

Ficha 6 – Sockets UDP

Tópicos abordados:

- Funções de conversão: *inet_ntop* e *inet_pton*.
- Funções de ordenamento de bytes: *htons*, *htonl*, *ntohs*, *ntohl*.
- Sockets UDP
- Exemplo de um servidor e cliente UDP
- Exercícios

Duração prevista: 2 aulas

©2020: {patricio.domingues, vitor.carreira., gustavo.reis, carlos.grilo, carlos.machado, gabriel.silva, miguel.negrao}@ipleiria.pt
Todos os direitos reservados

1. Introdução

Os *sockets* são uma forma de comunicação entre processos que se distinguem das restantes (memória partilhada, *pipes*, filas de mensagens, ...) pelo facto de suportarem comunicação através da rede. Quando se pretende iniciar uma ligação entre processos através de *sockets* é necessário ter em conta os seguintes aspetos:

- O papel que cada processo desempenha – cliente ou servidor;
- O tipo de servidor – iterativo ou concorrente;
- O tipo de ligação – orientada à ligação (*connection oriented*) ou sem ligação permanente (*connectionless*);
- O protocolo de comunicação usado – internet, XNS, SNA, etc.

Nesta ficha vamos abordar os *connectionless sockets*, também conhecidos por *datagram sockets*, cujo protocolo de comunicação é o UDP. Os *datagram sockets* (UDP) não garantem a entrega da informação ao destinatário, ao contrário do que sucede com os *stream sockets*. No entanto, são muito utilizados porque requerem menos processamento e geram menos tráfego na rede. As aplicações que usam este tipo de *sockets* são aquelas em que a perda de um pacote de informação não prejudica de forma significativa o seu funcionamento. Por exemplo, num serviço de distribuição de hora para sincronizar os

computadores numa rede (e.g. Network Time Protocol – NTP – RFC 5905), caso um pacote de pedido para obtenção da data atual seja perdido (ou a resposta do servidor), basta ao cliente efetuar novo pedido ao servidor. Outro tipo de aplicação que usa o UDP é a *voz sobre IP* (VoIP), porque é preferível perder um pacote de informação de voz do que recebê-lo com atraso.

2. Endereços IPv4 e IPv6

2.1. Endereços IPv4

Os endereços IPv4 são representados por uma cadeia de caracteres composta por quatro grupos de números decimais separados por pontos (*dotted-decimal*), por exemplo: 192.168.234.244. Este formato é útil para facilitar a sua leitura e memorização, mas tem de ser convertido para o seu equivalente binário (4 bytes, 32 bits) em **formato de rede**, para ser usado na estrutura de endereço de *sockets*. O formato de rede é *big endian*, e determina a ordem dos bytes num valor com vários bytes.

2.2. Endereços IPv6

Os endereços IPv6 são representados por 16 bytes (128 bits), agrupados em 8 blocos, cada um com dois bytes. Dado que é empregue a representação hexadecimal, cada bloco de dois bytes tem valores entre 0 e 0xFFFF (os zeros à esquerda podem ser omitidos). Os 4 bytes menos significativos de um endereço IPv6 podem ser um endereço IPv4 em formato *dotted-decimal* (por exemplo, 1:2:3:4:5:6:192.193.194.195). Um endereço IPv6 pode ainda fazer uso de representação abreviada, em que um ou mais blocos de zero bytes é abreviado por “::” (duas vezes dois pontos), sendo contudo apenas permitida a existência de um bloco “::”. Um exemplo de endereço IPv6 passível de ser abreviado é 1:2:0:0:0:0:7:8 que pode ser representado como 1:2::7:8.

2.3. Endereço local (localhost)

O endereço dito de *localhost* é “127.0.0.1” em formato IPv4 e “::1” em formato IPv6.

2.4. Funções para a conversão de endereços

```
#include <arpa/inet.h>

int inet_pton(int af, const char *src, void *dst);
char *inet_ntop(int af, const void *src, char *dst, socklen_t
size)
```

A função `inet_pton` faz a conversão de um endereço *dotted-decimal* para o seu equivalente binário e devolve 1 em caso de sucesso.

Recebe como parâmetros:

- `af` – família de endereços (IPv4 = `AF_INET`, IPv6 = `AF_INET6`);
- `src` – o endereço no formato *dotted-decimal*;
- `dst` - o endereço onde a representação binária do endereço deve ser guardada;

Valores de retorno

Sucesso – devolve 1.

Insucesso – devolve 0 se `src` não contém um endereço válido ou -1 se `af` não contém uma família de endereços válida.

A função `inet_ntop` faz o inverso, ou seja, recebe como parâmetro de entrada o endereço IP em formato binário (parâmetro `src`) e converte-o para ASCII na representação designada *dotted-decimal* (parâmetro `dst`).

Caso `af` seja `AF_INET` então `dst` deverá ser uma estrutura de tipo `struct in_addr` e `size` deverá ser `sizeof(struct in_addr)`. Caso `af` seja `AF_INET6` então `dst` deverá ser uma estrutura de tipo `struct in6_addr` e `size` deverá ser `sizeof(struct in6_addr)`. Estas estruturas serão explicadas de seguida.

