Système de gestion de fichiers

Programmation Système — R3.05

C. Raïevsky

IUTA Valence
Université Grenoble Alpes

Département Informatique
BUT Informatiques 2ème année

2023

Fichier

Entité logique qui regroupe des données

Système (de gestion) de fichier – *File System*

Ensemble des outils fournis par l'OS pour manipuler les fichiers

Rôles du système de fichiers

- Abstraction du matériel
- Permettre de manipuler les fichiers

Opérations sur les fichiers

Opérations simples

- Création
- Lecture
- Écriture
- Positionnement
- Suppression

Opérations complexes

- Gestion des droits d'accès
- Gestion des accès concurrents
- Gestion de version

Deux modes d'accès : séquentiel et aléatoire

Pour certains types de fichiers, il existe deux modes d'accès :

Séquentiel

Lecture et écriture se font uniquement à partir du début

Aléatoire

Il est possible de déplacer un "curseur" permettant de lire et/ou d'écrire à une position arbitraire

Types de fichiers

Fichiers ordinaires :
Contiennent simplement des données

Répertoires
- Fichiers spéciaux gérés par le système de fichier
- Servent à organiser d'autres fichiers
- De manière hiérarchique

Fichiers spéciaux "caractères" et "bloc"
- Correspondent à un périphérique d'entrée-sortie
- Adressés caractère par caractère (clavier, tubes, sockets)
  → *character device file*
- Adressés bloc par bloc (disques) → *block device file*

Types de fichiers ordinaires

Les fichiers ordinaires peuvent être typés :

Par leur extension (.exe, .bin) - Windows
- L'OS gère en partie les extensions
- Les actions possibles sur un fichier sont conditionnées par cette extension

Par leur contenu - Linux - Unix (cf. `man file`)
- Les extensions sont indicatives
- Les actions possibles sont déterminées par
  - les droits (exécution par exemple) et
  - par le contenu (par exemple `#!/bin/bash` comme première ligne du fichier)

Répertoire – *Directory*
Sous Unix

Fichier particulier
- Ne peux pas être manipulé directement
- Constitué d'une liste d'entrées associant
  - un nom de fichier et
  - un numéro de *inode* → structure noyau représentant un fichier

Un répertoire peut contenir d'autres répertoires
⇒ Structure hiérarchique

Deux noms peuvent être associés au même inode
⇒ *hard link*

Un nom peut faire référence à un autre nom
⇒ *symbolic link*

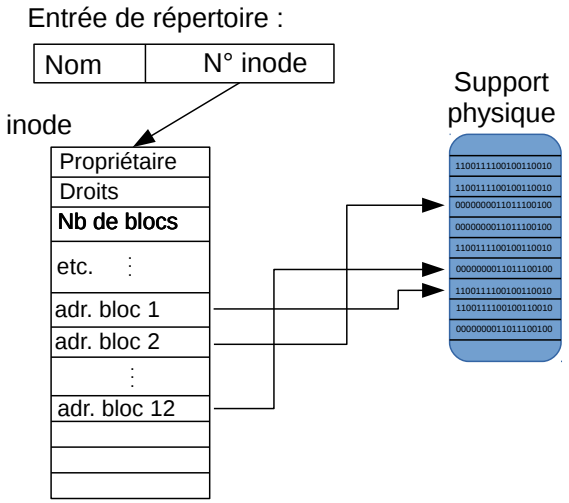
inode (ou i-nœud)
Structure noyau représentant un fichier sous UNIX/Linux

Chaque inode contient des informations sur un fichier
- Propriétaire et groupe
- Droits d'accès
- Taille
- Nombre de lien pointant dessus
- Adresse des blocs de données
- Identifiant du périphérique (pour les *device files*)
- Identifiant du support (disque, partition)

Pour les curieux
```
ls -id / /home
mount | egrep "/ |home"
```

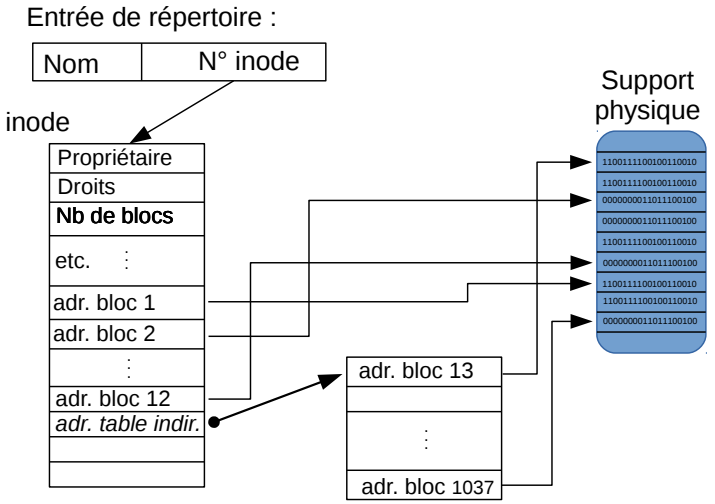
Accès aux données à partir d'un inode (1/4)

