API do Unix

Índice

Aspetos gerais dos programas em C no UNIX

A função `main()`

```
int main()
int main(int argc)
int main(int argc, char* argv[])
int main(int argv, char* argv[], char* envp[])
```

- `argc`
  nº de argumentos da linha de comandos, incluindo nome do programa
- `argv`
  array de apontadores para strings, com os parâmetros passados ao programa, incluindo nome do programa
- envp
  array de apontadores para strings, com as variáveis de ambiente, do género "VAR=VALOR"

Arrays terminam em `NULL`.

Terminação de um programa

```
void exit(int status);
```

Tratamento de erros

```
/*
Mostra msg seguido de ':', e descrição do último erro em chamada ao sistema.
*/
void perror (const char *msg);
```

Consola, Ficheiros e Diretórios

Descritores

'Identificador' de um ficheiro.
Um ficheiro pode ser aberto várias vezes e ter vários descritores (diferentes) a ele associados.
Constantes:
`STDIN_FILENO`,`STDOUT_FILENO`, `STDERR_FILENO`

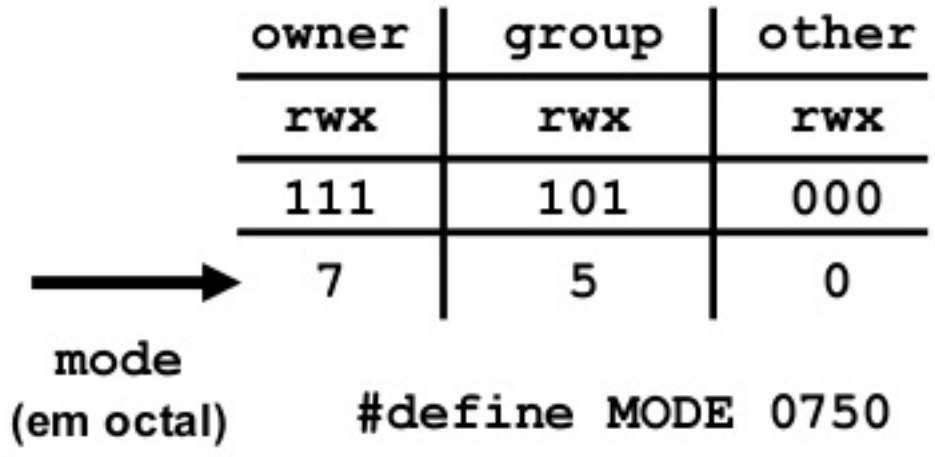
Criação/abertura de ficheiros

```
int open(const char *pathname, int oflag, ... /*, mode_t mode */);
```

Retorno: descritor do ficheiro se OK, -1 se erro
`oflag`: combinação das seguintes flags:

- `O_RDONLY`
- `O_WRONLY // faz overwrite ao ficheiro`
- `O_RDWR`
- `O_APPEND // permite adicionar conteúdo no fim do ficheiro`
- `O_CREAT // criar ficheiro se não existir, requer mode`
- `O_EXCL // origina erro se ficheiro existir e O_CREAT ativado`
- `O_TRUNC // ficheiro fica com comprimento 0`

`mode`: permissões do ficheiro, em octal (0 do lado esquerdo)
Exemplo:



Duplicação de um descritor

```
/*
Procura descritor livre mais baixo e põe-no a apontar para o mesmo ficheiro que
filedes.
*/
int dup (int filedes);

/*
Fecha filedes2 se estiver aberto, e põe-no a apontar para o mesmo ficheiro que
filedes.
*/
int dup2 (int filedes, int filedes2);
```

Retorno: novo descritor se OK, -1 se erro
Exemplo:

```
/*
Cada vez que se tentar ler algo de stdin,
na verdade eatá a ler-se de fd
*/
dup2(fd, STDIN_FILENO);
```

Leitura, escrita, fecho e apagamento

```
ssize_t read(int filedes, void *buff, size_t nbytes);
```

Retorna: o nº de bytes lidos, 0 se fim do ficheiro, -1 se erro

```
ssize_t write(int filedes, const void *buff, size_t nbytes);
```

Retorna: o nº de bytes escritos, -1 se erro

```
int close(int filedes);
```

Retorna: 0 se OK, -1 se erro.

```
int unlink(const char *pathname);
```

Retorna: 0 se OK, -1 se erro.