Lab 1

Elabore o programa `IPv4_addr` que deve receber um endereço IPv4 em formato texto (e.g., "192.168.14.11") através da linha de comando e convertê-lo através da função `inet_pton`. Após a conversão, o valor convertido deve ser mostrado *byte a byte*.

Nota: o parâmetro endereço IPv4 deve ser enviado da linha de comandos, usando para isso a ferramenta *gengetopt*.

3. Estruturas, constantes e funções auxiliares

De seguida são apresentadas as estruturas de dados empregues com *sockets*, bem como algumas funções auxiliares para inicialização destas estruturas de dados.

3.1. Estruturas e constantes

A estrutura `struct sockaddr` representa o conceito de endereço de forma genérica, independente do protocolo. Esta estrutura é usada em várias funções como, por exemplo, `recvfrom`, `sendto`, `bind`, `accept`, `connect` e serve para uniformizar a interface das funções relacionadas com os *sockets*, por isso, nunca é usada diretamente. Assim, são usadas estruturas específicas para cada protocolo, sendo depois feito um *cast* para a estrutura genérica.

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

struct sockaddr {
    unsigned short    sa_family; /* address family: AF_XXXX value */
    char sa_data[14];           /* protocol-specific address */
}
```

Para representar um endereço *socket* Internet IPv4 deve ser usada a estrutura específica `struct sockaddr_in`. Por sua vez, para representar um endereço *socket* Internet IPv6 deve ser empregue a estrutura `struct sockaddr_in6`.

```
#include <arpa/inet.h>

struct sockaddr_in {
    sa_family_t      sin_family; /* address family: AF_INET */
    in_port_t        sin_port; /* port in network byte order (usar htons)*/
    struct in_addr sin_addr; /* internet address */
};

/* Internet address. */
struct in_addr {
    uint32_t s_addr; /* address in network byte order (usar htonl)*/
};
```

```
#include <arpa/inet.h>

struct sockaddr_in6 {
    sa_family_t    sin6_family;    /* AF_INET6 */
    in_port_t      sin6_port;      /* port number, in network byte order */
    uint32_t       sin6_flowinfo; /* IPv6 flow information */
    struct in6_addr sin6_addr;      /* IPv6 address */
    uint32_t       sin6_scope_id; /* Scope ID */
};

struct in6_addr {
    u_int8_t s6_addr[16]; /* IPv6 address, in network byte order */
};
```

Estas estruturas apresentam os seguintes elementos:

- `sin_family` – indica o nome da família de protocolos. Deve ser usado `AF_INET` para *sockets* IPv4 e `AF_INET6` para *sockets* IPv6.
- `sin_port` – serve para guardar o porto em formato de rede/*big-endian* (*byte ordered* – ver funções `htons` e `ntohs` mais abaixo).
- O `sin_addr` – serve para especificar o endereço IP, também em formato de rede (ver função `inet_pton`).

Quando se regista um *socket* no sistema local (função `bind`), e caso se pretenda que um *socket* aceite ligações independentemente da interface de rede (por exemplo, num computador com duas placas de rede), é necessário colocar a constante `INADDR_ANY` no campo do endereço IP para o caso do IPv4. Para IPv6, faz-se uso da constante `in6addr_any`. Esta situação é usada normalmente quando pretendemos criar um *socket* nas aplicações servidoras. No entanto, se a constante `INADDR_ANY` for usada no campo do porto, estamos a indicar ao sistema operativo que pode escolher um porto disponível.

3.2. Funções de Ordenamento dos Bytes

Por forma a permitir a comunicação de processos entre sistemas com diferentes *endianess* – *little endian* (por exemplo x86 e x86-64) e *big endian* (por exemplo, sistemas com arquitetura SPARC) – existem funções para transformar os dados do formato específico da máquina (*host*) para o formato de rede (*net*, que é *big endian*) e vice-versa. A seguir, são apresentados os protótipos dessas funções:

```
#include <arpa/inet.h>

uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
uint16_t htons(uint16_t hostshort);
uint16_t ntohs(uint16_t netshort);
```

Os nomes destas funções derivam da junção das abreviaturas das seguintes palavras:

- *h* – *host* (máquina);
- *n* – *network* (rede);
- *l* – *long* (32 bits);
- *s* – *short* (16 bits).

Assim, a função `htonl` (*host to network long*) converte o parâmetro de entrada, um *long int* (32 bits), do formato da máquina para o formato da rede. A descrição das restantes funções é facilmente dedutível.

Lab 2

Recorrendo a uma variável do tipo `short` e às funções de conversão do formato local / formato de rede, elabore o programa `determina_endianess` que deve indicar se a máquina local é *little endian* ou *big endian*. O programa deve validar que o tipo de dados `short` ocupa dois octetos.

3.3. Função de Preenchimento *memset*

Antes de atribuir valores às variáveis do tipo `struct sockaddr_in`, devemos iniciá-las com todos os valores a zero (mesmo quando iremos preencher seguidamente todos os seus campos). Para atingir este objetivo usa-se a função seguinte:

