Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

Sistema de Arquivos no Unix

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Introdução (1)

- Estruturados na forma de uma árvore única, iniciando pelo diretório "/", que é chamado de "raiz".
- Há suporte para arquivos, diretórios e links (atalhos).
- Os arquivos podem ter qualquer nome, usando quaisquer caracteres, com distinção entre maiúsculas e minúsculas. Os nomes são normalmente limitados a 255 caracteres.
- O caractere separador de diretórios é o "/" (barra).
- Arquivos e diretórios cujos nomes começam com "." (ponto) são considerados "ocultos" e normalmente não aparecem nas listagens de diretórios.
- As extensões são normalmente usadas apenas para facilitar a vida do usuário, mas não são importantes para o sistema operacional, que não depende delas para identificar o conteúdo de um arquivo.
- Os arquivos e diretórios possuem permissões de acesso controláveis por seus proprietários

Introdução (2)

- Os principais sistemas de arquivos usados para a formatação de discos locais em Linux são o *ext2*, *ext3*, *ext4*, *reiser*, *xfs* e *jfs*, entre outros.
- Os diretórios de um sistema de arquivos no UNIX têm uma estrutura pré-definida, com poucas variações
  - /home : raiz dos diretórios home dos usuários.
  - /boot : arquivos de boot (kernel do sistema, etc)
  - /var : arquivos variáveis, áreas de spool (impressão, e-mail, news), arquivos de log
  - /etc : arquivos de configuração dos serviços
  - /usr : aplicações voltadas aos usuários
  - /tmp : arquivos temporários
  - /mnt : montagem de diretórios compartilhados temporários
  - /bin : aplicações de base para o sistema
  - /dev : arquivos de acesso aos dispositivos físicos e conexões de rede
  - /lib : bibliotecas básicas do sistema
  - /proc : não é um diretório real em disco, mas a porta de acesso para estruturas do núcleo

Tipos de Arquivos

- *Arquivos normais*
  - sequências de bytes: texto, binário, executável, etc.
- *Diretórios*
  - lista de outros arquivos (nome do arquivo e *inode*)
- ***Arquivos especiais (dispositivos)***
  - interface entre o sistema e dispositivos de entrada e saída
  - Dispositivos orientados a **c**aractere ou a **b**loco
- *Links*
  - Simbólicas (soft): ponteiro para outro arquivo
  - Concretos (hard): atribue mais um nome ao mesmo arquivo (na mesma partição)
- *Sockets e Pipes*
  - usados para comunicação entre processos (mecanismo para programação)

Atributos de Arquivos (1)

- Além do nome do arquivo, temos:
  - Tipo de arquivo
    - Ex: regular, diretório, PIPE, links simbólicos, arquivos especiais representando dispositivos
  - **Número de *hard links* apontando p/ o arquivo**
  - Tamanho (bytes)
  - Device ID
  - Número do i-node
    - Dentro de um mesmo device, um i-node (arquivo) tem um número único
  - UIDs e GIDs do proprietário
  - Timestamps (último acesso, última modificação e última modificação de atributos
  - Permissões e *mode flags*

Atributos de Arquivos (2)

- Quando um arquivo é criado
  - **UID**: herdado do *effective* UID do processo criador
  - **GID**: depende...
    - SVR3: herda o *effective* GID do processo criador
    - BSD: herda o GID do diretório pai
- Permissões
  - read, write, execute
  - Acessos divididos por categorias: owner, group, others
- *Mode flags*
  - Arquivos executáveis
    - *suid*: quando um usuário executa um arquivo, *effective UID do* processo correspondente é setado para o UDI do owner deste arquivo
    - *sticky*:o kernel mantém o programa na área de swap (usado p/ arquivos executados freqüentemente)

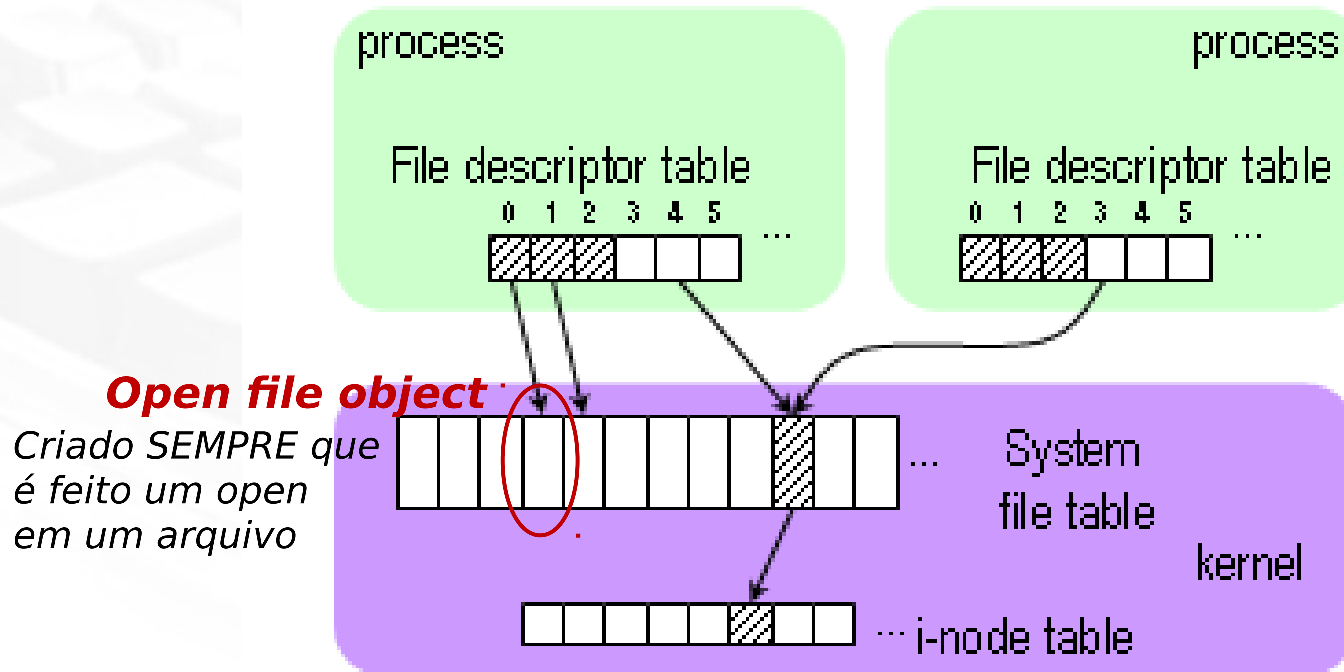
Descritores de Arquivos (1)

- Sempre que um processo quiser ler ou escrever em um arquivo, ele deve primeiramente abrir o arquivo (*open*)
- Quando um processo abre um arquivo, o kernel precisa criar várias estruturas de dados para gerenciar seu uso
- Duas estruturas de dados são importantes nesse contexto
  - Tabela de Descritores de Arquivos (file descriptor table)
  - Tabela de Arquivos do Sistema (system file table).
- Cada processo possui sua própria tabela de descritores de arquivos
- Os descritores de arquivos usados pelo processo são índices (inteiros) das entradas nessa tabela local

Descritores de Arquivos (2)

- A Tabela de Descritores de Arquivos
  - Parte do espaço de endereçamento do processo (program area)
  - Representa um array de ponteiros indexado pelos “file descriptors”
  - Os ponteiros apontam para entradas da Tabela de Arquivos do Sistema,
- Tabela de Arquivos do Sistema
  - Encontra-se no espaço do kernel (kernel area)
  - Contém uma entrada para cada arquivo aberto do sistema
  - Cada entrada contém um ponteiro para a Tabela de i-nodes mantida na memória
  - Cada entrada ainda contém outras informações como o **offset** corrente do arquivo, e um **contador** do número de descritores de arquivos que estão usando (apontando para) esta entrada
    - Quando um arquivo é fechado, o contador é decrementado
    - A entrada é liberada quando o contador chega a 0
- Tabela de i-nodes na memória
  - Contém cópias de i-nodes que estão atualmente sendo acessados

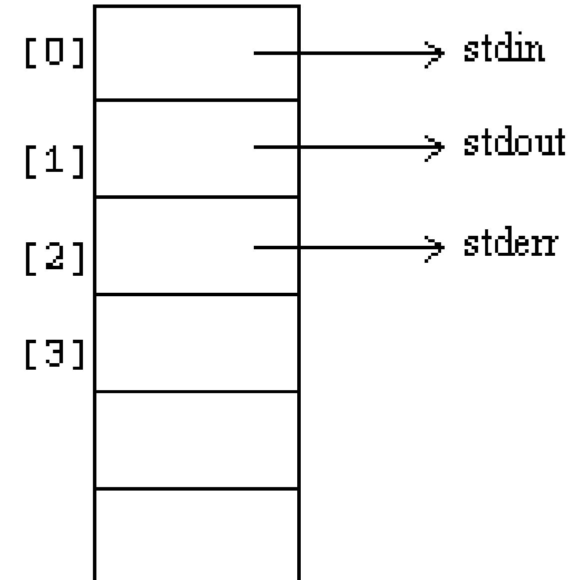
Descritores de Arquivos (3)



- Alguns descritores de arquivos têm um significado especial:
  - 0 é STDIN; 1 é STDOUT; 2 é STDERR

Descritores de Arquivos (4)

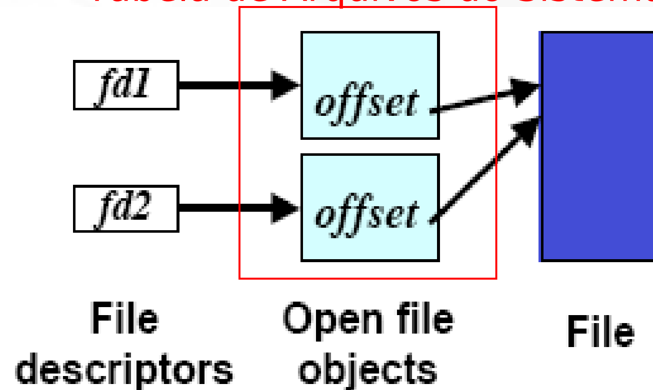
- Cada processo sempre possui três descritores de arquivos pré-definidos, os chamados arquivos padrão, geralmente definidos no arquivo unistd.h
  - STDIN_FILENO (stream stdin)
    - Entrada padrão (default: teclado)
    - Usado por todas as funções de entrada de dados que não especificarem um descritor de arquivo.
  - STDOUT_FILENO (stream stdout)
    - Saída padrão (default: terminal)
    - Usado por todas as funções de saída de dados que não especificarem um descritor de arquivo
  - STDERR_FILENO (stream stderr)
    - Saída de erro (default: terminal)



