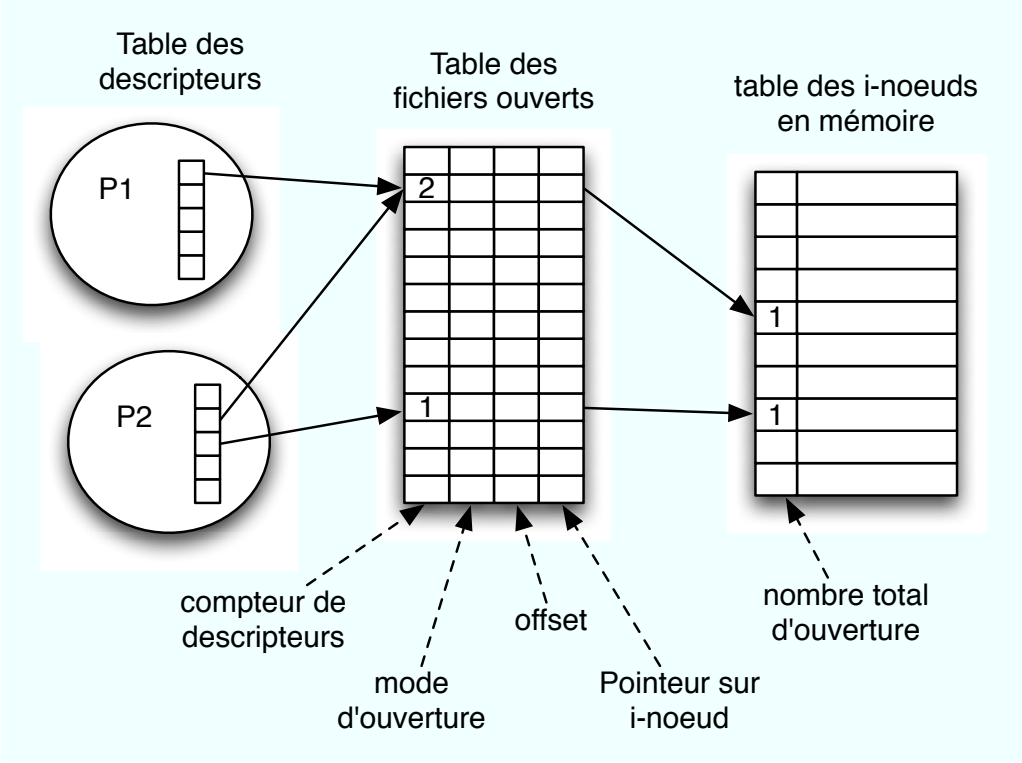
Attributs d'un processus (creat.c)

- Masque de création des fichiers
  - `mode_t umask(mode_t mask);`
  - fixe le masque de création de fichiers à la valeur `mask & 0777`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
int main(int argc, char **argv) {
  if (argc != 3) return 1;
  if (-1 == creat(argv[1], S_IRWXU|S_IRWXG|S_IRWXO )) {
    perror("creat"); return 1;
  }
  umask(S_IRWXG|S_IRWXO);
  if (-1 == creat(argv[2], S_IRWXU|S_IRWXG|S_IRWXO )) {
    perror("creat"); return 1;
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Attributs d'un processus

- Table des descripteurs de fichiers



  - Limite : `OPEN_MAX`
  - Acquisition : `open`, `creat`, `dup`, `dup2`, `fcntl`, `pipe` et `socket`
  - Libération : `close`

Attributs d'un processus

- Variables d'environnement
  - `extern char **environ`
  - ou `int main (int argc, char **argv, char **envp);`
  - Exemple :

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main (int argc, char **argv, char **envp) {
  while (*envp != NULL) { printf("%s\n", *envp); envp++; }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

  - Récupérer la valeur d'une variable :

```
char *getenv(const char *var_name);
```

  - Changer la valeur d'une variable :

```
int putenv(const char *string);
```

Attributs d'un processus

- Consultation et changement d'attributs variables
  - `int getrlimit(int resource, struct rlimit *rlim);`
  - `int setrlimit(int resource, const struct rlimit *rlim);`
    - Exemple de ressources : `RLIMIT_CORE`, `RLIMIT_CPU`, etc.
    - `struct rlimit {`
      `rlim_t rlim_cur; /* limite souple */`
      `rlim_t rlim_max; /* limite stricte (plafond de rlim_cur) */`
      `};`
  - `long sysconf (int name);`
    - Exemple de noms : `_SC_CLK_TCK`, `_SC_OPEN_MAX`, etc.

