Programação Orientada a Objetos para Redes de Computadores

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

http://www.gta.ufrj.br/~miguel

PARTE 2

Programação em C++ - Sockets

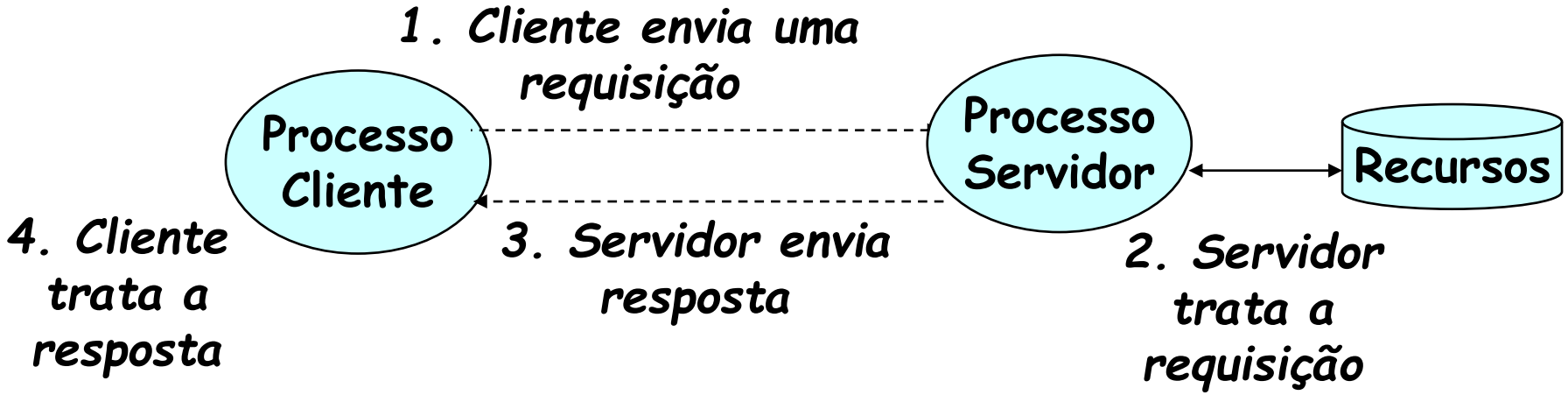
Comunicação entre Processos

- O que é um processo?
  - Programa em execução em um sistema hospedeiro (*host*)
- Quando dois processos diferentes precisam se comunicar...
  - Se os dois estiverem em execução no mesmo host:
    - Eles usam comunicação entre processos definidos pelo próprio sistema operacional – Facilidade por estar na mesma máquina
  - Se os dois estiverem em hosts diferentes:
    - Eles usam troca de mensagens pela rede de computadores

Modelo Cliente-Servidor

- Cliente: **Processo que inicia a comunicação**
  - Solicita um serviço para o servidor
  - Deve sempre saber alguma coisa do servidor
    - Pelo menos onde ele está localizado
- Servidor: **Processo que espera ser contatado**
  - Provê o serviço para o cliente
  - Não precisa saber nada do cliente
    - Nem mesmo se ele existe
- Em situações mais comuns...
  - Há um único servidor para múltiplos clientes

Modelo Cliente-Servidor



Clientes e servidores são processos em execução no mesmo sistema hospedeiro ou em sistemas hospedeiros diferentes