Accès direct



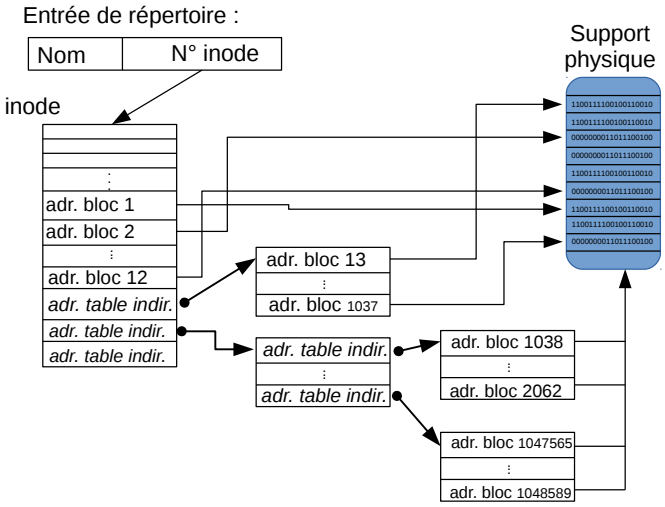
Accès aux données à partir d'un inode (2/4)

Indirection simple



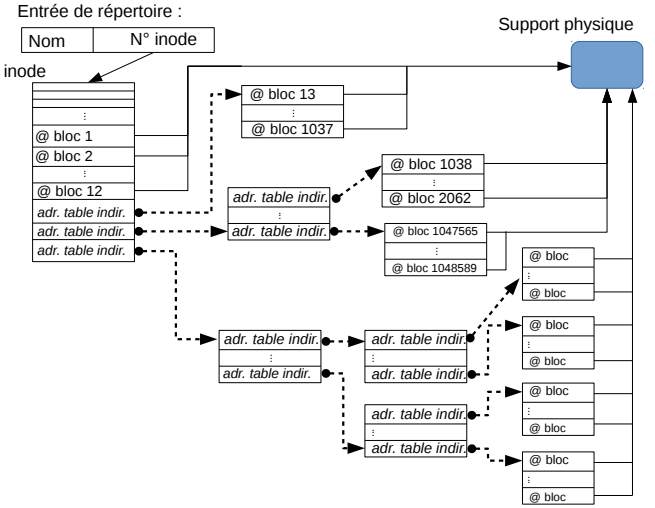
Accès aux données à partir d'un inode (3/4)

Indirection double



Accès aux données à partir d'un inode (4/4)

Indirection triple



Taille des blocs et taille permise pour les fichiers

Taille typique de bloc : 4Ko

Tailles pour un fichier :

- Accès direct : 12*4Ko → 48Ko
- Indirection simple : 4243456 octets (4Mo)
- Indirection double : 4 297 162 752 octets (4Go)
- Indirection triple : 4 402 347 966 464 octets (4 To)

La taille des blocs peut être adaptée à l'utilisation

Machine de dév ↔ serveur de fichiers vidéos

Manipulation des fichies : deux interfaces

Appels systèmes

`open, read, write, lseek, close, ...`

Descripteur de fichier - `int`

Librairie C standard

`fopen, fscanf, fgets, fread, fprintf, fclose, fseek, ...`

Flux - `FILE*`

Interfaces pour manipuler les fichiers

File Stream and File Descriptor

Descripteur de fichier - `fd`

- type `int`
- Référence vers une donnée noyau
- *file descriptor*
- `open, read, write, lseek, close, ...`

Flux - `FLIE*`

- Structure opaque de la **librairie C**
- Contient un *file descriptor*
- Outils facilitant la manipulation efficace de fichiers :
  - Tampons (*buffers*)
  - Écriture formatée
    → `fprintf, sprintf, fwrite, ...`
  - Lecture formatée
    → `scanf, fscanf, fread ...`

Descripteur de Fichier – *File Descriptor* – `fd`

Un Descripteur de Fichier est :

- un identifiant (de type entier)
- associé indirectement à un fichier (sockets, drivers, tubes, etc. sont des fichiers)
- construit/assigné par le noyau