Descritores de Arquivos (5)

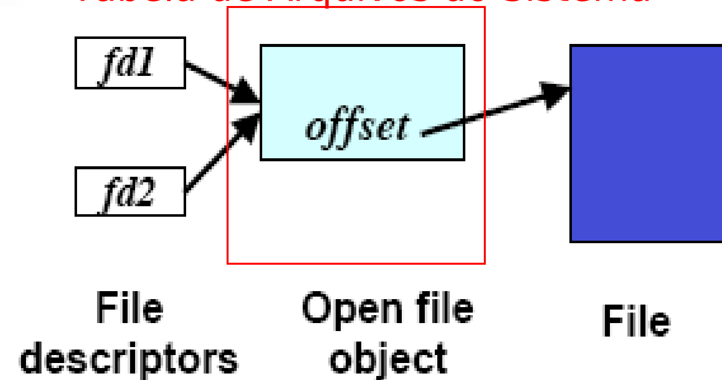
- Diferentes descritores de arquivos (pertencendo ou não a um mesmo processo) podem apontar para um mesmo arquivo aberto
- Um descritor aponta para um *Open file object* da Tabela de Arquivos do Sistema.
- Cada *Open file object* representa uma sessão independente de acesso a um arquivo.
- O *open file object* associado ao descritor contém o contexto desta sessão, como o modo em que o arquivo foi aberto e o *offset* em que a próxima leitura ou escrita deve ocorrer

Tabela de Arquivos do Sistema



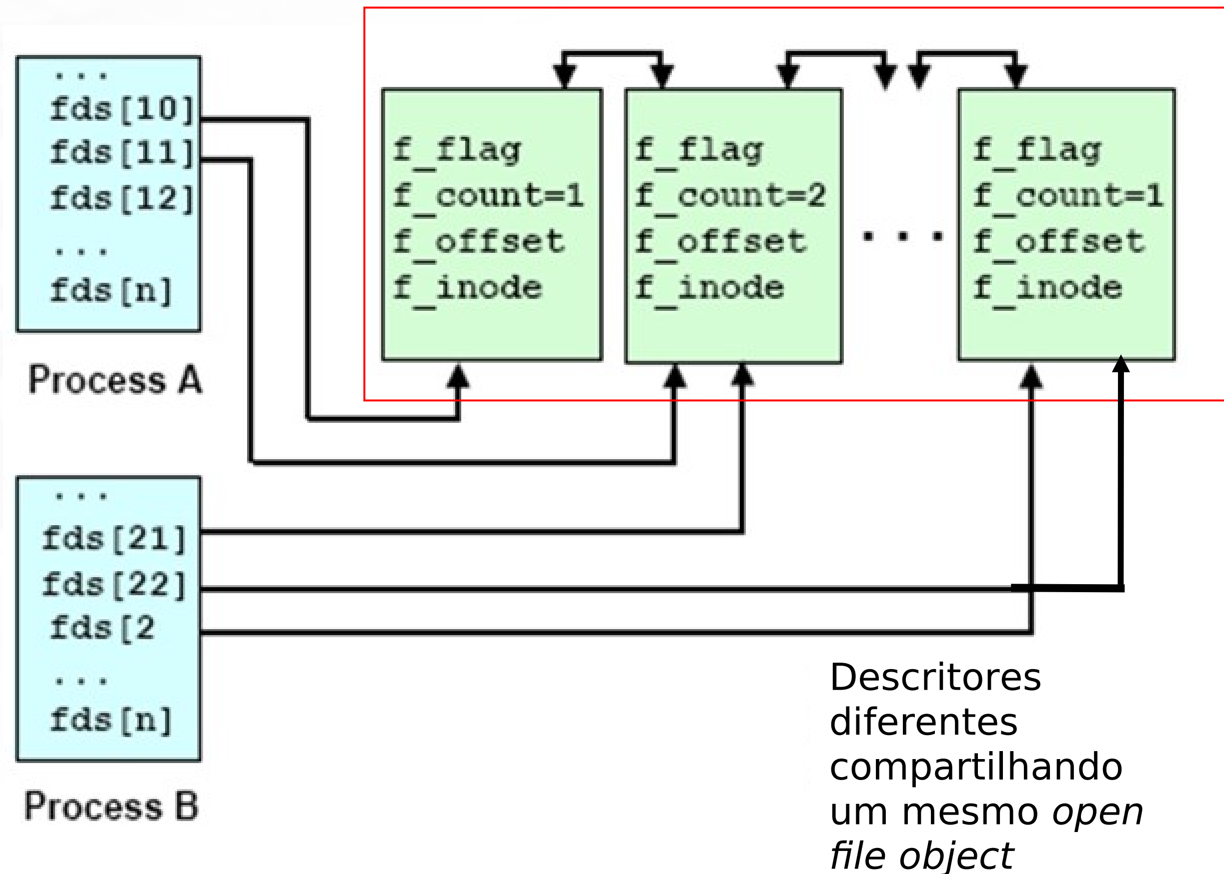
Dois ***opens*** sobre o mesmo arquivo

Tabela de Arquivos do Sistema



Qdo um descritor é duplicado (eg. fork), a sessão é compartilhada entre os 2 descritores

Descritores de Arquivos (6)



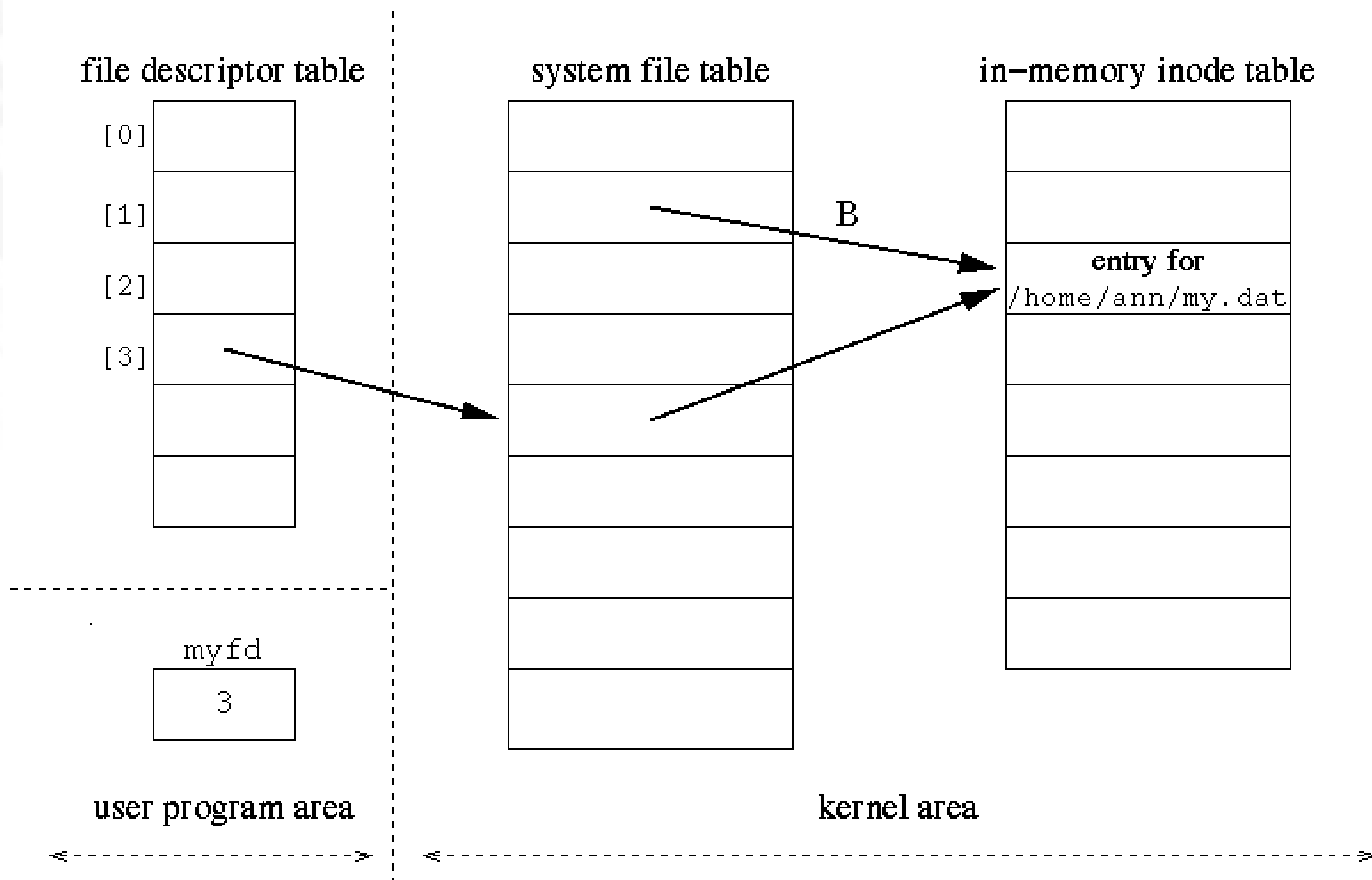
Apesar do kernel permitir que o acesso a um arquivo seja **compartilhado**, o acesso é serializado!

Toda operação de I/O no arquivo passa pelo descritor...