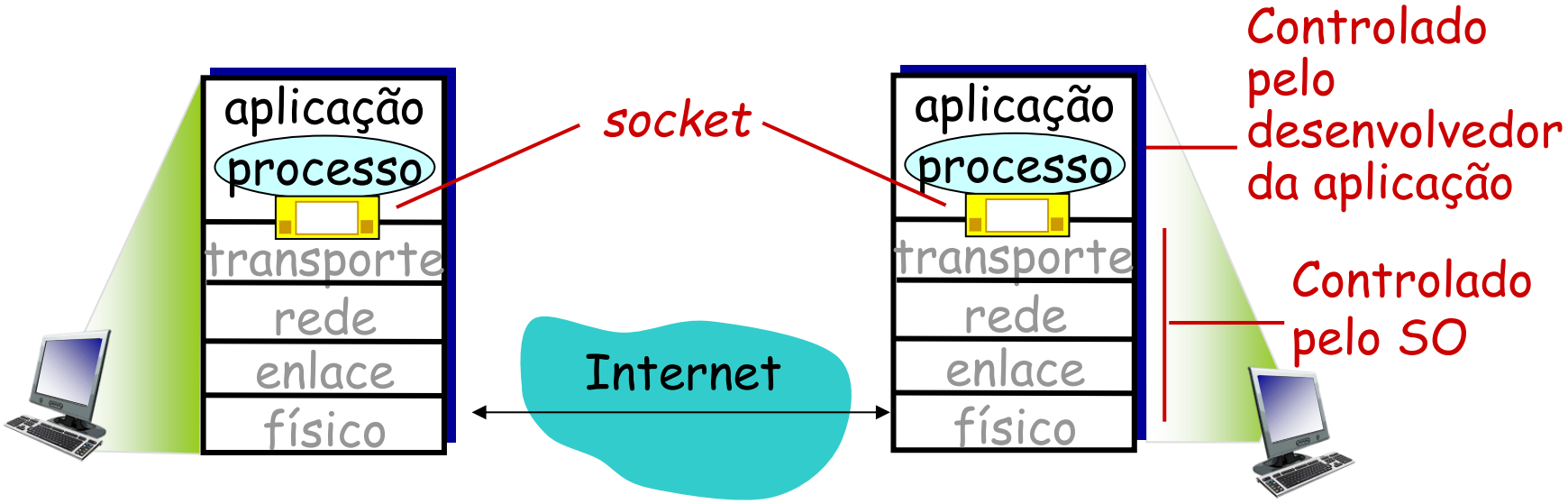
O que é um Socket?

- Segundo a visão do sistema operacional...
  - Os sockets são os pontos-finais de uma comunicação
- Segundo a visão da aplicação...
  - Os sockets são uma forma de falar com outros programas usando descritores de arquivos

- Padronização de sockets através de interfaces de programação (APIs)
  - Permite que haja **comunicações entre processos diferentes executados em sistemas hospedeiros diversos**

O que é um Socket?

- Pode ser visto como a "porta de uma residência"
  - Processos empurram mensagens pela porta
  - Processos confiam na infraestrutura de transporte para entregar as suas mensagens até a porta do destino



O que é um Socket?

- No UNIX, um socket é um arquivo identificado através de um descritor (p. ex., um número inteiro)
  - O UNIX é organizado em diretórios e arquivos
    - O que não é diretório, é arquivo (caso do socket)
  - Uso do socket se resume a escrever e ler em arquivos
    - Funções do tipo `read()` e `write()` poderiam ser usadas no lugar das funções `send()` e `recv()`

Funções `send()` e `recv()` oferecem maior controle na transmissão de dados e por isso são usadas

Tipos de Sockets

- Existem vários tipos de sockets
  - Escolha depende dos requisitos das aplicações
    - Integridade dos dados
    - Vazão
    - Atraso
    - Etc.
- Baseado nos requisitos, pode-se escolher o tipo de socket a ser usado
  - O tipo do socket define o protocolo da camada de transporte e, consequentemente, os serviços esperados da rede

Tipos de Sockets

- Socket de fluxo contínuo (*Stream sockets*)
  - Usado em comunicações que exijam conexão confiável bidirecional
    - Se o servidor envia um fluxo "1,2 e 3", o cliente deve receber "1, 2 e 3" em ordem e sem perdas
      - Tais características são oferecidas pelo TCP
- Socket de datagrama (*Datagram sockets*)
  - Usado em comunicações que exijam sobretudo alta vazão – Não há conexão e nem requisitos de confiabilidade
    - Tais características são oferecidas pelo UDP