```
#include <string.h>

void *memset(void *dest, int c, size_t n);
```

A função `memset` preenche cada um dos *n* primeiros bytes do endereço *dest* com o valor especificado pelo parâmetro *c*. Para “zerar” uma zona de memória, especifica-se o valor 0 (zero) para o parâmetro *c*.

Valores de retorno

Devolve um ponteiro para a zona de memória *dest*.

Lab 3

Elabore o programa `zera_addr` que:

- Mostre o tamanho da estrutura `sockaddr_in`;
 - Faça uso da função `memset` e coloque a zero a zona de memória ocupada por uma variável do tipo `struct sockaddr_in` (`my_addr_IPv4`);
 - Após a chamada à função `memset`, crie uma função para mostrar cada um dos *bytes* da zona de memória ocupada pela variável “`my_addr_IPv4`”, confirmando que cada *byte* tem o valor zero;
- Sugestão:** iterar a zona de memória da variável do tipo `struct sockaddr_in` com um ponteiro para `unsigned char` (`unsigned char *`).
- Faça uso da função `memset` colocar com o valor 4 os primeiros 6 bytes da variável “`my_addr_IPv4`”;
 - Utilize a função criada anteriormente para voltar a mostrar o estado atual da zona de memória da variável “`my_addr_IPv4`”.

4. Sockets UDP

A Figura 1 apresenta um esquema com os passos a realizar no estabelecimento de um sistema cliente/servidor que comunica via *datagram socket* (UDP).

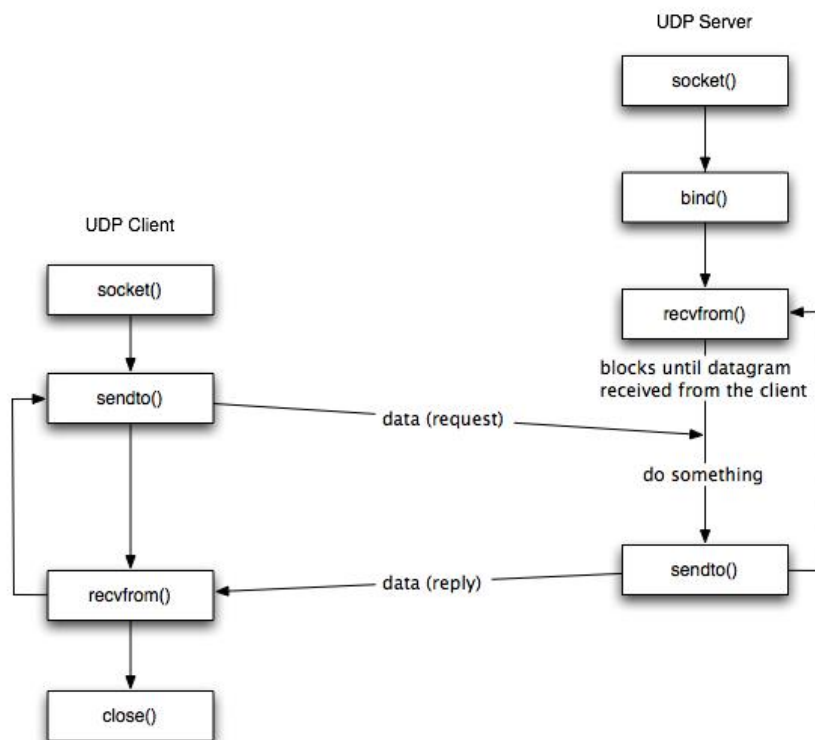


Figura 1: Interação típica entre aplicações tipo cliente/servidor UDP

4.1. Socket

Inicialmente, o servidor e o cliente devem criar um identificador para a ligação através da função `socket`.

4.1.1. Iniciar um Socket

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

int socket(int domain, int type, int protocol);
```

A função `socket` cria e devolve um descritor para um *socket*.

Recebe como parâmetros:

- `domain` – família de endereços usada para a comunicação (por exemplo `AF_INET` para IPv4).
- `type` – especifica o tipo de comunicação (por exemplo `SOCK_STREAM`, `SOCK_DGRAM`, ou `SOCK_RAW`).
- `protocol` – especifica o protocolo a ser utilizado. Caso se pretenda utilizar o protocolo por omissão (TCP para `SOCK_STREAM`, UDP para `SOCK_DGRAM`, ...) passe-se como argumento o valor 0.

Valores de retorno

Sucesso – devolve um descritor para o *socket*.

Insucesso – devolve -1.

4.1.2. Fechar um Socket

```
#include <unistd.h>

int close(int fd);
```

A função `close` fecha um descritor de um ficheiro especificado pelo parâmetro `fd`, de modo a que não possa ser mais utilizado, e liberta os recursos associados, caso `fd` seja a última referência para o ficheiro em questão. Em contexto de *sockets*, podemos utilizar esta função para fechar e libertar os recursos de um *socket*, se o seu descritor for especificado como parâmetro `fd`.

Valores de retorno

Sucesso – devolve 0

Insucesso – devolve -1.

