

PROGRAMARE DE SISTEM ÎN C PENTRU PLATFORMA LINUX (I)

Gestiunea fișierelor, partea I-a: Primitivele I/O pentru lucrul cu fișiere

Cristian Vidrașcu

`cristian.vidrascu@info.uaic.ro`

Aprilie, 2024



Sumar

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Referințe bibliografice



Introducere

Introducere

[API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere](#)

[Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere](#)

[Referințe bibliografice](#)

Funcțiile pe care le puteți apela în programele C pe care le scrieți, pentru a accesa și prelucra fișiere (atât fișiere obișnuite, cât și directoare sau alte tipuri de fișiere), se împart în două categorii:

- **API-ul POSIX**, ce oferă funcții *wrapper* pentru **apelurile de sistem** furnizate de nucleul Linux; aceste funcții pot fi apelate din programe C ce vor fi compilate pentru platforma Linux și, mai general, pentru orice sistem de operare din familia UNIX ce implementează standardul POSIX.
 - Avantaj: funcțiile din acest API oferă, practic, acces la toate funcționalitățile din nucleul Linux “exportate” către *user-mode*.
 - Dezavantaj: programele care folosesc aceste funcții nu sunt portabile, *e.g.* nu pot fi compilate pentru platforma Windows (cel puțin nu direct, ci doar în mediul WINDOWS SUBSYSTEM FOR LINUX, introdus în Windows 10).
- **C STANDARD LIBRARY** (biblioteca standard de C), ce oferă o serie de funcții de nivel mai înalt, inclusiv pentru lucrul cu fișiere; aceste funcții pot fi apelate din programe C ce vor fi compilate pentru orice platformă ce oferă un compilator de C, plus o implementare a bibliotecii standard de C. Spre exemplu, pentru platforma Linux cel mai folosit este compilatorul GCC (*the GNU Compiler Collection*) și implementarea GLIBC (*the GNU libc*) a bibliotecii standard de C.
 - Avantaj: permite scrierea de programe portabile, între diverse platforme (*e.g.*, Windows, UNIX/Linux, etc.).
 - Dezavantaj: conține funcții cu capacitate limitată de a gestiona resursele sistemului de operare (*e.g.*, fișiere), fiind din acest motiv adecvată pentru scrierea unor programe simple.



Agenda

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Referințe bibliografice



Principalele categorii de primitive I/O

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de *sesiuni de lucru* cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

Sistemul de gestiune a fișierelor în UNIX / Linux furnizează următoarele categorii de **apeluri sistem**, în conformitate cu standardul POSIX:

- primitive de creare de noi fișiere, de diverse tipuri: **mknod**, **mkfifo**, **mkdir**, **link**, **symlink**, **creat**, **socket**
- primitive de ștergere a unor fișiere: **rmdir** (pentru directoare), **unlink** (pentru toate celelalte tipuri de fișiere)
- primitiva de redenumire a unui fișier, de orice tip: **rename**
- primitive de consultare a *i*-nodului unui fișier: **stat** / **fstat** / **lstat**, **access**
- primitive de manipulare a *i*-nodului unui fișier: **chmod** / **fchmod**, **chown** / **fchown** / **lchown**
- primitive de extindere a sistemului de fișiere: **mount**, **umount**
- primitive de accesare și manipulare a conținutului unui fișier, printr-o *sesiune de lucru*: **open** / **creat**, **read**, **write**, **lseek**, **close**, **fcntl**, ș.a.
- primitive de duplicare, într-un proces, a unei *sesiuni de lucru* cu un fișier: **dup**, **dup2**



Principalele categorii de primitive I/O (cont.)

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- primitive pentru consultarea “stării” unor *sesiuni de lucru* cu fișiere (operații I/O sincrone multiplexate): **select**, **poll**
- primitiva de “trunchiere” a conținutului unui fișier: **truncate** / **ftruncate**
- primitive de modificare a unor attribute dintr-un proces:
 - **chdir** : modifică directorul curent de lucru
 - **umask** : modifică “masca” permisiunilor implicite la crearea unui fișier
 - **chroot** : modifică rădăcina sistemului de fișiere accesibil procesului
- primitive pentru acces exclusiv la fișiere: **flock**, **fcntl**
- primitiva de “mapare” a unui fișier în memoria unui proces: **mmap**
- primitiva de creare, într-un proces, a unui canal de comunicație anonim: **pipe**
- ș.a.