Endereço de um Socket

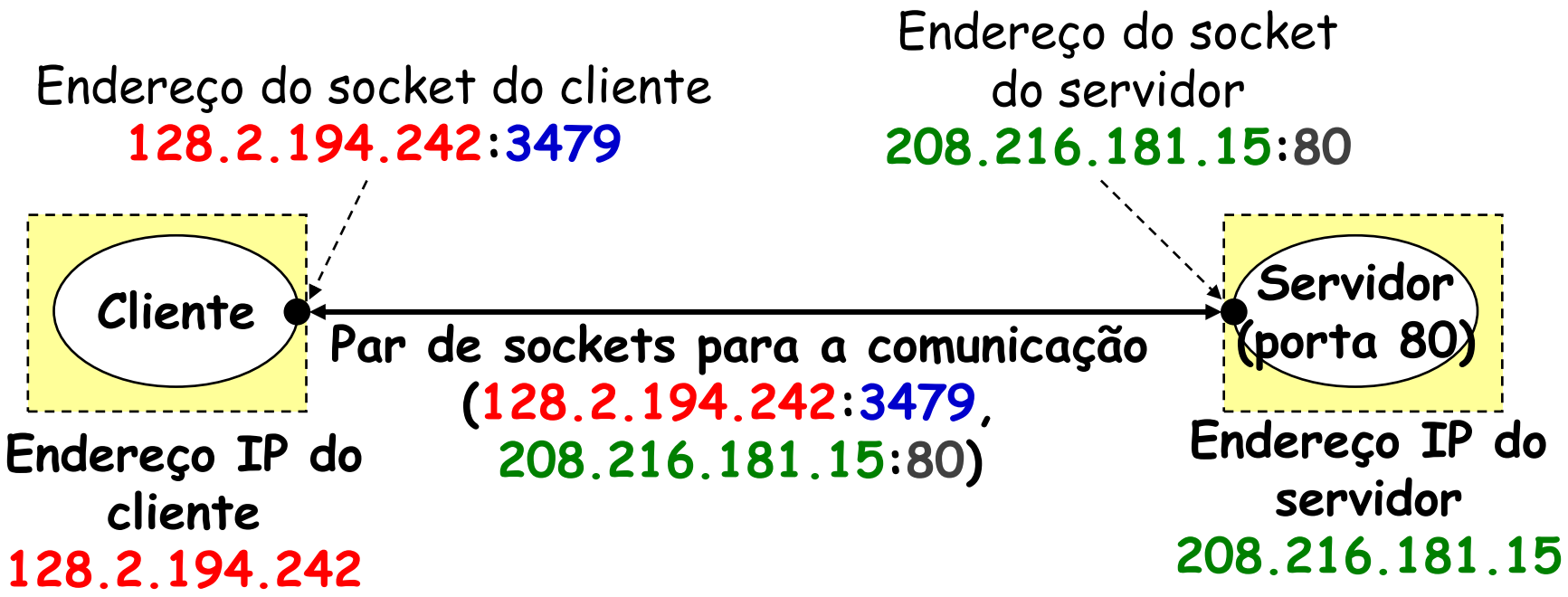
- Recepção de mensagens
  - Todos os processos devem possuir um **identificador**
- Dispositivo na máquina hóspede tem um endereço IP único de 32 bits

O uso do endereço IP já seria suficiente para identificar o processo?

- Não, pois múltiplos processos podem estar em execução na mesma máquina...