Lab 4

Elabore o programa “`cria_socket`”, o qual deve:

- a) Criar um *socket* UDP / IPv4;
- b) Criar um *socket* UDP / IPv6;
- c) Validar a correta criação de cada *socket*, detetando situações de erro. Caso a criação do *socket* seja bem-sucedida, deve ser mostrado o valor inteiro do descritor atribuído ao *socket*;
- d) Fechar ambos os descritores.

4.2. Servidor

O servidor deve ainda registar o *socket* num porto pré-definido usando a função `bind`. É usual um programa servidor baseado em UDP implementar um serviço iterativo, dado ser muito frequente o serviço ser do tipo “*um pedido, uma resposta*”. Nesta configuração, o programa servidor está bloqueado no *socket* a aguardar um pedido de um qualquer cliente (para tal, efetuou a chamada à função `recvfrom`). Quando chega um pedido (e.g., “qual é a data corrente?”), o programa servidor processa o pedido, enviando de seguida a resposta para o cliente que efetuou o pedido. Importante notar que esta configuração permite que o programa servidor atenda apenas um cliente de cada vez, situação aceitável se o processamento do pedido do cliente for rápido (e.g., devolver a data corrente). Caso o processamento do pedido e elaboração da respetiva resposta possa demorar, então torna-se necessário implementar um servidor concorrente que recorra, por exemplo, a múltiplas *threads/processos*.

4.2.1. bind

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
int bind(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
          socklen_t addrlen);
```

A função `bind` permite mapear um *socket* para um determinado porto e interface de rede local.

Recebe como parâmetros:

- `sockfd` – descritor do *socket* a mapear.
- `addr` – estrutura com o endereço a ser associado ao *socket* `sockfd`. No caso de um *socket* de rede deverá ser passado um endereço de uma estrutura `struct sockaddr_in` ou `struct sockaddr_in` ao qual é aplicado um `cast`. O IP colocado nessa estrutura deverá ser o IP da interface de rede a utilizar ou `INADDR_ANY` caso se queira permitir pedidos de todas as interfaces de rede disponíveis. Esta estrutura irá também especificar o porto a usar.
- `addrlen` – especifica o tamanho, em bytes, da estrutura apontado por `addr`.

Valores de retorno

Sucesso – devolve 0.

Insucesso – devolve -1.

Lab 5

Elabore o programa **registar_UDP_lab** que deve criar e registar um *socket* UDP / IPv4 para todas as interfaces da máquina local. O porto a registar deve ser especificado através da linha de comando. O programa deve validar a criação do *socket*, bem como o registo local (*bind*).

a) O que sucede quando é indicado um porto entre 1 e 1023 (inclusive)?

b) O que sucede quando se tenta registar um porto que já está registado?

Nota: é possível obter uma lista dos portos UDP registados no sistema através do utilitário *netstat*, executado da seguinte forma: `netstat -u -l`

4.3. Cliente

Logo que uma aplicação cliente UDP tenha criado o *datagram socket* (através da chamada à função `socket`, que é idêntica à realizada pelo servidor), poderá enviar *datagrams* para qualquer outra entidade remota. Para tal, deve fazer uso da função `sendto`, indicando o endereço IP e porto da entidade remota para a qual pretende enviar o *datagram*. É ainda usual, após o envio do *datagram*, que a aplicação cliente aguarde pela resposta do servidor, recorrendo para o efeito à função `recvfrom`.

4.4. Comunicação entre cliente e servidor

As funções de leitura e escrita usadas na comunicação através de *sockets datagram* são `recvfrom` e `sendto`, respetivamente.

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

ssize_t recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int
flags, struct sockaddr *src_addr, socklen_t *addrlen);

ssize_t sendto(int sockfd, void *buf, size_t len, int
flags, const struct sockaddr *dest_addr, socklen_t
addrlen);
```

A função `recvfrom` permite receber mensagens ou dados através um *socket* e a função `sendto` permite enviar mensagens ou dados através de um *socket*.

Recebem como parâmetros:

- `sockfd` – descritor do *socket*.
- `buf` – endereço no qual o conteúdo do *datagram* é escrito no caso da função `recvfrom`, ou lido, no caso da função `sendto`.
- `len` – tamanho da zona de memória de `buf`. É necessário ter em conta que o tamanho máximo teórico de um *datagram* é de 64 KiB, por isso, o tamanho do parâmetro `buf` deve ser igual ou inferior a este valor (o valor mais apropriado seria o do tamanho da MTU¹ da rede para minimizar a perda de pacotes).
- `flags` – permite aceder a modos alternativos das funções. Por exemplo, a opção `MSG_DONTWAIT` pode ser usada na função `recvfrom` para que esta deixe de ser bloqueante.
- `src_addr` e `dest_addr` – estrutura que indica o endereço associado ao *datagram* (ver descrição na Secção 3). Na operação de leitura, o parâmetro contém o endereço e porto de origem do *datagram* recebido. O endereço pode depois ser usado, por exemplo, para o servidor enviar a resposta ao cliente. Na operação de escrita, o parâmetro especifica o endereço e porto de destino para onde se pretende enviar o *datagram*.
- `addrlen` – corresponde ao tamanho do endereço (`src_addr` ou `dest_addr`). No caso da função `recvfrom`, este parâmetro é um ponteiro que é preenchido

¹Maximum Transmission Unit (http://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_transmission_unit)

pela função com o tamanho do endereço. Nesta função o **parâmetro `addrlen`** é um **parâmetro valor/resultado**, significando isso que deve ser iniciado com o tamanho da estrutura de endereço antes da chamada à função, caso contrário ocorre o erro do tipo `EINVAL` (argumento inválido). Na função `sendto`, este parâmetro, que não é um ponteiro, deve ser igualmente preenchido com o tamanho da estrutura de endereço.

