SISTEMAS OPERACIONAIS

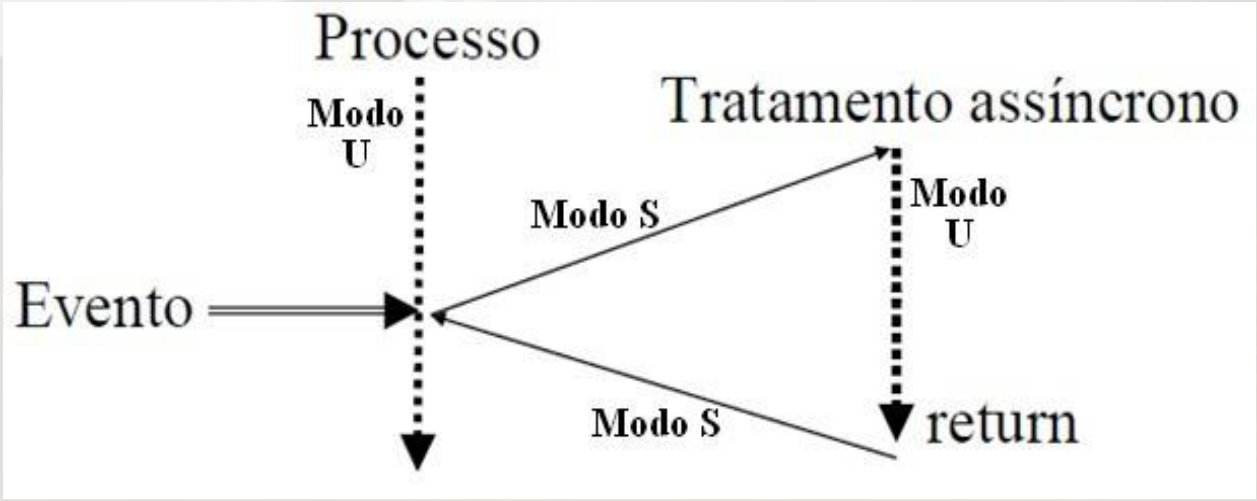
Sinais

Modelo de Eventos (1)

- Os processos de nível usuário interagem com o kernel por meio de chamadas de sistema. Essas caracterizam-se por serem síncronas. Entretanto, acontecimentos esporádicos, assíncronos, designados por eventos , levam à necessidade do kernel interagir com o usuário. Por exemplo:
  - Situações criadas pelo usuário (ex: término de um temporizador/alarmes, acionamento de uma combinação de teclas/Ctrl-C)
  - Situações geradas por determinadas chamadas ao sistema (ex: término de um processo filho gera um aviso ao processo pai)
- Uma (má) alternativa seria obrigar todos os programas a verificar periodicamente a ocorrência dessas situações.
  - Codificação pelos projetistas e queda do desempenho.
- Uma outra alternativa seria criar processos para ficar à espera desses eventos.
  - Abordagem penalizante, pois o número de eventos é elevado.

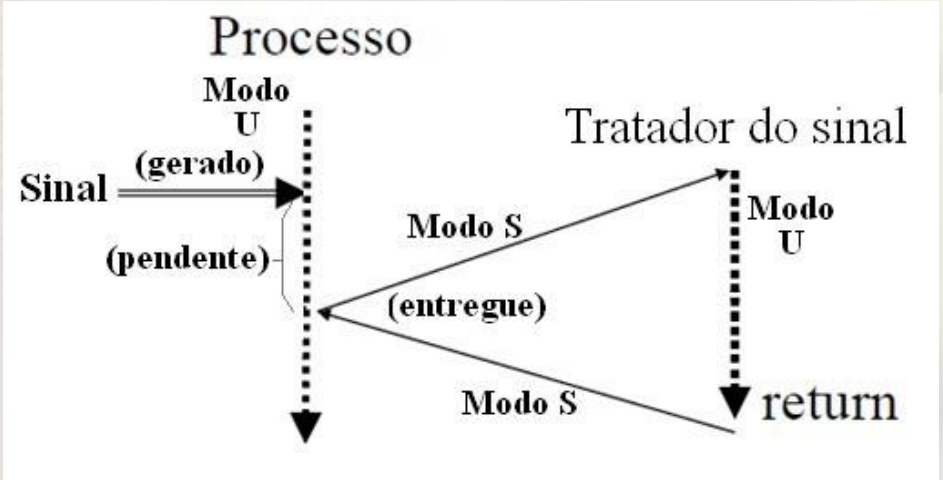
Modelo de Eventos (2)

