
Sistemas Operativos

2025 – 2026

Modelo de programação Unix
Processos, sinais, pipes anónimos, redireccionamento

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

1

Tópicos

Funções sistema principais
Criação e gestão de processos
Execução de programas
Sinais
Redireccionamento

Bibliografia específica:

- *Fundamentos de Sistemas Operativos*; 3ª Ed.; Marques & Guedes
Capítulos 6 e 11
- *Beginning Linux Programming*; Mathew & Stones
Capítulos 10,11,12

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

2

Modelo de programação UNIX

Conceito de processo e programa

- Processos e programas são duas entidades bastante diferentes

Programa

- Trata-se de um conjunto de instruções. Descreve como o computador deve proceder para cumprir um determinado algoritmo.
- Essencialmente é apenas uma espécie de receita sem via própria

Processo

- Trata-se de um ambiente de trabalho contendo recursos necessários à execução de um programa. O programa é apenas um desses recursos.
- Cada processo tem sempre exactamente um programa, mas pode mudar o programa por outro
- Aquilo que se diz que está em execução são os processos e não os programas

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

3

Modelo de programação UNIX

Atributos de processos e programas

Programa

- Essencialmente um ficheiro executável em disco que é transferido para o interior de um processo para ser executado
- Contém instruções e valores iniciais de trabalho
- Para executar um programa é sempre necessário ter um processo

O mesmo programa pode ser executado por diversos processos em simultâneo.

- Corresponde à situação de executar um programa várias vezes em simultâneo
- Cada execução é independente uma da outra, tendo cada execução dados e evolução próprios

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

4

Modelo de programação UNIX

Atributos de processos e programas

Processo

- Conjunto de atributos e recursos
- Espaço de memória organizada em zonas específicas (código, dados, pilha, *heap*)
- Identificação (PID), Prioridade, Directoria de trabalho, etc.
- Programa em execução no processo
- Tabela de ficheiros abertos
- Muitos dos atributos do processo podem mudar ao longo da sua vida (inclusive o programa a executar)
- Um processo pode executar vários programas, um de cada vez.
 - A qualquer altura um processo pode mudar o programa por outro. O espaço de memória é adaptado ao novo programa.
- Processos diferentes podem executar o mesmo programa. Mas cada processo é independente dos restantes e as várias “cópias” do programa podem seguir caminhos e ter dados diferentes uns dos outros

DEIS/ISEC

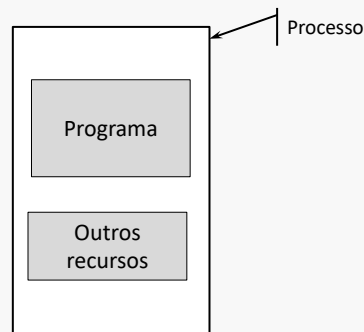
Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

5

Modelo de programação UNIX

Aspecto conceptual de um processo



- O conceito de processo e a diferença entre processo e programa aplica-se à generalidade de sistemas operativos e não apenas a Unix
- O tema de Processo vs programa será abordado novamente mais adiante

DEIS/ISEC

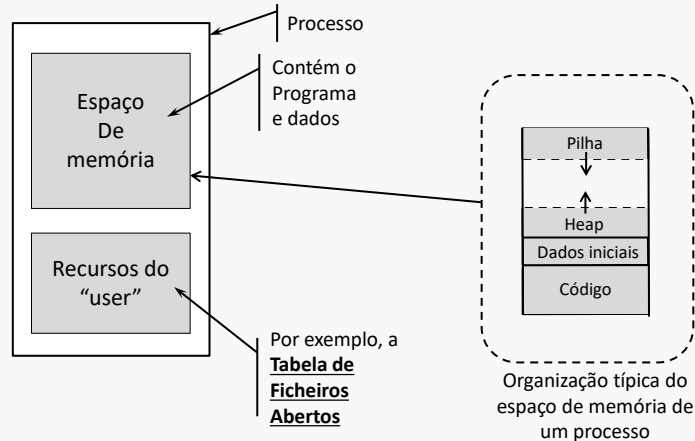
Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

6

Modelo de programação UNIX

Aspecto concreto de um processo (Unix e não só)



DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

7

Modelo de programação UNIX

Espaço de memória de um processo

Código (designado como *text* "segment")

- Contém as instruções do programa
- Normalmente marcada como só leitura para execução (não é suposto as instruções do programa mudarem)

Dados iniciais

- Contém os valores iniciais do programa.
- Exemplos: valores iniciais de variáveis globais, strings fixas (ex., o "olá mundo" em `printf("olá mundo")`), etc.
- Normalmente marcada como apenas de leitura e sem permitir execução. Nem sempre a característica de apenas-leitura é respeitada em todos os sistemas nesta zona de memória (o Unix tipicamente respeita)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

8

Modelo de programação UNIX

Espaço de memória de um processo

Heap

- Contém variáveis e blocos de memória dinâmica (por exemplo, alocadas por malloc)
- O tamanho máximo desta zona não pode ser determinado à partida: depende da execução do programa. O tamanho é dinâmico e pode ser expandido pelo sistema em caso de necessidade
- Normalmente marcada como leitura/escrita e não permite execução porque se destina a ter dados

Pilha

- Contém as variáveis locais e os endereços de retorno das funções
- O tamanho máximo desta zona não pode ser determinado à partida: depende da execução do programa. O tamanho é dinâmico e pode ser expandido pelo sistema em caso de necessidade
- Normalmente marcada como leitura/escrita e não permite execução porque se destina a ter dados (isto impede, por exemplo, ataques *stack smashing*)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

9

Modelo de programação UNIX

Espaço de memória de um processo

- As zonas de memória do processo adaptam-se ao programa que foi carregado para o processo.
- Normalmente cada zona é “marcada” com tipos de acesso específico (só leitura, execução: S/N, etc.) para aumentar a estabilidade do programa e sistema e impedir certos tipos de ataques e vírus.
- As zonas *heap* e *pilha* são dinâmicas e expandem-se consoante o necessário.
 - Expandem-se na direcção uma da outra: *heap* expande para cima (para endereços superiores) e a *pilha* para endereços inferiores
 - Desta forma encontram-se (colidam) o mais tarde possível. Tendo em atenção que não se sabe à partida qual das duas irá necessitar de mais memória, evita-se assim impor limites prévios arbitrários a cada uma – esta “colisão” apenas acontece quando efectivamente não houver mais memória disponível

O espaço de memória de processos será abordado novamente, por exemplo (mas não só) no capítulo e gestão de memória