`read (fd,buf,count)`

Descritores de Arquivos (7)

- Relação entre Tabela de descritores de arquivos, Tabela de arquivos abertos do sistema, Tabela de i-nodes na memória



Redirecionamento de entrada/saída (1)

- Primitivas dup2()

```
#include <unistd.h>
int dup2(int oldfd, int newfd);
```

  - Valor de retorno: novo descritor de arquivo ou -1 em caso de erro
- Esta primitiva cria uma cópia de um descritor de arquivo existente (oldfd) e fornece um novo descritor (newfd) tendo exatamente as mesmas características que aquele passado como argumento

Redirecionamento de entrada/saída (2)

- Este programa executa o comando shell ‘ps’, depois redireciona o resultado para o arquivo fic_saida (test-dup.c)

```
#include <errno.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

#define STDOUT 1

int main()
{
 int fd ;
     /* associa fic_saida ao descritor fd */
     if ((fd = open("fic_saida",O_CREAT|O_WRONLY| O_TRUNC,0666))==-1){
          perror("Error na abertura de fic_saida") ;
          exit(1) ;
     }
     dup2(fd,STDOUT) ;  /* redireciona a saida padrao */
     system("ps") ;     /* executa o comando */
     exit(0);
}
```

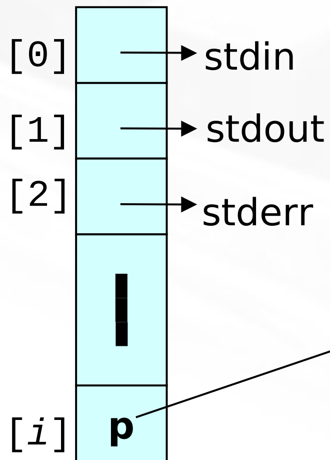
Redirecionamento de entrada/saída (3)

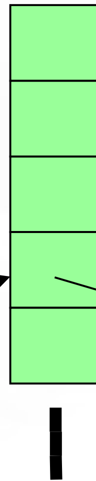
```
fd = open("fic_saida",...)
```

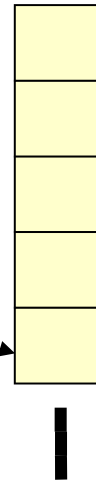
Tabela de Descritores de Arquivos

Tabela de Arquivos do Sistema

Tabela de i-nodes na memória







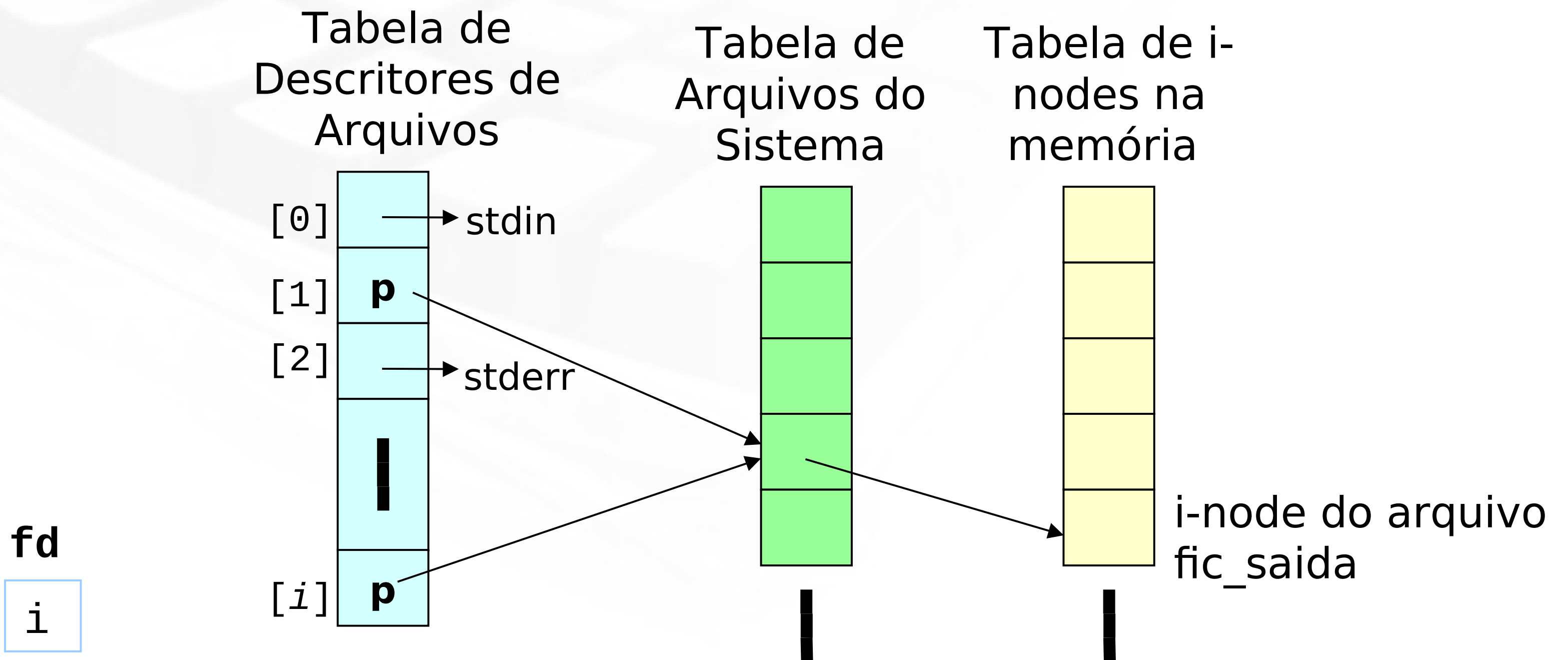
i-node do arquivo fic_saida

fd

i

Redirecionamento de entrada/saída (4)

```
dup2(fd,STDOUT) ;  /* redireciona a saida padrao */
```



System Calls – Criando Links (1)

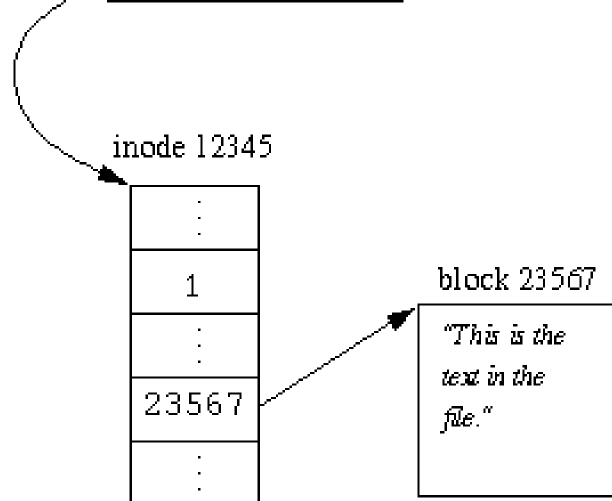
```
#include <sys/unistd.h>

int link (const char *path1, const char *path2);
    // Cria um hard link (path2 -> path1)
int unlink (const char *path1, const char *path2);
    // Apaga um hard link
```

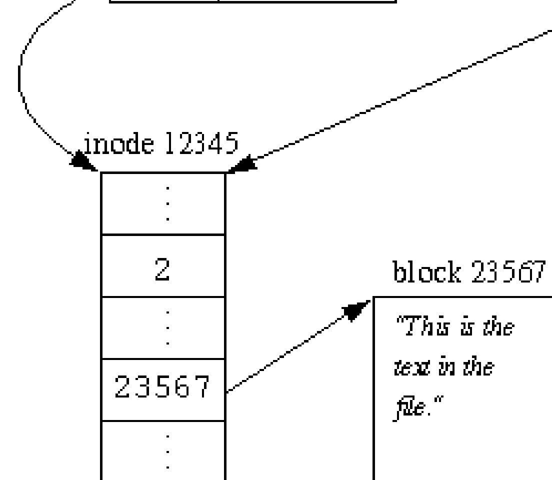
- Exemplo: criando um hard link

```
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>
...
   if (link("/dirA/name1","/dirB/name2") == -1)
      perror("Failed to make a new link in /dirB");
...
```

```
ln /dirA/name1 /dirB/name2
```

System Calls – Criando Links (2)





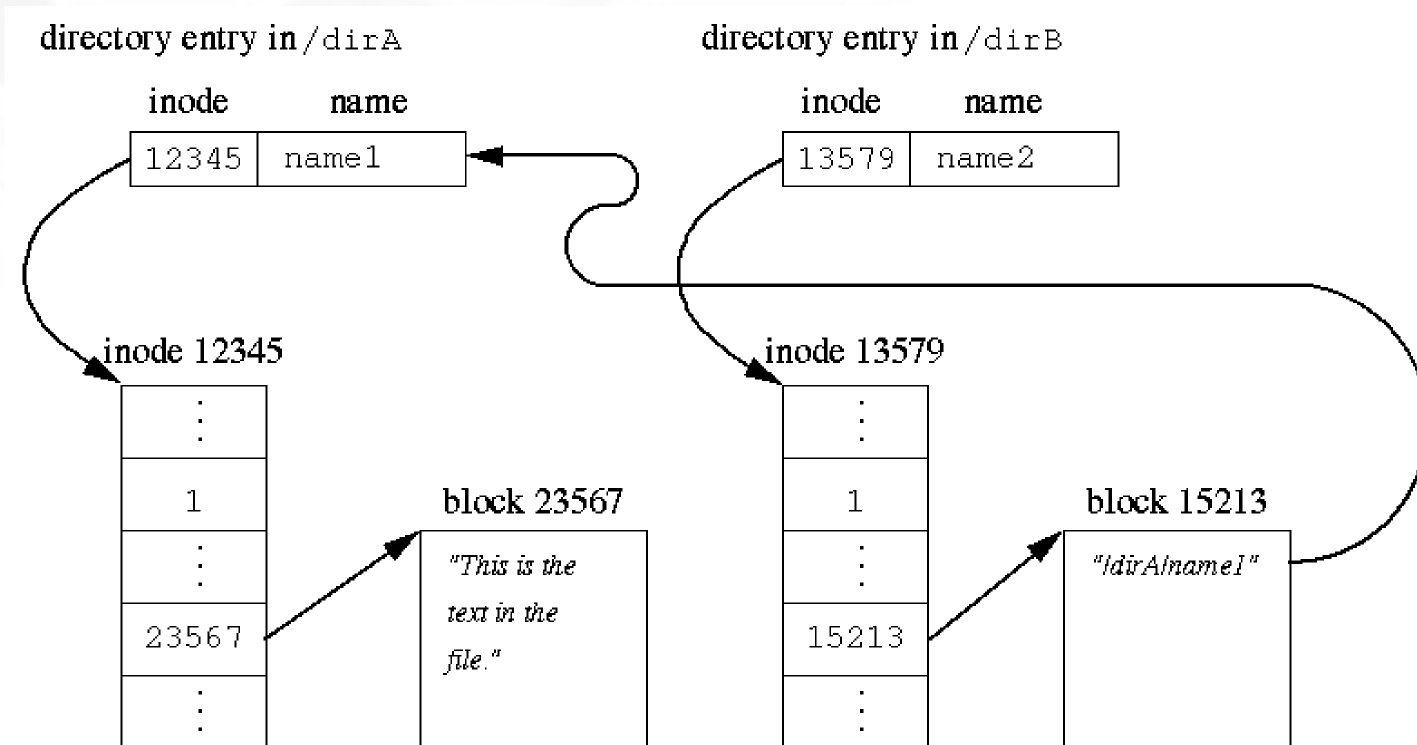
System Calls – Criando Links (3)