Gestion de processus

- Parallélisme asynchrone
  - Plusieurs processus tournent en parallèle sur la machine.
  - Sur une machine mono-processeur, le système se charge d'entrelacer les processus en donnant un peu de temps à chacun (ordonnancement) : donne l'illusion du parallélisme.
  - L'entrelacement est imprévisible et non reproductible : l'exécution d'un programme peut être interrompue de façon autoritaire par le système pour donner la main à un autre.
  - *Race condition* : Deux entrelacements possibles de deux processus changent le sens du programme (de façon non voulue) : accès aux ressources, lecture/écriture d'une même donnée, etc.
  - Changer la priorité (ajoute une valeur de gentillesse, i.e. diminue la priorité. Valeurs négatives possibles avec privilège).
    - `int nice(int inc);`

Création de processus

Création : `fork` (`fork1.c`)

- La création de processus se fait par clonage
- ```
  #include <sys/types.h>
  #include <unistd.h>
  pid_t fork(void);
  ```
- Exemple :

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int main() {
  printf("avant fork\n");
  fork();
  printf("apres fork\n");
  return 0;
}
```
```

fork (fork2.c)

- Le processus est une copie du processus père
- à l'exception de
  - la valeur de retour de fork
  - son identité pid et de celle de son père ppid
- Exemple :

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int main() {
  pid_t id;
  id = fork();
  printf("id = %d, pid = %d, ppid = %d\n",
         id, getpid(), getppid());
  return 0;
}
```

fork : utilisation typique (fork3.c)

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int main() {
  pid_t status;
  status = fork();
  switch (status) {
  case -1 :
    perror("Creation de processus");
    return 1;
  case 0 : // Code du fils
    printf("[%d] Je viens de naitre\n", getpid());
    printf("[%d] Mon père est %d\n", getpid(), getppid());
    break;
  default : // Code du pere
    printf("[%d] J'ai engendre\n", getpid());
    printf("[%d] Mon fils est %d\n", getpid(), status);
  }
  printf("[%d] Je termine\n", getpid());
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

- Comme la mémoire est copiée :
  - les données sont copiées

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int glob = 1;
int main() {
  int loc = 1;
  switch (fork()) {
  case -1 : perror("Creation de processus"); return 1;
  case 0 :
    glob++; loc++;
    printf("Fils : (%d, %d)\n", glob, loc);
    break;
  default :
    sleep(1);
g    printf("Pere : (%d, %d)\n", glob, loc);
  }
  printf("[%d] Je termine\n", getpid());
}
```

- Comme la mémoire est copiée :
  - les buffers d'écriture de la bibliothèque standard d'entrées/sorties sont dupliqués

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int main() {
  printf("avant ");
  fork();
  printf("apres\n");
  return 0;
}
```

  - Il faut vider les buffers avant `fork` (par un appel à `fflush`)

- Comme la mémoire est copiée :
  - les références vers les ressources systèmes sont copiées
  - les ressources systèmes sont partagées.