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

10

Modelo de programação UNIX

Implementação em Linux (semelhante à dos outros sistemas)

- O sistema atribui uma zona para uso exclusivo do processo.
- Cada processo tem uma zona de memória com aspecto semelhante e com gamas de endereços iguais
- Não há *colisão de memória* entre os vários processos porque os endereços vistos por cada um **são mapeados para outros endereços pelo processador em run time** de forma a não colidirem
 - Trata-se do **mecanismo de endereçamento** virtual a ver mais adiante
 - **Endereços virtuais:** Endereços vistos pelas instruções dentro do processo
 - **Endereços reais:** endereços que realmente estão a ser usados na memória. Os processos não se apercebem desta tradução. É feita por hardware

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

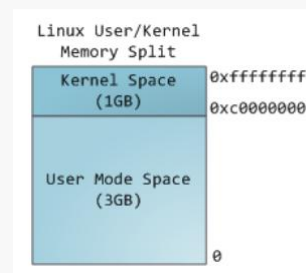
11

Modelo de programação UNIX

Implementação em Linux

Exemplo em arquitectura de 32 bits

- O conteúdo relativo ao processo fica nos endereços mais baixos.
 - Cada processo tem o seu próprio conteúdo (diferente)
 - O sistema fica mapeado no último Gb
 - Este último Gb é comum a todos os processos através de um esquema de memória partilhada simples, baseado no mecanismo de endereçamento virtual.
 - O sistema é o mesmo para todos os processos e por isso só existe uma cópia em memória
- (mais detalhes mais adiante no semestre)



DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

12

Modelo de programação UNIX

Implementação em Linux (semelhante à dos outros sistemas)

Estrutura e nomenclatura e uso das zonas de memória do processo

- **Stack** (Pilha) -> Variáveis locais não estáticas. Endereços de retorno -> **R/W**
- **Heap** -> Para uso de malloc/free (memória alocada dinamicamente) -> **R/W**
- **Text** -> Código (instruções do programa) -> **R/X**
- **BSS** (.bss) -> Variáveis **não inicializadas** (podem ser modificadas) -> **R/W**
Exemplo: variável global `int mat[10];` /* onde está o array `mat[10]` */
- **Read-Only Data** (.rodata) -> Valores das variáveis **inicializadas** no código fonte (não podem ser modificadas) -> **R**
Exemplo: `char * p = "olá mundo";` /* onde está o `"olá mundo"` */
- **Data** (.data) -> Variáveis globais e static **inicializadas** (podem ser modificadas) -> **R/W**

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

13

Modelo de programação UNIX

Implementação em Linux (semelhante à dos outros sistemas)

Estrutura e nomenclatura das zonas de memória do processo

- **Stack, Heap, BSS segment, Data, rodata, Text**

O sistema garante que as restrições de leitura/escrita/execução são cumpridas. A tentativa de uso contrário a estas permissões causa um "segmentation fault"

Estes nomes podem ser observados usando a ferramenta **objdump** (inspeciona ficheiros objectos e ficheiros executáveis)

- Esta ferramenta existe em Linux e em Windows

Esta organização também pode ser vista observando, no sistema de ficheiros:

`/proc/pid-do-processo/maps`

Esta organização é directamente transcrita do ficheiro executável

- O formato do ficheiro executável é, assim, muito importante e fortemente dependente do Sistema
- Em Linux: formato **"ELF"** (Executable and Linking Format)
- Windows: formato **"PE"** (Portable Executable) – semelhante, não igual

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

14

Modelo de programação UNIX

Criação de processos e execução de programas em Unix

Em Unix, a criação de processos e a execução de programas são duas acções distintas e independentes uma da outra

Criação de um processo.

- É feito com base na duplicação de um processo que já existente
-> Mecanismo ***fork***
- O novo processo fica com uma cópia do conteúdo do original
- O novo processo fica a executar uma cópia do programa que estava a executar no original, com o mesmo contexto e valores de variáveis (copiadas)
- No novo processo a execução do programa prossegue no ponto em que já ia no contexto do processo original.
- O processo original (*pai*) e o seu clone (*filho*) são praticamente indistinguíveis. Terão identificação distintas e podem usar essa informação para decidirem fazer coisas diferentes um do outro.

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

15

Modelo de programação UNIX

Criação de processos e execução de programas em Unix

Execução de um novo programa

- Trata-se de uma operação desencadeada a partir de um processo já existente
-> Mecanismo ***exec***
- O processo passa simplesmente a executar o novo programa, perdendo-se o anterior.
- O novo programa começa a sua execução no início (exemplo, função *main*)
- Se se quiser executar um programa novo sem perder o que já estava em execução, terá que se criar um novo processo e nele executar o programa pretendido (ou seja, *fork* + *exec*)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

16

Modelo de programação UNIX

Criação de processos

pid_t fork(void)

Cria um **processo** novo

Devolve:

-1 : houve erro

0 : contexto do processo filho

outro valor: contexto do processo pai

A criação do novo processo é feita através de uma forma otimizada baseada em partilha de memória, do mecanismo *copy-on-write* e apoiada nos mecanismos de endereçamento virtual do processador

Inicialmente os processos têm conteúdo igual e partilham a mesma zona de memória RAM. À medida que vão divergindo e tendo valores diferentes, o sistema vai duplicando a memória de forma a que cada processo tenha zonas de RAM diferentes e independentes. Isto é completamente transparente para os processos e será visto novamente no capítulo de gestão de memória

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

17

Modelo de programação UNIX

Identificação de processos

pid_t getpid(void)

Obtém identificação do processo

pid_t getppid(void)

Obtém identificação do processo pai (processo que criou o processo que invoca a função)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

18

Modelo de programação UNIX

Execução de programas

```
int execl(char * path, char * arg, ...)  
int execlp(char * file, char * arg, char * arg, ...)  
int execl_e(char * path, char * arg, ..., char * envp[])  
int execl_v(char * path, char * argv[])  
int execl_vp(char * file, char * argv[])  
int execl_ve(char * file, char * argv[], char * envp[])
```

- Executa o programa indicado no contexto do processo que invoca a função
- Em caso de sucesso não devolve nada.
- O programa em execução é substituído pelo novo. O processo e os recursos mantêm-se (exemplo, ficheiros abertos)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

19

Modelo de programação UNIX

Sincronização simples de processos

```
pid_t wait(int * status)
```

- Espera que um processo filho termine
- Armazena o *exit code* em *status*

```
pid_t waitpid(pid_t pid, int * status, int options)
```

Espera que um processo filho específico termine

pid pode ser (exemplos):