Valores de retorno

Sucesso – devolve o número de bytes recebidos, no caso da função `recvfrom`, ou o número de bytes enviados, no caso da função `sendto`.

Insucesso – devolve -1.

Nota: De acordo com a Figura 1, a ordem das operações de leitura e escrita são relevantes. O servidor tem de começar sempre com uma leitura para obter o endereço ao qual vai responder ao pedido. Consequentemente, o cliente é obrigado a começar sempre com uma escrita. Lembra-se que, por omissão, a função `recvfrom` bloqueia o próprio processo até que seja recebido um *datagram*.

Lab 6

Elabore o programa cliente **envia_pacote_UDP** e o programa servidor **recebe_pacote_UDP**, utilizando para isso a *template* “**EmptyProject-Client-Server-Template**”. Os programas devem ser executados e testados em terminais distintos.

O programa servidor deve criar e registar um *socket* UDP / IPv4 para o endereço local, num porto predefinido (8899), receber um número inteiro de 16 bits sem sinal e devolver a raiz quadrada desse número em formato *string*, terminando de seguida.

O programa cliente deve ligar-se ao servidor, enviar-lhe um número inteiro aleatório de 16 bits sem sinal (entre 1 e 100), receber o valor da raiz quadrada desse número em formato *string* e mostrar o valor calculado pelo servidor.

Nota: use o ficheiro “*common.h*” para definir o porto a usar por ambos os programas e não se esqueça de libertar, corretamente, todos os recursos utilizados.

5. Espera limitada no tempo no recvfrom

Por omissão, a função `recvfrom` é bloqueante, o que leva a que o processo/*thread* chamante fique bloqueado até que ocorra a receção de dados. Contudo, em certas situações, a receção de dados poderá nunca ocorrer. Considere-se, por exemplo, uma aplicação cliente que enviou um datagrama UDP com um pedido de serviço a um servidor, chamando de seguida a função `recvfrom` com o intuito de receber a resposta do servidor. Contudo, tanto o pedido do cliente como a resposta do servidor podem perder-se, nunca sendo entregue aos respetivos destinatários. Neste cenário, a aplicação cliente ficará bloqueada indefinidamente. Para evitar o bloqueio sem limite temporal da chamada, a API socket apresenta duas possibilidades: i) configurar o `socket` através da função `setsockopt` estabelecendo um limite máximo de espera em operações de `recv/recvfrom`; ii) efetuar uma chamada `recv/recvfrom` não bloqueante, que retorna imediatamente, indicando se foram ou não recebidos dados. Essas duas possibilidades são analisadas de seguida.

5.1. setsockopt

A função `setsockopt` permite configurar várias propriedades de um `socket`, nomeadamente estabelecer um tempo máximo de espera numa operação de receção, seja através da função `recv` ou da função `recvfrom`.

O protótipo da função `setsockopt` é:

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

int setsockopt(int sockfd, int level, int optname,
               const void *optval, socklen_t optlen);
```

A configuração de um temporizador para operações de receção `recv/recvfrom` faz-se indicando `SOL_SOCKET` para o parâmetro `level`, `SO_RCVTIMEO` para o parâmetro `optname` e o endereço de uma estrutura do tipo `struct timeval`. É nessa estrutura que é indicado o tempo máximo de espera. A estrutura `struct timeval` tem a seguinte definição:

```
#include <sys/time.h>

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

A seguinte listagem exemplifica o uso da função `setsockopt` para configurar um tempo máximo de espera de dois segundos.

```
#include <sys/time.h>

struct timeval timeout;
timeout.tv_sec = 2;
int setsock_ret = setsockopt(udp_client_socket, SOL_SOCKET,
                             SO_RCVTIMEO, &timeout, sizeof(timeout));
if(setsock_ret == -1 ){
    ERROR(EXIT_FAILURE, "Cannot setsockopt 'SO_RCVTIMEO'");
}
```

Listagem 1: Uso da função `setsockopt`

Configurado o socket com a função `setsockopt`, a chamada à função `recvfrom` faz-se normalmente (Listagem 2). Caso ocorra uma espera para além do tempo máximo de espera, a função `recvfrom` termina, devolvendo -1, com a mensagem de erro associada “Resource temporarily unavailable”.

```
ssize_t udp_read_bytes = recvfrom(udp_client_socket, S, sizeof(S)-1, 0,
    (struct sockaddr *) &udp_server_addr, &udp_server_addr_len);
if( udp_read_bytes == -1 ){
    ERROR(EXIT_FAILURE, "Cannot recvfrom server");
}
```

Listagem 2: Uso da função `recvfrom`

5.2. Chamada `recv/recvfrom` não bloqueante

Uma alternativa à função `setsockopt` é o uso da constante `MSG_DONTWAIT` no parâmetro `flag` das funções `recv/recvfrom` de modo a que as funções não bloqueiem, mesmo que não existam dados para receber. Concretamente, a chamada à função `recvfrom` com a indicação `MSG_DONTWAIT`, leva a que quando não existem dados para receber, a função devolve o valor -1 e que o valor de `errno` seja `EWOULDBLOCK`.