Observație: în caz de eroare, toate aceste primitive returnează valoarea **-1**, precum și un număr de eroare ce este stocat în variabila globală **errno** (definită în fișierul *header* `<errno.h>`), eroare ce poate fi diagnosticată cu funcția `perror()`.



Primitiva access

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva **access**

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- *Verificarea permisiunilor de acces la un fișier: primitiva **access**.*

Interfața funcției **access** ([5]):

```
int access(char* nume_cale, int perm_acces)
```

- *nume_cale* = numele fișierului ce se verifică
 - *perm_acces* = dreptul de acces ce se verifică, ce poate fi o combinație (*i.e.*, disjuncție logică pe biți) a următoarelor constante simbolice:
 - ▲ **X_OK** (=1) : procesul apelant are drept de execuție a fișierului ?
 - ▲ **W_OK** (=2) : procesul apelant are drept de scriere a fișierului ?
 - ▲ **R_OK** (=4) : procesul apelant are drept de citire a fișierului ?
- Observatii:* i) pentru *perm_acces* = **F_OK** (=0) se verifică doar existența fișierului ; ii) celelalte drepturi, dacă sunt verificate, implică existența fișierului ; iii) aici, prin procesul apelant se înțelege proprietarul real al acestuia, nu proprietarul efectiv .
- valoarea returnată este 0, dacă accesul(ele) verificat(e) este/sunt permis(e) , respectiv -1 în caz că cel puțin unul dintre drepturi este interzis sau alte erori.



Primitiva creat

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- *Crearea de fișiere de tip obișnuit: primitiva creat.*

Interfața funcției creat ([5]):

```
int creat(char* nume_cale, mode_t perm_acces)
```

- *nume_cale* = numele fișierului ce se creează
- *perm_acces* = permisiunile de acces pentru noul fișier creat
- valoarea returnată este descriptorul de fișier deschis, sau -1 în caz de eroare.

Efect: în urma execuției funcției creat se creează fișierul specificat și, în plus, acesta este “deschis” în scriere (!), valoarea returnată având aceeași semnificație ca la funcția open.

Observație: în cazul când acel fișier deja există, el este trunchiat la zero, păstrându-i-se permisiunile de acces pe care le avea.

Notă: practic, un apel `creat(nume_cale, perm_acces)`; este echivalent cu apelul următor:
`open(nume_cale, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC, perm_acces)`;



Primitiva open

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- “Deschiderea” unui fișier, *i.e.* inițializarea unei sesiuni de lucru: primitiva **open**.

Interfața funcției open ([5]):

```
int open(char* nume_cale, int tip_desch, mode_t perm_acces)
```

- *nume_cale* = numele fișierului ce se deschide
- *perm_acces* = permisiunile de acces pentru fișier (utilizat numai în cazul în care apelul va avea ca efect crearea aceluși fișier)
- *tip_desch* = specifică tipul deschiderii, putând fi exact una singură dintre valorile **O_RDONLY** ori **O_WRONLY** ori **O_RDWR**, și, eventual, combinată cu o combinație (*i.e.*, disjuncție logică pe biți) a unora dintre următoarele constante simbolice: **O_APPEND**, **O_CREAT**, **O_TRUNC**, **O_CLOEXEC**, **O_NONBLOCK**, **O_EXCL**, **O_DIRECT**, **O_SYNC**, **O_ASYNC**, ș.a.
- valoarea returnată este *descriptorul de fișier deschis*, sau -1 în caz de eroare. *Observație:* descriptorul de fișier este indexul unei noi intrări create în tabela locală procesului de fișiere deschise, care referențiază o nouă intrare creată în tabela globală de fișiere deschise la nivel de sistem. Pentru mai multe detalii a se vedea **man 2 open**.



Primitiva read

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- Citirea dintr-un fișier: primitiva **read**.

Interfața funcției read ([5]):

```
int read(int df, char* buffer, size_t nr_oct)
```

- *df* = descriptorul fișierului din care se citește
- *buffer* = adresa de memorie la care se depun octeții citiți
- *nr_oct* = numărul de octeți de citit din fișier
- valoarea returnată este numărul de octeți efectiv citiți, dacă citirea a reușit (chiar și parțial), sau -1 în caz de eroare.