- -1 ► espera pelo primeiro processo filho que terminar
- > 0 ► espera pelo processo cujo PID é o indicado (em *pid*)

options pode ser :

- WNOHANG ► retorna imediatamente se nenhum processo filho tiver terminado
- WUNTRACED ► retorna também para processos filho que tenham sido parados

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

20

Modelo de programação UNIX

Macros para obter informação a partir do *exit status*:

`WIFEXITED(status)`

- *true* se o processo filho terminou normalmente

`WEXITSTATUS(status)`

- Obtém o valor indicado no *return* ou *exit* do processo filho (8 bits)

`WIFSIGNALED(status)`

- *true* se o processo filho terminou como resposta a um sinal

`WTERMSIG`

- Obtém o sinal que causou o término do processo filho

ETC – consultar páginas *man*

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

21

Modelo de programação UNIX - Sinais

Sinais em Unix

Existem actualmente duas formas de funcionamento de sinais

- 1) `signal/kill`
- 2) `sigaction/sigqueue`

A primeira forma é mais simples mas menos poderosa

Os sinais correspondem a um mecanismo de notificação.

- Permitem a um processo assinalar a outro que algo ocorreu
- Não são mecanismos de comunicação: não transportam informação nenhuma para além do facto que algo ocorreu (forma 2 permite passar um inteiro)
- Existem diversos sinais. Cada sinal tem um código diferente, permitindo que se possa usar sinais diferentes para objectivos diferentes

Próximos slides: forma 1) = `signal/kill`

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

22

Modelo de programação UNIX - Sinais

O mecanismo de sinais é completamente assíncrono

- O processo **A** que envia um sinal ao processo **B** fá-lo quando bem entender, não sendo necessário que o processo alvo **B** esteja previamente à espera, ou que seja acordado entre ambos uma altura para fazer o envio.
- O processo **B** que vai receber um sinal não tem que estar explicitamente à espera de um sinal. Estará simplesmente a executar o seu algoritmo e o sinal é entregue a qualquer altura (*)

Usando uma analogia com a vida real, o mecanismo de sinais é semelhante às campainhas dos prédios com duas alterações:

- Existem várias campainhas para cada apartamento, cada uma com um som diferentes (há vários sinais), e
- Não há intercomunicador – apenas campainhas (os sinais não são mecanismos de comunicação)

(*) Os sinais são detectados e entregues apenas quando a execução está a passar de código do núcleo para código do processo alvo. Cada sinal corresponde a um bit num vector: foi recebido/não foi recebido. É colocado a 1 quando é enviado e a 0 quando é recebido (não se acumulam enquanto não são tratados)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

23

Modelo de programação UNIX - Sinais

Sincronização simples de processos com sinais

typedef void (*sghandler_t)(int) ► função para tratar um sinal

sighandler_t signal(int signum, sghandler_t handler)

Associa uma função *handler* ao sinal *signum*

(Significa que o sinal vai ser *tratado* pelo programa)

Valores especiais para *handler*:

SIG_IGN – O sinal é ignorado

SIG_DFL – O sinal causa o tratamento por omissão

Devolve a situação anterior (handler) relativa a esse sinal

int kill(pid_t pid, int sig)

Envia o sinal *sig* a um processo *pid*

- Os sinais apenas são atendidos na transição de código do núcleo para código do processo. O método baseia-se na manipulação da pilha utilizador de forma a criar um registo fictício de chamada a função (a função de tratamento do sinal)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

24

Modelo de programação UNIX - Sinais

Exemplo de tratamento de sinais (programa que apanha o ^C)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
int a = 0;
void trata_sinal(int s) {
    a++; printf("ouch %d ",a); /* fflush(stdout); */
    if (a==5) { printf("até logo "); exit(0); }
}

int main() {
    setbuf(stdout, NULL);
    signal(SIGINT,trata_sinal);
    while(1) pause();
    return 0;
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

25

Modelo de programação UNIX - Sinais

Alguns dos sinais mais relevantes

Sinal	Valor	Acção por omissão
SIGHUP	(1)	Termina processo
SIGINT	(2)	termina processo
SIGQUIT	(3)	Termina processo + <i>dump core</i>
SIGKILL	(9)	Termina processo ► Não pode ser tratado
SIGALRM	(14)	termina processo
SIGUSR1	(30)	Termina processo ► Para uso do programador
SIGUSR2	(32)	Termina processo ► Para uso do programador
SIGCHLD	(20)	Ignorado

Há mais sinais – consultar páginas *man*

Nota: os números dos sinais podem variar de sistema para sistema

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

26

Modelo de programação UNIX - Sinais

Os sinais **desbloqueiam** a execução do processo que os recebem

Processo bloqueado:

- Significa que a execução do processo está parada num determinado ponto à espera de algo.
- Por exemplo: está à **espera de caracteres numa leitura desencadeada por um *scanf*** (há muitos mais exemplos)
- **Em SO, “bloqueado” não significa “encalhado” nem “crashado”.** Trata-se de uma situação temporária normal e vulgar.

A recepção de um sinal pode interromper, por exemplo

- Uma leitura de caracteres desencadeada por *scanf*
- Um operação *pause()* (aver mais adiante)
- Uma operação *sleep()* (a ver mais adiante)
- Etc.

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

27

Modelo de programação UNIX - Sinais

Interrupção de uma operação por um sinal

Como agir?

A recepção de um sinal pode interromper, por exemplo, leituras de caracteres (*scanf*), *sleep*, etc.

- Pode ser importante para o programa. O que fazer?
- O comportamento destas operações pode variar de sistema (o comportamento dos sinais pode variar)
 - É preciso ver com atenção a documentação. Exemplos:
 - *sleep* -> retorna o número de segundos que ainda faltava cumprir, o que permite repetir a operação
 - *scanf* -> retorna o número de campos lidos. Se retornar *EINTR* significa que foi interrompido
 - Havendo dúvidas, é preciso testar com um programa elaborado caso a caso para ver o comportamento

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

28

Modelo de programação UNIX - Sinais

Interrupção de uma operação por um sinal

Como agir?