Toutes les opérations noyau sur les fichiers utilisent un `fd`

Création et ouverture - `open, creat`

Retournent un `fd`, assigné par le noyau

Lecture, écriture, fermeture, placement - `read, write, close, lseek`

Prennent un `fd` en paramètre

Descripteurs de fichiers

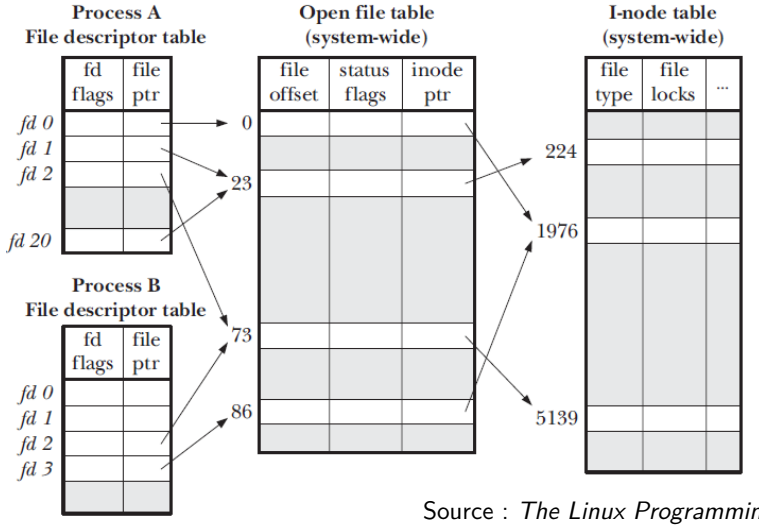
Chaque **processus** possède une table de descripteurs de fichier

- Chaque entrée dans cette table associe
  - Un *file descriptor*
  - Un pointeur vers une entrée de la **table des fichiers ouverts**
- Initialement il y a 3 fd dans la table : 0, 1, 2
- Cette table survie à un `fork`

Au niveau **système** : table des fichiers ouverts

- Partagée par tous les processus
- Chaque entrée de cette table contient :
  - Les informations sur l'état du fichier (position du cruseur, indicateurs d'erreur et de fin de fichier)
  - Un pointeur vers un i-node

Descripteur de fichier et table des fichiers ouverts



Source : *The Linux Programming Interface*

Flux – *File Stream* ou *File Handle* (`FILE*`)

Structure de la bibliothèque C opaque

- Manipulable uniquement via les fonctions associées
- Encapsulation d'un fd
- Utilisation de buffers
- Informations concernant le flux :
  - position courante
  - indicateur d'erreur
  - indicateur de fin de fichier

Création d'un fichier

Noyau : `open, creat`

- retourne un `fd`
- utilisable par les autres fonctions systèmes :
  - `read, write, pread`, etc.

Librairie C : `fopen, fdopen, fmemopen`

- retourne un *file stream* (`FILE*`)
- utilisable par les fonctions de `stdio.h` :
  - `fscanf, fprintf, fread, fwrite, fgets`, etc.

Options d'ouverture (open, creat) (1/2)

Fonctions système

```
int open(const char *pathname, int flags)
int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode)
```

Modes d'accès - requis dans flags

- Lecture seule (O_RDONLY)
- Écriture seule (O_WRONLY)
- Lecture-Écriture (O_RDWR)

Option d'ouverture - autres options pour flags

- O_APPEND
- O_CLOEXEC

...

Options d'ouverture (open, creat) (2/2)

Fonctions système

Options de création

- O_CREAT : création du fichier s'il n'existe pas
- O_DIRECTORY : erreur si le nom n'est pas un répertoire
- O_EXCL : assure la création du fichier (erreur sur fichier existant)
- O_TRUNC : efface le contenu du fichier après ouverture
- ...

Gestion des droits à la création - paramètre mode

- Pour O_CREAT et O_TMPFILE uniquement
  - S_IRWXU, S_IRUSR, S_IWUSR, S_IXUSR → 0700, 0400, 0200, 0100, → rwx -- --, r- -- --, -w- -- --, -x -- --
  - S_IRWXG, S_IRGRP, S_IWGRP, S_IXGRP → 0070, 0040, 0020, 0010, → -- rwx --, -- r- --, -- -w- --, -- -x --
  - S_IRWXO, S_IROTH, S_IWOTH, S_IXOTH → 0007, 0004, 0002, 0001, → -- -- rwx, -- -- r-, -- -- -w-, -- -- -x

Option d'ouverture pour les fonctions de stdio.h

```
FILE *fopen(const char *path, const char *mode)
```

man fopen - mode :