- Criando link simbólicos

```
#include <sys/unistd.h>

int symlink (const char *path1, const char *path2);
    // Cria um link simbólico (path2 -> path1)
```

~

```
ln -s path1 path2
```



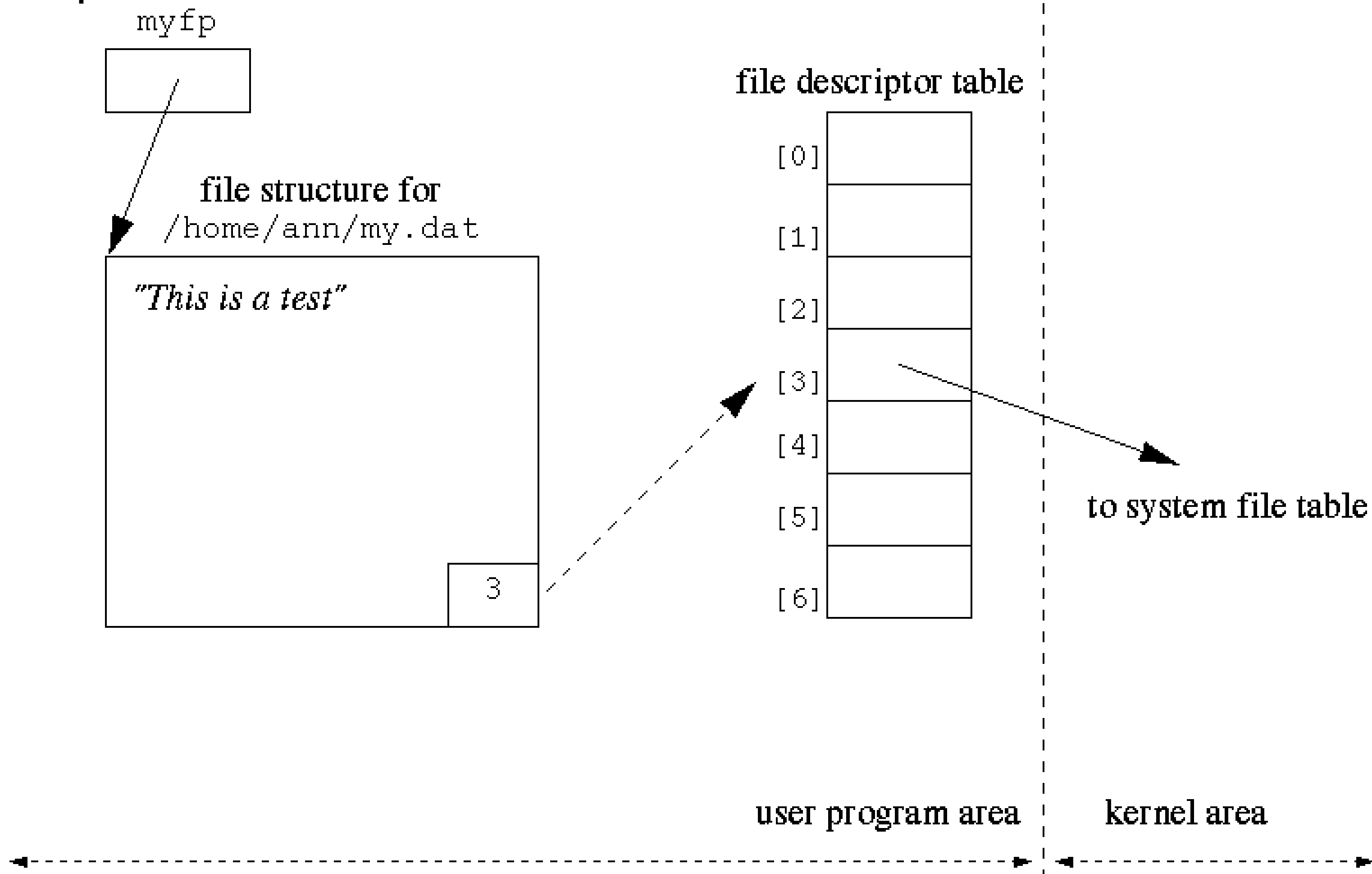
Ponteiros de Arquivos e Buffering (1)

- O padrão ISO C usa ponteiros de arquivos (***file pointers***) ao invés de descritores de arquivos diretamente para manipular I/O
- Um *file pointer* aponta para uma estrutura de dados chamada **FILE structure** no espaço de endereçamento do processo
  - Ela contém um buffer e um descritor de arquivo
- Exemplo:

```
FILE *myfp;

   if ((myfp = fopen("/home/ann/my.dat", "w")) == NULL)
      perror("Failed to open /home/ann/my.dat");
   else
      fprintf(myfp, "This is a test");
```

Ponteiros de Arquivos e Buffering (2)

- Exemplo (cont.)



Ponteiros de Arquivos e Buffering (3)

- I/O utilizando ponteiros de arquivos realizam leituras e escritas no buffer
- O buffer é preenchido o esvaziado quando necessário
  - Qdo o buffer é completamente preenchido, o subsistema de I/O realiza a escrita no disco (**e o buffer cache???**)
  - Uma escrita no buffer que o preencha parcialmente não causa uma escrita no disco.
- O tamanho do buffer pode variar.
- Se após uma escrita realizada na saída padrão o processo falha, o dado pode não aparecer no monitor
- A stderr não é bufferizado.
- É possível forçar a escrita no disco (`fflush`)

Buffer Cache (1)

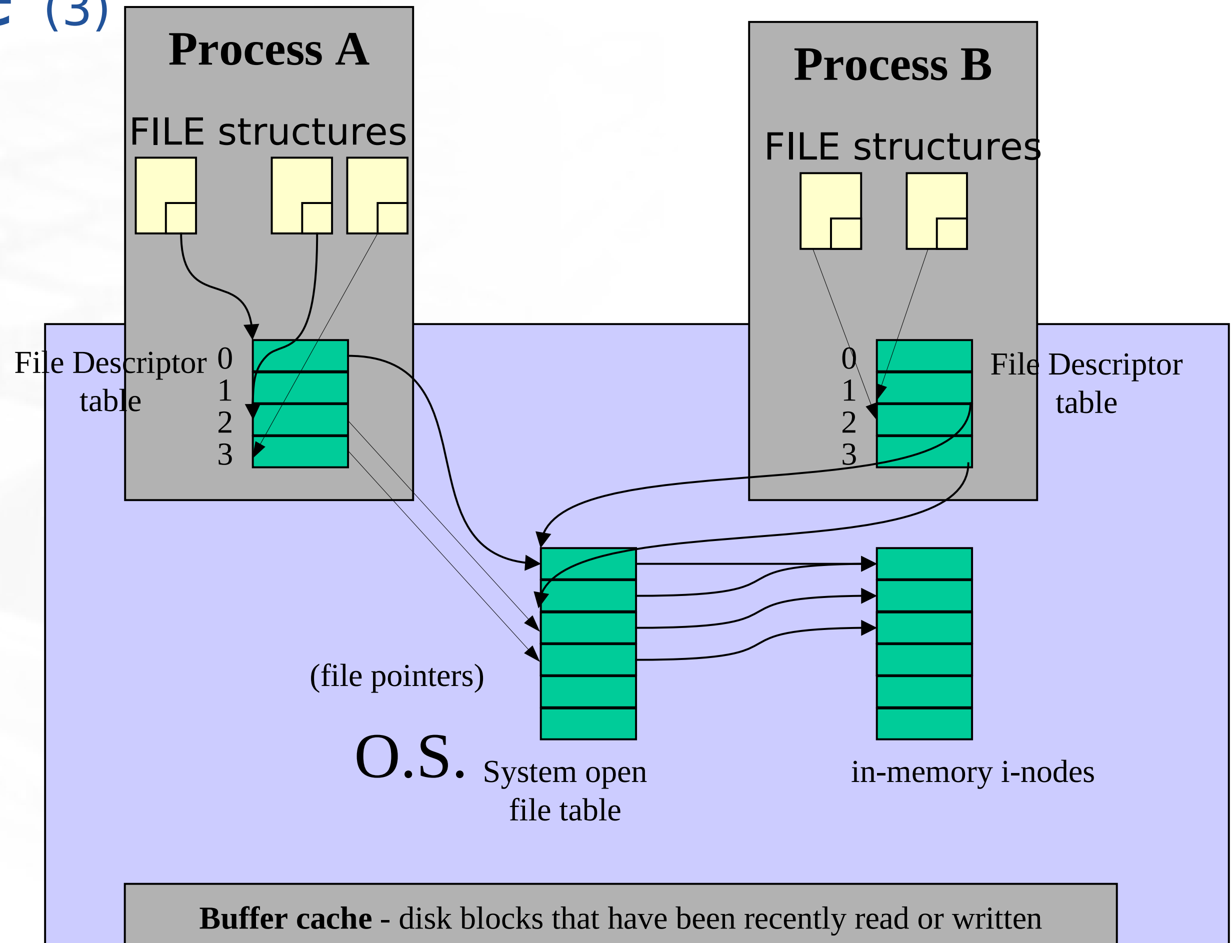
- O sistema de arquivos mantém um buffer cache
- O buffer cache é armazenado em memória física (não paginada)
- Ele é usado para armazenar qualquer dado lido ou escrito em um block-device (e.g. disco, CD-ROM, DVD).
- Se um dado ñ está no buffer cache:
  - O sistema aloca um buffer livre no buffer cache
  - Lê o dado do disco
  - Armazena o dado no buffer
- Se não houver nenhum buffer livre:
  - o sistema seleciona um buffer em uso
  - escreve seus dados no disco
  - marca o buffer como livre
  - aloca o buffer para o processo que solicitou

