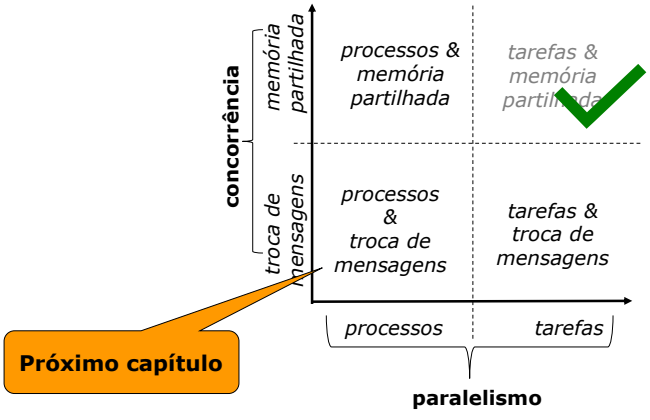
O que construímos até agora...

A abstração de processo

A possibilidade de ter paralelismo e partilha de dados dentro do processo

1

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação



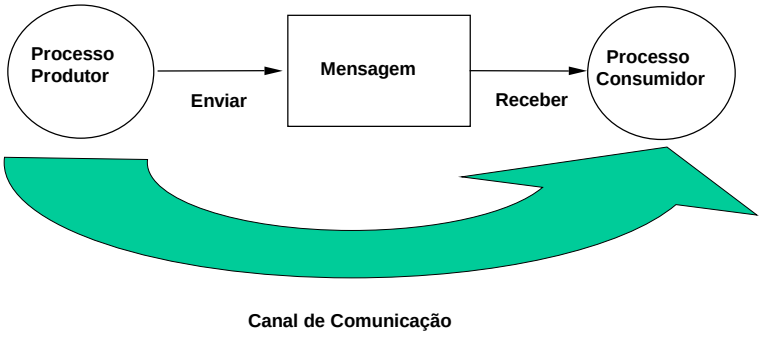
Comunicação por Troca de Mensagem entre Processos

Canal de comunicação
Arquitetura da comunicação
Modelos de comunicação

Sistemas Operativos

2018 - 2019

Comunicação por Troca de Mensagem entre Processos

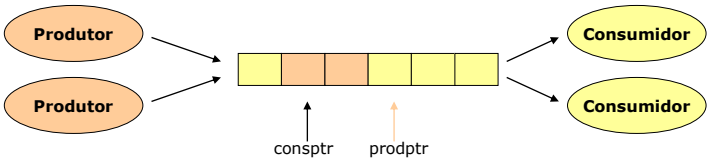


Exemplos

- A comunicação entre processos pode realizar–se no âmbito:
  - de uma única aplicação,
  - entre aplicações numa mesma máquina
  - entre máquinas interligadas por uma redes de dados
- Exemplos:
  - servidores de base de dados,
  - browser e servidor WWW,
  - cliente e servidor SSH,
  - cliente e servidor de e-mail,
  - nós BitTorrent

Como implementar comunicação entre processos?

Exemplo de implementação de um canal de comunicação
(solução para o problema do Produtor – Consumidor)



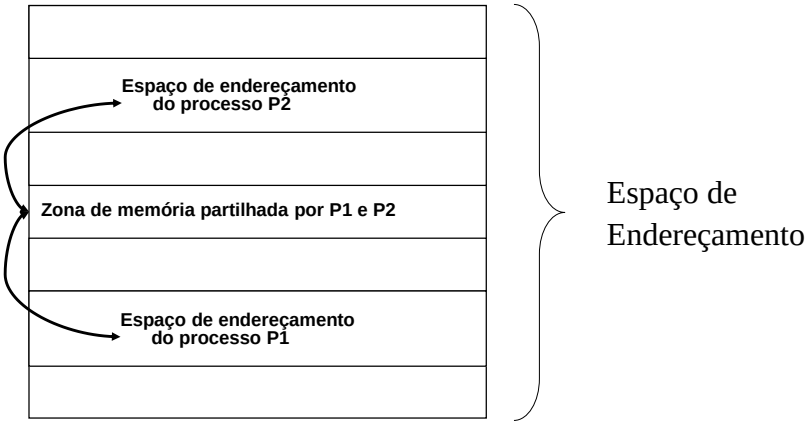

```
int buf[N];
int prodptr=0, consptr=0;
trinco_t trinco_p, trinco_c;
semaforo_t pode_prod = criar_semaforo(N),
           pode_cons = criar_semaforo(0);

produtor()
{
  while(TRUE) {
    int item = produz();
    esperar(pode_prod);
    fechar(trinco_p);
    buf[prodptr] = item;
    prodptr = (prodptr+1) % N;
    abrir(trinco_p);
    assinalar(pode_cons);
  }
}
```

```
consumidor()
{
  while(TRUE) {
    int item;
    esperar(pode_cons);
    fechar(trinco_c);
    item = buf[consptr];
    consptr = (consptr+1) % N;
    abrir(trinco_c);
    assinalar(pode_prod);
    consome(item);
  }
}
```

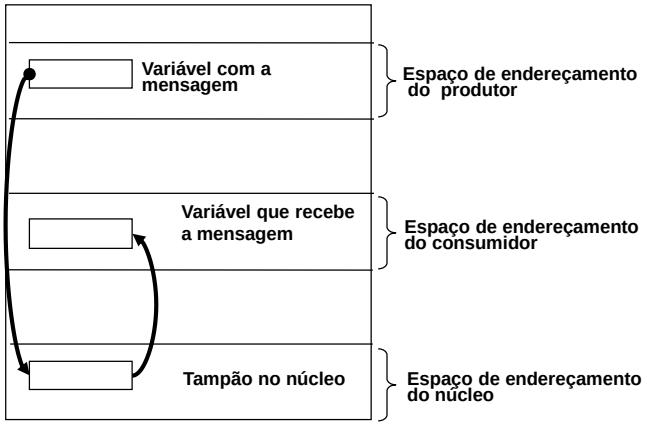
Implementação do Canal de Comunicação

- O canal de comunicação pode ser implementado a dois níveis:
  - **No núcleo do sistema operativo**: os dados são enviados/recebidos por chamadas sistema
  - **No *user level:*** os processos acedem a uma zona de **memória partilhada** entre ambos os processos comunicantes
    - Veremos mais à frente como isto é possível

Arquitetura da Comunicação: por memória partilhada



Arquitetura da Comunicação: cópia através do núcleo



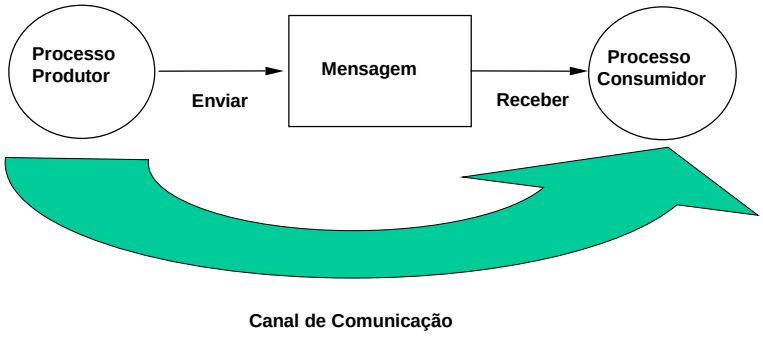
Inicialmente, consideraremos apenas canais de comunicação implementados pelo núcleo do SO

Objecto de Comunicação do Sistema

- `IdCanal = CriarCanal(Nome)`
- `IdCanal = AssociarCanal (Nome)`
- `EliminarCanal (IdCanal)`
- `Enviar (IdCanal, Mensagem, Tamanho)`
- `Receber (IdCanal, *Buffer, TamanhoMax)`

Não são necessários mecanismos de sincronização adicionais porque são implementados pelo núcleo do sistema operativo

Comunicação entre Processos



- generalização do modelo de cooperação entre processos

Características do Canal

- Nomes dos objectos de comunicação
- Tipo de ligação entre o emissor e o receptor
- Estrutura das mensagens
- Capacidade de armazenamento
- Sincronização
  - no envio
  - na recepção
- Segurança – protecção envio/recepção
- Fiabilidade

Ligação

- Antes de usar um canal de comunicação, um processo tem de saber se existe e depois indicar ao sistema que se pretende associar
- Este problema decompõe-se em dois
  - Nomes dos canais de comunicação
  - Funções de associação e respectivo controlo de segurança