Observații:

1. La sfârșitul citirii cursorul va fi poziționat pe următorul octet după ultimul octet efectiv citit.
2. Numărul de octeți efectiv citiți poate fi mai mic decât s-a specificat (e.g., dacă la începutul citirii cursorul în fișier este prea apropiat de sfârșitul fișierului); în particular, acesta poate fi chiar 0, dacă la începutul citirii cursorul în fișier este chiar pe poziția EOF (*i.e.*, *end-of-file*).



Primitiva write

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- *Scrierea într-un fișier*: primitiva **write**.

Interfața funcției `write` ([5]):

```
int write(int df, char* buffer, size_t nr_oct)
```

- *df* = descriptorul fișierului în care se scrie
- *buffer* = adresa de memorie al cărei conținut se scrie în fișier
- *nr_oct* = numărul de octeți de scris în fișier
- valoarea returnată este numărul de octeți efectiv scriși, dacă scrierea a reușit (chiar și parțial), sau -1 în caz de eroare.

Observații:

1. La sfârșitul scrierii cursorul va fi poziționat pe următorul octet după ultimul octet efectiv scris.
2. Numărul de octeți efectiv scriși poate fi mai mic decât s-a specificat (e.g., dacă acea scriere ar provoca mărirea spațiului alocat fișierului, iar aceasta nu se poate face din diverse motive — lipsă de spațiu liber sau depășire *quota*).



Primitiva lseek

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- *Poziționarea cursorului într-un fișier (i.e. ajustarea deplasamentului curent în fișier):*
primitiva **lseek**.

Interfața funcției lseek ([5]):

```
long lseek(int df, off_t val_ajust, int mod_ajust)
```

- *df* = descriptorul fișierului ce se (re)poziționează
- *val_ajust* = valoarea de ajustare a deplasamentului
- *mod_ajust* = modul de ajustare, indicat după cum urmează:
 - ▲ **SEEK_SET** (=0) : ajustare în raport cu începutul fișierului
 - ▲ **SEEK_CUR** (=1) : ajustare în raport cu deplasamentul curent
 - ▲ **SEEK_END** (=2) : ajustare în raport cu sfârșitul fișierului
- valoarea returnată este noul deplasament în fișier (întotdeauna, în raport cu începutul fișierului), sau -1 în caz de eroare.



Primitiva close

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- “Închiderea” unui fișier, *i.e.* finalizarea unei sesiuni de lucru: primitiva `close`.

Interfața funcției `close` ([5]):

```
int close(int df)
```

- *df* = descriptorul de fișier deschis
- valoarea returnată este 0, dacă închiderea a reușit, respectiv -1 în caz de eroare.

Observație: maniera uzuală de prelucrare a unui fișier, *i.e.* o sesiune de lucru, constă în următoarele: “deschiderea fișierului”, urmată de o buclă de parcurgere a acestuia cu operații de citire și/sau de scriere, și eventual cu schimbări ale poziției curente în fișier, iar în final “închiderea” acestuia.

Exemplu: a se vedea cele două programe filtru `dos2unix.c` și `unix2dos.c` ([2]).

Demo: exercițiile rezolvate `[AsciiStatistics]` și `[MyCp]` prezentate în suportul de laborator #6 ([3]) exemplifică alte programe care apelează funcții I/O din API-ul POSIX pentru procesarea unor fișiere.



Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

Iată un prim exemplu de program ce efectuează două *sesiuni de lucru* cu fișiere, mai exact realizează o copiere secvențială a unui fișier dat:

```
/* Basic cp file copy program. POSIX implementation. */
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#define BUF_SIZE 4096 // This is exactly the page size, for disk I/O efficiency!

int main (int argc, char *argv []) {
    int input_fd, output_fd;
    ssize_t bytes_in, bytes_out;
    char buffer[BUF_SIZE];
    if (argc != 3) { printf("Usage: cp file-src file-dest\n"); return 1; }
    input_fd = open(argv[1], O_RDONLY);
    if (input_fd == -1) { perror(argv[1]); return 2; }
    output_fd = open(argv[2], O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, 0600);
    if (output_fd == -1) { perror(argv[2]); return 3; }

    /* Process the input file a record at a time. */
    while ((bytes_in = read(input_fd, buffer, BUF_SIZE)) > 0) {
        bytes_out = write(output_fd, buffer, bytes_in);
        if (bytes_out != bytes_in) {
            fprintf(stderr, "Fatal write error!\n"); return 4;
        }
    }
    close(input_fd); close(output_fd); return 0;
}
```



Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fişiere (cont.)