Exemplo – Testar o comportamento de *scanf* na presença da receção de um sinal

- O que acontece se já tiverem sido introduzidos caracteres quando o sinal é entregue?
 - São descartados?
 - São mantidos e nada de especial acontece?
- Neste ponto é mais interessante ver como testar esta questão do que a resposta em si
- O exemplo ilustra como se pode agir em questões semelhantes. O código apresentado a seguir é o programa para testar a situação

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

29

Modelo de programação UNIX - Sinais

Exemplo: sinais a meio de interacção com utilizador (1/3)

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
int RecebeuSinal; // flag para uso do resto do programa

// função de atendimento de sinal
void atendeSinal(int snum) {
    // executa a acção assíncrona associada ao sinal
    // por exemplo, lê uma mensagem de um named pipe
    printf("\nSinal recebido. ");
    printf("\nProcessar acontecimento, ler named pipes, etc\n");
    // assinala resto do programa que foi recebido o sinal,
    // para o caso de ser relevante, usando a flag
    RecebeuSinal = 1;
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

30

Modelo de programação UNIX - Sinais

Exemplo: sinais a meio de interacção com utilizador (2/3)

```
int main(int argc, char * argv[]) {
    char buffer[50];
    int res;
    printf("\n\nPID=%d\n", getpid()); // apresenta PID
    RecebeuSinal = 0;                // Nenhum sinal recebido
    signal(SIGINT, atendeSinal);     // associa função a SIGINT

    while (1) {
        printf("Favor escrever algo (\\"fim\\" para sair)\n--> ");
        res = scanf("%s", buffer);
        printf("scanf leu isto: %s\n", buffer);
        printf("resultado do scanf = %d\n", res);
    }
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

31

Modelo de programação UNIX - Sinais

Exemplo: sinais a meio de interacção com utilizador (3/3)

```
if (RecebeuSinal == 1) {
    RecebeuSinal = 0; // reset à flag
    printf("Parece que entretanto foi atendido ");
    printf("um sinal qualquer\n");
    printf("Lamentamos a eventual confusão na ");
    printf("interface com o utilizador\n");
}
if (strcmp(buffer, "fim")==0)
    break;
}
printf("ok\n\n");
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

32

Modelo de programação UNIX - Sinais

Utilização do exemplo anterior

```
PID=2954
favor escrever algo ("fim" para sair)
--> ola
scanf leu isto: ola
resultado do scanf = 1
favor escrever algo ("fim" para sair)
--> abc
Sinal recebido. Processar acontecimento, ler named pipes, etc
def
scanf leu isto: ??????
resultado do scanf = 1
Parece que entretanto foi atendido um sinal
Lamentamos a eventual confusão na user interface
favor escrever algo ("fim" para sair)
```

Foi escrito **abcdef** seguido, mas ocorreu um sinal a meio.

Após o sinal, o **scanf** continuou. O que acontece aos caracteres já lidos?

Envio do sinal 1: com o comando kill noutra consola: `kill -s SIGINT 2954`
 2: com ^C no terminal

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

33

Modelo de programação UNIX - Sinais

Resultado testando com dois cenários

- **Cenário 1** –> O sinal é enviado através de um outro terminal com o comando kill
 - **O sinal não afetou o scanf.** Os caracteres apresentados são “abcdef”, ou sejam inclui a parte “abc” introduzida antes do sinal.
 - Quando o sinal chega, os caracteres não foram ainda passados para o programa: estão ainda sob a alçada do terminal e só passam para o programa quando o utilizador carrega em enter. Ou seja, quando o sinal chega, não há nada a dizer acerca de caracteres já introduzido pois estes ainda nem sequer chegaram ao programa.
- **Cenário 2** –> O sinal é enviado carregando em ^C
 - **O sinal afetou o scanf.** Os caracteres apresentados são “def”, ou seja a parte “abc” já introduzida perdeu-se.
 - Este sinal, corresponde ao ^C. Quando introduzido, o terminal processa-o de acordo com o comportamento canónico default, e faz duas coisas: esvazia o buffer com os caracteres que ainda estavam sob a sua alçada (ainda não tinham sido passados ao programa), e envia o sinal SIGINT ao processo. Não é o sinal que elimina os caracteres já lidos, mas sim o terminal.

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

34

Modelo de programação UNIX - Sinais

Acerca do exemplo anterior

A capacidade dos sinais de interromper algo (tarefa 1), desencadeando a execução de uma função associada ao sinal (tarefa 2) pode ser muito útil em cenários em que é necessário a um processo (aparentemente) executar duas tarefas em simultâneo.

Situação exemplo: um processo precisa de fazer em simultâneo:

- Tarefa 1: interagir com o utilizador, (exemplo, *scans* e semelhantes)
- Tarefa 2: dar atenção a mensagens provenientes de um outro processo “servidor” (exemplo, ler dados de mecanismos de comunicação inter-processo *named pipes*)

Problema: se está a fazer uma coisa, não está a fazer a outra

Como resolver isto?

-> Resolução com **sinais**: Próximos slides

Obs:

Resolução com ***select*** -> Mais adiante na matéria

Resolução com ***threads*** -> Mais adiante na matéria

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

35

Modelo de programação UNIX - Sinais

Soluções

(para quando se quer fazer mais do que uma coisa ao mesmo tempo)

Genérica e melhor:

- Usar ***threads*** (*threads* são discutidas mais adiante e depois aprofundadas em SO2)

Específica ao caso de I/O:

- Usar o mecanismo ***select*** (a ver mais adiante)

“Desenrasque”:

- Usar **sinais**: próximo slide
- “desenrasque” porque há formas melhores de resolver essa questão (as duas anteriores) e porque só funciona em sistemas onde houver sinais (Unix), e porque os sinais não são (nem deixam de ser) especificamente para esse objectivo

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

36

Modelo de programação UNIX - Sinais

Solução do cenário do slide anterior usando sinais

- Trata-se de um cenário muito semelhante ao exemplo do `scanf/sinal` apresentado atrás
- O processo **A** está a interagir com o utilizador. Quando o tal outro processo “servidor” **B** tem algo a dizer a este processo **A**, faz:
 - 1ª escreve a mensagem no tal mecanismo *named pipe*, e
 - 2ª envia um sinal ao processo **A**.O processo **A**, ao receber o sinal, executa uma função (previamente associada ao sinal) que lê a mensagem no *named pipe*, e volta ao que estava a fazer (interagir com o utilizador).

