Comunicação entre Processos

Canal de comunicação

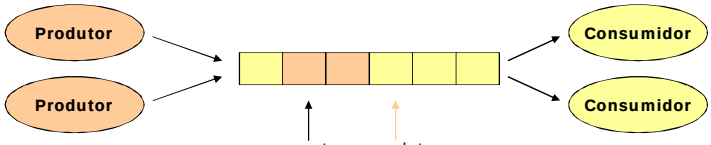
Arquitectura da comunicação

Modelos de comunicação

Necessidade da Comunicação

- A sincronização entre processos permitiu que diversas actividades possam cooperar na execução de um algoritmo.
- Contudo, logo se alertou para o facto de em muitas situações a cooperação implicar para além da sincronização a transferência de informação
- A comunicação entre processos ou IPC de InterProcess Communication é um dos aspectos do modelo computacional do sistema operativo que maior importância tem na programação de aplicações

Exemplo de Cooperação entre Processos: 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);
  }
}
```

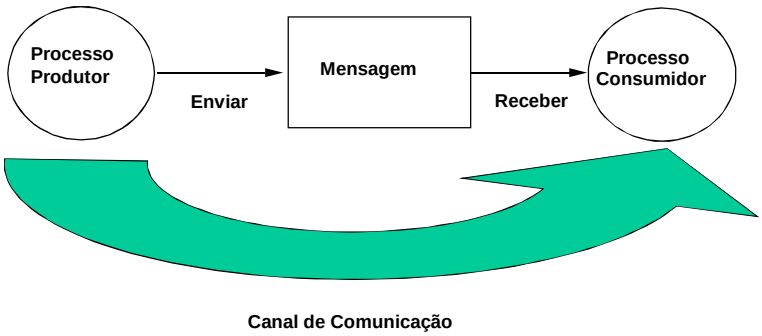
Optimização: Permite produzir e consumir ao mesmo tempo em partes diferentes do buffer