Introducere

API-ul POSIX: funcţii pentru operaţii I/O cu fişiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fişiere

Alte primitive I/O pentru fişiere

Primitive I/O pentru directoare

Şablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcţii pentru operaţii I/O cu fişiere

Referinţe bibliografice

Iată un al doilea exemplu ce ilustrează o *sesiune de lucru* cu un fişier, cu folosirea primitivei `lseek` pentru a citi de la un anumit offset din fişierul dat:

```
/* Basic program using lseek for reading from a file. POSIX implementation. */
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>

int main () {
    int input_fd;    long offset;    ssize_t bytes_in;    char buffer[6];

    input_fd = open("datafile.txt", O_RDONLY);
    if (input_fd == -1) { perror("open"); return 1; }

    offset = lseek(input_fd, 10, SEEK_SET);
    if (offset == -1) { perror("1st lseek"); return 2; }
    bytes_in = read(input_fd, buffer, 5);
    if (bytes_in == -1) { perror("1st read"); return 3; }
    if (bytes_in != 5) { fprintf(stderr, "1st read warning: insufficient info in file!"); }
    buffer[bytes_in]=0; printf("First read from file: %s\n", buffer);

    lseek(input_fd, -10, SEEK_END); /* test for lseek error ... */
    bytes_in = read(input_fd, buffer, 5); /* test for read errors ... */
    buffer[bytes_in]=0; printf("Second read from file: %s\n", buffer);
    close(input_fd);    return 0;
}
```

```
UNIX> gcc -Wall 2nd_program.c ; echo -n "0123456789ABCDEabcde01234" > datafile.txt ; ./a.out
```

```
First read from file: ABCDE
Second read from file: abcde
```



Alte primitive I/O pentru fișiere

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- *Obținerea de informații conținute de i-nodul unui fișier:* primitivele **stat**, **lstat** sau **fstat**
- *Schimbarea permisiunilor de acces la un fișier:* primitiva **chmod**
- *Schimbarea proprietarului unui fișier:* primitivele **chown** și **chgrp**
- *Configurarea măștii permisiunilor de acces la crearea unui fișier:* primitiva **umask**
- *Crearea / ștergerea unei legături pentru un fișier:* primitiva **link**, respectiv **unlink**
- *“Duplicarea” unui descriptor de fișier:* primitivele **dup** și **dup2**
- *Controlul operațiilor I/O:* primitivele **fcntl** și **ioctl**
- *Montarea / demontarea unui sistem de fișiere:* primitiva **mount**, respectiv **umount**
- *Crearea pipe-urilor (i.e., canale de comunicație anonime):* primitiva **pipe**
- *Crearea fișierelor de tip fifo (i.e., canale de comunicație cu nume):* primitiva **mkfifo**

Interfața funcției **mkfifo** ([5]):

```
int mkfifo(char* nume_cale, mode_t perm_acces);
```

— *nume_cale* = numele fișierului *fifo* ce se creează

— *perm_acces* = drepturile de acces pentru acesta

— valoarea returnată este 0 în caz de succes, sau -1 în caz de eroare.

■ Ș.a.



Primitive I/O pentru directoare

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre file-system cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

- *Crearea / ștergerea unui director:* primitiva `mkdir`, respectiv `rmdir`

Interfața funcției `mkdir` ([5]):

```
int mkdir(char* nume_cale, mode_t perm_acces);
```

- `nume_cale` = numele directorului ce se creează
- `perm_acces` = drepturile de acces pentru acesta
- valoarea returnată este 0 în caz de succes, sau -1 în caz de eroare.

- *Aflarea directorului curent de lucru al unui proces:* primitiva `getcwd`

- *Schimbarea directorului curent de lucru al unui proces:* primitiva `chdir`

Interfața funcției `chdir` ([5]):

```
int chdir(char* nume_cale);
```

- `nume_cale` = numele noului director curent de lucru, al procesului apelant
- valoarea returnată este 0 în caz de succes, sau -1 în caz de eroare.

- *“Prelucrarea” fișierelor dintr-un director:* primitivele `opendir`, `readdir` și `closedir`. Alte funcții utile: `rewinddir`, `seekdir`, `telldir` și `scandir`.

O sesiune de lucru cu directoare se implementează asemănător ca una cu fișiere, *i.e.* este o secvență de forma: “deschidere director”, o buclă cu operații de citire, “închidere director”.