- A ideia, então, é associar uma rotina para tratar o evento.
  - (i) Quando o evento ocorre, passa-se de modo U (usuário) para S (supervisor), i.e., modo Kernel. A execução do processo é interrompida e, em modo S, os registradores são salvos. Depois, retorna-se a modo U, e a rotina p/ tratar o evento é executada.
  - (ii) Quando a rotina termina, regressa-se ao modo S para restabelecer os registradores. Por fim, o processo continua a execução na instrução seguinte em modo U.



Modelo de Sinais do Unix (1)

- No Unix, um sinal é uma notificação de software a um processo informando a ocorrência de um evento.
  - OBS: interrupção = notificação de hardware.
- Neste modelo, um sinal é **gerado** pelo S.O. quando o evento que causa o sinal acontece
  - Término de um temporizador: sinal SIGALRM é gerado.
  - Acionamento de CTRL-C: sinal SIGINT é gerado.
- Um sinal é **entregue** quando o processo reage ao sinal, ou seja, executa alguma ação baseada no sinal (ele executa um tratador do sinal – *signal handler*).
- Um sinal é dito estar **pendente** se foi gerado mas ainda não entregue.
- OBS: O tempo de vida de um sinal (*signal lifetime*) é o intervalo entre a geração e a entrega do sinal.



Modelo de Sinais do Unix (2)

- Na entrega de um sinal, pode ocorrer:
  - **Tratamento default:** (definido pelo kernel)
  - **Capturado**: neste caso, é executada a função definida no tratador do sinal definido pelo usuário.
  - **Ignorado**: neste caso, nada acontece. Funciona para todos os sinais (exceto para os sinais SIGKILL e SIGSTOP).

- No Unix, para definir um tratador de sinal: chamadas de sistema `signal()`, `sigalarm()` ou `sigaction()`. Essas chamadas podem:
  - Definir uma rotina escrita pelo usuário (neste caso, o sinal é capturado).
  - Definir uma rotina default (SIGDFL).
  - Ignorar o sinal (SIGIGN).
  - Obs: Nos eventos SIGKILL e SIGSTOP é sempre executada a ação default, eles não podem ser capturados pelo usuário

Tipos de Sinais (1)

- O Unix define códigos para um número fixo de sinais (64 no Linux), de tipo int. Cada um desses sinais é caracterizado por um nome simbólico iniciado com SIG e podem ser consultados em diversos locais
  - Arquivo /usr/include/signal.h … Manual man 7 signal
- O usuário não pode definir novos sinais, mas o Unix disponibiliza dois sinais (SIGUSR1 e SIGUSR2) para o utilizador usar como bem entender.
- Alguns sinais são gerados em condições de erro (ex: SIGFPE ou SIGSEGV), enquanto outros são gerados por chamadas específicas do S.O., como `alarm()`, `abort()` e `kill()`.
- Sinais também são gerados por comandos *shell* (comando kill). Além disso, certos eventos gerados no código dos processos dão origem a sinais, como erros de pipes.

Tipos de Sinais (2)