```
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);
  }
}
```

Comunicação entre Processos

- Para interactuarem os processos necessitam de sincronizar-se e de trocar dados
  - Generalização do modelo de interacção entre processos em que para além da sincronização existe transferência de informação
  - A transferência de informação é suportada por um canal de comunicação disponibilizado pelo sistema operativo
- Protocolo e estrutura das mensagens
  - Os processos que comunicam necessitam de estabelecer a estrutura das mensagens trocadas, bem como o protocolo que rege a troca das mesmas
  - Normalmente o sistema operativo considera as mensagens como simples sequências de octetos
  - Numa visão OSI podemos ver estes mecanismo como correspondendo às camadas de Transporte e Sessão

Comunicação entre Processos



- generalização do modelo de cooperação entre processos

Exemplos

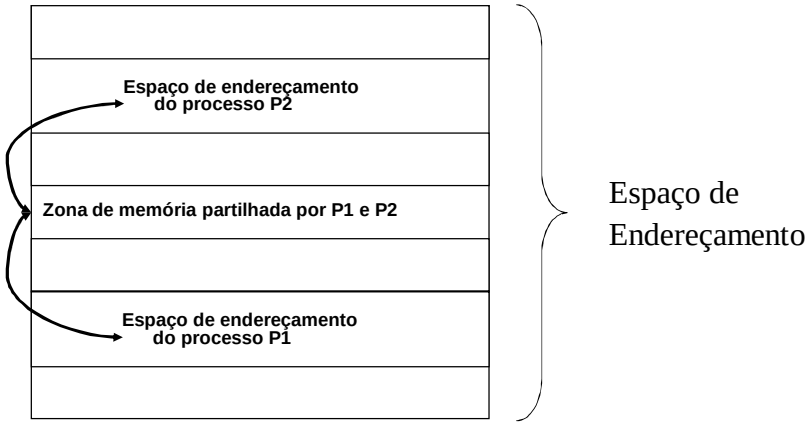
- A comunicação entre processos pode realizar–se no âmbito:
  - de uma única aplicação,
  - uma máquina
  - Entre máquinas interligadas por uma redes de dados
- Ex.. Outlook e exchange, servidores de base de dados, WWW, FTP, Telnet, SSH, MAIL, P2P

Como implementar comunicação entre processos?

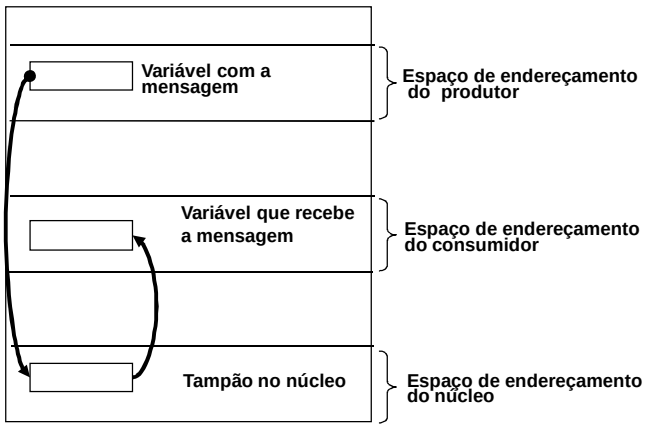
Implementação do Canal de Comunicação

- Para implementar o canal de comunicação é fundamental definir como são transferidos os dados entre os espaços de endereçamento dos processos
- O canal de comunicação pode ser implementado com dois tipos de mecanismos:
  - **Memória partilhada**: os processos acedem a uma zona de memória que faz parte do espaço de endereçamento dos processos comunicantes
  - **Transferidos através do núcleo do sistema operativo**; os dados são sempre copiados para o núcleo antes de serem transferidos

Arquitectura da Comunicação: memória partilhada



Arquitectura da Comunicação: cópia através do núcleo



Comparação

- A memória partilhada pode ser considerada como uma extensão à gestão da memória virtual, permitindo ultrapassar os mecanismos de protecção dos espaços de endereçamento
  - Num sistema paginado corresponde a acrescentar uma (ou mais) PTE tabela de páginas que descreve a região de memória partilhada
- A comunicação no núcleo é semelhante a gestão de outros objectos do sistema em particular os ficheiros
  - Na execução da chamada sistema `Enviar` a mensagem é copiada para o núcleo e na chamada `Receber` é copiada do núcleo para o espaço de endereçamento do processo.

Memória Partilhada

- `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)**

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

Comparação: memória partilhada vs. cópia através do núcleo

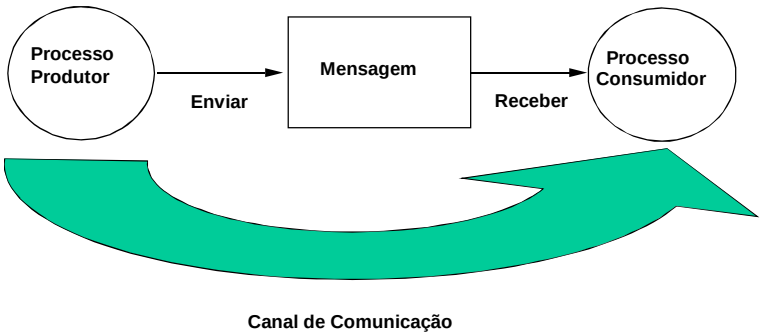
- Memória partilhada:
  - mecanismo mais eficiente
  - a sincronização tem de ser explicitamente programada
  - programação complexa
- Objecto de Comunicação Sistema:
  - velocidade de transferência limitada pelas duas cópias da informação e pelo uso das chamadas sistema para Enviar e Receber
  - sincronização implícita
  - fácil de utilizar

O resto do capítulo foca-se em **canais com cópia através do núcleo**

Modelo do canal de comunicação

- Um canal de comunicação é um objecto do sistema operativo que tem pelo menos a seguinte interface funcional
  - Criar e Eliminar
  - Associar - criar uma sessão
  - Enviar (mensagem)