Endereço de um Socket

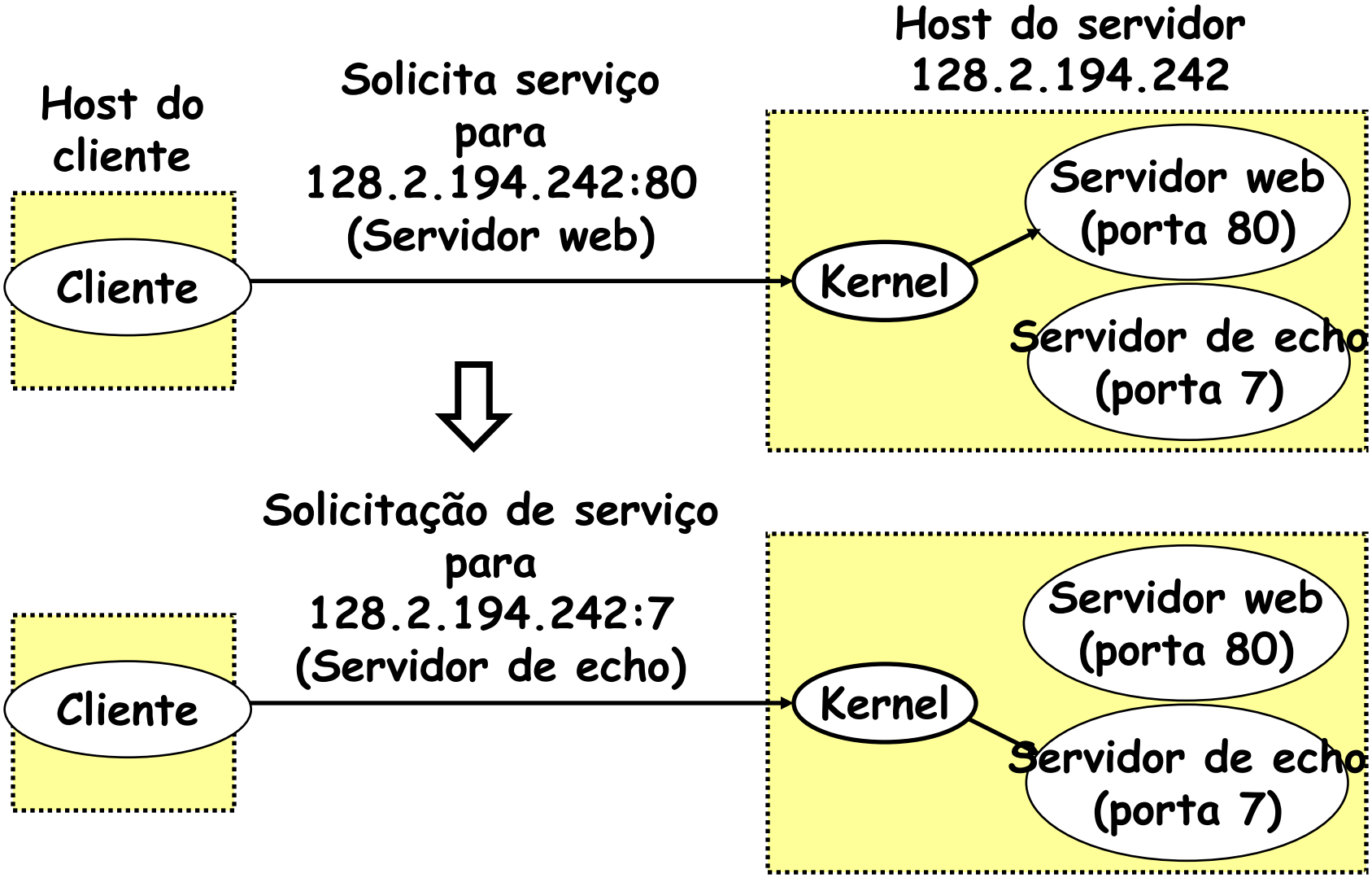
- Identificador inclui o endereço IP e a porta
  - Par (Endereço IP, porta) forma o "endereço do socket"
  - Exemplo:
    - Servidor HTTP: Endereço IP 128.119.245.12 e porta 80



Socket e Processo Cliente

- Como um cliente encontra um servidor?
  - O endereço IP do endereço do socket do servidor identifica a sistema hospedeiro
  - A número da porta (conhecido) do endereço do socket identifica o serviço e, portanto, implicitamente identifica o processo em execução no servidor
  - Exemplos de número de portas conhecidas
    - Porta 7: Servidor de Echo
    - Porta 23: Servidor Telnet
    - Porta 25: Servidor de e-mail
    - Porta 80: Servidor web

Socket e Processo Cliente



Socket e Processo Servidor

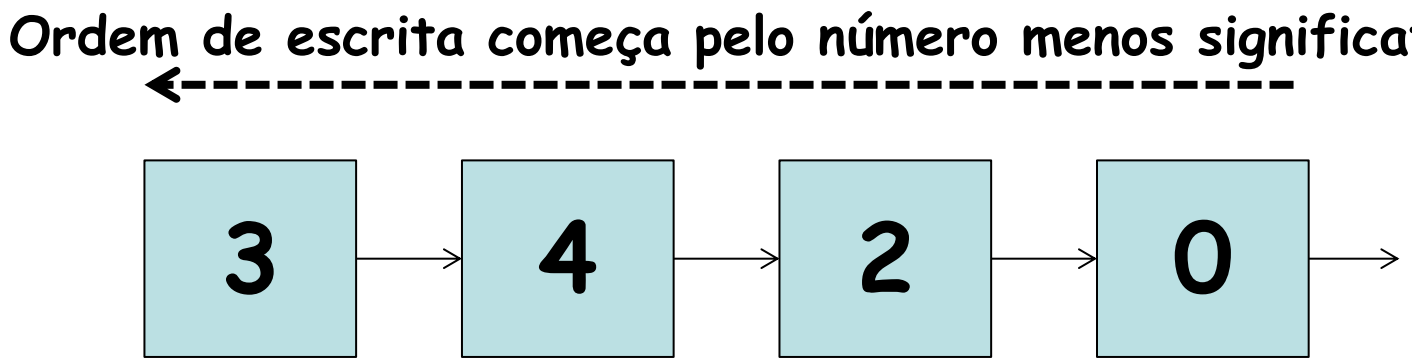
- Processos servidores são executados continuamente (*daemons*)
  - Criados durante o boot da máquina pelo processo `init` (primeiro processo a ser executado)
- Cada servidor espera a chegada de requisições em uma porta conhecida associada a um serviço particular
  - Porta 7: Servidor de Echo
  - Porta 23: Servidor Telnet
  - Porta 25: Servidor de e-mail
  - Porta 80: Servidor web
  - Outras aplicações devem usar portas entre 1024 e 65535