Nome	Descrição	Origem	Ação *Default*
SIGABRT	Terminação anormal	abort()	Terminar
SIGALRM	Alarme	alarm()	Terminar
SIGCHLD	Filho terminou ou foi suspenso	S.O.	Ignorar
SIGCONT	Continuar processo suspenso	S.O. shell (fg, bg)	Continuar
SIGFPE	Excepção aritmética	hardware	Terminar
SIGILL	Instrução ilegal	hardware	Terminar
SIGINT	Interrupção	teclado (^C)	Terminar
SIGKILL	Terminação (*non catchable*)	S.O.	Terminar
SIGPIPE	Escrever num *pipe* sem leitor	S.O.	Terminar
SIGQUIT	Saída	teclado (^|)	Terminar
SIGSEGV	Referência a memória inválida	hardware	Terminar
SIGSTOP	Stop (*non catchable*)	S.O. (shell - stop)	Suspender
SIGTERM	Terminação	teclado (^U)	Terminar
SIGTSTP	Stop	teclado (^Y, ^Z)	Suspender
SIGTTIN	Leitura do teclado em *backgd*	S.O. (shell)	Suspender
SIGTTOU	Escrita no écran em *backgd*	S.O. (shell)	Suspender
SIGUSR1	Utilizador	de 1 proc. para outro	Terminar
SIGUSR2	Utilizador	idem	Terminar

Observações

- Depois de um fork() o processo filho herda as configurações de sinais do pai
- Depois de um exec() sinais previamente ignorados permanecem ignorados mas os tratadores instalados (para sinais capturados) são resetados, voltando ao tratador default.
- Portabilidade
  - O padrão POSIX 1003.1 define a interface, mas não regulariza a implementação.
  - SVR2: mecanismo pouco confiável (defeituoso) de notificação de sinais
  - 4.3BSD: mecanismo robusto, mas incompatível com a interface SV
  - SVR4: compatível com POSIX, incorporou várias características do BSD. É compatível com versões mais antigas de SV.
- Banda limitada:
  - Apenas 32 sinais no SVR4 e 4.3BSD, e 64 no AIX e Linux.
- Podem ser usado como mecanismo de comunicação?
  - Sinais são caros porque o emissor tem que fazer syscall.
  - Com exceção de SIGCHLD, sinais não são empilhados.

Geração de Sinais

- Exceções de hardware
  - Ex: uma divisão por zero gera o sinal SIGFPE, uma violação de memória gera o sinal SIGSEGV.
- Condições de software
  - Ex: o término de um temporizador criado com a função `alarm()` gera o sinal SIGALRM.
- A partir do shell, usando o comando <kill>
  - Ex: %kill -USR1 1234 (envia o sinal SIGUSR1 para o processo cujo PID é 1234)
- Usando a função kill()
  - Ex: `if (kill(3423,SIGUSR1)==-1) perror("Failed to send the SIGUSR1 signal");`
- Por meio de uma combinação de teclas (interrupção via terminal)
  - Ex: Crtl-C=INT (SIGINT), Crtl-|=QUIT (SIGQUIT), Crtl-Z=SUSP (SIGTSTP), Crtl-Y=DSUSP (SIGCONT)
  - OBS: o comando *stty* –a lista as características do device associado com o stdin. Dentre outras coisas, ele associa sinais aos caracteres de controle acima listados.
- No controle de processos
  - Ex: Processo background tentando escrever no terminal gera o sinal SIGTTOU, que muda o estado do processo para STOPPED.

Enviando Sinais: O Comando kill()

- O comando kill permite o envio de sinais a partir do shell.
- Formato:
  - <kill –s pid>
- Exemplos:
  - %kill –9 3423
  - %kill –s USR1 3423
  - %kill –l (lista sinais disponíveis)
- Valores numéricos de sinais:
  - SIGHUP(1),SIGINT(2),SIGQUIT(3),SIGABRT(6),SIGKILL(9), SIGALRM(14), SIGTERM(15)

Enviando Sinais: a SVC kill()(1)

- A função `kill()` é usada dentro de um programa para enviar um sinal para outros processos.

```
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>
int kill(pid_t pid, int sig);
```

- O 1º parâmetro identifica o processo alvo, o segundo indica o sinal.
  - Se pid>0: sinal enviado para processo indicado por PID
  - Se pid=0: sinal enviado para os processos do grupo do remetente.
  - Se pid=-1: sinal enviado para todos os processos para os quais ele pode enviar sinais (depende do UID do usuário).
  - Se pid<0 (exceto -1): sinal é enviado para todos os processos com GroupID igual a |pid| .