  - Receber (*mensagem)

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

- Podemos ter duas soluções para os nomes
- Dar nomes explícitos aos canais
  - o espaço de nomes é gerido pelo sistema operativo e pode assumir diversas formas (cadeias de caracteres, números inteiros, endereços estruturados, endereços de transporte das redes)
    - Enviar (IdCanal, mensagem)
    - Receber (IdCanal, *buffer)
  - É o mais frequente e muitas vezes baseia-se na gestão de nomes do sistema de ficheiros
- Os processos terem implicitamente associado um canal de comunicação
  - o canal é implicitamente identificado usando os 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

- 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):
  - bloqueante na ausência de mensagens, a mais frequente
  - testa se há mensagens e retorna
- Capacidade de Armazenamento de Informação do canal
  - um canal pode ou não ter capacidade para memorizar várias mensagens
  - o armazenamento de mensagens num canal de comunicação 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

Direccionalidade da comunicação

- A comunicação nos canais pode ser unidireccional ou bidireccional
  - 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. Ex.: *pipes*
  - Bidireccional o canal permite enviar mensagens nos dois sentidos
    - Ex.: *sockets*

Resumo do Modelo Computacional

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

Modelos de Comunicação

Modelos de Comunicação

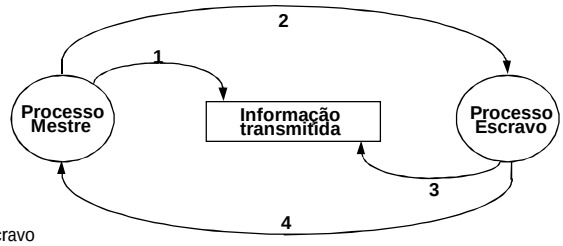
- Com as funções do modelo computacional poderíamos criar qualquer tipo de estrutura de comunicação entre os processos.
- Contudo existem algumas que, por serem mais frequentes, correspondem a padrões que os programadores utilizam ou que o sistema operativo oferece directamente como canais nativos

Modelos de Comunicação

- Um-para-Um (fixo)- Mestre/escravo:
  - O processo consumidor (escravo) tem a sua acção totalmente controlada por um processo produtor (mestre)
  - A ligação entre produtor consumidor é fixa
- Um-para-Muitos - Difusão:
  - Envio da mesma informação a um conjunto de processos consumidores
- Muitos-para-Um (caixa de correio, canal sem ligação):
  - Transferência assíncrona de informação (mensagens), de vários processos produtores, para um canal de comunicação associado a um processo consumidor
  - Os produtores não têm qualquer controlo sobre os consumidores/receptores
- Um-para-Um de vários (diálogo, canal com ligação):
  - Um processo pretende interactuar com outro, negoceiam o estabelecimento de um canal dedicado, mas temporário, de comunicação entre ambos. Situação típica de cliente servidor
- Muitos-para-Muitos
  - Transferência assíncrona de informação (mensagens) de vários processos produtores para um canal de comunicação associado a múltiplos processos consumidor

Comunicação Mestre-Escravo

- o mestre não necessita de autorização para utilizar o escravo
- a actividade do processo escravo é controlada pelo processo mestre
- a ligação entre emissor e receptor é fixa



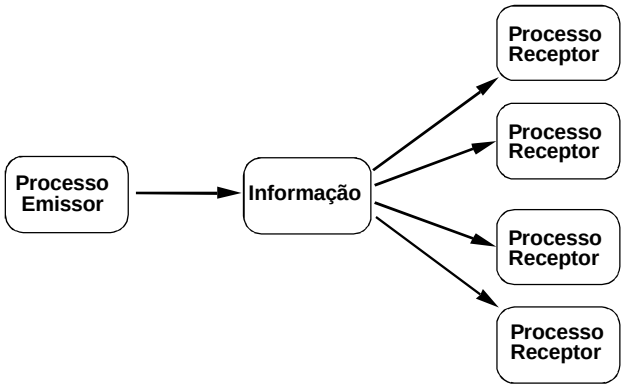
- Etapas:
  - 1 - informação para o processo escravo
  - 2 - assinalar ao escravo a existência de informação para tratar
  - 3 - leitura e eventualmente escrita de informação para o processo mestre
  - 4 - assinalar ao mestre o final da operação

Mestre Escravo com Memória Partilhada