Chamadas/funções úteis

```
umask //modifica máscara de criação de ficheiros
stat, fstat, lstat
opendir / closedir
readdir
getcwd
chdir
```

Exemplo: Percorrer diretório

```
DIR *dir;
int line;
struct dirent *dentry;
struct stat stat_entry;
...
if  ((dir =  opendir(argv[1]))  ==  NULL)
{
    perror(argv[1]);
    return  2;
}
chdir(argv[1]);
printf("Ficheiros regulares do directorio '%s'\n", argv[1]);
line =  1;
while  ((dentry =  readdir(dir))  !=  NULL)
{
    stat(dentry->d_name,  &stat_entry);
    if  (S_ISREG(stat_entry.st_mode))
    {
        printf("%-25s%12d%3d\n", dentry->d_name,
        (int)stat_entry.st_size,  (int)stat_entry.st_nlink);
    }
}
...
```

Criação e Terminação de Processos

A função `fork`

```
pid_t fork(void);
```

Retorna: 0 para filho, PID do filho para o pai, -1 se erro.
Após chamada, ambos os processos executam o mesmo código (usar *ifs* com o valor de retorno).
Após `fork`, não se sabe quem começa a executar primeiro.
Filho fica com cópia do segmento de dados, *heap* e *stack*.
O processo filho pode aceder e alterar as variáveis declaradas antes de `fork()`, sem que essas alterações se sintam no processo pai.

```
pid_t getpid(void); /* Obter a PID do próprio processo */
pid_t getppid(void); /* Obter a PID do processo-pai */
```

Processos *zombie*

Processo que terminou mas cujo pai ainda não aceitou o seu código de retorno, através de um `wait` ou `waitpid`.

As funções `wait` e `waitpid`

Usando estas funções, o pai espera pela terminação do filho, aceitando o seu código.
Quando o processo termina, é enviado ao pai o sinal `SIGCHLD`.

```
pid_t wait(int *statloc);
pid_t waitpid(pid_t pid, int *statloc, int options);
```

Retorno: PID do processo se OK, -1 se erro.

Macros para testar exit status do filho

- `WIFEXITED(status)`
  valor positivo, se terminou normalmente
  `WEXITSTATUS(status)` permite obter *exit status* do filho
- `WIFSIGNALED(status)`
  valor positivo, se recebeu sinal que não tratou
- `WIFSTOPPED(status)`
  valor positivo se filho está parado

As funções exec

```
int execl (const char *pathname, const char *arg0, ... /* (char *)0 */);
int execv (const char *pathname, char *const argv[]);
int execle(const char *pathname, const char *arg0, ... /* (char *)0,
char *const envp[] */);
int execve(const char *pathname, char *const argv[], char *const envp[]);
int execlp(const char *filename, const char *arg0, ... /* (char *)0 */);
int execvp(const char *filename, char *const argv[]);
```

Apenas retornam se ocorrer erro (-1).

- l
  argumentos passados um a um, terminados por `NULL`
- v
  argumentos passados em *array*
- e
  passa-se variáveis de ambiente
- p
  `filename` é nome do ficheiro executável

Sinais

Tratamento por omissão da maioria dos sinais é terminar o processo.
De certa forma, podem servir para comunicação entre processos.

A função signal

Versão simplificada do protótipo:

```
typedef void sigfunc (int);

sigfunc *signal(int signo, sigfunc *func);
```

signo: identificador do sinal para o qual se vai instalar o handler
func: handler para o sinal
Retorna: apontador para o handler anterior

Ignorar sinal

```
// Ignora sinal SIGINT (CTRL-C)
signal(SIGINT, SIG_IGN);
```

Ao ignorar o sinal SIG_CHLD, não são criados processos zombie.

Tratamento dos sinais após `fork` /exec

Após `fork`:
Tratamento dos sinais é herdado, mas pode ser alterado.

Após exec:
Tratamento é por omissão, ou ignorar se o processo que invocou exec também estiver a ignorar.

As funções `kill` e `raise`

```
// Envia um sinal ao processo pid.
int kill (pid_t pid, int signo);
```

Retorno: 0 se OK, -1 se erro

As funções `alarm` e `pause`

```
unsigned int alarm(unsigned int count);
```

Retorno: 0 se OK; -1 se ocorreu erro
Processo que invocou recebe `SIGALRM` após `count` segundos.
Se `count` = 0, algum alarme pendente é cancelado.