Nomes dos objectos de comunicação: duas alternativas

- Dar nomes explícitos aos canais (*o mais frequente*)
  - O espaço de nomes é gerido pelo sistema operativo
    - Muitas vezes baseia-se na gestão de nomes do sistema de ficheiros
  - Pode assumir diversas formas: cadeias de caracteres, números inteiros, endereços estruturados, endereços de transporte das redes
    - Enviar (IdCanal, mensagem)
    - Receber (IdCanal, *buffer)
- Os processos terem implicitamente associado um canal de comunicação
  - Canal implicitamente identificado pelos identificadores dos processos
    - Enviar (IdProcessoConsumidor, mensagem)
    - Receber (IdProcessoProdutor, *buffer)
  - Pouco frequente – ex.: enviar mensagens para janelas em Windows

Ligação – função de associação

- Para usar um canal já existente um processo tem de se lhe associar
- Esta função é muito semelhante ao *open* de um ficheiro
- Tal como no *open* o sistema pode validar os direitos de utilização do processo, ou seja, se o processo pode enviar (escrever) ou receber (ler) mensagens

Sincronização: envio de mensagem

- Assíncrona: o cliente envia o pedido e continua a execução
- Síncrona (*rendez-vous*): o cliente fica bloqueado até que o processo servidor leia a mensagem
- Cliente/servidor: o cliente fica bloqueado até que o servidor envie uma mensagem de resposta

Sincronização: recepção de mensagem

- Assíncrona: testa se há mensagens e retorna
- Síncrona: bloqueante na ausência de mensagens (a mais frequente)

Sincronização: Capacidade de armazenamento de informação do canal

- Um canal pode ou não ter capacidade para memorizar várias mensagens
  - Maior capacidade permite desacoplar os ritmos de produção e consumo de informação, tornando mais flexível a sincronização

Estrutura da informação trocada

- Fronteiras das mensagens
  - mensagens individualizadas
  - sequência de octetos (*byte stream*, vulgarmente usada nos sistemas de ficheiros e interfaces de E/S)

- Formato
  - Opacas para o sistema - simples sequência de octetos
  - Estruturada - formatação imposta pelo sistema
  - Formatada de acordo com o protocolo das aplicações

Sequência de octetos vs. mensagens individuais

- Interface mensagens individuais
  - *receber* devolve uma mensagem que foi enviada numa chamada à função *enviar*
  - Se houver N chamadas à função *enviar*, para enviar N mensagens, é necessário N chamadas à função *receber*
  - Ou seja, as fronteiras de cada mensagem são preservadas
- Interface sequência de octetos:
  - Bytes das mensagens enviadas são acumulados no canal, suas fronteiras são esquecidas
  - Chamada à função *receber* pode devolver conteúdo vindo de múltiplas chamadas a *enviar*
  - Ou seja, fronteiras entre mensagens são perdidas no canal

Direccionalidade da comunicação

- Unidireccional - o canal apenas permite enviar informação num sentido que fica definido na sua criação
  - Normalmente neste tipo de canais são criados dois para permitir a comunicação bidireccional
- Bidireccional - o canal permite enviar mensagens nos dois sentidos

Resumo do Modelo Computacional

- `IDCanal = CriarCanal (Nome, Dimensão )`
- `IDCanal = AssociarCanal (Nome, Modo)`
- `EliminarCanal (IDCanal)`
- `Enviar (IDCanal, Mensagem, Tamanho)`
- `Receber (IDCanal, buffer, TamanhoMax)`

Unix– Modelo Computacional - IPC

pipes

sockets

signals

Mecanismos de Comunicação em Unix

- No Unix houve uma tentativa de uniformização da interface de comunicação entre processos com a interface dos sistemas de ficheiros.

- Para perceber os mecanismos de comunicação é fundamental conhecer bem a interface com o sistema de ficheiros.

Sistema de Ficheiros

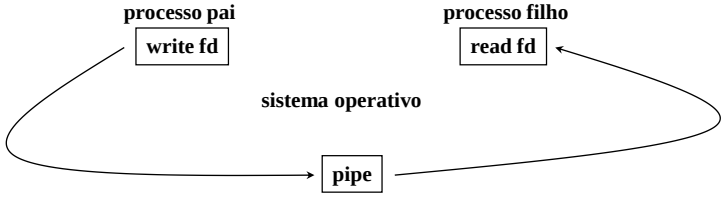
- Sistema de ficheiros hierarquizado
- Tipos de ficheiros:
  - Normais – sequência de octetos (bytes) sem uma organização em registos (records)
  - Ficheiros especiais – periféricos de E/S, pipes, sockets
  - Ficheiros directório
- Quando um processo se começa a executar o sistema abre três ficheiros especiais
  - `stdin` – input para o processo (fd – 0)
  - `stdout` – output para o processo (fd – 1)
  - `stderr` – periférico para assinalar os erros (fd – 2)
- Um file descriptor é um inteiro usado para identificar um ficheiro aberto (os valores variam de zero até máximo dependente do sistema)

IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Evolução do Unix BSD 4.2:
  - sockets
- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

Pipes

- Mecanismo original do Unix para comunicação entre processos.
- Canal *byte stream* ligando dois processos, unidirecional
- Não tem nome externo
  - Os descritores são internos a um processo
  - Podem ser transmitidos para os processos filhos através do mecanismo de herança
- Os descritores de um pipe são análogos ao dos ficheiros
  - As operações de read e write sobre ficheiros são válidas para os pipes
  - O processo fica bloqueado quando escreve num pipe cheio
  - O processo fica bloqueado quando lê de um pipe vazio



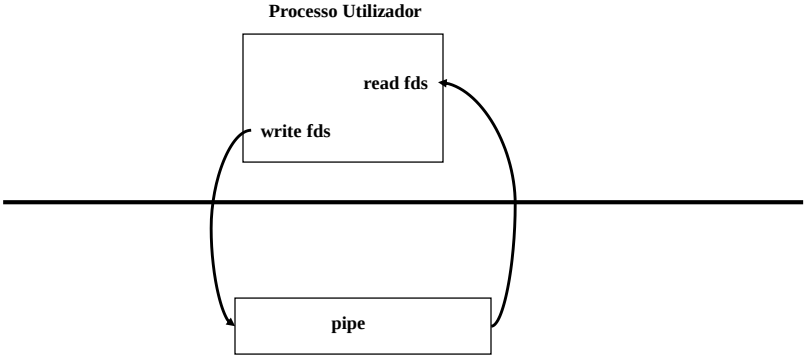
Criação de um pipe

```
int pipe (int *fds);

   fds[0] – descritor aberto para leitura
   fds[1] – descritor aberto para escrita
```

Criar e usar pipe
(Exemplo inútil)

```
char msg[] = "utilizacao de pipes";

main() {
   char tampao[1024];
   int fds[2];

   pipe(fds);

   for (;;) {
      write (fds[1], msg, sizeof (msg));
      read (fds[0], tampao, sizeof (msg)));
   }
}
```

Criar e usar pipe
(Exemplo inútil)



Criar e usar pipe
(Exemplo útil: comunicação pai-filho)

```
#include <stdio.h>
#include <fnctl.h>

#define TAMSG 100
char msg[] = "mensagem de teste";
char tmp[TAMSG];

main() {
   int fds[2], pid_filho;

   if (pipe (fds) < 0) exit(-1);
   if (fork () == 0) {
      /* processo filho*/
      /* lê do pipe */
      read (fds[0], tmp, sizeof (msg));
      printf ("%s\n", tmp);
      exit (0);
   }
```

```
 else {
      /* processo pai */
      /* escreve no pipe */
    write (fds[1], msg, sizeof (msg));
    pid_filho = wait();
   }
}
```

DUP – System Call

NAME
dup - duplicate an open file descriptor

SYNOPSIS
#include <unistd.h>
int dup(int fildes);

DESCRIPTION
The dup() function returns a new file descriptor having the following in common with the original open file descriptor fildes:
- same open file (or pipe)
- same file pointer (that is, both file descriptors share one file pointer)
- same access mode (read, write or read/write)

The new file descriptor is set to remain open across exec functions (see fcntl(2)).
The file descriptor returned is the lowest one available.
The dup(fildes) function call is equivalent to: fcntl(fildes, F_DUPFD, 0)