```
#define DIMENSAO 1024
char* adr;
int Mest, Esc;
semaforo SemEscravo, SemMestre;

main() {
  SemEscravo = CriarSemaforo(0);
  SemMestre = CriarSemaforo(0);
  Mest = CriarProcesso(Mestre);
  Esc  = CriarProcesso(Escravo);
}
```

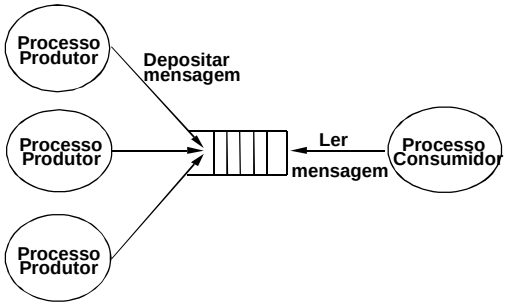
```
void Mestre () {
   adr = CriarRegiao ("MemPar", DIM);
   for (; ;) {
      ProduzirInformação();
      EscreverInformação();
      Assinalar (SemEscravo);
      /* Outras acções */
      Esperar (SemMestre);
   }
}
void Escravo() {
   adr = AssociarRegiao ("MemPar", DIM);
   for (; ;) {
      Esperar (SemEscravo);
      TratarInformação();
      Assinalar (SemMestre);
   }
}
```

Difusão da Informação



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)
```

Programação da Caixa de Correio

cliente

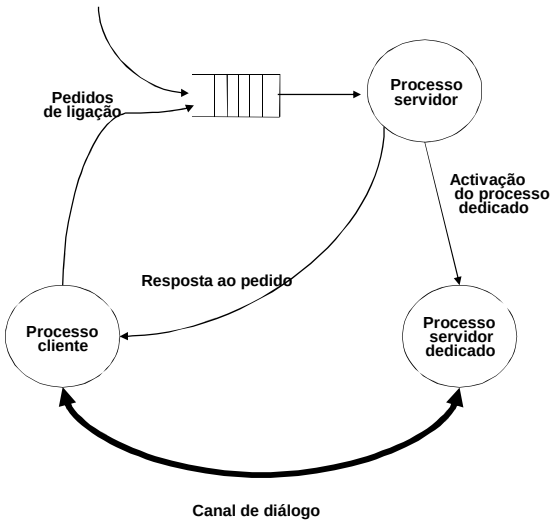
```
#define NMax 10

typedef char TMensagem[NMax];
IdCC CCliente, CServidor;
TMensagem Mens;

/* Cria a mensagem de pedido do serviço o qual
   contém  o identificador da caixa de correio de resposta */
void PreencheMensagem(TMensagem MS) { }

/* Processa a mensagem de resposta */
void ProcessaResposta(TMensagem MS) { }

void main() {
   CCliente=CriarCorreio("Cliente");
   CServidor=AssociarCorreio("Servidor");

   for (;;) {
      PreencheMensagem (Mens);
      Enviar (CServidor, Mens);
      Receber (CCliente, Mens);
      ProcessaReposta (Mens);
    }
}
```

servidor

```
#define NMAX  10
#define NCNome  64

typedef char TMensagem[NMAX];
typedef char Nome[NCNome];
IdCC CResposta, CServidor;
TMensagem Mens;
Nome NomeCliente;

/* Trata  a mensagem e devolve o nome da caixa de
   correio do cliente enviada na mensagem inicial */
void TrataMensagem (TMensagem Ms, Nome NomeCliente) { }

void main () {
  Cservidor=CriarCorreio("Servidor");

  for (;;) {
     Receber (Cservidor, Mens);
     TrataMensagem (Mens, NomeCliente);
     CResposta=AssociarCCorreio (NomeCliente);
     Enviar (CResposta, Mens);
     EliminarCC(CResposta);
  }
}
```