Clichês de Programação em Sockets

- Ordenação do byte de rede (*network byte order*)
  - A ordenação do byte de rede é *big-endian*, enquanto o host pode ser big ou *little-endian*
    - Big-endian: Byte mais significativo é armazenado primeiro
      - Ex.: Hexa 0xb34f, 0xb3 é armazenado antes do 0x4f
    - Little-endian: Byte menos significativo é armazenado primeiro
      - Ex.: Hexa 0xb34f, 0x4f é armazenado antes do 0xb3

Clichês de Programação em Sockets

- Ordenação do byte de rede (*network byte order*)
  - Formato *big-endian* é mais comum e portanto é o usado em comunicações em rede
    - Teoricamente, o *little-endian* foi proposto posteriormente para facilitar o uso em registradores sequenciais...



Clichês de Programação em Sockets

- Ordenação do byte de rede (*network byte order*)
  - A conversão entre *big-endian* e *little-endian* para ordenação de byte de rede é importante por questões de compatibilidade
  - Funções operam em palavras de 16 bits (short) e de 32 bits (long)
    - htons()/htonl(): Converte ordenação de host para ordenação de rede
    - ntohs()/ntohl(): Converte ordenação de rede para ordenação de host
    - Usar essas funções para converter endereços de rede, portas, …

Primitivas de Sockets

- **GETADDRINFO: int getaddrinfo (const char *_node_, const char *_service_, const struct addrinfo *_hints_, struct addrinfo **_res_);**
  - *node*: nome ou endereço IP do host que será conectado
  - *service*: nome de um serviço (ex. http) ou número da porta (ex. 80)
  - *hints*: aponta para uma estrutura com informações sobre o tipo de serviço
  - *res*: resultado da execução do getaddrinfo
  - *retorno*: sucesso (0) ou falha (diferente de 0)

Primitivas de Sockets

```
struct addrinfo {
    int              ai_flags;     // AI_PASSIVE, AI_CANONNAME, etc.
    int              ai_family;    // AF_INET, AF_INET6, AF_UNSPEC
    int              ai_socktype;  // SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM
    int              ai_protocol;  // use 0 for "any"
    size_t           ai_addrlen;   // size of ai_addr in bytes
    struct sockaddr *ai_addr;      // struct sockaddr_in or _in6
    char            *ai_canonname; // full canonical hostname

    struct addrinfo *ai_next;      // linked list, next node
};
```

Primitivas de Sockets

```
/******************************** SERVER ***********************************/
int status;
struct addrinfo hints;
struct addrinfo *servinfo;  // will point to the results

memset(&hints, 0, sizeof(hints)); // make sure the struct is empty
hints.ai_family = AF_UNSPEC;     // don't care IPv4 or IPv6
hints.ai_socktype = SOCK_STREAM; // TCP stream sockets
hints.ai_flags = AI_PASSIVE;     // fill in my IP for me

if ((status = getaddrinfo(NULL, "3490", &hints, &servinfo)) != 0) {
    fprintf(stderr, "getaddrinfo error: %s\n",gai_strerror(status));
    exit(1);
}
…
// servinfo now points to a linked list of 1 or more struct addrinfos
…
// ... do everything until you don't need servinfo anymore ....
…
freeaddrinfo(servinfo); // free the linked-list
```