Buffer Cache (2)

- Sincronizando buffers

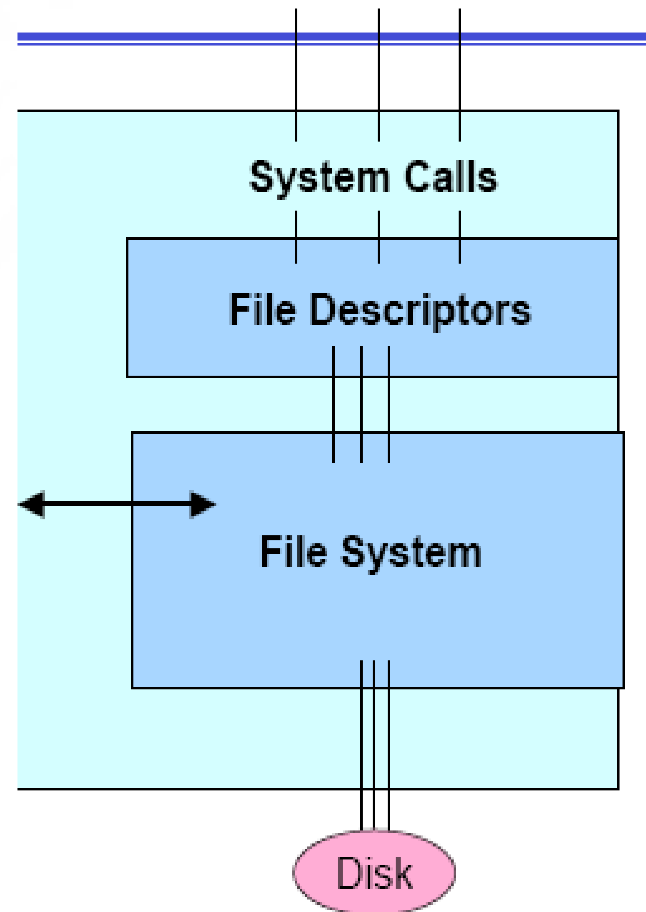
```
#include <unistd.h>

int sync (void)
  // Força que os buffers de todos os descritores do sistema sejam escritos
  //em disco.

int fsync (int fildes)
  // Aguarda até que todo o buffer de escrita associado a fildes seja escrito
  // no disco. Isso inclui os dados e meta-dados do arquivo.

int fdatasync (int fildes)
  // Aguarda até que todos os dados do arquivo tenham sido escritos em disco.
  // Meta-dados não são considerados, portanto esta operação é mais rápida
  // que fsync.
```

Buffer Cache (3)



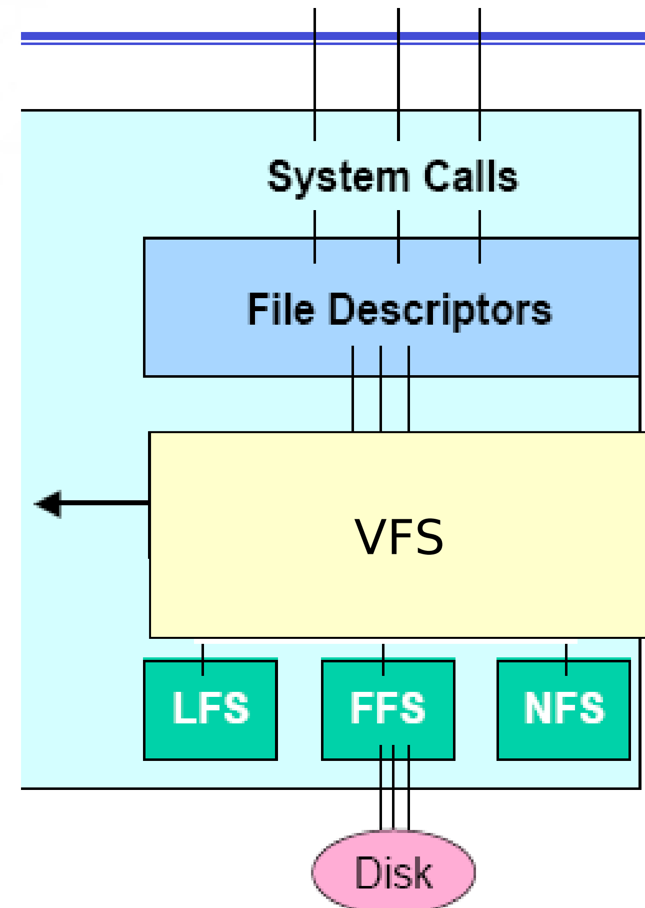
Virtual File System - Motivação

- Existem muitos tipos distintos de Sistemas de Arquivos
  - Necessidade de interoperabilidade
- Interface padrão para acesso a arquivos
  - Programar orientado para um FS específico seria inviável
- Kernel precisa ser flexível para adição de novos sistemas de arquivos

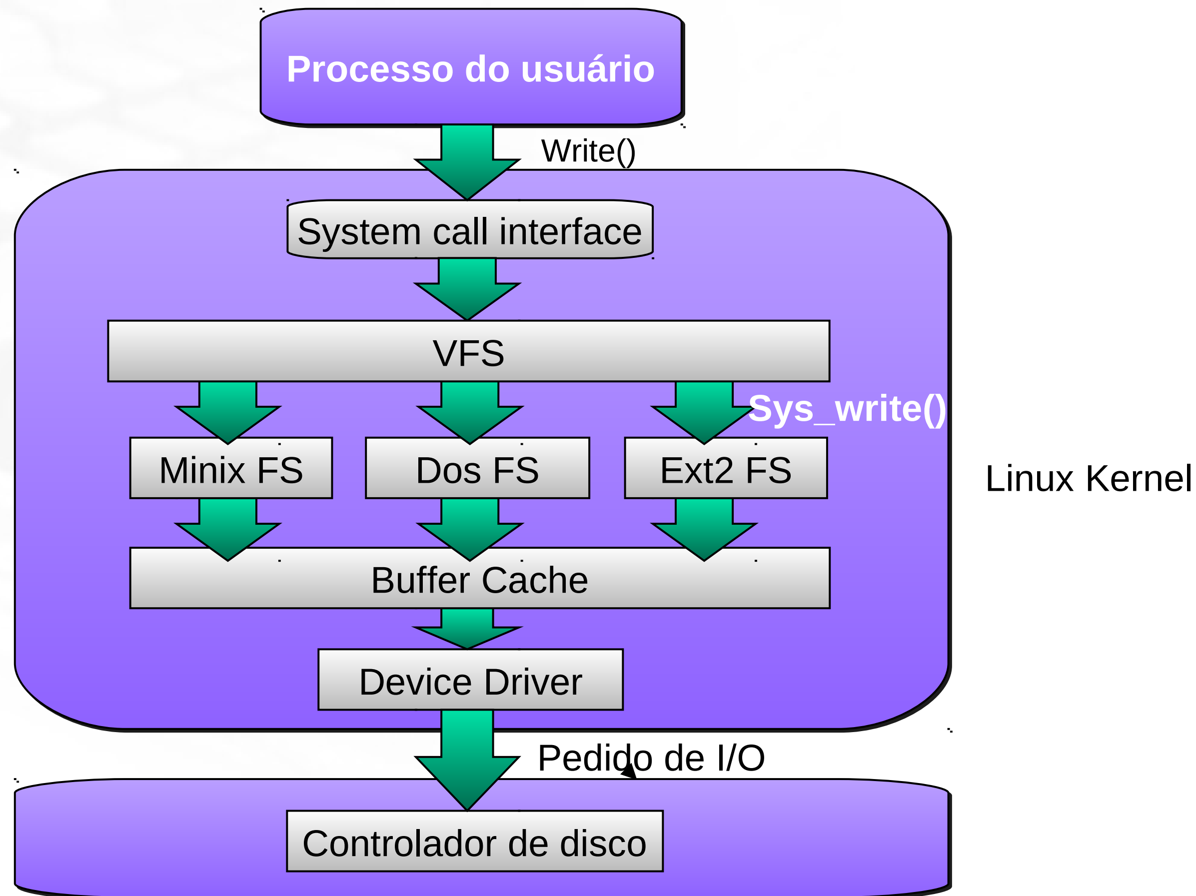


Virtual File System - Descrição

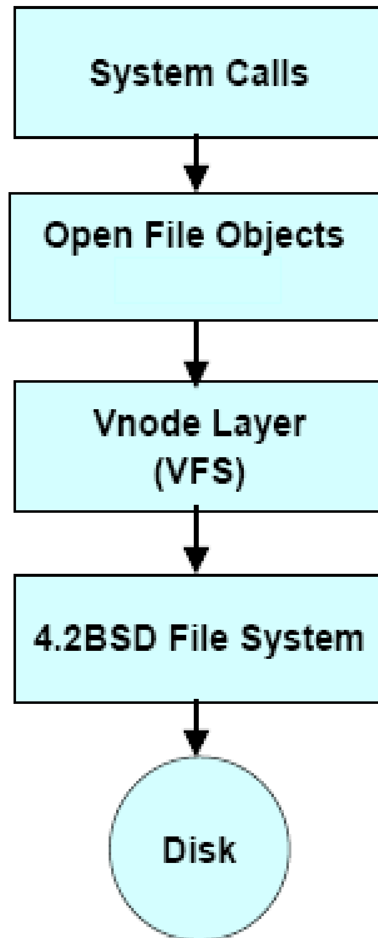
- Kernel implementa camada de abstração ao redor das interfaces de FS de baixo-nível
- Esta camada define interfaces conceituais básicas que existem em qualquer FS
  - *Commom File Model*
- A cada sistema de arquivos montado corresponde uma estrutura VFS no núcleo
- Mapeamento entre representação em VFS para o sistema de arquivos real