```
int main(int argc, char *argv[]) {
  int desc;  char buf [10];
  if (-1 == (desc = open(argv[1], O_RDONLY))) { perror("open"); exit(1); }
  switch (fork()) {
  case -1 : perror("Creation de processus"); return 1;
  case 0 :
    if (-1 == read(desc, buf, 3)) { perror("read"); exit(1); }
    buf[3] = '\0'; printf("Fils : '%s'\n", buf);
    break;
  default :
    sleep(1);
    if (-1 == read(desc, buf, 3)) { perror("read"); exit(1); }
    buf[3] = '\0'; printf("Pere : '%s'\n", buf);
  }
  close(desc); exit(0);
}
```

`fork`

- Attributs non copiés :
  - Numéro de processus
  - Numéro de processus du père
  - Temps d'exécution
  - Priorité du processus
  - Verrous sur les fichiers
- Coût de la copie mémoire ?
  - Sémantique = copie
  - Performance = pas de copie systématique
  - *copy on write* des pages mémoires

Terminaison des fils : `wait`

- Terminaison d'un processus
  - Appel système : `_exit`
  - Appel à la fonction de bibliothèque : `exit`
  - Positionnement d'une valeur de retour
- Le processus père peut consulter la valeur de retour
- Attente de la terminaison d'un fils
  - `pid_t wait(int *pstatus);`
    - retourne le PID de fils ou -1 en cas d'erreur (n'a pas de fils)
    - bloquant si aucun fils n'a terminé
    - `*pstatus` renseigne sur la terminaison du fils

Terminaison des fils : `wait`

- Renseignements concernant la terminaison d'un fils
  - Rangés dans l'entier `status` pointé par `pstatus`
  - Raison de la terminaison
    - le processus a fait un `exit` : `WIFEXITED(status)`
    - le processus a reçu un signal : `WIFSIGNALED(status)`
    - le processus a été stoppé : `WIFSTOPPED(status)`
  - valeur de retour (si `WIFEXITED(status)`)
    - 8 bits de poids faibles
    - accessible par la macro `WEXITSTATUS(status)`
  - numéro du signal ayant provoqué la terminaison (si `WIFSIGNALED(status)`) / l'arrêt (si `WIFSTOPPED(status)`)
    - accessible par les macros `WTERMSIG(status)` / `WSTOPSIG`

Terminaison des fils : wait (wait1.c)

```
int main(int argc, char **argv) {
  int status; pid_t pidz;
  switch (fork()) {
  case -1 : perror("Creation de processus"); exit(EXIT_FAILURE);
  case 0 :
    printf("[%d] fils eclaire\n", getpid());
    exit(42);
  default :
    if (-1 == (pidz = wait(&status))) { perror("wait"); exit(EXIT_FAILURE); }
    if (WIFEXITED(status)) {
      printf("[%d] mon fils %d a termine normalement\n", getpid(), pidz);
      printf("[%d] code de retour : %d\n", getpid(), WEXITSTATUS(status));
    } else {
      printf("[%d] mon fils %d a termine anormalement\n", getpid(), pidz);
    }
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Processus orphelins

- La terminaison d'un processus parent ne termine pas ses processus fils
  - ▷ les processus fils sont orphelins
- Le processus initial (PID 1) récupère les processus orphelins

Processus orphelins (wait2.c)

```
int main(int argc, char **argv) {
  switch (fork()) {
  case -1 : perror("Creation de processus"); return 1;
  case 0 :
    printf("[%d] Pere : %d\n", getpid(), getppid());
    sleep(2);
    printf("[%d] Pere : %d\n", getpid(), getppid());
    exit(0);
  default :
    sleep(1);
    printf("[%d] fin du pere\n", getpid());
    exit(0);
  }
}
```

Processus zombis

- Zombi = état d'un processus
  - ayant terminé
  - non réclamé par son père
- Il faut éviter les zombis
  - Le système doit garder des informations relatives aux processus pour les retournées aux pères.
  - Encombre la mémoire

- Comment éviter les zombis si le père ne s'intéresse pas à la terminaison de ses fils ?

Mutation de processus

La mutation de processus

- Mutation = remplacement du code à exécuter
  - c'est le même processus à exécuter
  - on parle de recouvrement
- Le nouveau programme hérite de l'environnement système
  - même numéro de processus (PID, PPID)
  - héritage des descripteurs de fichiers ouverts (sauf ...)
  - pas de remise à zéro du temps d'exécution
  - etc.
- Famille de fonctions :
  - appel système : `execve`
  - fonctions de bibliothèque `exec*` (`#include <unistd.h>`)

- Appel système
  - `int execve(const char *path,`
    `char *const argv[],`
    `char *const envp[]);`
  - Comportement
    - Exécution du programme `path`
    - avec les arguments `argv`
    - et les variables d'environnement `envp`
- Exemple :

```
int main (int argc, char **argv, char **envp) {
  execve(argv[1], argv+1, envp);
  perror("recouvrement");
  return 1;
}
```