Primitivas de Sockets

```
/******************************** CLIENT ***********************************/
int status;
struct addrinfo hints;
struct addrinfo *servinfo;  // will point to the results

memset(&hints, 0, sizeof(hints)); // make sure the struct is empty
hints.ai_family = AF_UNSPEC;     // don't care IPv4 or IPv6
hints.ai_socktype = SOCK_STREAM; // TCP stream sockets

// get ready to connect
status = getaddrinfo("www.example.net", "3490", &hints, &servinfo);

// servinfo now points to a linked list of 1 or more struct addrinfos

// etc.
```

Primitivas de Sockets

- **SOCKET**: **int socket (int *domain*, int *type*, int *protocol*);**
  - *domain* : AF_INET (protocolo IPv4)
  - *type* : (SOCK_DGRAM *ou* SOCK_STREAM)
  - *protocol*: (IPPROTO_UDP *ou* IPPROTO_TCP)
    - Valor 0 escolhe o protocolo de acordo com o *type*
  - *retorno*: descritor do socket (*sockfd*)
    - -1 é um erro

Usado tanto por cliente quanto por servidor

Primitivas de Sockets

```
int s;
struct addrinfo hints, *res;

// do the lookup
// [pretend we already filled out the "hints" struct]
getaddrinfo("www.example.com", "http", &hints, &res);

// [again, you should do error-checking on getaddrinfo(), and walk
// the "res" linked list looking for valid entries instead of just
// assuming the first one is good (like many of these examples do.)
// See the section on client/server for real examples.]

s = socket(res->ai_family, res->ai_socktype, res->ai_protocol);
```

Primitivas de Sockets

- **BIND**: **int bind (int *sockfd*, struct sockaddr **my_addr*, int *addrlen*);**
  - *sockfd*: descritor do socket (retornado de socket())
  - *my_addr*: socket address, struct sockaddr_in é usado
    - Um dos dados da estrutura é o número da porta
  - *addrlen*: sizeof (struct sockaddr)
  - *retorno*: sucesso (0) ou falha (-1)

Usado pelo servidor, já que é ele que escuta em uma dada porta conhecida...

Primitivas de Sockets

- **BIND**: **int bind (int *sockfd*, struct sockaddr **my_addr*, int *addrlen*);**
  - *sockfd*: descritor do socket (retornado de socket())
  - *my_addr*: socket address ou struct sockaddr_in é usado
    - *sockaddr_in* contém a estrutura usada na Internet, mas como a função recebe sockaddr, pode-se usar um cast
  - *addrlen*: sizeof (struct sockaddr)
  - *retorno*: sucesso (0) ou falha (-1)

```
struct sockaddr_in  {
  unsigned short  sin_family;  /* address family (always AF_INET) */
  unsigned short  sin_port;    /* port num in network byte order */
  struct in_addr  sin_addr;    /* IP addr in network byte order */
  unsigned char   sin_zero[8]; /* pad to sizeof(struct sockaddr) */
};
struct in_addr {
  uint32_t s_addr /* 32-bit int */
};
```

Primitivas de Sockets

```
struct addrinfo hints, *res;
int sockfd;

// first, load up address structs with getaddrinfo():

memset(&hints, 0, sizeof hints);
hints.ai_family = AF_UNSPEC;  // use IPv4 or IPv6, whichever
hints.ai_socktype = SOCK_STREAM;
hints.ai_flags = AI_PASSIVE;     // fill in my IP for me

getaddrinfo(NULL, "3490", &hints, &res);

// make a socket:

sockfd = socket(res->ai_family, res->ai_socktype, res->ai_protocol);

// bind it to the port we passed in to getaddrinfo():

bind(sockfd, res->ai_addr, res->ai_addrlen);
```

Primitivas de Sockets

- **LISTEN: int listen (int *sockfd*, int *backlog*);**
  - *backlog:* Número de conexões que se quer enfileirar
  - *retorno:* sucesso (0) ou falha (-1)

Usada apenas pelo servidor TCP, já que é ele que escuta e, posteriormente, aceita CONEXÃO. Inicia a máquina de estados do TCP para que seja possível receber até *backlog* conexões...