Virtual File System – Exemplo no Linux



Virtual File System - Estrutura de Dados

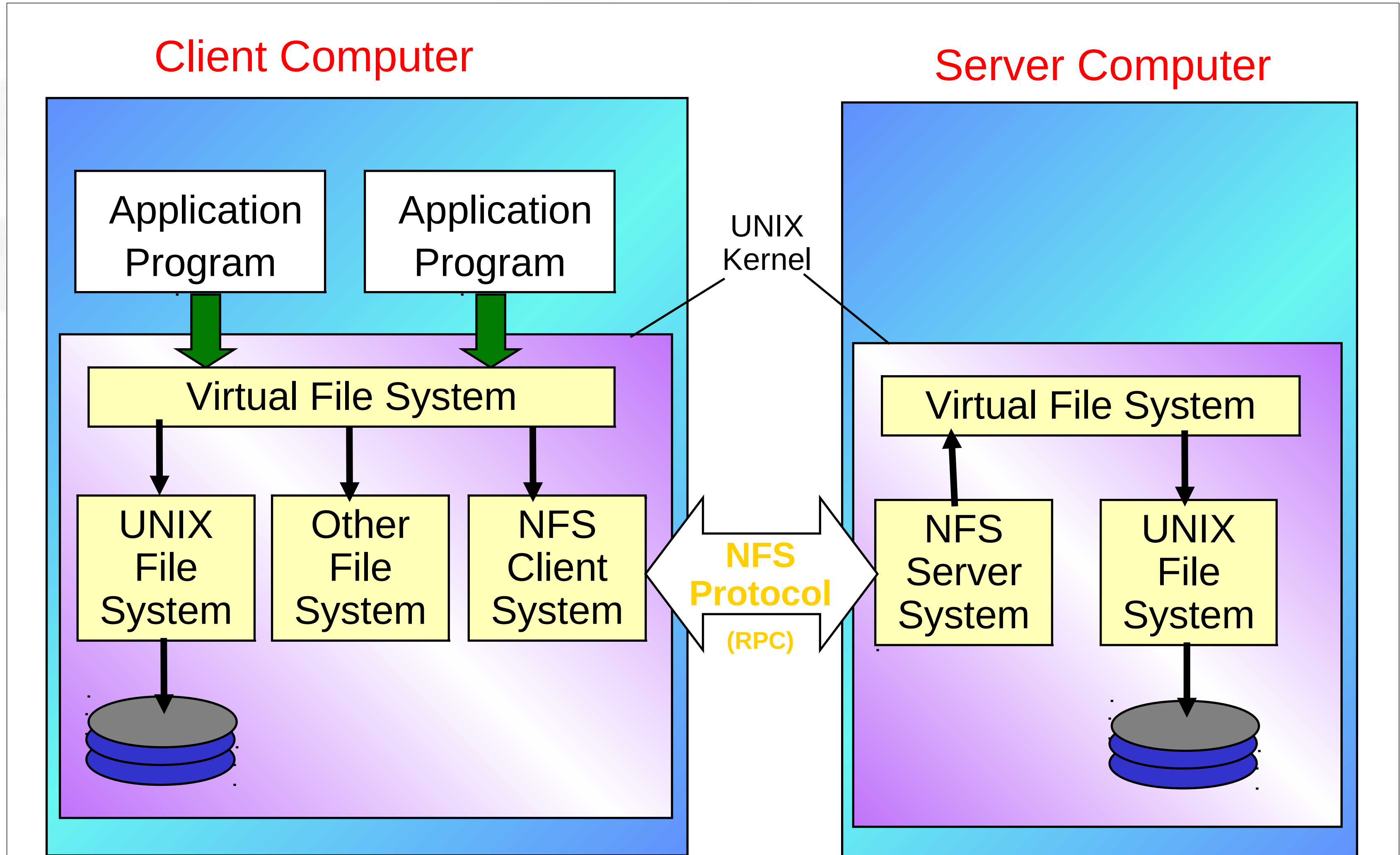


- Descritores de Arquivos e file objects
- v-nodes
- i-nodes

Sistema de Arquivos Distribuídos

- NFS (Network File System)
- Permite o acesso aos arquivos independentemente de sua localização física
  - O funcionamento do NFS é centrado no VFS
- Gerencia os *file servers* e a comunicação entre os *file servers*
- Coleção de clientes e servidores compartilham um sistema de arquivos
  - servidores exportam os diretórios
  - clientes, pela operação de montagem, ganham acesso aos arquivos.

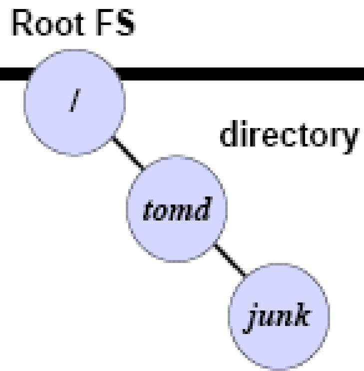
NFS

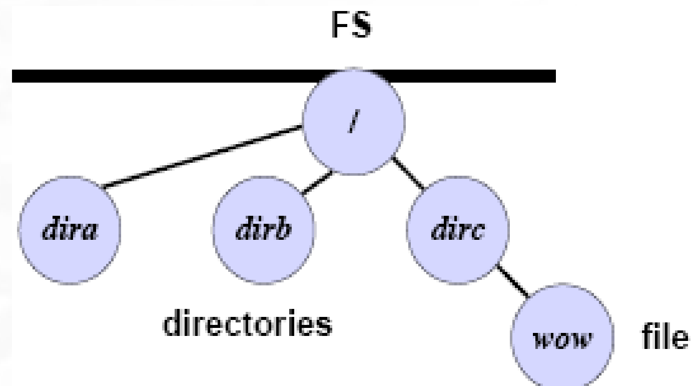


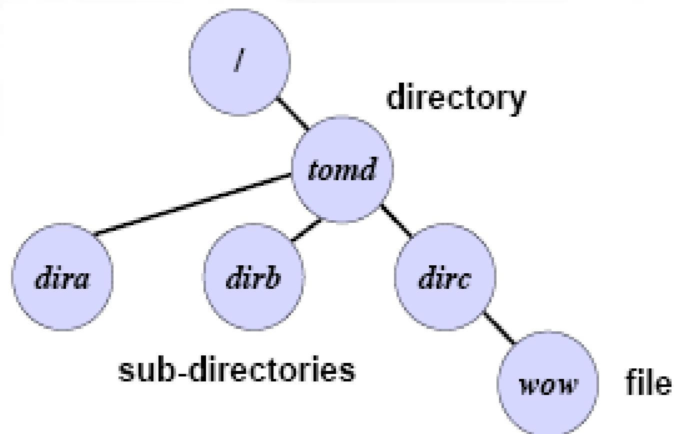
Montagem (*Mounting*) (1)

- O UNIX é um sistema que suporta "montagem"
- Existe um sistema de arquivos configurado para ser o *root file system*, e o seu diretório raiz se torna o diretório raiz do sistema
- Os demais sistemas de arquivos são integrados através do mecanismo de montagem
  - Cada sistema de arquivo é mapeado para um diretório
  - Este diretório é chamado de "mouting point"
- Com esse mecanismo criar-se um namespace comum
- Sistemas de arquivos removíveis (i.e. discos) ou remotos podem ser montados na árvore de arquivos como forma de integrar o sistema de arquivos
  - O diretório /dev contém os nomes de cada arquivo especial de dispositivo
  - Ex: `mount /dev/fd0 /mnt/floppy`

Montagem (*Mounting*) (2)