Este cenário/exemplo pode ter aplicação nos trabalhos práticos de SO. No entanto há formas melhores de fazer isto (exemplo: mecanismo ***select***)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

37

Modelo de programação UNIX – Sinais 2: `sigaction/sigqueue`

Segunda forma de lidar com sinais: `sigaction` / `sigqueue`

Podem-se usar duas outras funções para lidar com sinais:

- **`sigaction`**: define o comportamento dos sinais (em vez de **`signal`**)
- **`sigqueue`**: envia sinais (em vez de **`kill`**)

Esta forma de uso permite funcionalidade adicional:

- Configurar detalhes adicionais de comportamento dos sinais
 - Enviar um valor juntamente com o sinal
 - Saber o PID do processo que enviou o sinal
- Forma mais recente e mais portátil que `signal/kill`

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

38

Modelo de programação UNIX – Sinais → 2)

Segunda forma de lidar com sinais: sigaction/sigqueue

Função para ver/modificar comportamento associado a um sinal

```
int sigaction(int signum,
              const struct sigaction *act,
              struct sigaction *oldact);
```

signum
Sinal a tratar

struct sigaction * act
Ponteiro para estrutura que descreve o que fazer com o sinal (como passa a ser tratado o sinal)

struct sigaction * oldact
Ponteiro para estrutura que é preenchida com a descrição de como era feito o tratamento do sinal

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

39

Modelo de programação UNIX – Sinais → (2)

Estrutura sigaction

```
struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int);
    void (*sa_sigaction)(int, siginfo_t *, void *);
    sigset_t sa_mask;
    int sa_flags;
    void (*sa_restorer)(void);
};
```

Parâmetro	Significado
handler	Ponteiro para a função que atende o sinal, na forma void func(int)
sigaction	Ponteiro p/ função que atende o sinal, forma: void func (int, siginfo_t *, void *)
-->	Apenas um destes ponteiros deve estar definido (é uma union)
sa_mask	Bit mask com os sinais que ficam bloqueados durante o atendimento
sa_flags	Exemplo: SA_NODEFER (não bloquear o sinal durante o atendimento)
sa_restorer	Uso reservado. Não é para uso da aplicação

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

40

Modelo de programação UNIX – Sinais → (2)

Segunda forma de lidar com sinais: sigaction/sigqueue

Função para enviar um sinal

```
int sigqueue(pid_t pid, int sig, const union sigval value);
```

pid

PID do processo alvo

sig

Sinal a enviar

value

Valor a passar ao processo alvo juntamente com o sinal

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

41

Modelo de programação UNIX - Sinais

Segunda forma de lidar com sinais: sigaction

```
union sigval {  
    int    sival_int;  
    void *sival_ptr;  
};
```

Trata-se de uma **union**: os campos estão sobrepostos

-> Ou se usa um campo, ou se usa o outro

O programador envia ou um inteiro, ou um ponteiro

- O significado do valor é o programador que o decide.
 - > **Nota** (no caso de se enviar um ponteiro): **um ponteiro só tem significado no contexto do processo onde esse ponteiro foi obtido**
 - > O uso do ponteiro tem a ver com ser **um tipo de dados genérico** (como o void) e não é propriamente para “apontar”

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

42

Modelo de programação UNIX – Sinais → 2)

Segunda forma de lidar com sinais: sigaction/sigqueue

Função para atender um sinal

```
void funcao(int sig, siginfo_t * siginfo, void * ucontext)
```

pid

Sinal recebido

siginfo

Ponteiro para estrutura siginfo_t com informação acerca do sinal recebido

ucontext

Ponteiro para estrutura ucontext_t com informações de baixo nível acerca do contexto do processo (estado interno do processo, incluindo valores dos registos do processador salvaguardados, máscara dos sinais, etc.)

-> ucontext.h para ver os campos (dependem da implementação do sistema)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

43

Modelo de programação UNIX - Sinais

Estrutura siginfo_t (os campos mais úteis estão assinalados)

```
typedef struct {  
    int si_signo;    -> número do sinal  
    int si_code;     -> Informação extra acerca do sinal  
    union sigval si_value; -> valor enviado com o sinal  
    int si_errno;    -> = errno (normalmente não usado em Linux)  
    pid_t si_pid;    -> PID de quem enviou o sinal  
    uid_t si_uid;    -> UID (User ID) do processo que enviou o sinal  
    void *si_addr;   -> (SIGBUS/SGSEV/SIGILL/SIGFPE) endereço onde foi  
                        originado o problema que causou o sinal  
    int si_status;   -> (SIGCHLD) Código do sinal enviado ao filho  
    int si_band;     -> Código de evento de controlo de I/O  
} siginfo_t;
```

Esta estrutura tem mais campos consoante as diversas implementações do sistema

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

44

Modelo de programação UNIX - Sinais

Informação em `si_code` (excerto)

Geral

SI_ASYNCIO	Completion of an asynchronous I/O (AIO) operation
SI_KERNEL	Sent by the kernel (e.g., a signal from terminal driver)
SI_MSGQ	Message arrival on POSIX message queue (since Linux 2.6.6)
SI_QUEUE	A realtime signal from a user process via <code>sigqueue()</code>
SI_SIGIO	SIGIO signal (Linux 2.2 only)
SI_TIMER	Expiration of a POSIX (realtime) timer
SI_TKILL	A user process via <code>tkill()</code> or <code>tgkill()</code> (since Linux 2.4.19)
SI_USER	A user process via <code>kill()</code> or <code>raise()</code>

Para SIGCHLD

CLD_CONTINUED	Child continued by SIGCONT (since Linux 2.6.9)
CLD_DUMPED	Child terminated abnormally, with core dump
CLD_EXITED	Child exited
CLD_KILLED	Child terminated abnormally, without core dump
CLD_STOPPED	Child stopped
CLD_TRAPPED	Traced child has stopped

SIGFPE

FPE_FLTDIV	Floating-point divide-by-zero
FPE_FLTINV	Invalid floating-point operation

ETC -> ver man pages

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

45

Modelo de programação UNIX - Sinais

signal/kill vs. sigaction/sigqueue

- **sigaction/sigqueue é mais recente e mais versátil**
 - Em princípio será mais vantajoso usar o API mais recente `sigqueue/sigaction`
 - **O comportamento não é exactamente igual entre ambos**
 - Isto deve-se ao facto das *flags default* em `sigaction()` não corresponderem ao comportamento *default* em `signal()`
- Exemplo:
- O exemplo do comportamento de `scanf` apresentado atrás tem um resultado diferente se for usado `sigaction()` em vez de `signal()`. Com `sigaction()` o `scanf` é mesmo interrompido e os caracteres anteriormente lidos perdem-se
 - No entanto, este comportamento pode ser configurado de forma a ficar igual ao que se tem com `signal`. Basta especificar a flag `SA_RESTART` no campo `sa_flags`
 - Em conclusão: `sigaction` é mais versátil e permite especificar melhor o comportamento desejado

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

46

Modelo de programação UNIX - Sinais

Funções relacionadas com o mecanismo de sinais

int pause(void)

- Aguarda que o processo receba um sinal

Esta função pode ser usada para sincronização simples entre dois processos. Um processo **A** que dependa de uma determinada acção **x** por parte de outro processo **B** poderá invocar **pause()**, ficando adormecido. O processo **B**, após concluir a acção **x**, enviará um sinal ao processo **A**, acordando-o.