Șablonul de lucru cu directoare

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system* cache-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

Se folosesc tipurile de date DIR și struct dirent, împreună cu funcțiile enumerate mai sus, astfel:

```
DIR          *dd;    // descriptor de director deschis
struct dirent *de;    // intrare in director

/* deschiderea directorului */
if( (dd = opendir(ume_director)) == NULL)
{
    ...    // TODO: trateaza eroarea la deschidere
}

/* prelucrarea secventiala a tuturor intrarilor din director */
while( (de = readdir(dd)) != NULL)
{
    ...    // TODO: prelucreaza intrarea curenta, ce are numele: de->d_name
}

/* inchiderea directorului */
closedir(dd);
```

Demo: un exemplu de program ce utilizează acest șablon – a se vedea exercițiul rezolvat [\[MyFind #1\]](#) prezentat în [suportul de laborator #6](#) ([\[3\]](#)). De asemenea, acest exemplu ilustrează și folosirea apelului de sistem `stat`, pentru aflarea proprietăților unui fișier.



Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Principalele categorii de primitive I/O

Primitiva access

Primitiva creat

Primitiva open

Primitiva read

Primitiva write

Primitiva lseek

Primitiva close

Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere

Alte primitive I/O pentru fișiere

Primitive I/O pentru directoare

Șablonul de lucru cu directoare

Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

La nivelul componentei de gestiune a sistemelor de fișiere din cadrul nucleului unui SO, se folosește o zonă de memorie internă din *kernel-space* ce implementează un *cache* pentru operațiile cu discul (*i.e.*, se păstrează în memoria RAM conținutul celor mai recent accesate blocuri de disc).

Acest *cache* este denumit ***file-system cache*** (sau *disk cache*) în literatura de specialitate ([4]), iar el funcționează după aceleași **reguli generale ale *cache*-urilor de orice fel**:

i) citiri repetate ale aceluiași bloc de disc, la intervale de timp foarte scurte, vor regăsi informația direct din *cache*-ul din memorie; ii) scrieri repetate ale aceluiași bloc de disc, la intervale de timp foarte scurte, vor actualiza informația direct în *cache*-ul din memorie, iar informația stocată pe disc va fi actualizată o singură dată, la momentul operației de ***cache-flushing***; iii) operațiile de invalidare/actualizare a informației din *cache*: ...; ș.a.

Granularitatea acestui *cache* (*i.e.*, **unitatea de alocare** în *cache*) este pagina fizică, care are o dimensiune dependentă de arhitectura hardware (*e.g.*, pentru arhitectura x86/x64 dimensiunea paginii este de 4096 octeți). Cu alte cuvinte, operațiile efective de I/O prin DMA între memorie și disc transferă blocuri de informație cu această dimensiune!

Acest *file-system cache* este unic per sistem, *i.e.* există o singură instanță a sa, gestionată de SO și utilizată simultan (ca și “resursă partajată”) de toate procesele ce se execută în sistem.

Observație: puteți citi **aici** mai multe detalii despre implicațiile existenței acestui *file-system cache* pentru programarea aplicațiilor folosind funcțiile **read** și **write** din API-ul POSIX, inclusiv despre utilizarea flagurilor **O_SYNC** și **O_DIRECT** pentru a controla folosirea acestui *cache*.



Agenda

- Introducere
 - API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere
 - Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere
 - Despre biblioteca standard de C
 - Funcțiile I/O din biblioteca standard de C
 - Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat
 - Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere
- Referințe bibliografice

- Introducere
 - API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere**
 - Principalele categorii de primitive I/O
 - Primitiva access
 - Primitiva creat
 - Primitiva open
 - Primitiva read
 - Primitiva write
 - Primitiva lseek
 - Primitiva close
 - Demo: exemple de sesiuni de lucru cu fișiere
 - Alte primitive I/O pentru fișiere
 - Primitive I/O pentru directoare
 - Șablonul de lucru cu directoare
 - Despre *file-system cache*-ul gestionat de nucleul Linux
 - Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere**
 - Despre biblioteca standard de C
 - Funcțiile I/O din biblioteca standard de C
 - Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat
 - Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere
 - Referințe bibliografice**