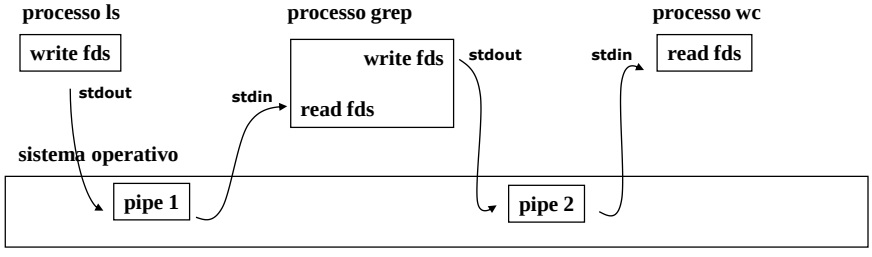
Redireccionamento de Entradas/Saídas

```
#include <stdio.h>
#include <fnctl.h>

#define TAMSG 100
char msg[] = "mensagem de teste";
char tmp[TAMSG];

main() {
   int fds[2], pid_filho;

   if (pipe (fds) < 0) exit(-1);
   if (fork () == 0) {
   /* processo filho */
   /* liberta o stdin (posição zero) */
      close (0);

/* redirecciona o stdin para o pipe de
  leitura */
      dup (fds[0]);
```

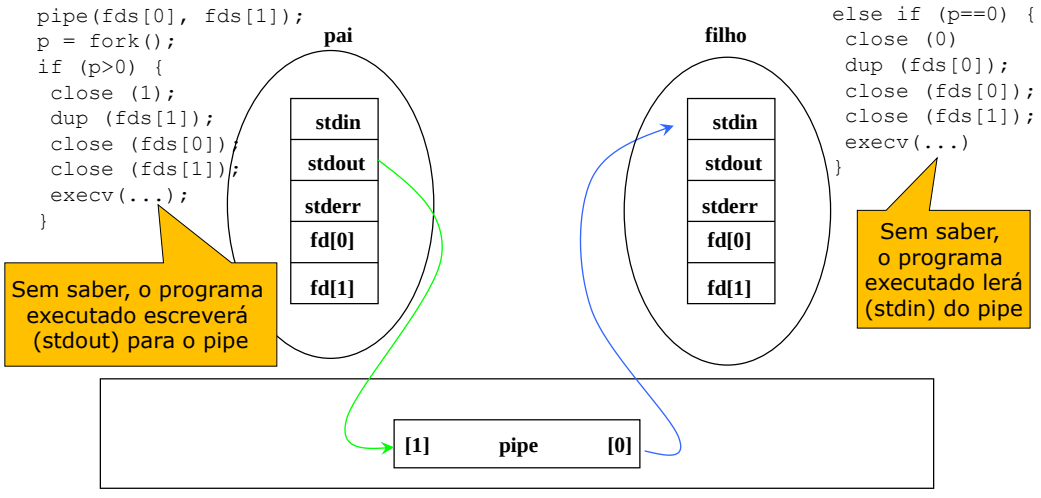
```
/* fecha os descritores não usados pelo
   filho */
      close (fds[0]);
      close (fds[1]);

/* lê do pipe */
      read (0, tmp, sizeof (msg));
      printf ("%s\n", tmp);
      exit (0);
    }
    else {
      /* processo pai */
      /* escreve no pipe */
     write (fds[1], msg, sizeof (msg));
     pid_filho = wait();
    }
 }
```

Redireccionamento de Entradas/Saídas no Shell

exemplo:
ls –la | grep xpto | wc



Redireccionamento de Entradas/Saídas (2)



IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Evolução do Unix BSD 4.2:
  - sockets
- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

Named Pipes ou FIFO

- Para dois processos (que não sejam pai e filho) comunicarem é preciso que o pipe seja identificado por um nome

- Atribui-se um nome lógico ao pipe, usando o **espaço de nomes do sistema de ficheiros**
  - Um **named pipe** comporta-se externamente como um ficheiro, existindo uma entrada na directoria correspondente
- Um **named pipe** pode ser aberto por processos que não têm qualquer relação hierárquica
  - Tal como um ficheiro tem um dono e permissões de acesso

Named Pipes

- Um named pipe é um canal :
  - Unidireccional
  - Interface sequência de caracteres (*byte stream*)
  - Identificado por um nome de ficheiro
    - Entre os restantes ficheiros do sistema de ficheiros
    - Ao contrário dos restantes ficheiros, named pipe **não é persistente**

Named Pipes: como usar

- Cria um named pipe no sistema de ficheiros
  - Usando função mkfifo
- Um processo associa-se com a função open
  - Processo que abra uma extremidade do canal bloqueia até que pelo menos 1 processo tenha aberto a outra extremidade
- Eliminado com a função unlink
- Leitura e envio de informação feitos com API habitual do sistema de ficheiros (read, write, etc)

```
/* Cliente */
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#define TAMMSG  1000

void produzMsg (char *buf) {
   strcpy (buf, "Mensagem de teste");
}

void trataMsg (buf) {
  printf ("Recebeu: %s\n", buf);
}

main() {
   int fcli, fserv;
   char buf[TAMMSG];

  if ((fserv = open ("/tmp/servidor",
 O_WRONLY)) < 0) exit  (-1);
   if ((fcli = open ("/tmp/cliente",
 O_RDONLY)) < 0) exit (-1);

   produzMsg (buf);
   write (fserv, buf, TAMMSG);
   read (fcli, buf, TAMMSG);
   trataMsg (buf);

  close (fserv);
  close (fcli);
}
```

```
/* Servidor */
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>

#define TAMMSG  1000

main () {
    int fcli, fserv, n;
    char buf[TAMMSG];

    unlink("/tmp/servidor");
    unlink("/tmp/cliente");

    if (mkfifo ("/tmp/servidor", 0777) < 0)
   exit (-1);
    if (mkfifo ("/tmp/cliente", 0777) < 0)
   exit (-1);

    if ((fserv = open ("/tmp/servidor",
   O_RDONLY)) < 0) exit  (-1);
    if ((fcli = open ("/tmp/cliente",
   O_WRONLY)) < 0) exit (-1);

    for (;;) {
        n = read (fserv, buf, TAMMSG);
        if (n <= 0) break;
        trataPedido (buf);
        n = write (fcli, buf, TAMMSG);
    }
    close (fserv);
    close (fcli);
    unlink("/tmp/servidor");
    unlink("/tmp/cliente");
}
```

IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Evolução do Unix BSD 4.2:
  - sockets
- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

Sockets

- Interface de programação para comunicação entre processos introduzida no Unix 4.2 BSD (1983)
- Objectivos:
  - independente dos protocolos
  - transparente em relação à localização dos processos
  - compatível com o modelo de E/S do Unix
  - eficiente

Domínio e Tipo de Sockets

- Domínio do socket - define a família de protocolos associada a um socket:
  - Internet: família de protocolos Internet
  - Unix: comunicação entre processos da mesma máquina
  - outros…

- Tipo do socket - define as características do canal de comunicação:
  - stream: canal com ligação, bidireccional, fiável, interface tipo sequência de octetos
  - datagram: canal sem ligação, bidireccional, não fiável, interface tipo mensagem
  - raw: permite o acesso directo aos níveis inferiores dos protocolos (ex: IP na família Internet)

Domínio e Tipo de Sockets (2)

- Relação entre domínio, tipo de socket e protocolo:

tipo \ domínio	AF_UNIX	AF_INET	AF_NS
SOCK_STREAM	SIM	TCP	SPP
SOCK_DGRAM	SIM	UDP	IDP
SOCK_RAW	-	IP	SIM
SOCK_SEQPACKET	-	-	SPP

Interface Sockets: definição dos endereços

```
/* ficheiro <sys/socket.h> */
struct sockaddr {
   /* definição do dominio (AF_XX) */
   u_short family;

   /* endereço específico do dominio*/
   char sa_data[14];
};
```

```
/* ficheiro <sys/un.h> */
struct sockaddr_un {
  /* definição do domínio (AF_UNIX) */
  u_short family;

  /* nome */
  char sun_path[108];
};
```

```
/* ficheiro <netinet/in.h> */
struct in_addr {
  u_long addr; /* Netid+Hostid */
};

struct sockaddr_in {
   u_short sin_family; /* AF_INET */

   /* número do porto - 16 bits */
   u_short sin_port;

   struct in_addr sin_addr; /* Netid+Hostid */

   /* não utilizado*/
   char sin_zero[8];
};
```

struct sockaddr_un

family
pathname (up to 108 bytes)

struct sockaddr_in

family
2-byte port
4-byte net ID, host ID
(unused)