Importante: a função **pause()** faz com que o processo que a invocou fique adormecido (o termo correcto é “bloqueado”). O processo não fará mais nada até receber um sinal, altura em que prosseguirá normalmente

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

47

Modelo de programação UNIX - Sinais

Funções relacionadas com o mecanismo de sinais

unsigned int alarm(unsigned int seconds)

- Faz com que seja enviado um sinal SIGALRM ao processo que invoca a função dentro de *seconds* segundos.
- Retorna o número de segundos que ainda faltavam referentes a um eventual pedido de alarme anterior (0 se nenhum)
- Após a invocação, o processo prossegue a sua execução normalmente

Esta função pode ser usada para construir um mecanismo de despertador. Um processo **A** pretende ser notificado quando se tiver passado **x** segundos, mas precisa de fazer várias acções e não quer ficar adormecido (“bloqueado”) durante esses **x** segundos.

- Ao invocar a função **alarm()**, o sistema vai enviar-lhe um sinal SIGALRM passados esses **x** segundos, durante os quais o processo prossegue a sua actividade normal.
- Em princípio, o processo terá associado uma função à recepção do sinal para efectuar algo no final dos **x** segundos

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

48

Modelo de programação UNIX - Sinais

Funções relacionadas com o mecanismo de sinais

`unsigned int sleep(unsigned int seconds)`

- Faz com que o processo adormeça (não executa) até que um sinal chegue ou que o número de segundos especificado passe
- Retorna o número de segundos que ainda faltavam no caso do *sleep* ter sido interrompido (por exemplo, pela receção de um sinal)

Esta função pode ser usada para concretizar pausas de duração conhecida. Tal como a generalidade dos restantes mecanismos “bloqueantes”, a pausa pode ser interrompida pela receção de um sinal

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

49

Modelo de programação UNIX – Sinais - Implementação

A informação acerca do estado e configuração dos sinais faz parte de cada processo

Isto significa que:

fork → O novo processo “herda” a configuração de sinais feita pelo processo pai (o processo filho obtém uma cópia da informação relativa aos sinais existente no processo pai)

exec → O processo adquire o comportamento *default* para cada sinal uma vez que as funções de atendimento eventualmente programadas deixaram de existir (o código anterior foi substituído por outro)

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

50

Modelo de programação UNIX – Sinais - Implementação

Implementação do atendimento de sinais

- Cada processo tem uma tabela de *flags de sinais*. Para cada sinal (SIGINT, SIGALRM, SIGUSR1, etc.) existe a informação “sinal chegou / sinal não chegou”. É um bit: sim/não chegou. Não indica quantas vezes chegou “entretanto” um sinal.
- A flag é colocada a 1 quando o sinal é enviado ao processo, e colocada a 0 quando o sinal é atendido.
- Os sinais não acumulam: a informação respeitante a cada sinal é apenas chegou/não chegou (1 *flag* por cada sinal). Se um processo enviar muitos sinais iguais repetidos enquanto o processo alvo não está a executar, este apenas terá a percepção de um sinal X

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

51

Modelo de programação UNIX – Sinais - Implementação

Implementação do atendimento de sinais

- Os sinais são verificados (e atendidos, se for essa a configuração) quando a execução está a **regressar do sistema para dentro do código do processo**

Exemplos

- Retorno de uma função sistema
- Reposição do processo após preempção pelo sistema

Regresso ao código do processo:

- **Situação normal** (sem sinais a atender): o regresso ao código do processo limita-se a saltar para o endereço onde este estava quando perdeu a execução
- **Situação com um sinal associado a uma função**: O sistema “falsifica” uma chamada à função manipulando a pilha do processo. Detalhes -> próximo slide

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

52

Modelo de programação UNIX – Sinais - Implementação

Implementação do atendimento de sinais

Como é feita a invocação da função de atendimento do sinal no contexto do processo alvo do sinal, não havendo nenhuma chamada explícita feita pelo programador :

Ao regressar do sistema para dentro do processo o sistema faz:

- Coloca na pilha do processo um registo “artificial” referente ao endereço onde o processo estava actualmente.
- O sistema salta para o endereço da função de atendimento e não para o endereço onde o processo estava.
- Quando função de atendimento termina, a sua instrução final “RET” naturalmente retira o endereço da pilha que corresponde ao ponto onde o processo ia e a execução passa para esse ponto *tal e qual como se a função tivesse sido chamada explicitamente a partir desse ponto*

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

53

Modelo de programação UNIX – Sinais

Notas

O comportamento de sinais pode variar de versão de Unix para versão de Unix

(Nota: os vários Linuxes são todos a mesma versão de Unix)

O uso de *signal/kill* em vez de *sigaction/sigqueue* pode fazer variar alguns pormenores do seu funcionamento

-> É importante testar estes aspectos em pequenos programas de *prova-de-conceito*

Desafio

(foi falado na aula, portanto é mais **revisão** que outra coisa)

-> O que acontece ao atendimento de sinais quando

- é feito `fork()`

- é feito `execxx()`

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

54

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento de input/output

- Entre um programa e um ficheiro
- Entre dois programas

O assunto de redireccionamento envolve os seguintes assuntos

- Funcionamento de ficheiros em Unix
- Funcionamento das funções de entrada e saída em Unix
- Tratamento de input/output standard
- Pipes anónimos

Este tópico está fortemente relacionado com os seguintes assuntos

- Processos em Unix e tabela de ficheiros abertos
- Percurso das operações de I/O desde as funções biblioteca até ao sistema
- Mecanismo *fork*
- Mecanismo *exec*

Os slides seguintes abordam este assunto e no final apresentam três exemplos

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

55

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Funcionamento de ficheiros em Unix

Tabela de ficheiros abertos

- Cada processo em Unix tem uma **tabela de ficheiros abertos**
- Cada posição nessa tabela contém um **descriptor**. Este descriptor tem a informação de controlo acerca do uso do ficheiro (modo de abertura, posição actual no ficheiro etc.)
- Tudo o que o programa precisa de fazer para operar sobre um ficheiro é referir a posição nesta tabela que controla o ficheiro em questão. O sistema irá buscar a essa posição os dados que precisa.
- A função de abertura de ficheiro é responsável por colocar na tabela (primeira posição livre) a informação de controlo acerca do ficheiro
- O programador geralmente não interage directamente com a tabela de ficheiros abertos.