A listagem ilustra uma leitura com `recvfrom` não bloqueante. Para o efeito é empregue um ciclo `while`, dentro do qual é efetuada a chamada ao `recvfrom`. Caso a chamada falha com -1 e `errno` a `EWOULDBLOCK`, é efetuada uma espera de um segundo (`sleep(1)`), que é seguida por nova chamada a função `recvfrom`. No total é efetuado um máximo de três chamadas não bloqueantes, após o qual se considera que não será possível receber nenhum datagrama.

```
#define MAX_ATTEMPTS    (3)
    int received = 0;
```

```

int num_attempts = 0;
while( ! received ){
    num_attempts++;
    udp_read_bytes = recvfrom(udp_client_socket, S, sizeof(S)-1,
        MSG_DONTWAIT, (struct sockaddr *) &udp_server_addr,
                        &udp_server_addr_len);
    if( udp_read_bytes == -1 ){
        if ( errno == EWOULDBLOCK ){
            if( num_attempts >= MAX_ATTEMPTS ){
                fprintf(stderr, "[CLIENT] Timeout at "
                    "recvfrom (%d attempts)\n", num_attempts);
                exit(EXIT_FAILURE);
            }
            else{
                printf("[CLIENT] attempt %d\n", num_attempts);
                sleep(1);
            }
        }else{
            ERROR(EXIT_FAILURE, "Cannot recv server");
        }
    }else{
        // successful read
        received = 1;
        break;
    }
}
}

```

6. Modo ligado UDP

```

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

int connect(int sockfd, const struct sockaddr *svc_addr, int
addrlen);

```

Um *socket* UDP pode ser colocado em modo dito *ligado*. Para tal, faz-se uso da função `connect`, indicando um endereço remoto (endereço IP/porto). O efeito resultante é que o *socket* apenas pode comunicar com a entidade remota (endereço IP/porto) especificada na função `connect`.

Num *socket* em modo ligado, ocorre notificação de erro quando se envia um pacote para um endereço IP:Porto no qual não está nenhum servidor à escuta. Contudo, um *socket* UDP em modo ligado continua a não garantir a entrega dos pacotes, tal como um *connectionless socket*. O cliente só é notificado do erro quando tenta receber informação do servidor para o qual enviou a mensagem, ou seja, aquando da chamada à função `recvfrom`. Em caso de erro, a função `recvfrom` devolve -1 e o código de erro é guardado na variável `errno`.

Habitualmente, com *sockets* UDP, empregam-se as funções `recvfrom` e `sendto` para,

respetivamente, receber e enviar um *datagram* UDP. No entanto, quando se está a usar um *socket* UDP em modo ligado, as funções `recvfrom` e `sendto` podem ser substituídas pelas funções `recv` e `send`. Estas funções possuem menos parâmetros dado não ser necessário especificar o endereço de origem/destino do *datagram*. Importa ainda notar que as funções `recv` e `send` são também empregues com *stream sockets* (e.g., TCP), constituindo nesse caso uma alternativa às funções `read` e `write`, respetivamente.

Lab 7

Modifique o código do *Lab 6* de modo a que se utilize o protocolo UDP em modo ligado. Compile e execute os programas e observe os resultados.

6.1. Seleção da interface/porto num socket UDP cliente

Usualmente, a atribuição do porto do *socket* cliente é feita automaticamente pelo sistema local. Contudo, é possível seleccionar a interface local e o respetivo porto para um *socket* UDP cliente. Para o efeito, faz-se uso da função `bind`, especificando a interface pretendida e o respetivo porto. Note-se que o pedido falhará caso o porto indicado já se encontro em uso. Acresce-se que esta funcionalidade é raramente empregue.

7. Exemplo

O exemplo seguinte ilustra a implementação do jogo “*Adivinha Número*” usando *sockets* UDP. Ao iniciar, o servidor gera um número aleatório. Em cada iteração recebe um número de um cliente e compara-o com o número aleatório gerado. De seguida, indica ao cliente, através de constantes, se o número é igual, menor ou maior que o número gerado. No entanto, devido ao facto dos *sockets* UDP serem *sem ligação* (*connectionless*), o número a adivinhar pelos vários clientes será o mesmo.

Nota: foi omitido do código dos exemplos os *includes* do sistema.