Funções Posix p/sinais

```
int sigaction(int signum, const struct sigaction *action,
struct sigaction *oldaction);
```

Retorno: 0 se OK; -1 se ocorreu erro

Exemplo de instalação:

```
struct sigaction action;
action.sa_handler = sigint_handler;
sigemptyset(&action.sa_mask);
action.sa_flags = 0;
sigaction(SIGINT,&action,NULL);
```

Função handler é do género:

```
void handler(int signo)
{}
```

Pipes e FIFOs

Permitem que dois processos a correr no mesmo computador enviem dados um ao outro.

Pipes vs FIFOS

Em ambos, os dados apenas podem fluir num sentido.
Os pipes têm que ser usados por processos com um antecessor comum, enquanto que no caso dos FIFOs estes não têm que ser relacionados.

Pipes

Funcionalidade:

- Criar pipe;
- Invocar `fork`;
- Escritor fecha extremidade de leitura, leitor fecha de escrita.
- Usar `write` e `read`;
- No final, fechar outras extremidades

`fd[0]` -> aberto para leitura
`fd[1]` -> aberto para escrita

```
int pipe (int fd[2]);
```

Retorno: 0 se ok, -1 se erro

Utilização

1. Enviar dados de processo para outro
2. Sincronizar dois processos (usar dois pipes)
3. Ligar stdout de um processo a stdin de outro
    - duplicar descritores de um pipe para a stdin de um processo e stdout de outro.

Funções `popen` e `pclose`

```
/*
Cria pipe entre processo que a invocou e programa a executar
*/
FILE *popen(const char *cmdstring, const char *type);
```

`cmdstring` -> programa a executar
`type` -> 'r' para leitura, 'w' para escrita

Retorna: file pointer se OK; `NULL` se houve erro

```
int pclose(FILE *fp);
```

Retorna: termination status de `cmdstring` se OK; -1 se houve erro

Estes comandos são úteis para **filtros**: um programa lê da stdin e escreve para stdout. Outro programa utiliza-o, criando um pipeline com as funções acima.

FIFOS

Tipo de ficheiro. Tem um nome e pode ser visto no sistema de ficheiros.
Pode ter vários processos a escrever nele, mas apenas 1 a ler a sua informação.
No terminal existem os seguintes utilitários:

```
mkfifo nome //criar fifo com nome

rm nome // elimina fifo com nome
ou
unlink nome
```

A API fornece as seguintes funções:

```
int mkfifo(const char *pathname, mode_t mode);
```

Retorno: 0 se OK, -1 se erro
Se FIFO existir, acontece o erro EEXIST.
Onde mode representa as permissões de acesso, em octal. Começa por 0, e os três restantes algarismos representam as permissões de leitura, escrita e execução, para o dono, grupo, outros, respetivamente.
Comummente, o seu valor é 0660.

Para manipular o fifo, usar as funções já referidas open, `close`, `read`, e `write`.

Regras:

Abertura

- Em modo `O_RDONLY`, espera que outra extremidade seja aberta para escrita, se não estiver e `O_NONBLOCK` estiver desativada.
- Em modo `O_WRONLY`, espera que outra extremidade seja aberta para leitura, se não estiver e `O_NONBLOCK` estiver desativada. Se estiver ativada, retorna -1.

Leitura/Escrita
Leitura de um pipe não aberto para escrita - retorna 0 (`eof`)
Escrita para FIFO que não está aberto para leitura - `SIGPIPE`

```
// Destrói o fifo de pathname.
int unlink (const char *pathname);
```

Nota: Quando a chamada a unlink() é executada, é apagada a sua referência do diretório correspondente e a contagem de *links* é decrementada. No entanto, o FIFO não será fisicamente apagado até que a contagem de *links* se torne 0.