- Se sucesso, kill retorna 0. Se erro, retorna -1 e seta a variável `errno`

errno	**cause**
ESRCH	no process or process group corresponds to pid
EPERM	caller does not have the appropriate privileges
EINVAL	sig is an invalid or unsupported signal

Enviando Sinais: a SVC kill()(2)

- Um processo pode enviar sinais a outro processo apenas se tiver autorização para fazê-lo:
  - Um processo com UID de root pode enviar sinais a qualquer outro processo.
  - Um processo com UID distinto de root apenas pode enviar sinais a outro processo se o real UID (ou effective) do processo for igual ao real UID (ou effective) do processo destino.

Enviando Sinais: a SVC kill()(3)

- Exemplo 1: enviar SIGUSR1 ao processo 3423

```
if (kill(3423, SIGUSR1) == -1)
    perror("Failed to send the SIGUSR1 signal");
```

- Exemplo 2: um filho "mata" seu pai

```
if (kill(getppid(), SIGTERM) == -1)
    perror ("Failed to kill parent");
```

- Exemplo 3: enviar um sinal para si próprio

```
if (kill(getpid(), SIGABRT))
    exit(0);
```

Enviando Sinais: a SVC kill()(4)

- Pai matando seu filho
  - testa_sinais_1.c

Enviando Sinais: a SVC raise()

- Permite a um processo enviar um sinal para si mesmo. A resposta depende da opção que estiver em vigor para o sinal enviado

```
#include <signal.h>
int raise(int sig);
```

- Exemplo :

```
if (raise(SIGUSR1) != 0)
        perror("Failed to raise SIGUSR1");
```

A SVC alarm()

- A função alarm() envia o sinal SIGALRM ao processo chamador após decorrido o número especificado de segundos.

```
#include <unistd.h>
unsigned int alarm(unsigned int seconds);
```

- Se no momento da chamada existir uma outra chamada prévia a `alarm()`, a antiga deixa de ter efeito sendo substituída pela nova.
  - alarm() retorna 0 normalmente, ou o número de segundos que faltavam a uma possível chamada prévia a alarm().
- Para cancelar uma chamada prévia a `alarm()` sem colocar uma outra ativa pode-se executar `alarm(0)`.
- Se ignorarmos ou não capturarmos SIGALRM, a ação default é terminar o processo
- Exemplo:

```
void main(void){
     alarm(10);
     printf ("Looping forever...\n");
     for(;;){}
}
```

A SVC pause()

- A função pause () suspende a execução do processo. O processo só voltará a executar quando receber um sinal qualquer, não ignorado.
  - O serviço pause() só retorna se o tratador do sinal recebido também retornar.

```
#include <unistd.h>
int pause();
```

- Exemplo:

```
#include <unistd.h>
int  flag_signal_received = 0; /*external static variable */
…
while(flag_signal_received == 0)
     pause();
```

- Este código tem um problema: se o sinal surgir depois do teste do flag e antes da chamada `pause()`, a pausa não vai retornar até que um outro sinal seja entregue ao processo (vide SVC `sigsuspend()` adiante para solução).

Tratamento Default (1)

- Sinais apresentam um tratamento default de acordo com o evento:
  - *abort*: geração de *core dump* e término do processo
  - *stop*: o processo é suspenso
  - *continue*: é retomada a execução do processo

- Os usuários podem alterar o tratamento default:
  - definindo seus próprios tratadores
  - ignorando o sinal (associando o tratador SIG_IGN ao sinal)
  - bloqueando sinais temporariamente (o sinal se mantém pendente até que seja desbloqueado)

- Para recuperar o tratamento default, basta associar ao sinal o tratador SIG_DFL.

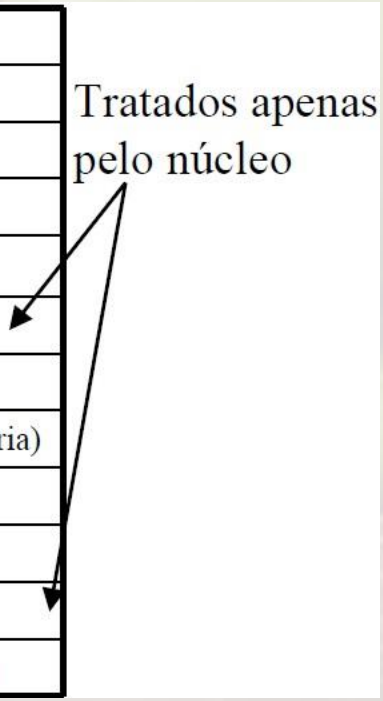
```
signal(SIGALRM, SIG_DFL);
signal(SIGINT, SIG_IGN);
```

- SIG_DFL e SIG_IGN são tratadores pré-definidos do Unix.