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

56

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Funcionamento de ficheiros em Unix

Funções de manipulação de ficheiros

-> Funções biblioteca standard C

- *fopen, fclose, fread, fwrite, etc* (com "f")
- Usam FILE * para identificar o ficheiro em causa
- Estas funções usam internamente as funções sistema.

-> Funções sistema Unix para manipulação de ficheiros

- *open, close, read, write, etc* (sem "f")
- São semelhantes às funções biblioteca C.
- Todo o acesso a ficheiros **passa obrigatoriamente** por estas funções
- Uma diferença muito visível é o facto de usarem um **inteiro** para identificar um ficheiro em vez de um FILE *
- **Esse inteiro é simplesmente o índice (posição) dentro da tabela de ficheiros abertos do processo.**

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

57

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Funcionamento de ficheiros em Unix

Funções de manipulação de ficheiros

-> Funções biblioteca standard C

- O uso de *fwrite* (exemplo) implica internamente o uso da função sistema *write*
- *printf* e *scanf* são operações de entrada/saída: passam necessariamente pelo uso das funções de manipulação de ficheiros
- *Exemplo: printf --> fprintf --> fwrite --> write*
 - Neste caso, a função *printf* desencadeia o uso de um ficheiro: **stdout** trata-se do pseudo-ficheiro que corresponde ao dispositivo "standard output" (consola). Este ficheiro está sempre na posição **1** da tabela de ficheiros abertos, identificado por **STDOUT_FILENO**
 - De igual forma, *scanf* (usando **stdin**) implica uma operação **read** sobre o pseudo-ficheiro na posição **0** ou **STDIN_FILENO** que deve estar sempre na posição **0** da tabela de ficheiros abertos

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

58

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento – Ideia base

- `printf` traduz-se em operações `write` sobre o ficheiro descrito pela **posição 1** da tabela de ficheiros abertos do processo
- `scanf` traduz-se em operações `read` sobre o ficheiro descrito pela **posição 0**

O que acontece se se modificar o conteúdo das posições 0 e 1 da tabela de ficheiros abertos de forma a “apontar” para outros ficheiros?

- As operações `read` e `write` (relativas aos `scanf` e `printf`) serão desviadas (“redireccionadas”) para os ficheiros em vez de teclado/ecrã
- Esta ideia corresponde ao redireccionamento tal como em (exemplos)
 - `ls > etc.txt`
 - `sort < abc.txt`
- Também se pode redireccionar a saída de erro standard (`stderr`), cujo descritor corresponde à posição 2 (`STDERR_FILENO`) da tabela de ficheiros abertos

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

59

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento para ficheiros – Concretização

->> Substituir os descritores na tabela de ficheiros abertos correspondentes às posições *stdin* (posição 0 = `STDIN_FILENO`) e *stdout* (posição 1 = `STDOUT_FILENO`) por descritores para outro destino

- Os novos descritores pode referir ficheiros regulares ou mecanismo que seja compatível com a ideia de ficheiro (exemplo, pipes)
- Tudo o que é necessário é que os descritores estejam nas posições standard (0 para *stdin*, 1 para *stdout*, 2 para *stderr*)
- Exceptuando eventuais pormenores de sincronização, as operações iniciadas pelos `printf/scanf` continuam válidas apesar de terem sido redireccionadas para outros destino

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

60

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento para ficheiros – CONcretização

Redireccionamento feito pela *Shell* na linha de comandos:

->>A substituição dos descritores é feita pela *Shell* antes de lançar a execução do comando alvo do redireccionamento, e já dentro do contexto do processo criado para a sua execução (para não afectar as operações d I/O da própria *Shell*)

- Essa substituição ocorre **depois do fork** e **antes do exec**, na sequência habitual de acções da *shell* no lançamento de um comando
 - Depois do **fork**, já no processo filho -> de forma a não afectar a tabela de ficheiros abertos da própria *shell* (o redireccionamento é apenas para o comando em questão)
 - Depois do **fork**, já no processo filho mas antes do **exec**, no processo filho -> a invocação de **exec** substitui o código pelo do programa a executar mas o processo é o mesmo e mantém-se e a tabela de ficheiros: o novo código irá usar a tabela com a alteração feita e o redireccionamento é transparente para o programa executado

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

61

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento para ficheiros

Exemplo para redireccionamento de stdin (exemplo: **sort < abc.txt**)

- No contexto da *shell*, processo filho

```
close(STDIN_FILENO); // liberta posição 0 (stdin)
open("abc.txt", O_RDONLY); // abre o ficheiro (fica na pos. 0)
execlp("sort", "sort", NULL); // executa o programa ls
```

Exemplo para redireccionamento de stdout (exemplo: **ls > fich.txt**)

- No contexto da *shell*, processo filho

```
close(1); // liberta posição 0 (stdout)
open("fich.txt", O_WRONLY); // abre o ficheiro (fica na pos. 1)
execlp("ls", "ls", NULL); // executa o programa sort
```

Nota: podem-se usar ambos os redireccionamentos em simultâneo

É com que acontece com, por exemplo: **sort < abc.txt > ord.txt**

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

62

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento entre programas com *pipes* anónimos

O redireccionamento entre dois programas (exemplo: `ls | sort`) é mais complexo do que o redireccionamento para ficheiros. No entanto, o mecanismo básico é o mesmo

- Usa-se um mecanismo de comunicação entre processos: **pipe anónimo**
- Um pipe anónimo comporta-se como dois ficheiros e produz **dois descritores** de ficheiros abertos: num escreve-se (extremidade de escrita) e no outro lê-se aquilo que foi escrito (extremidade de leitura)
- Num processo redirecciona-se o output (stdout) para a extremidade de escrita do pipe
- No outro processo redirecciona-se o input (stdin) para a extremidade de leitura do mesmo pipe
- Assim, aquilo que um processo escreve (stdout) é conduzido para a entrada (stdin) do outro processo.