Despre biblioteca standard de C

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Referințe bibliografice

- Biblioteca standard de C conține funcții cu capacitate limitată de a gestiona resursele sistemului de operare (*e.g.*, fișiere)
- Este adeseori adecvată pentru scrierea unor programe simple
- Permite scrierea de programe portabile, între diverse platforme (*e.g.*, Windows, UNIX/Linux, etc.)
- Include fișierele: `<stdlib.h>` , `<stdio.h>` și `<string.h>` ([6])
- Performanță competitivă
- Este restricționată doar la operații I/O sincrone
- Nu avem control al securității fișierelor prin biblioteca standard de C
- Apelul `fopen()` specifică dacă fișierul este text sau binar
- *Sesiunile de lucru cu fișiere* sunt identificate prin pointeri către structuri FILE
 - NULL semnifică valoare invalidă
 - Pointerii sunt “handles” pentru obiecte de tipul *sesiune de lucru cu un fișier*
- Erorile sunt diagnosticate cu funcțiile `perror()` sau `ferror()`



Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Referințe bibliografice

Biblioteca standard de C conține un set de funcții I/O (cele din *header*-ul `<stdio.h>` ([6])), care permit și ele prelucrarea unui fișier în maniera uzuală:

- `fopen` = pentru “deschiderea” fișierului
- `fread`, `fwrite` = pentru citire, respectiv scriere binară
- `fscanf`, `fprintf` = pentru citire, respectiv scriere formatată
- `fclose` = pentru “închiderea” fișierului

Observație: acestea sunt funcții de bibliotecă (nu sunt apeluri sistem) și lucrează *buffer*-izat, cu *stream*-uri I/O, iar descriptorii de fișiere utilizați de ele nu sunt de tip `int`, ci de tip `FILE*`.

Notă: implementările acestor funcții de bibliotecă utilizează totuși apelurile de sistem corespunzătoare fiecărei platforme în parte (*i.e.*, Windows vs. Linux/UNIX).

Observație: sunt mult mai multe funcții I/O în biblioteca `<stdio.h>`; pentru a vedea lista lor și descrierea bibliotecii standard de I/O, inclusiv detalii despre cele trei fluxuri I/O standard (*i.e.*, `stdin`, `stdout` și `stderr`), vă recomand consultarea paginii de manual `man 3 stdio` ([6]).



Funcțiile I/O din biblioteca standard de C (cont.)

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Referințe bibliografice

Ce înseamnă că aceste funcții de bibliotecă lucrează *buffer*-izat ?

Răspuns: înseamnă că folosesc un *cache* pentru disc implementat la nivelul bibliotecii standard de C, adică “deasupra” *file-system cache*-ului gestionat la nivelul nucleului SO-ului, despre care vă voi vorbi la cursurile teoretice.

Cu alte cuvinte, acesta este un *cache* al informațiilor din *file-system cache*, care la rândul său este un *cache* al informațiilor de pe disc.

În plus, acest *cache* gestionat de biblioteca stdio este implementat în *user-space* (la fel ca și toate funcțiile bibliotecii), ceea ce înseamnă că este *unic per proces* și nu per sistem, adică nu există un singur *cache* al bibliotecii care să fie partajat de toate procesele ce utilizează apeluri ale bibliotecii stdio.

Concluzie: rețineți faptul că acest *cache* gestionat de biblioteca stdio nu este unic per sistem, ca în cazul *file-system cache*-ului gestionat de SO, ci este “local” procesului.



Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C
[Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat](#)

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

[Referințe bibliografice](#)

Biblioteca conține o serie de funcții care efectuează citiri/scrieri “formatate”, adică efectuează conversia între cele două reprezentări, *binară* vs. *textuală*, ale fiecărui tip de dată, pe baza unui argument *format* ce descrie conversiile de făcut prin niște “specificatori de format”. Funcțiile respective sunt:

- perechea `scanf` / `printf` : citire de la `stdin` / scriere pe `stdout` ;
- perechea `fscanf` / `fprintf` : citire dintr-un fișier de pe disc / scriere într-un fișier de pe disc ;
- perechea `sscanf` / `sprintf` : citire dintr-un *string* în memorie / scriere într-un *string* în memorie .