Interface Sockets: criação de um socket e associação de um nome

- Criação de um socket:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
int socket (int dominio, int tipo, int protocolo);
```

  - domínio: AF_UNIX, AF_INET
  - tipo: SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM
  - protocolo: normalmente escolhido por omissão
  - resultado: identificador do socket (sockfd)

- Um socket é criado sem nome

- A associação de um nome (endereço de comunicação) a um socket já criado é feito com a chamada bind:

```
int bind(int sockfd, struct sockaddr *nome, int dim)
```

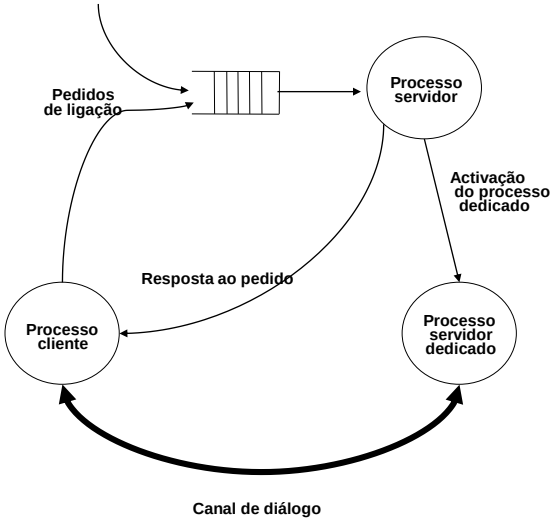
Sockets com e sem Ligação

- Sockets com ligação:
  - Modelo de comunicação tipo diálogo
  - Canal com ligação, bidireccional, fiável, interface tipo sequência de octetos

- Sockets sem ligação:
  - Modelo de comunicação tipo correio
  - Canal sem ligação, bidireccional, não fiável, interface tipo mensagem

Canal com ligação - Modelo de Diálogo

- É estabelecido um canal de comunicação entre o processo cliente e o servidor
- O servidor pode gerir múltiplos clientes, mas dedica a cada um deles uma actividade independente
- O servidor pode ter uma política própria para atender os clientes



Diálogo

Servidor

- Primitiva para Criação de Canal

```
IdCanServidor = CriarCanal (Nome);
```

- Primitivas para Aceitar/Desligar/Eliminar Ligações

```
IdCanal= AceitarLigacao (IdCanServidor);
Desligar (IdCanal);
Eliminar (Nome);
```

Cliente

- Primitivas par Associar/Desligar ao Canal

```
IdCanal:= PedirLigacao (Nome);
Desligar (IdCanal);
```

Modelo de Diálogo - Canal com ligação

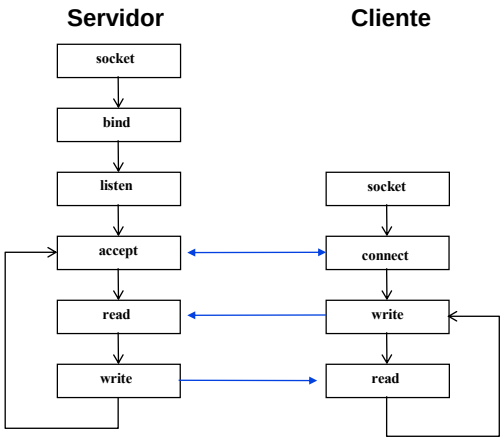
Cliente

```
IdCanal Canal;
int Ligado;

void main() {
  while (TRUE) {
     Canal=PedirLigacao("Servidor");
     Ligado = TRUE;

    while (Ligado) {
                ProduzInformacao(Mens);
                Enviar(Canal, Mens);
                Receber(Canal, Mens);
                TratarInformacao(Mens);
     }
     TerminarLigacao(Canal);
  }
  exit(0);
}
```

Servidor

```
IdCanal CanalServidor, CanalDialogo;

void main() {
   CanalPedido=CriarCanal("Servidor");

   for (;;) {
      CanalDialogo=AceitarLigacao(CanalPedido);
      CriarProcesso(TrataServico, CanalDialogo);
   }
}
```

Sockets com Ligação



Sockets com Ligação

- listen - indica que se vão receber ligações neste socket:
  - int listen (int sockfd, int maxpendentes)

- accept - aceita uma ligação:
  - espera pelo pedido de ligação
  - cria um novo socket
  - devolve:
    - identificador do novo socket
    - endereço do interlocutor
  - int accept(int sockfd, struct sockaddr *nome, int *dim)

- connect - estabelece uma ligação com o interlocutor cujo endereço é nome:
  - int connect (int sockfd, struct sockaddr *nome, int dim)

unix.h e inet.h

unix.h

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>

#define UNIXSTR_PATH  "/tmp/s.unixstr"
#define UNIXDG_PATH   "/tmp/s.unixdgx"
#define UNIXDG_TMP    "/tmp/dgXXXXXXX"
```

inet.h

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <arpa/inet.h>

#define SERV_UDP_PORT  6600
#define SERV_TCP_PORT  6601

/* endereço do servidor */
#define SERV_HOST_ADDR "193.136.128.20"

/* nome do servidor */
#define SERV_HOSTNAME  "mega"
```

Exemplo

- Servidor de eco
- Sockets no domínio Unix
- Sockets com ligação

Servidor STREAM AF_UNIX

```
/* Recebe linhas do cliente e reenvia-as para o cliente */
#include "unix.h"

main(void) {
   int sockfd, newsockfd, clilen, childpid, servlen;
   struct sockaddr_un cli_addr, serv_addr;

   /* Cria socket stream */
   if ((sockfd = socket(AF_UNIX,SOCK_STREAM,0) ) < 0)
        err_dump("server: can't open stream socket");
   /* Elimina o nome, para o caso de já existir.
   unlink(UNIXSTR_PATH);
   /* O nome serve para que os clientes possam identificar o servidor */
   bzero((char *)&serv_addr, sizeof(serv_addr));
   serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
   strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXSTR_PATH);
   servlen = strlen(serv_addr.sun_path) + sizeof(serv_addr.sun_family);
   if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen) < 0)
        err_dump("server, can't bind local address");

   listen(sockfd, 5);
```

Servidor STREAM AF_UNIX (2)

```
  for (;;) {
    clilen = sizeof(cli_addr);
    newsockfd = accept(sockfd,(struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
    if (newsockfd < 0) err_dump("server: accept error");

    /* Lança processo filho para tratar do cliente */
    if ((childpid = fork()) < 0) err_dump("server: fork error");
    else if (childpid == 0) {
      /* Processo filho.
      Fecha sockfd já que não é utilizado pelo processo filho
      Os dados recebidos do cliente são reenviados para o cliente */
      close(sockfd);
      str_echo(newsockfd);
      exit(0);
    }

/* Processo pai. Fecha newsockfd que não utiliza */
    close(newsockfd);
  }
}
```

Servidor STREAM AF_UNIX (3)

```
#define MAXLINE 512
/* Servidor do tipo socket stream. Reenvia as linhas recebidas para o cliente*/

str_echo(int sockfd)
{
   int n;
   char line[MAXLINE];

   for (;;) {
      /* Lê uma linha do socket */
      n = readline(sockfd, line, MAXLINE);
      if (n == 0) return;
      else if (n < 0) err_dump("str_echo: readline error");

      /* Reenvia a linha para o socket. n conta com o \0 da string,
        caso contrário perdia-se sempre um caracter! */
      if (write(sockfd, line, n) != n)
        err_dump("str_echo: write error");
   }
}
```

Cliente STREAM AF_UNIX

```
/* Cliente do tipo socket stream.
#include "unix.h"
main(void) {
   int sockfd, servlen;
   struct sockaddr_un serv_addr;

/* Cria socket stream */
   if ((sockfd= socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0) ) < 0)
        err_dump("client: can't open stream socket");
/* Primeiro uma limpeza preventiva */
   bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
/* Dados para o socket stream: tipo + nome que
   identifica o servidor */
   serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
   strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXSTR_PATH);
   servlen = strlen(serv_addr.sun_path) +
             sizeof(serv_addr.sun_family);
```

Cliente STREAM AF_UNIX(2)

```
/* Estabelece uma ligação. Só funciona se o socket tiver sido criado e
   o nome associado*/

    if(connect(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen) < 0)
       err_dump("client: can't connect to server");

   /* Envia as linhas lidas do teclado para o socket */
    str_cli(stdin, sockfd);

   /* Fecha o socket e termina */
   close(sockfd);
   exit(0);
}
```

Cliente STREAM AF_UNIX (3)