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);
   }
}
```

Muitos-para-muitos

- Transferência assíncrona de informação (mensagens) de vários processos produtores para um canal de comunicação associado a múltiplos processos consumidor

Unix– Modelo Computacional - IPC

pipes

sockets

IPC sistema V

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.

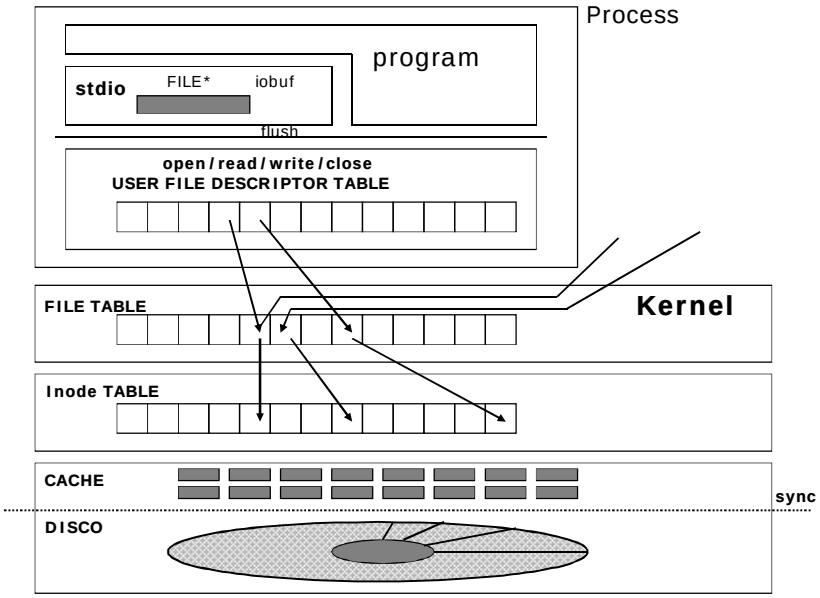
Sistema de Ficheiros

- 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)

Sistema de Ficheiros

```
main (argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    int origem, destino, n;
    char tampao[1024];

    origem = open (argv[1], O_RDONLY);
    if (origem == -1) {
        printf ("Nao consigo abrir %s \n",argv[1]);
        exit(1);
    }
    destino = creat (argv[2], 0666);
    if (destino == -1) {
        printf ("Nao consigo criar %s \n", argv[2]);
        exit(1);
    }
    while ((n = read (origem, tampao, sizeof(tampao))) > 0)
        write (destino, tampao, n);
    exit(0);
}
```

Sistema de Ficheiros UNIX

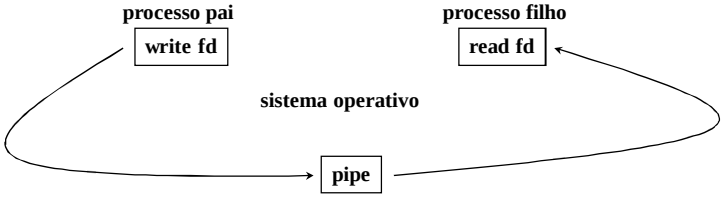


IPC no UNIX

- Mecanismo inicial:
  - pipes
- Extensão dos pipes:
  - pipes com nome
- Evolução do Unix BSD 4.2:
  - sockets
- Unix sistema V:
  - regiões de memória partilhada
  - semáforos
  - caixas de correio

Pipes

- Mecanismo original do Unix para para comunicação entre processos.
- Têm uma interface idêntica à dos ficheiros
- Constitui um dos conceitos unificadores na estrutura do interpretador de comandos
- Canal (*byte stream*) ligando dois processos
- Permite um fluxo de informação unidireccional, um processo escreve num pipe e o correspondente lê na outra extremidade – modelo um para um
- Não tem nome lógico associado
- As mensagens são sequências de bytes de qualquer dimensão



Pipes (2)

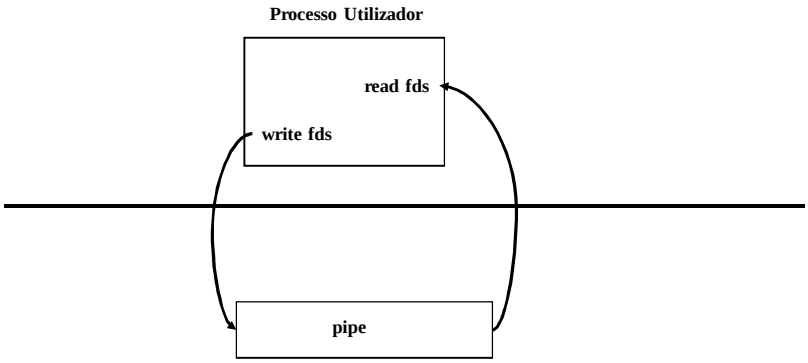
```
int pipe (int *fds);