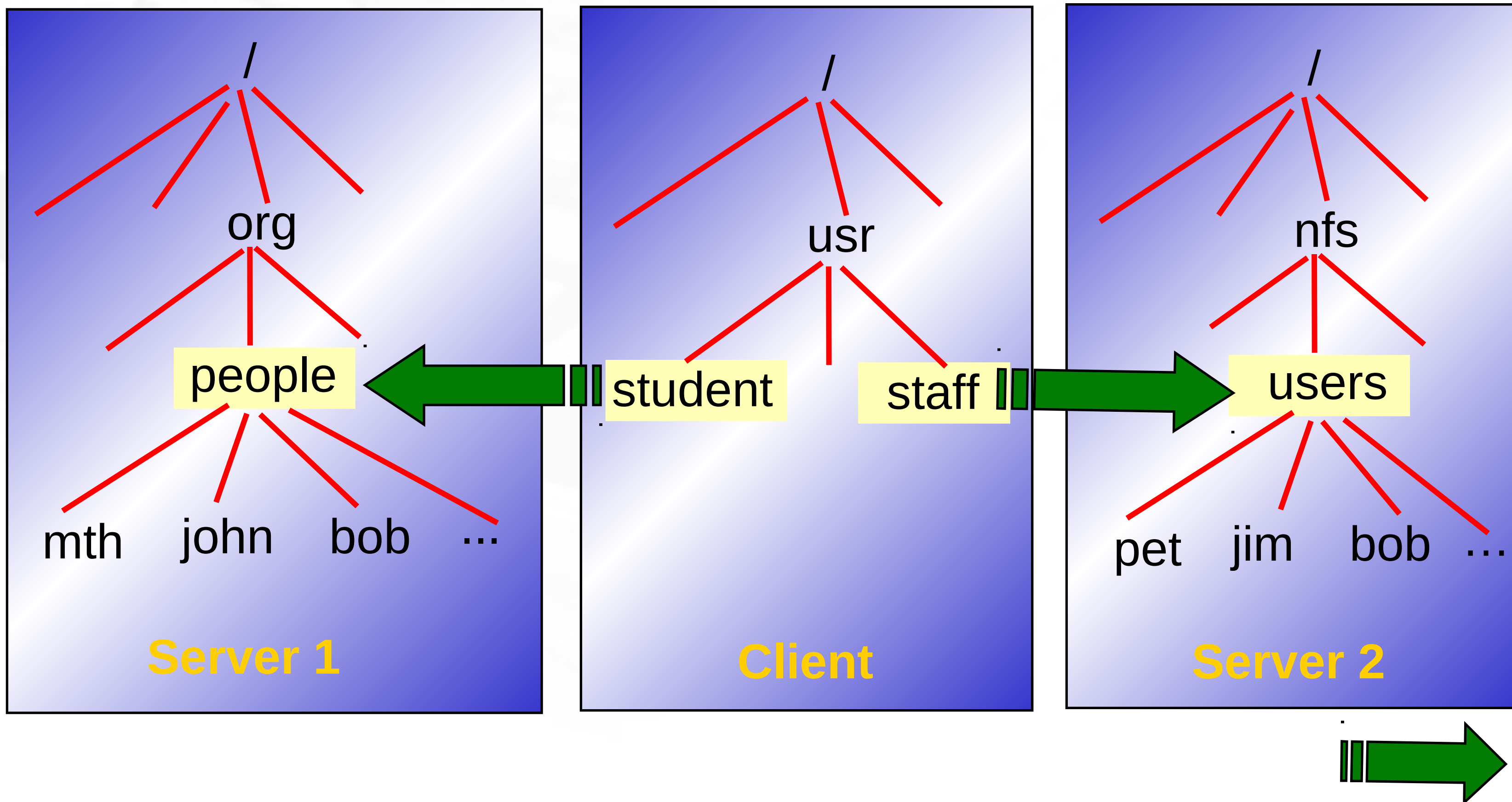




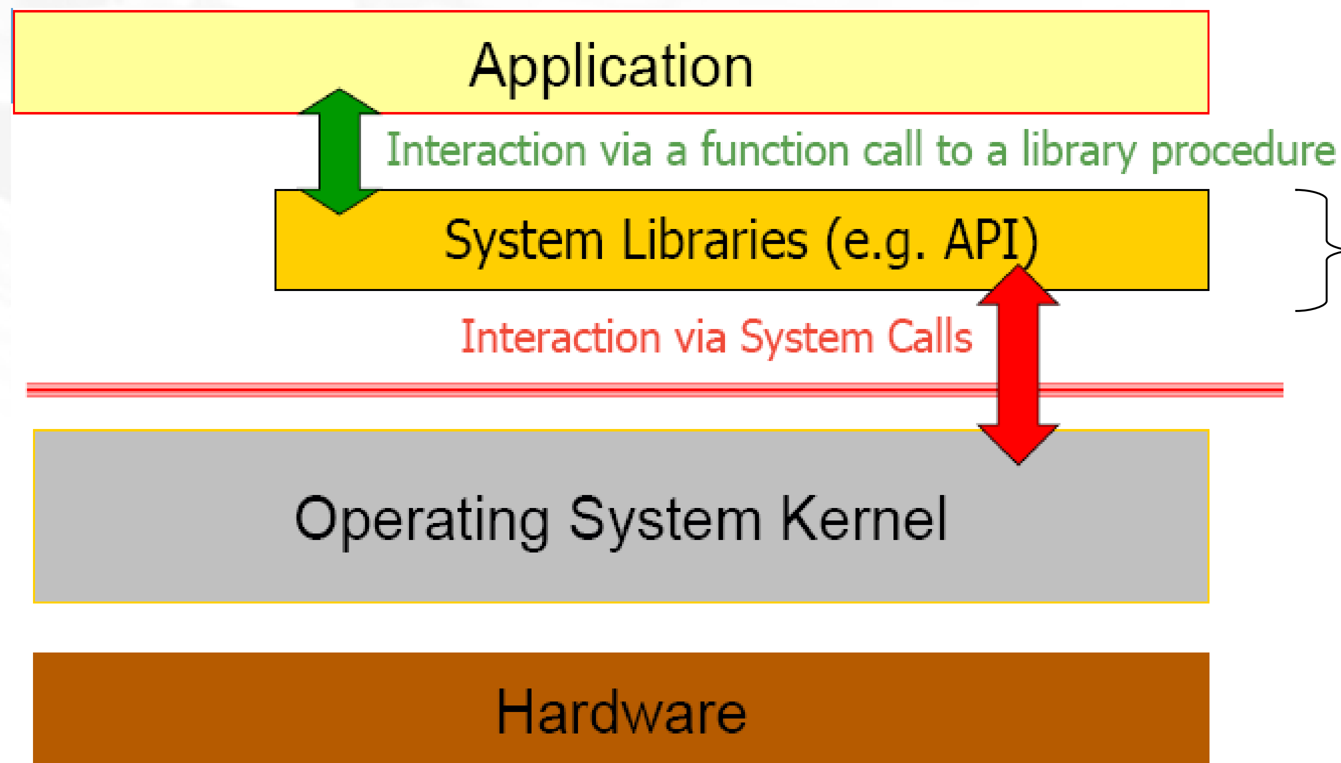


Qualquer acesso ao diretório "mounted-on" é traduzido em um acesso ao raiz do sistema de arquivos montado.

Montagem (*Mounting*) (3)



System Calls



Principais funções declaradas na **fcntl.h** e **unistd.h**

System Calls – Manipulando Diretórios (1)

- Navegação em diretórios

```
#include <sys/unistd.h>

int chdir (const char *path)
    // Retorna 0 ou -1 (ex: errno = EACCES ou ENOTDIR)
char *getcwd (char *buf, size_t size)
    // Retorna path do dir. corrente
long fpathconf (int filedes, int name);
    // Obtém valor  da  opção  de  conf. name do descritor de arquivo filedes
long pathconf (char *path, int name);
    // Obtém valor  da  opção  de  conf. name do arquivo path
```

```
_PC_PATH_MAX: comprimento máximo de um caminho relativo de diretório
_PC_NAME_MAX: comprimento máximo de um nome de arquivo no diretório
_PC_MAX_CANON: comprimento máximo de uma linha de entrada formatada de terminal
```

System Calls – Manipulando Diretórios (2)

- Exemplo: programa que exibe o diretório corrente

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

int main(void) {
   long maxpath;
   char *mycwdp;

   if ((maxpath = pathconf(".", _PC_PATH_MAX)) == -1) {
      perror("Failed to determine the pathname length");
      return 1;
   }
   if ((mycwdp = (char *) malloc(maxpath)) == NULL) {
      perror("Failed to allocate space for pathname");
      return 1;
   }
   if (getcwd(mycwdp, maxpath) == NULL) {
      perror("Failed to get current working directory");
      return 1;
   }
   printf("Current working directory: %s\n", mycwdp);
   return 0;
}
```

System Calls – Manipulando Diretórios (3)

- Acesso a diretórios

```
#include <dirent.h>

DIR *opendir(const char *filename);
   // Retorna um handle para um stream de diretório (seq. ordenada das entradas)
struct dirent *readdir(DIR *dirp);
   // Lê uma entrada da stream de diretório, move a posição do stream  p/
   // a próxima entrada
void rewinddir(DIR *dirp);
   // Reseta a posição do stream de diretório para o início
int closedir(DIR *dirp);
   // fecha o stream de diretório associado a dirp
```

System Calls – Manipulando Diretórios (4)

- Exemplo: programa que lista os arquivos em um diretório

```
#include <dirent.h>
#include <errno.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
   struct dirent *direntp;
   DIR *dirp;

   if (argc != 2) {
      fprintf(stderr, "Usage: %s directory_name\n", argv[0]);
      return 1;
   }

   if ((dirp = opendir(argv[1])) == NULL) {
      perror ("Failed to open directory");
      return 1;
   }

   while ((direntp = readdir(dirp)) != NULL)
      printf("%s\n", direntp->d_name);
   while ((closedir(dirp) == -1) && (errno == EINTR)) ;
   return 0;
}
```

System Calls – Informações sobre Arquivos (1)

- Funções que retornam informações sobre o arquivo especificado

```
#include <sys/stat.h>

int stat(const char *restrict path, struct stat *restrict buf);
int lstat(const char *restrict path, struct stat *restrict buf);
 // Se path for um link simbólico, stat retorna infos sobre o arquivo referenciado
 // enquanto lstat retorna sobre o próprio arquivo que contém o link
int fstat(int fildes, struct stat *buf);
 // Retorna infos sobre o arquivo associado ao descritor fildes
```

```
Campos do struct stat definidos no padrão:
    dev_t     st_dev;      /* device ID of device containing file */
    mode_t    st_mode;     /* file mode */
    nlink_t   st_nlink;    /* number of hard links */
    uid_t     st_uid;      /* user ID of file */
    gid_t     st_gid;      /* group ID of file */
    off_t     st_size;     /* file size in bytes (regular files) */
                           /* path size (symbolic links) */
    time_t    st_atime;    /* time of last access */
    time_t    st_mtime;    /* time of last data modification */
    time_t    st_ctime;    /* time of last file status change */
```

System Calls – Informações sobre Arquivos (2)

- Determinando o tipo de arquivo
  - O campo st_mode codifica modo de acesso e tipo de arquivo
  - Pode-se usar macros para “interpretar” esta codificação

S_ISBLK(m)	block special file
S_ISCHR(m)	character special file
S_ISDIR(m)	directory
S_ISFIFO(m)	pipe or FIFO special file
S_ISLNK(m)	symbolic link
S_ISREG(m)	regular file
S_ISSOCK(m)	socket

System Calls – Informações sobre Arquivos (3)

- Exemplo: função para verificar se um arquivo é um diretório

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <sys/stat.h>

int isdirectory(char *path) {
   struct stat statbuf;

   if (stat(path, &statbuf) == -1)
      return 0;
   else
      return S_ISDIR(statbuf.st_mode);
}
```

System Calls – Criando Links (1)

```
#include <sys/unistd.h>

int link (const char *path1, const char *path2);
    // Cria um hard link (path2 -> path1)
int unlink (const char *path1, const char *path2);
    // Apaga um hard link
```

- Exemplo: criando um hard link

```
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>
...
   if (link("/dirA/name1","/dirB/name2") == -1)
      perror("Failed to make a new link in /dirB");
...
```

```
ln /dirA/name1 /dirB/name2
```

System Calls – Criando Links (2)

directory entry in /dirA

inode	name
12345	name1

inode 12345

⋮
1
⋮
23567
⋮

block 23567

"This is the text in the file."

directory entry in /dirA

inode	name
12345	name1

directory entry in /dirB

inode	name
12345	name2

inode 12345

⋮
2
⋮
23567
⋮

block 23567

"This is the text in the file."