```
#include <stdio.h>
#define MAXLINE 512

/*Lê string de fp e envia para
sockfd. Lê string de sockfd e envia
para stdout*/

str_cli(fp, sockfd)
FILE *fp;
int sockfd;
{
  int n;
  char sendline[MAXLINE],
  recvline[MAXLINE+1];

  while(fgets(sendline, MAXLINE, fp)
         != NULL) {
```

```
    /* Envia string para sockfd.
    Note-se que o \0 não é enviado */
    n = strlen(sendline);
    if (write(sockfd, sendline, n) != n)
      err_dump("str_cli:write error on socket");

    /* Tenta ler string de sockfd.
    Note-se que tem de terminar a string com \0 */
    n = readline(sockfd, recvline, MAXLINE);
    if (n<0) err_dump("str_cli:readline error");
    recvline[n] = 0;

    /* Envia a string para stdout */
    fputs(recvline, stdout);
  }
  if (ferror(fp))
    err_dump("str_cli: error reading file");
}
```

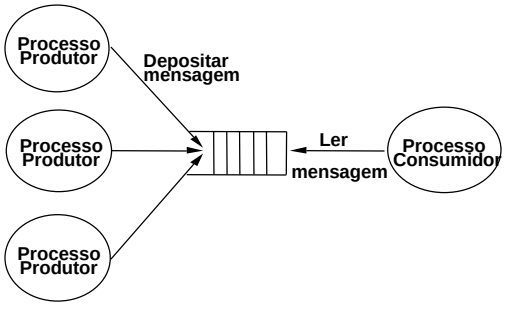
Sockets com e sem Ligação

- Sockets com ligação:
  - Modelo de comunicação tipo diálogo
  - Canal com ligação, bidireccional, fiável, interface tipo sequência de octetos

- Sockets sem ligação:
  - Modelo de comunicação tipo correio
  - Canal sem ligação, bidireccional, não fiável, interface tipo mensagem

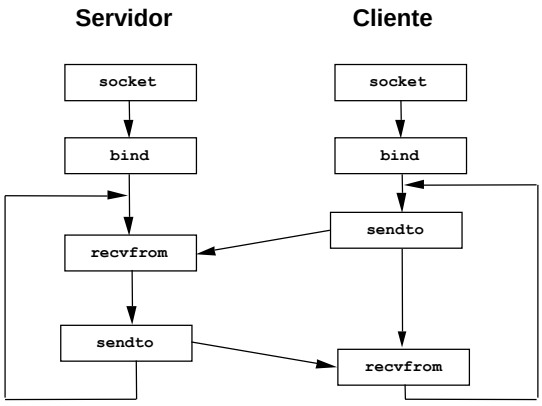
Modelo de comunicação tipo correio (canal sem ligação)

- os processos emissores não controlam directamente a actividade do receptor ou receptores
- a ligação efectua-se indirectamente através das caixas de correio não existe uma ligação directa entre os processos
- a caixa de correio permite memorizar as mensagens quando estas são produzidas mais rapidamente do que consumidas




```
idCC = CriarCCorreio (Nome, parametros)
idCC = AssociarCCorreio (Nome, modo)
       EliminarCCorreio (Nome)
```

Sockets sem Ligação



Sockets sem Ligação

- sendto: Envia uma mensagem para o endereço especificado

```
int sendto(int sockfd, char *mens, int dmens,
      int flag, struct sockaddr *dest, int *dim)
```

- recvfrom: Recebe uma mensagem e devolve o endereço do emissor

```
int recvfrom(int sockfd, char *mens, int dmens,
      int flag, struct sockaddr *orig, int *dim)
```

Cliente DGRAM AF_UNIX

```
#include "unix.h"
main(void) {
   int sockfd, clilen, servlen;
   char *mktemp();
   struct sockaddr_un cli_addr, serv_addr;

   /* Cria socket datagram */
   if(( sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_DGRAM, 0) ) < 0)
        err_dump("client: can't open datagram socket");
   /* O nome temporário serve para ter um socket para resposta do
   servidor */
   bzero((char *) &cli_addr, sizeof(cli_addr));
   cli_addr.sun_family = AF_UNIX;
   mktemp(cli_addr.sun_path);
   clilen = sizeof(cli_addr.sun_family) + strlen(cli_addr.sun_path);

   /* Associa o socket ao nome temporário */
   if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, clilen) < 0)
        err_dump("client: can't bind local address");
```

Cliente DGRAM AF_UNIX(2)

```
   /* Primeiro uma limpeza preventiva!
   bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));

   serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
   strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXDG_PATH);
   servlen=sizeof(serv_addr.sun_family) +
                  strlen(serv_addr.sun_path);

   /* Lê linha do stdin e envia para o servidor. Recebe a linha do
      servido e envia-a para stdout */
   dg_cli(stdin, sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen);

   close(sockfd);
   unlink(cli_addr.sun_path);
   exit(0);
}
```

Cliente DGRAM AF_UNIX (3)

```
#include <stdio.h>
#define MAXLINE 512

/* Cliente do tipo socket datagram.
   Lê string de fp e envia para sockfd.
   Lê string de sockfd e envia para stdout */

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

dg_cli(fp, sockfd, pserv_addr, servlen)
FILE *fp;
int sockfd;
struct sockaddr *pserv_addr;
int servlen;
{
   int n;
   static char sendline[MAXLINE], recvline[MAXLINE+1];
   struct sockaddr x;
   int xx = servlen;
```

Cliente DGRAM AF_UNIX (4)

```
while (fgets(sendline, MAXLINE, fp) != NULL) {
    n = strlen(sendline);

    /* Envia string para sockfd. Note-se que o  \0 não é enviado */
    if (sendto(sockfd, sendline, n, 0, pserv_addr, servlen) != n)
       err_dump("dg_cli: sendto error on socket");

    /* Tenta ler string de sockfd. Note-se que tem de
        terminar a string com \0 */
    n = recvfrom(sockfd, recvline, MAXLINE, 0,
                 (struct sockaddr *) 0, (int *) 0);
    if (n < 0) err_dump("dg_cli: recvfrom error");
    recvline[n] = 0;

    /* Envia a string para stdout */
    fputs(recvline, stdout);
  }
  if (ferror(fp)) err_dump("dg_cli: error reading file");
}
```

Servidor DGRAM AF_UNIX

```
/* Servidor do tipo socket datagram. Recebe linhas do cliente e devolve-as para o
   cliente */
#include "unix.h"
main (void) {
   int sockfd, servlen;
   struct sockaddr_un serv_addr, cli_addr;

   /* Cria socket datagram */
   if ((sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_DGRAM, 0)) < 0)
        err_dump("server: can't open datagram socket");

   unlink(UNIXDG_PATH);
   /* Limpeza preventiva*/
   bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
   serv_addr.sun_family = AF_UNIX;
   strcpy(serv_addr.sun_path, UNIXDG_PATH);
   servlen = sizeof(serv_addr.sun_family) + strlen(serv_addr.sun_path);
   /* Associa o socket ao nome */
   if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr, servlen) < 0)
        err_dump("server: can't bind local address");

   /* Fica à espera de mensagens do client e reenvia-as  para o cliente */
   dg_echo(sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, sizeof(cli_addr));
 }
```

Servidor DGRAM AF_UNIX (3)

```
#define MAXLINE 512

/* Servidor do tipo socket datagram.
   Manda linhas recebidas de volta
   para o cliente */

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#define MAXMESG 2048

/* pcli_addr especifica o cliente */

dg_echo(sockfd, pcli_addr, maxclilen)
int sockfd;
struct sockaddr *pcli_addr;
int maxclilen;
{
```

```
  int n, clilen;
  char mesg[MAXMESG];

  for (;;) {
     clilen = maxclilen;

     /* Lê uma linha do socket */
     n = recvfrom(sockfd, mesg, MAXMESG,
                  0, pcli_addr, &clilen);
     if (n < 0)
        err_dump("dg_echo:recvfrom error");

     /*Manda linha de volta para o socket */
     if (sendto(sockfd, mesg, n, 0,
                pcli_addr, clilen) != n)
        err_dump("dg_echo: sendto error");
  }
}
```

Servidor TCP AF_INET

(e.g. see http://www.linuxhowtos.org/C_C++/socket.htm)

```
/* A simple server in the internet domain using TCP
   The port number is passed as an argument */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

void error(const char *msg) {
    perror(msg);
    exit(1);
}


int main(int argc, char *argv[]) {
     int sockfd, newsockfd, portno;
     socklen_t clilen;
     char buffer[256];
     struct sockaddr_in serv_addr, cli_addr;
     int n;

if (argc < 2) {
        fprintf(stderr,"ERROR, no port provided\n");
        exit(1);
    }
```