Exemplo de arquitetura comunicacional:

Exemplos

Criar um FIFO

```
char * myfifo = "/tmp/myfifo"; //Path do FIFO
mkfifo(myfifo, 0660); //Criar FIFO chamado myfifo na pasta tmp
```

Threads

Criação de *threads*

```
int pthread_create (pthread_t *tid, const pthread_attr_t *attr,
void * (*func)(void *), void *arg);
```

- `tid`
  apontador para identificador do *thread* (preenchido pela função)
- `attr`
  atributos do *thread*, normalmente `NULL` (valor por defeito)
- `func`
  função executada pelo *thread*, do género:

  ```
  void* func(void* arg)
  ```

- `arg`
  apontador para argumento do *thread*

Terminação de *threads*

Quando `main` termina, *threads* criados por si também são terminados.
Mas, se terminar com chamada `pthread_exit()`, os outros *threads* continuam em execução.

```
void pthread_exit (void *status);
```

Esta chamada não retorna para o processo ou *thread* que a invocou.

Para esperar que uma *thread* termine e receber o seu código de retorno, chama-se a seguinte função:

```
// Thread bloqueia até que thread tid termine.
int pthread_join (pthread_t tid, void **status);
```

Dicas para uso de *threads*

Função da *thread* pode retornar qualquer apontador. Não esquecer de fazer `free` no final do programa.
Passagem de argumentos:
Ao criar *threads* em ciclo for, os argumentos devem ser passados através de um *array* externo:
Errado:

```
for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
   printf("Creating thread %d\n", t);
   pthread_create(&tid[t], NULL, PrintHello, &t);
}
```

O ciclo que cria os *threads* modifica o conteúdo do endereço passado como argumento possivelmente antes de o *thread* criado conseguir aceder-lhe.

Certo:

```
int thrarg[NUM_THREADS];

for(t=0;t < NUM_THREADS;t++)
{
    thrarg[t] = t;
    printf("Creating thread %d\n", t);
    pthread_create(&threads[t], NULL,
    PrintHello,
    &thrarg[t]);
    ...
}
```

Em determinadas alturas, pode ser conveniente alocar dinamicamente memória para o argumento.
Para passar vários argumentos, usar *structs*.

Para vários threads acederem ao mesmo conteúdo, este pode ser declarado com variável global, ou em região de memória partilhada.

```
// Saber o tid da própria thread : útil quando se pretende que uma thread se
torne *detached*
pthread_t pthread_self (void);
```

Para tornar uma thread *detached*, utiliza-se o serviço:

```c
int pthread_detach(pthread_t thread);
// thread é o indentificador da thread que se pretende tornar *detached*
```

Threads *detached* não são *joinable*, ou seja, é impossível esperar por elas com pthread_join().

Este tipo de threads, quando terminam, libertam todos os seus recursos, incluindo o seu valor de retorno.

Filas de Mensagens, Memória Partilhada, Semáforos, *Mutexes*, *Condition variables*

Comunicação entre Processos

Correndo na mesma máquina:

- Pipes e FIFOS
- Mensagens
- Semáforos
- Memória partilhada

Semáforos

Semáforos com nome podem ser partilhados por vários processos, sem nome por processos com acesso a memória comum.

Das seguintes funções, sem_open(), sem_close() e sem_unlink() apenas podem ser utilizadas com semáforos com nome, e sem_init() e sem_destroy() com semáforos sem nome. Todas as outras funções podem ser utilizadas por ambos os tipos de semáforos.

```c
sem_t* sem_open(char* name, int flags, mode_t mode, unsigned value);
int sem_unlink(char* name);
//Deve ser inicializado antes das threads serem criadas
int sem_init(sem_t* sem, int pshared, unsigned value);
int sem_close(sem_t* sem);
int sem_destroy(sem_t* sem);
int sem_getvalue(sem_t* sem, int* sval);
int sem_wait(sem_t* sem);
int sem_trywait(sem_t* sem);
int sem_post(sem_t* sem);
```

name deve ter '/' no início.

Exemplo:

Uma *thread*, antes de aceder a variável partilhada, executa
`sem_wait()` com o semáforo associado;
no final, executa `sem_post()` com o outro semáforo.

Memória partilhada

```c
//Retorna o descritor associado
int shm_open(const char *name, int oflag, mode_t mode);

int shm_unlink(const char *name);

/* Especifica tamanho da região de memória partilhada identificada por fd */
int ftruncate(int fd, off_t length);

/*
Junta região de memória partilhada ao espaço de enderaçamento do processo
*/
void* mmap(void *start, size_t length, int prot , int flags,
int fd, off_t offset);

/*
Inverso da chamada anterior - retira
*/
int munmap(void *start, size_t length);
```

Sincronização de threads

Mutexes

Podem ser vistos como semáforos inicializados a 1, usados para garantir exclusão mútua de secções críticas.