Ficheiro comum.h

Ficheiro a ser incluído no código do servidor e no código do cliente.

```
#ifndef __COMUM_H__
#define __COMUM_H__

#define IGUAL      0
#define MENOR      1
#define MAIOR      2

#endif /* __COMUM_H__ */
```

Servidor


```

#include <*.h>      /* substituir pelos includes necessarios */
#include "debug.h"
#include "servidor_opt.h" /* ficheiro criado pelo gengetopt */
// Acrescentar o #include para o ficheiro comum.h

int processa_pedido(int fd, uint16_t n_serv);

int main(int argc, char *argv[]){

    /* Estrutura gerada pelo utilitario gengetopt para
       guardar os parametros de entrada */
    struct gengetopt_args_info args_info;

    /* Processa os parametros da linha de comando */
    if (cmdline_parser(argc, argv, &args_info) != 0)
        return 1;

    int sock_fd;
    /* Cria o socket */
    if ((sock_fd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) == -1)
        ERROR(2, "Criação do socket");

    struct sockaddr_in ser_addr;
    /* Preenche a estrutura */
    memset(&ser_addr, 0, sizeof(ser_addr));
    ser_addr.sin_family = AF_INET;
    ser_addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
    ser_addr.sin_port = htons(args_info.porto_arg);

    /* Efetua o registo */
    if (bind(sock_fd, (struct sockaddr *) &ser_addr, sizeof(ser_addr)) == -1)
        ERROR(3, "bind server");

    srand(time(NULL));
    while (1) {
        uint16_t gerado = 1 + (uint16_t) (rand() % 100);
        #ifdef SHOW_DEBUG
            DEBUG("Numero aleatório = %hu", gerado);
        #endif
        /* Apenas sai do ciclo se o numero foi adivinhado */
        while (!processa_pedido(sock_fd, gerado));
    }
    return 0;
}

int processa_pedido(int fd, uint16_t n_serv){
    uint16_t n_cli;
    struct sockaddr_in cli_addr;
    socklen_t len = sizeof(cli_addr);
    if (recvfrom(fd, &n_cli, sizeof(n_cli), 0,
                (struct sockaddr *) &cli_addr, &len) == -1)
        ERROR(4, "recvfrom");
    #ifdef SHOW_DEBUG
        char ip[20];
        DEBUG ("cliente [%s@%d]",
            inet_ntop(AF_INET, &cli_addr.sin_addr, ip, sizeof (ip)),
            htons (cli_addr.sin_port));
    #endif

    n_cli = ntohs(n_cli);

```

```

uint16_t res;
if (n_cli == n_serv)
    res = IGUAL;
else if (n_cli < n_serv)
    res = MENOR;
else
    res = MAIOR;

res = htons(res);

if (sendto(fd, &res, sizeof(res), 0, (struct sockaddr*) &cli_addr, len) < 0)
    ERROR(5, "sendto");

return n_cli == n_serv;
}

```

Cliente

```

#include <*.h> /* substituir pelos includes necessarios */

#include "debug.h"
#include "comum.h"
#include "cliente_opt.h"

void adivinha_num(int fd, struct sockaddr_in ser_addr);

int main(int argc, char *argv[]){
    /* Estrutura gerada pelo utilitario getopt */
    struct getopt_args_info args_info;

    /* Processa os parametros da linha de comando */
    if (cmdline_parser (argc, argv, &args_info) != 0)
        return 1;

    int sock_fd;
    /* Cria o socket */
    if ((sock_fd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) == -1)
        ERROR(2, "Criacao do socket");

    struct sockaddr_in ser_addr;
    /* Preenche a estrutura */
    memset(&ser_addr, 0, sizeof(ser_addr));
    ser_addr.sin_family = AF_INET;
    ser_addr.sin_port = htons(args_info.porto_arg);

    /* Utiliza a funcao inet_pton para preencher o endereco */
    switch(inet_pton(AF_INET, args_info.ip_arg, &ser_addr.sin_addr)) {
        case 0:
            printf ("O endereco IP %s nao e' valido\n\n", args_info.ip_arg);
            cmdline_parser_print_help();
            return 2;
        case -1:
            printf ("Endereco IP desconhecido: %s\n\n", args_info.ip_arg);
            cmdline_parser_print_help();
            return 2;
    }

    adivinha_num(sock_fd, ser_addr);

    close(sock_fd);
    return 0;
}

```

```

void adivinha_num(int fd, struct sockaddr_in ser_addr){
    uint16_t num, res;
    do {
        printf("\nIntroduza um numero entre 1 e 100: ");
        scanf("%hu", &num);

        num = htons(num);

        socklen_t len = sizeof(struct sockaddr_in);

        if (sendto(fd, &num, sizeof(num), 0, (struct sockaddr*)&ser_addr, len)<0)
            ERROR(3, "sendto");

        if (recvfrom(fd, &res, sizeof(res), 0,
                    (struct sockaddr *) &ser_addr, &len) < 0)
            ERROR(4, "recvfrom");

        res = ntohs(res);

        if (res == IGUAL)
            printf("Parabens! Acertou\n\n");
        else if (res == MENOR)
            printf("O numero do servidor e' MAIOR\n");
        else
            printf("O numero do servidor e' MENOR\n");

    } while (res != IGUAL);
}

```

Lab 8

Analise o código do servidor e do cliente, do exemplo acima apresentado, e responda às questões seguintes. Depois, compile e execute este projeto de modo a verificar as respostas.