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

63

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento entre programas com *pipes* anónimos

Lógica geral (assumir exemplo: `ls / sort`)

- A shell irá criar dois processos: um para um processo (exemplo: `ls`), outro para o segundo processo (exemplo: `sort`)
- Antes de criar ambos é necessário criar um pipe.
- Após a criação de cada filho, e já no contexto de cada filho é feita a substituição dos descritores na tabela de ficheiros abertos

O slide seguinte acrescenta os pormenores

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

64

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento entre programas com *pipes* anónimos

- *Antes de criar ambos é necessário criar um pipe.*
 - Este passo cria na tabela de ficheiros abertos dois descritores: uma para a extremidade de leitura e outro para a extremidade de escrita
 - Este passo é feito antes da criação dos filhos para que ambos herdem a tabela de ficheiros já com os descritores para o pipe e assim tenham visibilidade sobre o pipe. *Esta é a única forma de partilhar o pipe anónimo em ambos os processos dado que este mecanismo não tem um identificador associado*
- *Após a criação de cada filho, e no contexto de cada filho:*
 - No processo que escreve (exemplo: ls), redirecciona-se o stdout para a extremidade de escrita do pipe. Isto corresponde a mover (com a função **dup**) o descritor do pipe para a posição do stdout na tabela de ficheiros abertos. Isto é feito antes do exec
 - No processo que escreve redirecciona-se o stdin para a posição do stdin de forma análoga

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

65

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento entre programas com *pipes* anónimos

Código exemplo (assumir exemplo: *ls* / *sort*)

Antes de criar ambos os filhos

```
int mat[2]; // matriz para os descritores das extremidades do pipe
pipe(mat); // cria o pipe.
           // mat[0] --> descritor do lado de leitura
           // mat[1] --> descritor do lado de escrita
// ... fork

// a matriz é preenchida com os índices na tabela de ficheiros abertos
// onde foram colocados os descritores das extremidades do pipe
// filhos herdam a tabela de descritores => herdam o acesso ao pipe
// assim podem comunicar um com o outro através desse pipe
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

66

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento entre programas com *pipes* anónimos

Código exemplo (assumir exemplo: *ls* / *sort*)

No contexto do processo filho “que escreve” (exemplo = para executar o *ls*)

```
close(1); // liberta posição de stdout (pos. 1 = STDOUT_FILENO)
dup(mat[1]); // duplica extremidade de escrita do pipe para pos. 1
close(mat[1]); // fecha extremidade de escrita porque já foi duplicada
close(mat[0]); // fecha extrem. de leitura do pipe porque não a vai usar
//execlp("ls", "ls", NULL);
```

- Deve ser usado e STDIN_FILENO em vez de 0 e STDOUT_FILENO em vez de 1
 - (este slide e seguinte não o fazem por razões de espaço)
- **dup()** é necessário para duplicar o descritor colocando a cópia na posição recém libertada pelo close() anterior, ficando na posição standard esperada
 - **Evitar o recurso a dup2()** pois oculta parte do funcionamento desta matéria

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

67

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Redireccionamento entre programas com *pipes* anónimos

Código exemplo (assumir exemplo: *ls* / *sort*)

No contexto do processo filho “que lê” (exemplo = para executar o *sort*)

```
close(0); // liberta posição de stdin (pos. 0 = STDIN_FILENO)
dup(mat[0]); // duplica extremidade de leitura do pipe para pos. 0
close(mat[0]); // fecha extremidade de leitura porque já foi duplicada
close(mat[1]); // fecha extrem. de escrita do pipe porque não a vai usar
//execlp("sort", "sort", NULL);
```

Slides seguintes: código dos exemplos mostrados na aula com a máquina linux

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

68

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Exemplo 1 (print2file.c) – Encaminha os seus “printfs” para um ficheiro

```
int main(int argc, char * argv[]) {
    int f;
    if (argc<3) {
        printf("\n\nfaltam parâmetros: texto ficheiro\n\n");
        exit(1);
    }
    close(STDOUT_FILENO);
    f = open(argv[2], O_WRONLY | O_CREAT,
             S_IRWXU | S_IRGRP | S_IROTH);
    if (f==-1) {
        perror("\n\nnão foi possível criar o ficheiro");
        exit(2);
    }
    printf("%s\n", argv[1]);
    return 0;
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

69

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Exemplo 2 (send2file.c) – Encaminha “printfs” de outro programa p/ fich.

```
int main(int argc, char * argv[]) {
    int f;
    if (argc<3) {
        printf("\n\nfaltam parâmetros\n\n"); exit(1);
    }
    close(STDOUT_FILENO);
    f = open(argv[2], O_WRONLY | O_CREAT,
             S_IRWXU | S_IRGRP | S_IROTH);

    if (f==-1) {
        printf("\n\nnão foi possível criar o ficheiro");
        exit(2);
    }
    execlp(argv[1],argv[1],NULL);
    perror("\n\ncomando não encontrado ");
    close(f);
    return 3;
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

70

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Exemplo 3 (send2exe.c) – Encaminha stdout (“printfs”) de um programa para stdin (“scanfs”) de outro programa

Parte 1

```
int main(int argc, char * argv[]) {
    int fpid;
    int mat[2];
    if (argc<3) {
        printf("\n\nfaltam parâmetros\n\n"); exit(1);
    }
    if ( pipe(mat) == -1 ) {
        printf("\n\nnão foi possível criar o pipe\n\n"); exit(2);
    }

    fpid = fork();
    if (fpid==-1) {
        printf("\nfork falhou\n\n"); exit(3);
    }

    // filho criado. A seguir: fazer o redir pai -> filho
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

71

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Exemplo 3 (send2exe.c) – parte 2

```
if (fpid > 0) { // PAI - vai executar programa que escreve
    close (STDOUT_FILENO); // liberta stdout: STDOUT_FILENO=1
    dup(mat[1]); // duplica mat[1] (write) p/ lugar libertado
    close(mat[1]); // fecha este pq trabalha com o duplicado
    close(mat[0]); // fecha lado entrada pq n vai usar no pai
    execlp(argv[1], argv[1], NULL);
    // ocorreu erro
    perror("\n\nprograma 1 não encontrado : ");
}
```

DEIS/ISEC

Sistemas Operativos – 2025/26

João Durães

72

Modelo de programação UNIX – Redireccionamento

Exemplo 3 (send2exe.c) – parte 3

```
if (fpid == 0) { // FILHO - vai executar programa que le
    close(STDIN_FILENO); // liberta stdin: STDOUT_FILENO = 1
    dup(mat[0]); // duplica mat[0] (read) p/ lugar libertado
    close(mat[0]); // fecha este pq trabalha com o duplicado
    close(mat[1]); // fecha lado saída pq não vai usar no pai
    execlp(argv[2], argv[2], NULL);
    // ocorreu erro
    perror("\n\nprograma 2 não encontrado : ");
}

return 4;
}
```

->> Nota: este exemplo não é representativo da Shell no sentido que o processo pai se “sacrifica” para executar o código do programa 1