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

- Os descritores de um pipe são análogos ao dos ficheiros
- As operações de read e write sobre ficheiros são válidas para os pipes
- Os descritores são locais a um processo podem ser transmitidos para os processos filhos através do mecanismo de herança
- O processo fica bloqueado quando escreve num pipe cheio
- O processo fica bloqueado quando lê de um pipe vazio

Pipes (3)

```
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)));
   }
}
```

Pipes (4)



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) {
/* 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();
   }
}
```

Redirecção de Entradas/saídas

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)

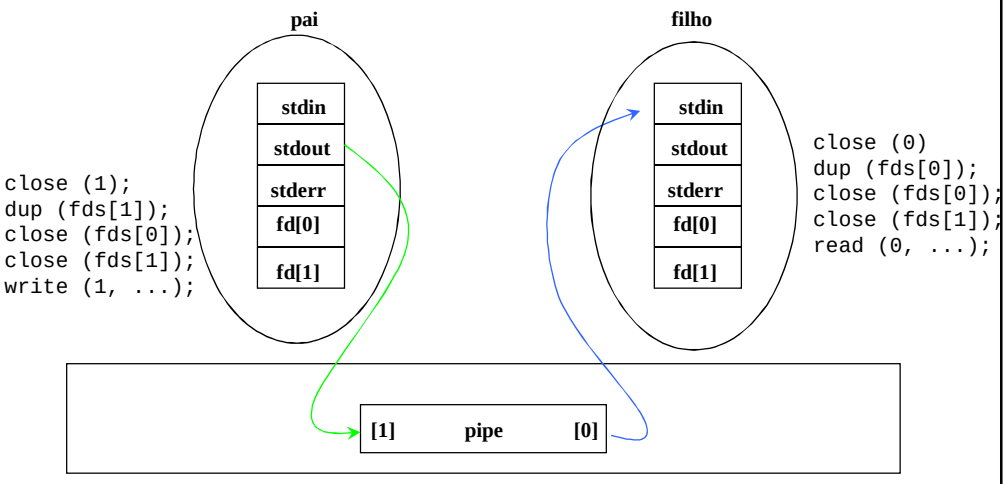
The new file descriptor is set to remain open across exec functions (see fcntl(2)).
The file descriptor returned is the lowest one available.
The dup(fildes) function call is equivalent to: fcntl(fildes, F_DUPFD, 0)

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]);
```