La famille `exec*`

- Plusieurs fonctions de bibliothèque
  - écrites au dessus de `execve`
  - différents moyens de passer les paramètres : tableau, liste
  - spécification ou non des variables d'environnement
- Deux spécifications de la commande à exécuter
  - chemin complet (absolu ou relatif) : `path`
  - nom de commande : `file`
    - recherche de la commande dans `$PATH`
-
```
#include <unistd.h>
int execl(const char *path, const char *arg, ... /*, (char *)0 */);
int execle(const char *path, const char *arg, ...
    /*, (char *)0, char *const envp[] */);
int execv(const char *path, char *const argv[]);
int execlp(const char *file, const char *arg, ... /*, (char *)0 */);
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

La famille `exec*` (`execs.c`)

- Exemples d'appels d'`exec*`

```
char *args[] = { "ls", "a.out", "/tmp", NULL };

execv("/bin/ls", args);

execvp("ls", args);

execl("/bin/ls", "ls", "a.out", "/tmp", NULL);

execlp("ls", "ls", "a.out", "/tmp", NULL);
```

Combinaison de `fork` et `exec`

Combinaison de `fork` et `exec`

- Faire exécuter un programme par un nouveau processus
  - Réalisation en deux étapes :
    1. clonage : `fork`
    2. mutation : `exec*`
- Souplesse par la combinaison des deux primitives
  - réalisation d'opérations entre le `fork` et l'`exec`
  - exemple : redirection des entrées/sorties standard

Exemple du shell

- Le shell fonctionne par combinaison de `fork` et `exec`
- Exemple (`pid`) :

```
#include <stdio.h>
int main () {
  printf("Je suis %d le fils de %d", getpid(), getppid());
  return 0;
}
```

- Une erreur dans un programme n'affecte pas le shell
- changement d'attributs dans le programme n'affecte pas le shell
- sauf pour les commandes internes : `cd` ...

Héritage des descripteurs lors de la mutation (`cloexec.c`)

- Les descripteurs de fichiers sont hérités par le nouveau programme
  - largement utilisé par le shell pour assurer les redirections
  - exemple : `--> cmd > out`
    - le shell associe le descripteur 1 (`STDOUT_FILENO`) à un fichier `out` (cf. `dup`, `dup2`)
    - le programme `cmd` écrit sur `STDOUT_FILENO` qui référence `out`
- Il est possible de changer ce comportement avec l'option *close on exec* sur le descripteur
  - Positionnement de `FD_CLOEXEC` par un appel à `fcntl`
  -
```
int main(int argc, char **argv) {
  fcntl(STDOUT_FILENO, F_SETFD,
        fcntl(STDOUT_FILENO, F_GETFD, 0) | FD_CLOEXEC);
  execvp(argv[1], argv+1);
}
```

redirection des entrées/sorties : dup2

- Création d'un descripteur synonyme d'un autre
- Les deux descripteurs partagent la même entrée dans la table des fichiers ouverts
- `#include <unistd.h>`
  `int dup2(int oldd, int newd);`
  - ▷ force `newd` à devenir un synonyme de `oldd`
  - ▷ ferme préalablement le descripteur `newd` si nécessaire

```
void print_inode(char *msg, int fd) {
  struct stat st;
  fstat(fd, &st);
  printf(stderr, "\t%s : inode %d", str, st.st_ino);
}
```

dup2 : **exemple** (dup2pr.c)

```
int main (int argc, char ** argv) {
  int fdin, fdout;
  fdin = open(argv[1], O_RDONLY);
  fdout = open(argv[2], O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, S_IRUSR|S_IWUSR);
  fprintf(stderr, "Avant dup2 : \n");
  print_inode("fdin", fdin); print_inode("fdout", fdout);
  print_inode("stdin", STDIN_FILENO); print_inode("stdout", STDOUT_FILENO);

  dup2(fdin, STDIN_FILENO);
  dup2(fdout, STDOUT_FILENO);

  fprintf(stderr, "Apres dup2 : \n");
  print_inode("fdin", fdin); print_inode("fdout", fdout);
  print_inode("stdin", STDIN_FILENO); print_inode("stdout", STDOUT_FILENO);
  return 0; }
```