Primitivas de Sockets

- **ACCEPT: int accept (int *sockfd*, void **addr*, int **addrlen*);**
  - *addr*: Onde o endereço do socket do cliente é escrito
    - Com essas informações pode-se saber quem está chamando (endereço e porta)
  - *addrlen*: Tamanho do endereço do cliente
  - *retorno*: Um novo descritor de socket (para o socket temporário) ou -1 em caso de erro

Usada apenas pelo servidor TCP, já que é ele que escuta e, posteriormente, aceita CONEXÃO...

```
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

#define MYPORT "3490"  // the port users will be connecting to
#define BACKLOG 10     // how many pending connections queue will hold

int main(void) {
    struct sockaddr_storage their_addr;
    socklen_t addr_size;
    struct addrinfo hints, *res;
    int sockfd, new_fd;

    // !! don't forget your error checking for these calls !!

    // first, load up address structs with getaddrinfo():
    memset(&hints, 0, sizeof hints);
    hints.ai_family = AF_UNSPEC;  // use IPv4 or IPv6, whichever
    hints.ai_socktype = SOCK_STREAM;
    hints.ai_flags = AI_PASSIVE;     // fill in my IP for me

    getaddrinfo(NULL, MYPORT, &hints, &res);

    // make a socket, bind it, and listen on it:
    sockfd = socket(res->ai_family, res->ai_socktype, res->ai_protocol);
    bind(sockfd, res->ai_addr, res->ai_addrlen);
    listen(sockfd, BACKLOG);

    // now accept an incoming connection:
    addr_size = sizeof their_addr;
    new_fd = accept(sockfd, (struct sockaddr *)&their_addr, &addr_size);

    // ready to communicate on socket descriptor new_fd!
    …
```

Primitivas de Sockets

- **CONNECT: int connect (int *sockfd*, struct sockaddr **serv_addr*, int *addrlen*);**
  - Os parâmetros são os mesmos do *bind()*
    - Porta e endereço do servidor que ser quer conectar

Usada apenas pelo cliente TCP, já que é ele que conecta ao servidor que, por sua vez, aceita a conexão

Primitivas de Sockets

```
struct addrinfo hints, *res;
int sockfd;

// first, load up address structs with getaddrinfo():

memset(&hints, 0, sizeof hints);
hints.ai_family = AF_UNSPEC;
hints.ai_socktype = SOCK_STREAM;

getaddrinfo("www.example.com", "3490", &hints, &res);

// make a socket:

sockfd = socket(res->ai_family, res->ai_socktype, res->ai_protocol);

// connect!

connect(sockfd, res->ai_addr, res->ai_addrlen);
```

Primitivas de Sockets

- **SEND: int send (int *sockfd*, const void **msg*, int *len*, int *flags*);**
  - *msg*: Mensagem que se quer enviar
  - *len*: Tamanho da mensagem
  - *flags*: 0
  - *retorno*: Número de bytes que, de fato, foram enviados ou -1 em caso de erro

Usada no socket de fluxo contínuo

Primitivas de Sockets

- **SEND: int send (int *sockfd*, const void **msg*, int *len*, int *flags*);**
  - *msg*: Mensagem que se quer enviar
  - *len*: Tamanho da mensagem
  - *flags*: 0
  - *retorno*: Número de bytes que, de fato, foram enviados ou -1 em caso de erro

```
char *msg = "Hello world!";
int len, bytes_sent;
…
len = strlen(msg);
bytes_sent = send(sockfd, msg, len, 0);
…
```

Primitivas de Sockets

- **RECEIVE: int recv(int *sockfd*, void **buf*, int *len*, unsigned int *flags*);**
  - *buf*: Buffer para receber a mensagem
  - *len*: Tamanho do buffer
  - *flags*: 0
  - *retorno*: O número de bytes recebidos ou -1 em caso de erro

Usada no socket de fluxo contínuo

Primitivas de Sockets

- **SEND (estilo DATAGRAMA): int sendto (int *sockfd*, const void **msg*, int *len*, int *flags*, const struct sockaddr **to*, int *tolen*);**
  - *msg*: Mensagem que se quer enviar
  - *len*: Tamanho da mensagem
  - *flags*: 0
  - *to*: Endereço do socket do processo remoto
  - *tolen*: = sizeof(struct sockaddr)
  - *retorno*: Número de bytes que, de fato, foram enviados