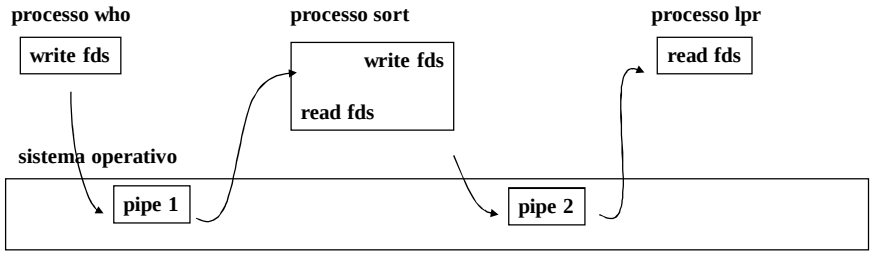
```
/* fecha os descritores não usados pelo
  filho */
      close (fds[0]);
      close (fds[1]);

/* 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 (2)



Redireccionamento de Entradas/Saídas no Shell

exemplo:
who | sort | lpr



popen

NAME
popen, pclose - initiate a pipe to or from a process

SYNOPSIS
#include <stdio.h>
FILE *popen(const char *command, const char *mode);
int pclose(FILE *stream);

DESCRIPTION
The popen() function creates a pipe between the calling program and the command to be executed. The arguments to popen() are pointers to null-terminated strings. The command argument consists of a shell command line.

The mode argument is an I/O mode, either r for reading or w for writing. The value returned is a stream pointer such that one can write to the standard input of the command, if the I/O mode is w, by writing to the file stream (see intro(3)); and one can read from the standard output of the command, if the I/O mode is r, by reading from the file stream. Because open files are shared, a type r command may be used as an input filter and a type w as an output filter.

The environment of the executed command will be as if a child process were created within the popen() call using fork(). The child is invoked with the call: execl("/usr/bin/ksh", "ksh", "-c", command, (char *)0).

A stream opened by popen() should be closed by pclose(), which closes the pipe, and waits for the associated process to terminate and returns the termination status of the process running the command language interpreter.

popen (1)

```
EXAMPLE
     The following program will print on the standard output (see
   stdio(3S))  the names of files in the current
     directory with a .c suffix.

     #include <stdio.h>
     #include <stdlib.h>
     main() {
             char *cmd = "/usr/bin/ls *.c";
             char buf[BUFSIZ];
             FILE *ptr;

             if ((ptr = popen(cmd, "r")) != NULL)
               while (fgets(buf, BUFSIZ, ptr) != NULL)
                       printf("%s", buf);
             return 0;
     }
```

popen (2)

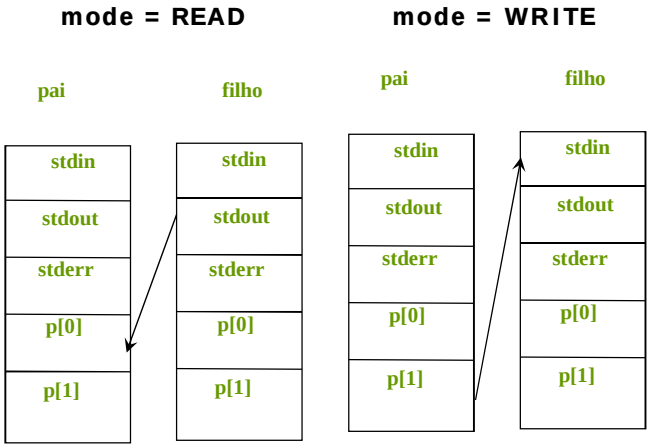
```
#include <stdio.h>

#define READ 0
#define WRITE 1
#define tst (a,b) (mode == READ ? (b) : (a))
static int popen_pid;

FILE *popen (char* cmd, int mode) {
  int p[2];
  if (pipe(p) < 0) return (NULL);