- r Ouvre le fichier en lecture, curseur positionné au début
- r+ Ouvre le fichier en **lecture et écriture**, curseur positionné au début
- w **Efface** ou le crée le fichier, l'ouvre en écriture seule, curseur positionné au début
- w+ Idem mais ouverture en lecture-écriture
- a Ouvre ou crée le fichier en écriture seule, curseur à la fin du fichier.
- a+ Ouvre ou crée le fichier en lecture-écriture, curseur d'écriture à la fin du fichier, curseur de lecture au début.

```
fopen("unFichier.ppm", "r+");
```


Conversion fd ↔ FILE*

fd → FILE*

```
FILE *fdopen(int fd, const char *mode)
```

- mode identiques à ceux de fopen
- doit être compatible avec les options utilisées pour obtenir le fd

FILE* → fd

```
int fileno(FILE *stream)
```

Retourne le fd encapsulé dans le *File Stream*

Quelques constantes intéressantes

`fd` ↔ FILE*

- 0 ↔ stdin : Entrée standard
- 1 ↔ stdout : Sortie standard
- 2 ↔ stderr : Sortie des erreurs standard

Écriture - *file descriptor*

Utilisation d'un *file descriptor*

write

```
ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t count)
```

- Écrit au plus `count` octets depuis le tampon `buf` vers le fichier associé à `fd`
- Retourne le nombre d'octets effectivement écrits
- Écrit à la position courante d'écriture et
- incrémente cette position du nombre d'octets effectivement écrits

En cas d'erreur, moins de '`count`' octets peuvent être écrits

Écriture - *file stream* - FILE*

Non formatée

Écriture non formatée - octets bruts - **fputc, fputs**

```
int fputc(int c, FILE *stream);
```

- Écrit le caractère `c` à la position d'insertion courante de `stream`
- Retourne le caractère écrit ou `EOF` en cas d'erreur

```
int fputs(const char *s, FILE *stream);
```

- Écrit la chaîne `s` à la position d'insertion courante de `stream`
- **Sans son caractère de fin de chaîne** (\0)
- Retourne `EOF` en cas d'erreur, un entier positif sinon

`putchar` et `puts` écrivent un caractère et une chaîne sur `stdout`, respectivement

Écriture sur un *file stream* (FILE*)

Formatée

Écriture formatée - **fprintf, printf**

```
int fprintf(FILE *stream, const char *format, ...);
```

- Prend en paramètre :
  - Un *file stream*
  - Une chaîne de formatage
  - Des pointeurs vers les données à afficher (...)
- Écrit les données fournies selon le format spécifié
- Retourne le nombre de caractères écrit (sans le caractère de fin de chaîne)

Exemple de `fprintf`

```
char nom[20];
int age;
...
frpintf(fileStream, "nom : %s, age : %d\n", nom, age);
```

Écriture sur un *file stream* (FILE*)

Écriture de tableaux de données brutes - **fwrite**

```
size_t fwrite(const void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);
```

- Écrit `nmemb` éléments dans `stream`
- chaque élément ayant une taille de `size` octets
- le premier éléments étant pointé par `ptr`
- Retourne le nombre d'éléments écrits

Exercice

Écriture d'une liste de structure sur la sortie standard

Créer un tableau de 2 `Personnes` et l'écrire sur la sortie standard à l'aide d'un seul appel à `fwrite`

```
1 typedef struct {
2   int age;
3   char nom[20];
4 } Personne;
```

Prototype de fwrite :
`size_t fwrite(const void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);`

Écriture sur un *file stream* (FILE*) (3/3)

Formatée

```
1  typedef struct {
2    int age;
3    char nom[20];
4  } Personne;
5
6  int main(int argc, const char *argv[]) {
7
8    Personne liste[2];
9
10   liste[0].age = 23;
11   strcpy(liste[0].nom, "Durand");
12
13   liste[1].age = 22;
14   strcpy(liste[1].nom, "Liu");
15
16   ssize_t written = fwrite(liste, sizeof(Personne), 2, stdout);
17
18   printf("\nWrote %ld elements.\n", written);
19
20   return EXIT_SUCCESS;
21 }
```


Lecture

fd

- `ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count)`
  - Lit **au plus** `count` octets depuis `fd` et les écrit dans `buf`
  - Retourne le nombre d'octet effectivement lus ($\leq$ `count`)
  - Retourne 0 à la fin du fichier

File Stream, non formatée

- `fgetc(FILE*)`, `getc(FILE*)` : Récupère le caractère suivant
- `char *fgets(char *s, int size, FILE *stream)`
  - Lit **au plus** `size` octets depuis `stream` vers `s`
  - La lecture s'arrête en cas de `EOF` ou fin de ligne ('\n')
  - En cas de fin de ligne, celle-ci est copiée dans `s`
  - Un caractère de fin de chaîne est ajouté à la fin de `s`