Sequência de utilização:

- Criar e inicializar *mutex*
- Vários threads tentam dar lock ao *mutex*
- Só um consegue
- O dono do *mutex* executa secção crítica
- Este dá unlock ao *mutex*
- Outro thread adquire *mutex* e processo é repetido
- *Mutex* é destruído

Inicialização
Preferivelmente, no *scope* global

```c
pthread_mutex_t mymutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
/* ou */
int pthread_mutex_init ( pthread_mutex_t *mutx,
const pthread_mutexattr_t *attr);
```

Lock e unlock

```c
/*
 tenta adquirir o mutex, se já estiver locked, bloqueia até que fique unlocked
*/
int pthread_mutex_lock (pthread_mutex_t *mutx);

/*
 se estiver unlocked, faz lock, senão retorna EBUSY
*/
int pthread_mutex_trylock (pthread_mutex_t *mutx);

/*
 faz unlock do mutex, retorna erro se já estiver unlocked ou se estiver na
posse de outro thread
*/
int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *mutx);

/*
 destrói o mutex
*/
int pthread_mutex_destroy (pthread_mutex_t *mutx);
```

Condition variables

Mutexes permitem sincronização no acesso aos dados, trancando-o;
Condition variables permitem sincronização com base no valor dos dados, esperando.

Sem *condition variable*s, se um programa quisesse esperar por certa condições teria que estar continuamente a testar esse valor, consumindo tempo de processador.
Com elas, não há *busy-waiting*.
Devem ser **sempre** usadas a par com *mutexes* (ver exemplo em baixo).

Inicialização
Deve ser feita antes da invocação dos *threads* (preferivelmente, no *scope* global)

```c
pthread_cond_t mycondvar = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
/* ou */
int pthread_cond_init ( pthread_cond_t *cvar,
const pthread_condattr_t *attr);
```

```c
/*
bloqueia thread até condição se assinalar, libertando o mutex associado
deve ser chamada após pthread_mutex_lock()
*/
int pthread_cond_wait (pthread_cond_t *cvar, pthread_mutex_t *mutx);

/*
assinala/acorda outro thread
*/
int pthread_cond_signal (pthread_cond_t *cvar);
/*
desbloqueia todos threads que estiverem bloqueados em cvar
*/
int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t *cvar);

/*
destrói condition variable
*/
int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t *cvar);
```

Exemplo:

```c
//Thread A
pthread_mutex_lock(&mut);
while (x != y)
    pthread_cond_wait(&var,&mut);
/* SECÇÃO CRÍTICA */
pthread_mutex_unlock(&mut);

//Thread B
pthread_mutex_lock(&mut);
/* MODIFICA O VALOR DE x E/OU y */
pthread_cond_signal(&var);
pthread_mutex_unlock(&mut);
```

Neste exemplo, a condição deve ser verificada, porque, quando a thread obtiver o mutex, poderão ter sido alterados os valores das variáveis.

Uso em processos

Mutexes e *condition variables* podem ser partilhados entre processos se forem criados em memória partilhada e inicializados com um atributo que inclua a propriedade `PTHREAD_PROCESS_SHARED`.

Funções de C

```c
// Envia output formatado para str.
int sprintf(char *str, const char *format, ...)

// Convert str em int.
int atoi(const char *str)

// Aloca memória e retorna-a.
void *malloc(size_t size)

// Liberta memória alocada previamente.
void free(void *ptr)

// Escreve para um ficheiro.
int fprintf(FILE *stream, const char *format, ...)

// Abre um ficheiro em modo 'r' ou 'w'
FILE *fopen(const char *filename, const char *mode)

// Envia str para stream
int fputs(const char *str, FILE *stream)

// Lê uma linha (ou max n chars) de stream para str.
char *fgets(char *str, int n, FILE *stream)

// Retorna tamanho de uma string
size_t strlen(const char *str)

// Adiciona src ao final de dest (deve ter espaço suficiente)
char *strcat(char *dest, const char *src)
```