  if ((popen_pid = fork()) == 0) }
    close ( tst (p[WRITE], p[READ])); ---------- close ( p[0]);  ---------- close (p[1]);
    close ( tst (0, 1)); ---------- close (1); ---------- close (0);
    dup ( tst (p[READ], p[WRITE])); ---------- dup (p[1]); ---------- dup (p[0]); ----------
    close ( tst (p[READ], p[WRITE])); ---------- close (p[1]); ---------- close (p[0]);
    execl ("/bin/sh", "sh", "-c", cmd, 0);
    exit (1);
  }
  if (popen_pid == -1) return (NULL);
  close ( tst (p[READ], p[WRITE])); ---------- close (p[1]); ---------- close (p[0]);
  return ( tst (p[WRITE], p[READ])); ---------- return (p[0]); ---------- return (p[1]); -------
}
```

mode = READ | **mode =WRITE**

o filho lê o que o pai envia

o pai envia para o filho os argumentos do comando

popen (3)



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. **O espaço de nomes usado é o 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

Named Pipes

- um named pipe é um canal :
  - unidireccional
  - interface sequência de caracteres (byte stream)
  - um processo associa-se com a função open
  - é eliminado com a função unlink
  - o envio de informação é efectuado com a função write
  - a leitura da informação é efectuada com a função read
- A função mknod ou mkfifo permite criar ficheiros com características especiais e serve para criação dos named pipes.

```
int mknod (char *pathname, int mode)
```

```
/* 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");
}
```

Sockets

- Interface de programação para comunicação entre processos introduzida no Unix 4.2 BSD
- 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 {
  u_short family; /* definição do dominio (AF_XX) */
  char sa_data[14]; /* endereço específico do dominio*/
};

/* ficheiro <sys/un.h> */
struct sockaddr_un {
  u_short family; /* definição do domínio (AF_UNIX) */
  char sun_path[108]; /* nome */
};
```

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

struct sockaddr_in {
   u_short sin_family; /* AF_INET */
   u_short sin_port; /* número do porto - 16 bits*/
   struct in_addr sin_addr; /* Netid+Hostid */
  char sin_zero[8]; /* não utilizado*/
};
```

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);
```

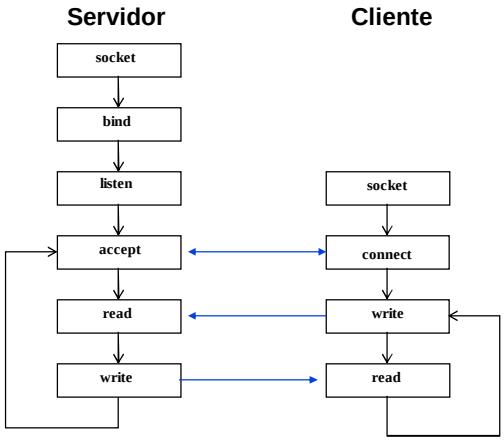
  - domínio: AF_UNIX, AF_INET
  - tipo: SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM
  - protocolo: normalmente escolhido por omissão
  - resultado: identificador do socket (sockfd)
- Um socket é criado sem nome
- A associação de um nome (endereço de comunicação) a um socket já criado é feito com a chamada bind:

```
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

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
#define SERV_HOST_ADDR "193.136.128.20“
       /* endereço do servidor */
#define SERV_HOSTNAME  "mega"
      /* nome do servidor */
```

Exemplo

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

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 (writen(sockfd, sendline, n) != n)
     err_dump("str_cli:written 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");
}
```

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);
```

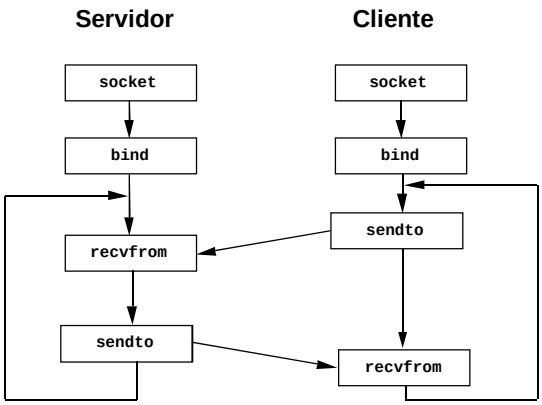
Servidor STREAM AF_UNIX (2)

```
  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 (writen(sockfd, line, n) != n)
        err_dump("str_echo: writen error");
   }
}
```

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");
  }
}
```

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! */
  }
}
```