```
sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
if (sockfd < 0) error("ERROR opening socket");

bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
portno = atoi(argv[1]);
serv_addr.sin_family = AF_INET;
serv_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
serv_addr.sin_port = htons(portno);
```

binds to any local interface (i.e. IP address)

```
if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serv_addr,
        sizeof(serv_addr)) < 0) error("ERROR on binding");

listen(sockfd,5);

clilen = sizeof(cli_addr);
newsockfd = accept(sockfd, (struct sockaddr *) &cli_addr, &clilen);
if (newsockfd < 0) error("ERROR on accept");

bzero(buffer,256);
n = read(newsockfd,buffer,255);
if (n < 0) error("ERROR reading from socket");
printf("Here is the message: %s\n",buffer);

n = write(newsockfd,"I got your message",18);
if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
close(newsockfd);
close(sockfd);

return 0;
}
```

ClienteTCP AF_INET

(e.g. see http://www.linuxhowtos.org/C_C++/socket.htm)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>

void error(const char *msg) {
    perror(msg);
    exit(0);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    int sockfd, portno, n;
    struct sockaddr_in serv_addr;
    struct hostent *server;
    char buffer[256];

    if (argc < 3) {
       fprintf(stderr,"usage %s hostname
                port\n", argv[0]);
       exit(0);
    }

portno = atoi(argv[2]);
sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
if (sockfd < 0)
    error("ERROR opening socket");
server = gethostbyname(argv[1]);
```

```
if (server == NULL) {
     fprintf(stderr,"ERROR, no such host\n");
     exit(0);
 }

bzero((char *) &serv_addr, sizeof(serv_addr));
serv_addr.sin_family = AF_INET;
bcopy((char *)server->h_addr,
        (char *)&serv_addr.sin_addr.s_addr,
        server->h_length);
serv_addr.sin_port = htons(portno);

if (connect(sockfd,(struct sockaddr *) &serv_addr,sizeof(serv_addr)) < 0)
    error("ERROR connecting");
printf("Please enter the message: ");

bzero(buffer,256);
fgets(buffer,255,stdin);
n = write(sockfd,buffer,strlen(buffer));

if (n < 0) error("ERROR writing to socket");
bzero(buffer,256);
n = read(sockfd,buffer,255);
if (n < 0) error("ERROR reading from socket");

printf("%s\n",buffer);
close(sockfd);
return 0;
}
```

Espera Múltipla com Select

```
#include <sys/select.h>
#include <sys/time.h>
int select (int maxfd, fd_set* leitura, fd_set*
  escrita, fd_set* excepcao,  struct timeval* alarme)
```

select:

- espera por um evento
- bloqueia o processo até que um descritor tenha um evento associado ou expire o alarme
- especifica um conjunto de descritores onde espera:
  - receber mensagens
  - receber notificações de mensagens enviadas (envios assíncronos)
  - receber notificações de acontecimentos excepcionais

Select

- exemplos de quando o select retorna:
  - Os descritores (1,4,5) estão prontos para leitura
  - Os descritores (2,7) estão prontos para escrita
  - Os descritores (1,4) têm uma condição excepcional pendente
  - Já passaram 10 segundos

Espera Múltipla com Select (2)

```
struct timeval {
   long tv_sec; /* seconds /*
   long tv_usec; /* microseconds /*
}
```

- esperar para sempre → parâmetro efectivo é null pointer
- esperar um intervalo de tempo fixo → parâmetro com o tempo respectivo
- não esperar → parâmetro com o valor zero nos segundos e microsegundos

- as condições de excepção actualmente suportadas são:
  - chegada de dados out-of-band
  - informação de controlo associada a pseudo-terminais

Manipulação do fd_set

- Definir no select quais os descritores que se pretende testar
  - void FD_ZERO (fd_set* fdset) - clear all bits in fdset
  - void FD_SET (int fd, fd_set* fd_set) - turn on the bit for fd in fdset
  - void FD_CLR (int fd, fd_set* fd_set) - turn off the bit for fd in fdset
  - int FD_ISSET (int fd, fd_set* fd_set) - is the bit for fd on in fdset?
- Para indicar quais os descritores que estão prontos, a função select modifica:
  - fd_set* leitura
  - fd_set* escrita
  - fd_set* excepcao

Servidor com Select

```
/* Servidor que utiliza sockets stream e
    datagram em simultâneo.
   O servidor recebe caracteres e envia-os
    para stdout */

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/time.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#include <errno.h>

#define MAXLINE 80
#define MAXSOCKS 32

#define ERRORMSG1 "server: cannot open stream
    socket"
#define ERRORMSG2 "server: cannot bind stream
    socket"
#define ERRORMSG3 "server: cannot open
    datagram socket"
#define ERRORMSG4 "server: cannot bind
    datagram socket"
#include "names.h"
```

```
int main(void) {
  int strmfd,dgrmfd,newfd;
  struct sockaddr_un
   servstrmaddr,servdgrmaddr,clientaddr;
  int len,clientlen;
  fd_set testmask,mask;

  /* Cria socket stream */
  if((strmfd=socket(AF_UNIX,SOCK_STREAM,0))<0){
    perror(ERRORMSG1);
    exit(1);
  }
  bzero((char*)&servstrmaddr,
         sizeof(servstrmaddr));
  servstrmaddr.sun_family = AF_UNIX;
  strcpy(servstrmaddr.sun_path,UNIXSTR_PATH);
  len = sizeof(servstrmaddr.sun_family)
        +strlen(servstrmaddr.sun_path);
  unlink(UNIXSTR_PATH);
  if(bind(strmfd,(struct sockaddr *)&servstrmaddr,
   len)<0)
  {
    perror(ERRORMSG2);
    exit(1);
  }
```

Servidor com Select (2)

```
/*Servidor aceita 5 clientes  no socket stream*/
  listen(strmfd,5);

/* Cria socket datagram */
  if((dgrmfd = socket(AF_UNIX,SOCK_DGRAM,0)) < 0) {
    perror(ERRORMSG3);
    exit(1);
  }

/*Inicializa socket datagram: tipo + nome */
  bzero((char *)&servdgrmaddr,sizeof(servdgrmaddr));
  servdgrmaddr.sun_family = AF_UNIX;
  strcpy(servdgrmaddr.sun_path,UNIXDG_PATH);
   len=sizeof(servdgrmaddr.sun_family)+
                 strlen(servdgrmaddr.sun_path);

  unlink(UNIXDG_PATH);
  if(bind(dgrmfd,(struct sockaddr*)&servdgrmaddr, len)<0)
  {
    perror(ERRORMSG4);
    exit(1);
  }
```

```
/*
- Limpa-se a máscara
- Marca-se os 2 sockets - stream e datagram.
- A mascara é limpa pelo sistema de cada vez que existe um evento no socket.
- Por isso é necessário utilizar uma mascara auxiliar
*/
  FD_ZERO(&testmask);
  FD_SET(strmfd,&testmask);
  FD_SET(dgrmfd,&testmask);
```

Servidor com Select (3)

```
for(;;) {
  mask = testmask;

  /* Bloqueia servidor até que se dê um evento. */
  select(MAXSOCKS,&mask,0,0,0);

  /* Verificar se chegaram clientes para o socket stream */
  if(FD_ISSET(strmfd,&mask)) {
  /* Aceitar o cliente e associa-lo a newfd. */
    clientlen = sizeof (clientaddr);
    newfd = accept(strmfd,(struct sockaddr*)&clientaddr, &clientlen);
    echo(newfd);
    close(newfd);
  }

  /* Verificar se chegaram dados ao socket datagram. Ler dados */
  if(FD_ISSET(dgrmfd,&mask))
    echo(dgrmfd);
  /*Voltar ao ciclo mas não esquecer da mascara! */
  }
}
```

IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Evolução do Unix BSD 4.2:
  - sockets
- Gestão de eventos assíncronos:
  - signals (System V e BSD)

Eventos

- Rotinas Assíncronas para Tratamento de acontecimentos assíncronos e excepções

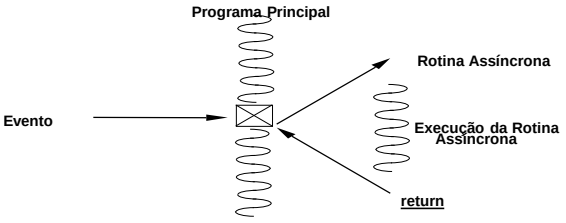
Rotinas Assíncronas

- Certos acontecimentos devem ser tratados pelas aplicações, embora não seja possível prever a sua ocorrência
  - Ex: Ctrl-C
  - Ex: Acção desencadeada por um timeout

- Como tratá-los na programação sequencial?