Tratamento Default (2)

- Ações Default (por omissão) de alguns sinais definidos no Linux

Sinal	Código	Acção por omissão	Causa
SIGHUP	1	Termina	Terminal ou processo desconectado
SIGINT	2	Termina	Interrupção no teclado
SIGILL	3	Termina e gera core	Hardware (instrução ilegal)
SIGABRT	6	Termina e gera core	Gerado por instrução ABORT
SIGKILL	9	Termina	Força terminação do processo
SIGUSR1	10	Termina	Definido pelo utilizador
SIGSEGV	11	Termina e gera core	Hardware (referência inválida a memória)
SIGALRM	14	Termina	Esgotamento do temporizador
SIGCHLD	17	Ignora	Processo filho termina
SIGSTOP	19	Suspende	Suspender processo
SIGSYS	31	Termina e gera core	Chamada inválida a função de sistema



Tratamento de Sinais (1)

- A SVC signal() permite especificar a ação a ser tomada quando um sinal particular é recebido. Em outras palavras, permite **registrar um tratador para o sinal** (signal handler).

```
typedef void (*sighandler_t)(int);
sighandler_t signal(int signum,sighandler_t handler);
```

- O primeiro parâmetro identifica o código do sinal a tratar. A ação a ser tomada depende do valor do segundo parâmetro:
  - se igual à SIG_IGN: o sinal não tem efeito, ele é ignorado;
  - se igual a SIG_DFL: é executada a ação/tratador *default* definida pelo *kernel* para o sinal (p.ex: terminar o processo).
  - se igual à referência de uma função de tratamento, ela é executada (nesse caso, dizemos que o sinal foi capturado);

- OBS: signal() retorna o endereço da função anterior que tratava o sinal.

Tratamento de Sinais (2)

- Procedimento geral para capturar um sinal:
  - Escrevemos um tratador para o sinal (p.ex., para o sinal SIGSEGV) ...

```
void trata_SIGSEGV(int signum) {
   ...
}
```

  - ... e depois instalamos o tratador com a função `signal()`

```
signal(SIGSEGV, trata_SIGSEGV);
```

Tratamento de Sinais (3)

- Como tratar erros deste tipo?

```
int *px  = (int*) 0x01010101;
*px= 0;
```

  - Programa recebe um sinal SIGSEGV
  - O comportamento padrão é terminar o programa

- E erros deste tipo?

```
int i = 3/0;
```

  - Programa recebe um sinal SIGFPE
  - O comportamento padrão é terminar o programa

Exemplo 1


```
/* Imprime uma mensagem quando um SIGSEGV é recebido * e restabelece o
tratador padrão. */
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void trata_SIGSEGV(int signum) {
    printf("Acesso indevido à memória.\n");
    printf("Nao vou esconder este erro. :-)\n");
    signal(SIGSEGV, SIG_DFL);
    raise(SIGSEGV); /* equivale a kill(getpid(), SIGSEGV); */
}

int main() {
    signal(SIGSEGV, trata_SIGSEGV);
    int *px = (int*) 0x01010101;
    *px = 0;
    return 0;
}
```

Exemplo 2

- Sinais encadeados
  - testa_sinais_2.c

Exemplo 3

- programa que trata os sinais do usuário
  - testa_sinais_3.c

Exemplo 4

- Definindo um tratador para o sinal SIGALRM
  - testa_exemplo_4.c

Exemplo 5

- Definindo um tratador para o sinal SIGINT
  - testa_exemplo_5.c

Exemplo 6

- Pai exibe mensagem na morte do filho
  - testa_exemplo_6.c

Bloqueando Sinais (1)

- Um processo pode bloquear temporariamente um sinal, impedindo a sua entrega para tratamento.
- Um processo bloqueia um sinal alterando a sua máscara de sinais. Essa é uma estrutura que contém o conjunto corrente de sinais bloqueados do
- Quando um processo bloqueia um sinal, uma ocorrência deste sinal é guardada (mantida) pelo kernel até que o sinal seja desbloqueado.