- O que faz a linha de código `srand(time(NULL));` empregue no servidor?
- Qual é a gama de números aleatórios gerados pela seguinte linha de código (código servidor)? `uint16_t gerado = 1 + (uint16_t) (rand() % 100);`
- Caso exista mais de um cliente, o que acontece aos restantes se um deles acertar no número?

Nota: tenha em atenção que o código servidor utiliza, via *gengetopt* o parâmetro `--porto/-p <porto>`, e que o código cliente utiliza, para além da opção `--porto/-p`, a opção `--ip/-i <IP_servidor>`. Esta última opção serve para especificar o endereço IP do servidor com o qual o cliente pretende interagir.

8. Exercícios

8.1. Aula

1. Elabore, em C com *sockets* UDP, o programa servidor *servidorEco* que recebe como parâmetro de entrada o porto onde vai ficar à escuta. O servidor deve receber uma mensagem enviada por um cliente, mostrá-la no *stdout* e enviá-la novamente ao cliente. Implemente também o cliente *clienteEco*, que recebe como argumentos de entrada o endereço IP e o porto do servidor. O cliente deve pedir ao utilizador as mensagens a enviar e terminar quando a mensagem for igual a “fim”.

8.2. Extra aula

2. Modifique o cliente do *Lab 8* para que este desista de esperar pela resposta do servidor caso este demore mais do que um segundo a responder. Utilize a função *setsockopt* para definir um tempo máximo de espera na operação de leitura. Caso a resposta não chegue antes do tempo definido, a função *recvfrom* devolve -1 sendo o código de erro *EWOULDBLOCK* colocado na variável *errno*.

Nota: para testar altere também o servidor, de modo a que este faça uma pausa suficientemente grande antes de chamar a função *sendto*.

3. Elabore o programa servidor *TimestampServerUdp* que, para cada pedido de ligação, responde com uma *string* indicando o tempo em microssegundos desde 00:00:00 de 1 janeiro de 1970 (*Epoch*). Quando iniciado, o servidor deve apresentar uma mensagem com o nome do programa, o IP do servidor e ainda o porto onde se encontra o serviço. Na ocorrência de um pedido, o servidor deve apresentar a identificação do cliente (endereço e porto IP) no terminal e enviar ao cliente o número de microssegundos desde 1 janeiro de 1970. Implemente também o cliente *checkTimestamp* a fim de testar o servidor *TimestampServerUdp*.
4. Elabore o programa cliente **enviar&receber_random_UDP** que deve criar e registar um *socket* UDP / IPv4 para o endereço local, num porto que recebe como parâmetro de entrada. Este programa deverá escutar até 3 mensagens através deste *socket* e criar uma *thread* adicional que lhe envie um número aleatório entre 0 e 10, de 2 em 2 segundos. Este precisará, ainda, usar UDP em modo ligado

Nota: as duas *threads* envolvidas devem utilizar descritores de *sockets* diferentes e após a receber 3 mensagens a *thread* principal deverá fechar o seu *socket*, utilizando a função `close`.

5. Implemente o programa servidor *StatServerUdp* que responde com dados estatísticos de um ficheiro indicado pelo cliente. Assim que o cliente estabelece a ligação, deve enviar o caminho absoluto de um ficheiro existente no servidor. Na ocorrência de um pedido, o servidor deve tentar obter os dados estatísticos do ficheiro e enviar a seguinte informação: o tamanho, a data do último acesso, a data da última modificação e a data da última alteração dos meta-dados (man 2 stat). O formato da resposta deve corresponder ao seguinte:

```
Size: <BYTES> bytes
Last Access: <DATA>
Last Modified: <DATA>
Last Changed: <DATA>
```

Em caso de erro (por exemplo, o ficheiro não existe), o servidor deve devolver a mensagem correspondente (man strerror).

O programa servidor recebe como parâmetro de entrada o porto onde vai ficar à escuta (`--port` ou `-p`). Investigue como pode utilizar o comando `nc` (ou `netcat`) por forma a testar o servidor, evitando assim a implementação de um programa cliente para o efeito.

6. Como sabe, por força do protocolo UDP, o tamanho de um *datagram* UDP encontra-se teoricamente limitado a 2^{16} bytes, ou seja, 65536 bytes. Construa a aplicação cliente-servidor *MaxUdp*, composta por um servidor *MaxUdp_s* e um cliente *MaxUdp_c*, onde ocorre a troca de mensagens entre o cliente e o servidor. O cliente deve suportar a opção "`--tam <Tamanho>`" onde é indicado o tamanho do *datagram* UDP a ser enviado ao servidor. Teste a sua aplicação correndo o servidor numa máquina e o cliente noutra.
 - a) Qual é o tamanho máximo do *datagram* suportado entre o cliente e o servidor? Verifique as diferenças quando o cliente e o servidor estão ligados por uma ligação *wireless* vs ligação fixa.
 - b) O que sucede se especificar ao cliente o endereço (i.e. IP mais porto) de um sistema em que o servidor não se encontra a correr?