Modelo de Eventos

- Semelhante a outro conceito...



Rotinas Assíncronas

```
RotinaAssincrona (Evento,Procedimento)
```

Tem de existir uma tabela com os eventos que o sistema pode tratar

Identificação do procedimento a executar assincronamente quando se manifesta o evento.

Signals
Acontecimentos Assíncronos em Unix

Signal	Causa
SIGALRM	O relógio expirou
SIGCHLD	Um dos processos filhos alterou o seu estado (terminou, suspendeu ou retomou a execução)
SIGFPE	Divisão por zero
SIGINT	O utilizador carregou na tecla para interromper o processo (normalmente o CNTL-C
SIGQUIT	O utilizador quer terminar o processo e provocar um core dump
SIGKILL	Signal para terminar o processo. Não pode ser tratado
SIGPIPE	O processo escreveu para um pipe que não tem receptores
SIGSEGV	Acesso a uma posição de memória inválida
SIGTERM	O utilizador pretende terminar ordeiramente o processo
SIGUSR1	Definido pelo utilizador
SIGUSR2	Definido pelo utilizador

Exceção

Interação com o terminal

Desencadeado por interrupção HW

Explicitamente desencadeado por outro processo

- Há mais, definidos em signal.h

Tratamento por omissão

- Cada signal tem um tratamento por omissão, que pode ser:
  - Terminar o processo
  - Terminar o processo e criar ficheiro “core”
  - Ignorar signal
  - Suspender o processo
  - Continuar o processo suspenso

Redefinir o tratamento de um Signal

- Função signal permite mudar o tratamento de um signal:
  - Mudar para outro tratamento pré-definido (slide anterior)
  - Associar uma rotina do programa para tratar o signal

- O signal SIGKILL não pode ser redefinido. Porquê?

Chamada Sistema "Signal"

```
void (*signal (int sig, void (*func)(int))) (int);
```

A função retorna um ponteiro para função anteriormente associada ao signal

Identificador do signal para o qual se pretende definir um handler

Ponteiro para a função ou macro especificando:
- **SIG_DFL – acção por omissão**
- **SIG_IGN – ignorar o signal**

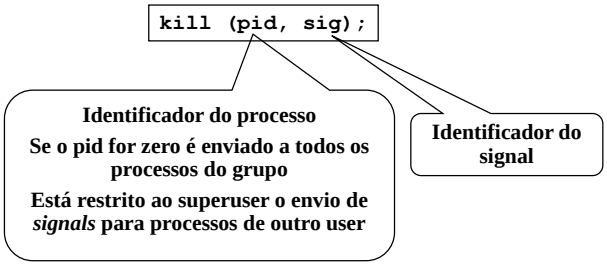
Parâmetro para a função de tratamento

Exemplo do tratamento de um Signal

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

void apanhaCTRLC (int s) {
  char ch;
  printf("Quer de facto terminar a execucao?\n");
  ch = getchar();
  if (ch == 's') exit(0);
  else {
    printf ("Entao vamos continuar\n");
    signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  }
}

int main () {
  signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  printf("Associou uma rotina ao signal SIGINT\n");
  for (;;)
    sleep (10);
}
```

Chamada Sistema Kill

- Envia um signal ao processo
- Nome enganador. Porquê?



Outras funções associadas aos signals

- unsigned alarm (unsigned int segundos);
  - o *signal* SIGALRM é enviado para o processo depois de decorrerem o número de segundos especificados. Se o argumento for zero, o envio é cancelado.
- pause();
  - aguarda a chegada de um *signal*
- unsigned sleep (unsigned int segundos);
  - A função chama *alarm* e bloqueia-se à espera do *signal*
- int raise(int sig)
  - o signal especificado em input é enviado para o próprio processo

Diferentes semânticas dos signals: Unix System V e Unix BSD

- System V:
  - A associação de uma rotina a um *signal* é apenas efetiva para uma ativação
    - Depois de receber o *signal*, o tratamento passa a ser novamente o por omissão (necessário associar de novo)
    - Entre o lançamento de rotina de tratamento e a nova associação → tratamento por omissão
    - Preciso restabelecer a associação na primeira linha da rotina de tratamento
      - Problema se houver receção sucessiva de signals
- BSD (e nas versões de Linux mais recentes, desde glibc2):
  - Associação *signal*-rotina não é desfeita após ativação
  - A receção de um novo signal é inibida durante a execução da rotina de tratamento

Diferentes semânticas dos signals: Como conseguir código portável?

- Não associar *signals* a rotinas
  - Associar apenas a SIG_DFL ou SIG_IGN

ou

- Usar função *sigaction*
  - Ver detalhes nas *man pages*

ou

- Em plataformas Linux, para ter a certeza de obter semântica BSD, usar bsd_signal

Dificuldades com programação usando *signals*: funções não reentrantes

- Um signal pode interromper o processo em qualquer altura!
  - inclusive em alturas "criticas" em que o estado do processo se encontra parcialmente atualizado
- Portanto o *signal handler* deve executar exclusivamente funções cuja correção é garantida independentemente do estado em que se encontra processo:
  - são chamadas **funções reentrantes**

Exemplo de funções não reentrantes: malloc

- Durante uma chamada a malloc/free, as listas de áreas já alocadas são alteradas
- Um *signal* pode ser recebido durante uma chamada à malloc, i.e., enquanto estas listas estão a ser manipuladas
- Neste caso, se o *signal handler* invoca também malloc, o resultado é imprevisível:
  - a chamada à malloc pelo sig_handler pode observar estados inconsistentes!

Outros exemplos de funções não reentrantes

- Funções do stdio.h, como printf, scanf, getc:
  - num *sig handler* é recomendado usar write e read, que são reentrantes

- Funções da pthread, como pthread_mutex_lock:
  - antes de aceder a áreas de memória partilhada com o sig_hanlder, o processo deve bloquear a receção de signals
  - Trata-se de uma solução cara e complexa...
  - ...portanto, é boa prática minimizar a partilha de memória entre o processo principal e sig_handlers

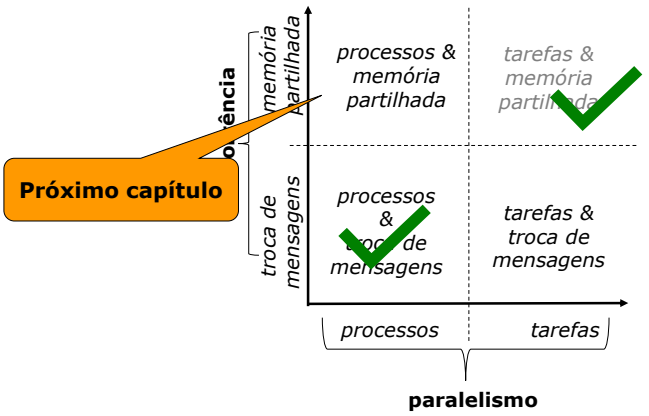
Funções “async-signal-safe”

- A lista das funções que podem ser chamadas a partir dum signal pode ser obtida na página de manual do signal(7)
- Estas funções são também chamadas “async-signal-safe” e incluem:
  - funções reentrantes
  - funções cuja execução não pode ser interrompidas por *signals* (pois os bloqueiam durante a própria execução)

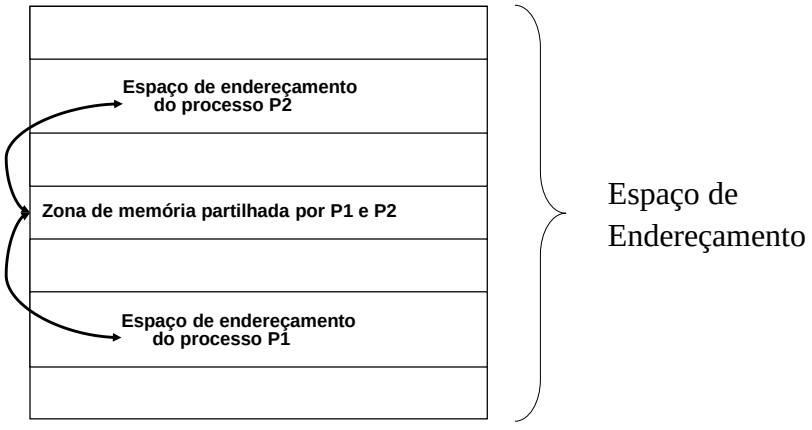
Exemplo do tratamento de um Signal usando apensa funções async-signal-safe

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

void apanhaCTRLC (int s) {
  char ch;
  char* str1="Quer de facto terminar a execucao?\n”;
  char* str2=“Entao vamos continuar\n”;
  write (1,str1, strlen(str1));
  read(0,&ch,1);
  if (ch == 's') exit(0);
  else {
    write (2,str2, strlen(str2));
    signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  }
}

int main () {
  signal (SIGINT, apanhaCTRLC);
  printf("Associou uma rotina ao signal SIGINT\n");
  for (;;)
    sleep (10);
}
```