Bloqueando Sinais (2)

- Por que bloquear sinais?
  - Uma aplicação pode desejar ignorar alguns sinais (ex: evitar Cntr-C);
  - Evitar condições de corrida quando um sinal ocorre no meio do tratamento de outro sinal

- Nota:
  - Não se pode confundir bloquear um sinal com ignorar um sinal. Um sinal ignorado é sempre entregue para tratamento mas o tratador a ele associado (SIG_IGN) não faz nada com ele, simplesmente o descarta.

Máscara de Sinais (1)

- A máscara de sinais bloqueados é definida pelo tipo de dados `sigset_t`. É uma tabela de bits, cada um deles correspondendo a um sinal.

SigInt	SigQuit	SigKill	...	SigCont	SigAbrt
0	0	1	...	1	0

- Como bloquear um sinal?
  - Um conjunto de sinais : sigprocmask()
  - Um sinal específico : sigaction()
- Mais detalhes a seguir...

Máscara de Sinais (2)

- Biblioteca
  - `#include <signal.h>`
- Inicializa a máscara como vazia (sem nenhum sinal)
  - `int sigemptyset(sigset_t *set);`
- Preenche a máscara com todos os sinais suportados no sistema
  - `int sigfillset(sigset_t *set);`
- Adiciona um sinal específico à máscara de sinais bloqueados
  - `int sigaddset(sigset_t *set, int signo);`
- Remove um sinal específico da máscara de bloqueados
  - `int sigdelset(sigset_t *set, int signo);`
- Testa se um sinal pertence à mascara de bloqueados
  - `int sigismember(const sigset_t *set, int signo);`

Máscara de Sinais (3)

- Tendo construído uma máscara contendo os sinais que nos interessam, podemos bloquear (ou desbloquear) esses sinais usando o serviço `sigprocmask()`.
  - `#include <signal.h>`
  - `int sigprocmask(int how const sigset_t *restrict set, sigset_t *restrict oset);`
- Se set for diferente de NULL então a máscara corrente é modificada de acordo com o parâmetro how:
  - SIG_SETMASK: substitui a máscara atual, que passa a ser dada por set.
  - SIG_BLOCK: bloqueia os sinais do conjunto set (adiciona-os à máscara atual)
  - SIG_UNBLOCK: desbloqueia os sinais do conjunto set, removendo-os da máscara atual de sinais bloqueados
- Se oset é diferente de NULL a máscara anterior é retornada em oset.

Capturando Sinais com `sigaction()`

- A norma POSIX estabelece um novo serviço para substituir `signal()`.
  - Esse serviço chama-se `sigaction()`.
- Além de permitir examinar ou especificar a ação associada com um determinado sinal, ela também permite, ao mesmo tempo, bloquear outros sinais (dentre outras opções).

```
#include <signal.h>
int sigaction(int signo,const struct sigaction *act,struct sigaction *oact);

struct sigaction {
    void (*sa_handler)(int); //SIG_DFL,SIG_IGN ou endereço do tratador
    sigset_t sa_mask; //sinais adicionais a bloquear durante a execução do tratador
    int sa_flags; //opções especiais.
}
```

Exemplo 7

- programa que protege código inibindo e liberando o Ctrl-C
  - testa_exemplo_7.c

Referências

- Slides adaptados de Roberta Lima Gomes (UFES)

- Bibliografia
  - Vahalia, U. Unix Internals: the new frontiers. Prentice-Hall, 1996.
    - Capítulo 4 (até seção 4.7)
  - Deitel H. M.; Deitel P. J.; Choffnes D. R.; Sistemas Operacionais, Prentice-Hall, 2005
    - Seção 4.7.1
  - Silberschatz A. G.; Galvin P. B.; Gagne G.; Fundamentos de Sistemas Operacionais, LTC, 2004.
    - Seção 20.9.1