Argumentul *format* folosește “specificatori de format”, de forma ‘%literă’, pentru a descrie diferite tipuri de date și, astfel, determină ce fel de conversie se va face între cele două reprezentări, *binară* vs. *textuală*, ale tipului respectiv de dată. Spre exemplu, iată câțiva specificatori de format și tipul de dată asociat fiecăruia:

- `%c` : un caracter
- `%s` : un string (*null-terminated*)
- `%d` : un `int` (un întreg cu semn), reprezentarea *textuală* fiind cea corespunzătoare scrierii numărului în baza 10
- `%u` : un `unsigned int` (un întreg fără semn), reprezentarea *textuală* fiind cea corespunzătoare scrierii numărului în baza 10
- `%o` : un `unsigned int`, reprezentarea *textuală* fiind cea corespunzătoare scrierii numărului în baza 8
- `%x` sau `%X` : un `unsigned int`, reprezentarea *textuală* fiind cea corespunzătoare scrierii numărului în baza 16
- `%f` : un `double` (un număr real, cu semn), reprezentarea *textuală* fiind cea corespunzătoare scrierii numărului în notația cu punct zecimal
- `%e` : un `double`, reprezentarea *textuală* fiind cea corespunzătoare scrierii numărului în notația cu mantisă E
- ș.a.

Pentru detalii suplimentare despre aceste perechi de funcții și despre argumentul *format* utilizat de ele, consultați documentația: `man 3 scanf` și `man 3 printf` ([6]).

Suplimentar, puteți consulta și materialul disponibil [aici](#).



Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Despre biblioteca standard de C

Funcțiile I/O din biblioteca standard de C

Funcțiile de bibliotecă pentru I/O formatat

Demo: un exemplu de sesiune de lucru cu fișiere

Referințe bibliografice

Iată un exemplu de program ce efectuează două *sesiuni de lucru* cu fișiere, mai exact realizează o copiere secvențială a unui fișier dat:

```
/* Basic cp file copy program. C library implementation. */
#include <stdio.h>
#define BUF_SIZE 4096 // This is exactly the page size, for disk I/O efficiency!

int main (int argc, char *argv []) {
    FILE *input_file, *output_file;
    ssize_t bytes_in, bytes_out;
    char buffer[BUF_SIZE];
    if (argc != 3) { printf("Usage: cp file-src file-dest\n"); return 1; }
    input_file = fopen(argv[1], "rb");
    if (input_file == NULL) { perror(argv[1]); return 2; }
    output_file = fopen(argv[2], "wb");
    if (output_file == NULL) { perror(argv[2]); return 3; }

    /* Process the input file a record at a time. */
    while ((bytes_in = fread(buffer, 1, BUF_SIZE, input_file)) > 0) {
        bytes_out = fwrite(buffer, 1, bytes_in, output_file);
        if (bytes_out != bytes_in) {
            fprintf(stderr, "Fatal write error!\n"); return 4;
        }
    }
    fclose(input_file); fclose(output_file);
    return 0;
}
```

Notă: acest exemplu este disponibil pentru descărcare de aici: [cp_stdio.c](#) ([2]).

Demo: exercițiile rezolvate [\[ArithmeticMean\]](#), [\[MyExpr\]](#) și [\[MyWc\]](#) prezentate în [suportul de laborator #6](#) ilustrează alte exemple de programe care apelează funcții I/O din biblioteca standard de C.



Bibliografie obligatorie

Introducere

API-ul POSIX: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Biblioteca standard de C: funcții pentru operații I/O cu fișiere

Referințe bibliografice

[1] Cap. 3, §3.1 din cartea “*Sisteme de operare – manual pentru ID*”, autor C. Vidrașcu, editura UAIC, 2006. *Notă*: este accesibilă, în format PDF, din pagina disciplinei “Sisteme de operare”:

- <https://edu.info.uaic.ro/sisteme-de-operare/SO/books/ManualID-SO.pdf>

[2] Programele demonstrative amintite pe parcursul acestei prezentări pot fi descărcate de la:

- <https://edu.info.uaic.ro/sisteme-de-operare/SO/lectures/Linux/demo/files/>

[3] Suportul de laborator online asociat acestei prezentări:

- https://edu.info.uaic.ro/sisteme-de-operare/SO/support-lessons/C/suport_lab6.html

Bibliografie suplimentară:

[4] Cap. 4, 5, 13, 15 și 18 din cartea “The Linux Programming Interface : A Linux and UNIX System Programming Handbook”, autor M. Kerrisk, editura No Starch Press, 2010.

- <https://edu.info.uaic.ro/sisteme-de-operare/SO/books/TLPI1.pdf>

[5] POSIX API: `man 2 access`, `man 2 open`, `man 2 read`, `man 2 write`, ș.a.

[6] C STANDARD LIBRARY: `man 3 stdio`, `man 3 string`, `man 0p stdlib.h`.