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação



Arquitetura da Comunicação: por memória partilhada



Memória Partilhada: em teoria

- `Apont = CriarRegião (Nome, Tamanho)`
- `Apont = AssociarRegião (Nome)`
- `EliminarRegião (Nome)`

São necessários mecanismos de sincronização para:

- **Garantir exclusão mútua sobre a zona partilhada**
- **Sincronizar a cooperação dos processos produtor e consumidor (ex. produtor-consumidor ou leitores-escritores)**

Memória Partilhada: na prática em sistemas Unix/Linux

- Duas principais implementações:
  - Segmentos de memória partilhada do *System V*
    - Historicamente mais populares
  - Mapeamento de ficheiros do *BSD*
    - Adoptado nas interfaces standard POSIX

Segmentos de Memória Partilhada (*System V*)

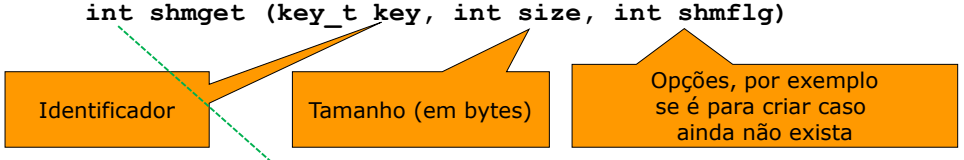
Modelo de programação no *System V*

- cada objeto é identificado por uma key
- o espaço de nomes é separado do sistema de ficheiros
- os nomes são locais a uma máquina
- as permissões de acesso são idênticas às de um ficheiro (r/w para *user/group/other*)
- os processos filho herdam os objetos abertos

Segmentos de memória partilhada (System V)

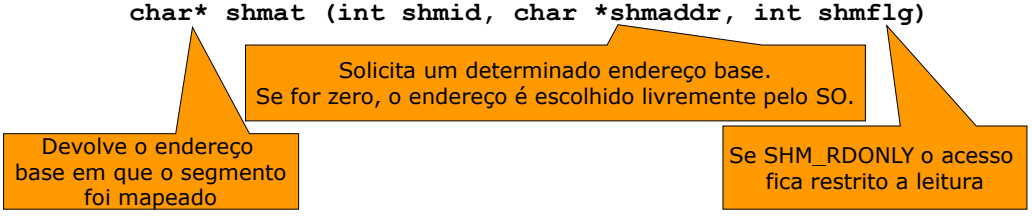
- criar/abrir um segmento:

```
int shmget (key_t key, int size, int shmflg)
```



- associar um segmento ao espaço de endereçamento do processo:

```
char* shmat (int shmid, char *shmaddr, int shmflg)
```



Segmentos de memória partilhada (System V), cont.

- eliminação da associação:

```
int shmdt (char *shmaddr);
```

Exemplo: Memória Partilhada

```c
/* produtor */

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>

#define CHAVEMEM 10
int  IdRegPart;
int *Apint;
int i;
```

```c
main () {
 IdRegPart = shmget (CHAVEMEM, 1024, 0777| IPC_CREAT);
 if (IdRegPart<0) perror(" shmget:");

 printf (" criou uma regiao de identificador %d \n",
         IdRegPart);

 Apint = (int *)shmat (IdRegPart, (char *) 0, 0);
 if (Apint == (int *) -1) perror("shmat:");

 for (i = 0; i<256; i++) *Apint++ = i;
}
```

Exemplo: Memória Partilhada

```c
/* consumidor*/

#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/shm.h>

#define CHAVEMEM 10

int IdRegPart;
int *Apint;
int i;
```

```c
main() {
 IdRegPart = shmget (CHAVEMEM, 1024, 0777);
 if (IdRegPart <0)
    perror("shmget:");

 Apint=(int*)shmat(IdRegPart, (char *)0, 0);
 if(Apint == (int *) -1)
    perror("shmat:");

 printf(" mensagem na regiao de memoria partilhada \n");
 for (i = 0; i<256; i++)
    printf ("%d ", *Apint++);

 printf (" \n liberta a regiao partilhada \n");
 shmctl (IdRegPart, 0, IPC_RMID,0);
}
```

Mapeamento de ficheiros (BSD, POSIX)

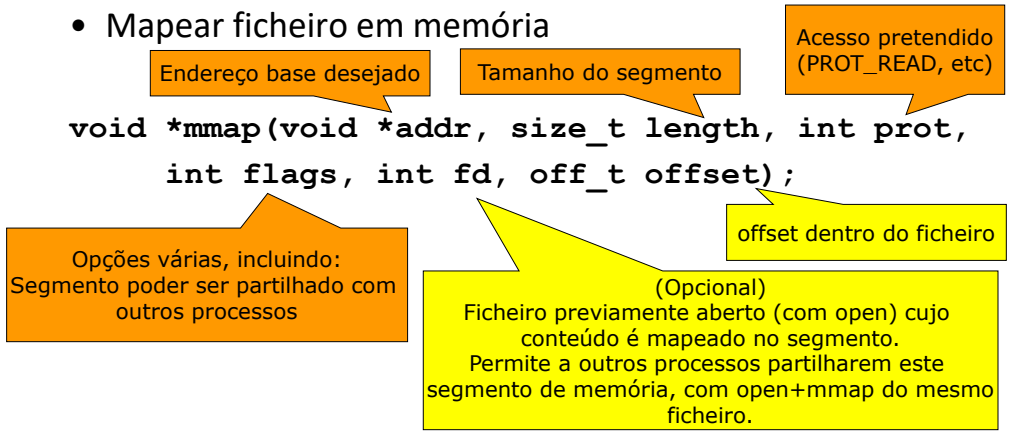
Alternativa para partilha de memória entre processos

Diferenças importantes em relação a segmentos partilhados em System V

- Identificador de segmento partilhado entre processos passa a ser um nome de ficheiro
  - Em vez de uma chave numérica
- Mapeamento com sistema de ficheiros permite programar com estruturas de dados em ficheiros sem usar read/write/etc
  - Basta mapear ficheiro em memória, ler e alterar diretamente
  - Alterações são propagadas para o ficheiro automaticamente
- Entre outras (ver man pages)

Mapeamento de ficheiros (BSD, POSIX)

- Mapear ficheiro em memória



- Remover mapeamento: **`munmap`**

Recapitulando...

Dificuldades com programação em memória partilhada (I)

- *malloc, free* não funcionam sobre os segmentos partilhados
  - Tipicamente, o programador tem de gerir manualmente a memória
- Uso de ponteiros dentro da região partilhada é delicado
  - Exemplo: numa lista mantida em memória partilhada, o que acontece se diferentes processos seguem o ponteiro para o primeiro elemento da lista?
  - Só funciona corretamente se todos os processos mapearem o segmento partilhado no mesmo endereço base!

Dificuldades com programação em memória partilhada (II)

- Dados no segmento partilhado podem ser acedidos concorrentemente, logo precisamos de **sincronização entre processos**
  - Mecanismos de sincronização que estudámos podem ser inicializados com opção multi-processo
    - Exemplo: opção `_POSIX_THREAD_PROCESS_SHARED` de `pthread_mutex_t`
  - Outros mecanismos foram propostos para este caso:
    - Exemplo: semáforos System V
- Sincronização entre processos traz desafios não triviais que não existiam entre tarefas
  - Exemplo: processo adquiriu mutex sobre variável partilhada mas *crasha* sem libertar o mutex

Então o que é melhor para comunicar entre processos? Memória partilhada vs. canal de comunicação do SO

- Memória partilhada:
  - programação complexa
  - a sincronização tem de ser explicitamente programada
  - mecanismo mais eficiente (menos cópias)
- Canal de comunicação do SO:
  - fácil de utilizar (?)
  - sincronização implícita
  - velocidade de transferência limitada pelas duas cópias da informação e pelo uso das chamadas sistema para Enviar e Receber

Combinações de modelos de paralelismo e coordenação