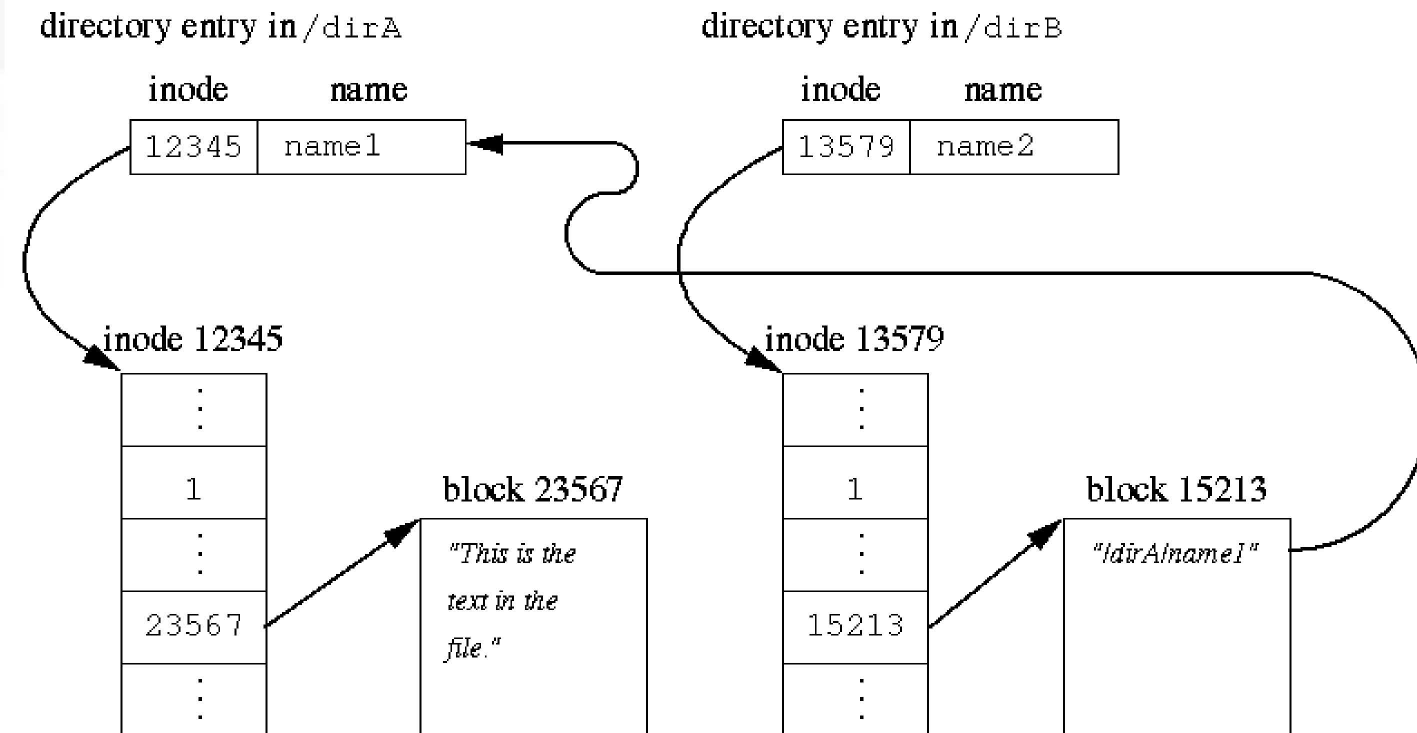
System Calls – Criando Links (3)

- Criando link simbólicos

```
#include <sys/unistd.h>

int symlink (const char *path1, const char *path2);
    // Cria um link simbólico (path2 -> path1)
```

~

```
ln –s path1 path2
```



System Calls – Lendo e Escrevendo (1)

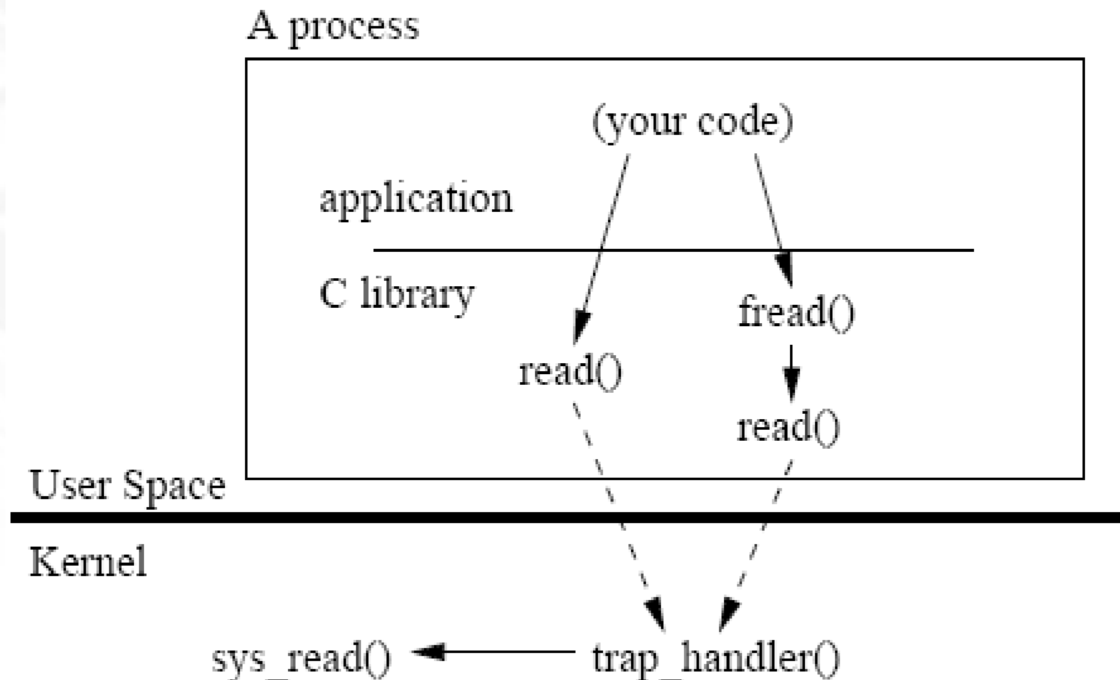
```
#include <unistd.h>

size_t
  // Tipo de dado usado para representar o número de blocos a ler ou escrever em
  // uma operação read ou write.

ssize_t read (int filedes, void *buffer, size_t size)
  // Lê até size bytes do arquivo indicado pelo descritor filedes, armazenando o
  // resultado em buffer. Retorna o número de bytes lidos, zero (EOF) ou -1 (erro)

ssize_t write (int filedes, const void *buffer, size_t size)
  // Escreve até size bytes de dados contidos em buffer no arquivo indicado por
  // filedes. Retorna o número de bytes escritos ou -1 (erro). Assim que a
  // operação retorna, os dados estão disponíveis para leitura, mas não estão
  // necessariamente no disco.

off_t lseek (int filedes, off_t offset, int whence)
  // Permite mudar a posição do ponteiro do arquivo indicado por  filedes. O
  // valor do deslocamento offset depende do modo de operação indicado por whence,
  // que pode ser: relativo ao início do arquivo (SEEK_SET), à posição corrente
  // (SEEK_CUR) ou ao final do arquivo (SEEK_END). Ver também lseek64.
```

System Calls – Lendo e Escrevendo (2)

Abrir um arquivo em modo de leitura, ler seus últimos 256 bytes e escrevê-los na saída padrão.

```
#int main (int argc, char *argv[])
{
   int fd ; /* file descriptor */
   char buffer[SIZE] ;
   ssize_t bytesLidos, bytesEscritos ;

   /* abrir arquivo em leitura */
   fd = open ("x", O_RDONLY) ;
   if ( fd < 0 )
   {
      perror ("Erro ao abrir o arquivo x") ;
      exit (1) ;
   }

   /* posicionar a SIZE bytes do final do arquivo */
   lseek (fd, -SIZE, SEEK_END) ;

   /* ler SIZE bytes do arquivo */
   bytesLidos = read (fd, &buffer, SIZE) ;

   if ( bytesLidos < 0)
   {
      perror ("Erro na leitura de x") ;
      exit (1) ;
   }

   /* escrever os bytes lidos no terminal (stdout) */
   bytesEscritos = write (STDOUT_FILENO, &buffer, bytesLidos) ;

   if ( bytesEscritos < 0)
   {
      perror ("Erro na escrita em stdout") ;
      exit (1) ;
   }
```

UNIX apresenta várias interfaces para manipular arquivos



Referências

- Vahalia, U. “Unix Internals – The New Frontiers”, 1ª. Edição, Editora Prentic-Hall, 1996.
  - Capítulo 8
- A. S. Tanenbaum, ''Sistemas Operacionais Modernos'', 3a. Edição, Editora Prentice-Hall,2010.
  - Seção 4.5
- Silberschatz A. G.; Galvin P. B.; Gagne G.; ''Fundamentos de Sistemas Operacionais'', 6a. Edição, Editora LTC, 2004.
  - Seção 4.7