Lecture formatée dans un *file stream* (FILE*) (1/3)

`int fscanf(FILE *stream, const char *format, ...)`

- Lecture formatée à partir de `stream`
- Indicateurs de format précisant ce qui doit être lu dans la chaine `format`
- Stockage des valeurs lues dans les pointeurs fournis après `format`

Example de fscanf

```
char str1[10], str2[10], str3[10];
int year;
fscanf(fileStream, "%s %s %s %d", str1, str2, str3, &year);
```

`gets` → interdit pour cause de sécurité

Lecture formatée dans un *file stream* (FILE*) (2/3)

`size_t fread(void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream)`

- Lit `nmemb` éléments depuis `stream`
- chaque élément étant de taille `size` octets
- Stocke les éléments lus à l'adresse `ptr`

Exercice

Lecture d'une liste de structure dans un fichier

Créer un tableau de 2 `Personnes` à partir du contenu d'un fichier à l'aide d'un seul appel à `fread`

- `size_t fread(const void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);`
- `FILE *fopen(const char *path, const char *mode)`

```
1 typedef struct {
2   int age;
3   char nom[20];
4 } Personne;
```


Lecture formatée dans un *file stream* (FILE*) (3/3)

Exemple

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <string.h>
4  #include <unistd.h>
5
6  typedef struct {
7    int age;
8    char nom[20];
9  } Personne;
10
11
12 int main(int argc, const char *argv[]) {
13
14   FILE* fileStream = fopen("./listePersonnes.dat", "r");
15
16   if (fileStream == NULL) { perror("File open failed. "); exit(EXIT_FAILURE); }
17
18   Personne liste[2];
19
20   ssize_t read = fread(liste, sizeof(Personne), 2, fileStream);
21
22   printf("\nRead %ld elements.\n", read);
23
24   printf("Personne1 : age : %d, nom : %s\n", liste[0].age, liste[0].nom );
25   printf("Personne2 : age : %d, nom : %s\n", liste[1].age, liste[1].nom );
26
27   return EXIT_SUCCESS;
28 }
```

Positionnement

`off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence)`

- Change la position associée au fichier référencé par fd
- Suivant `whence` :
  - `SEEK_SET` : établi la position à `offset`
  - `SEEK_CUR` : ajoute `offset` à la position courante
  - `SEEK_END` : établi la position à la taille du fichier **plus** `offset`
- Retourne la nouvelle position ou -1 en cas d'erreur

`int fseek(FILE *stream, long offset, int whence)`

- Même comportement que `lseek` sauf
- retourne 0 en cas de succès et -1 en cas d'erreur

- `ftell` pour obtenir la position courante pour un *file stream*
- `rewind` permet de remettre la position à 0

Suppression

`int remove(const char *pathname)`

- Détruit l'entrée de répertoire portant le nom `pathname`
- Si `pathname` correspond à un fichier, il est détruit si :
  - Plus aucune entrée de répertoire ne pointe dessus
  - Plus aucun processus ne l'a ouvert
- Si `pathname` correspond à un répertoire, il est détruit si :
  - il est vide
- Retourne 0 en cas de succès, -1 sinon

`remove` appelle `unlink` ou `rmdir` suivant `pathname`

Partage entre processus

Un *file descriptor* survit à un `fork`

- Le processus fils possède une copie de la table des fd de son père
- ⇒ Accès concurrent potentiels
- POSIX précise que les opérations `read` et `write` doivent être atomiques
- Cette exigence est respectée dans Linux depuis la version 3.14

Partage d'un *File Descriptor* – Exemple minimal

```
1  int main(int argc, const char *argv[]) {
2
3    int fd = open("./essai.txt", O_WRONLY | O_CREAT, S_IRUSR | S_IWUSR);
4
5    if (fd == -1) { perror("File open failed. "); exit(EXIT_FAILURE);}
6
7    ssize_t written;
8
9    pid_t childId = fork(); /* Creation d'un processus fils */
10
11   if (childId == -1) { perror("fork failed."); exit(EXIT_FAILURE); }
12
13   if (childId == 0) {
14     written = write(fd, "chaine du fils\n", strlen("chaine du fils\n"));
15     if (written == -1) { perror("Write to file failed. "); }
16
17   } else {
18
19     written = write(fd, "chaine du pere\n", strlen("chaine du pere\n"));
20     if (written == -1) { perror("Write to file failed. ");}
21     wait(NULL);
22   }
23   return EXIT_SUCCESS;
24 }
```