Usada no socket de datagrama

Primitivas de Sockets

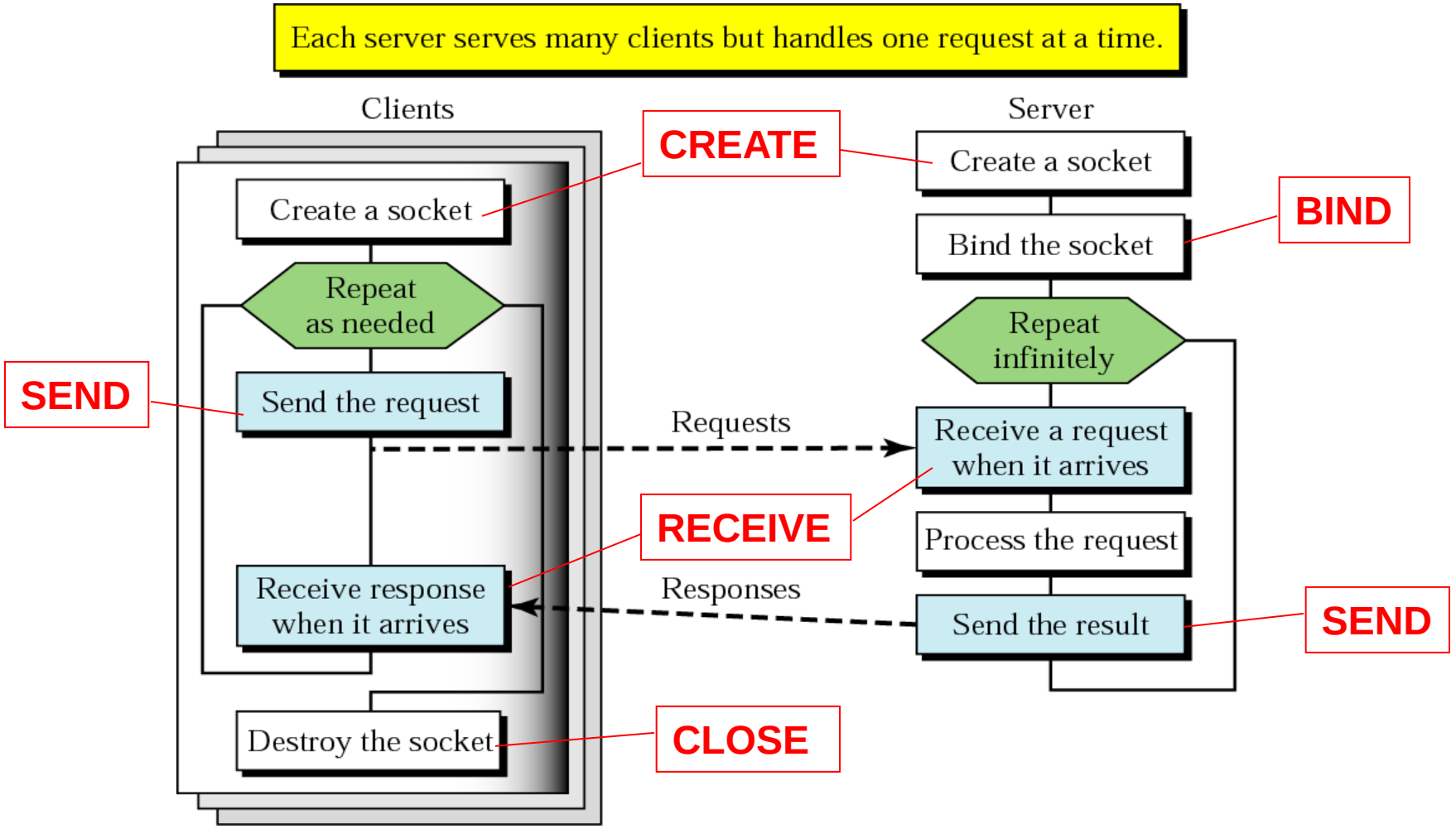
- **RECEIVE (estilo DATAGRAMA): int recvfrom (int *sockfd*, void **buf*, int *len*, unsigned int *flags*, struct sockaddr **from*, int **fromlen*);**
  - *buf*: Buffer para receber a mensagem
  - *len*: Tamanho do buffer
  - *from*: Endereço do socket do processo que enviou dados
  - *fromlen*: sizeof(struct sockaddr)
  - *flags*: 0
  - *retorno*: O número de bytes recebidos ou -1 em caso de erro

Usada no socket de datagrama

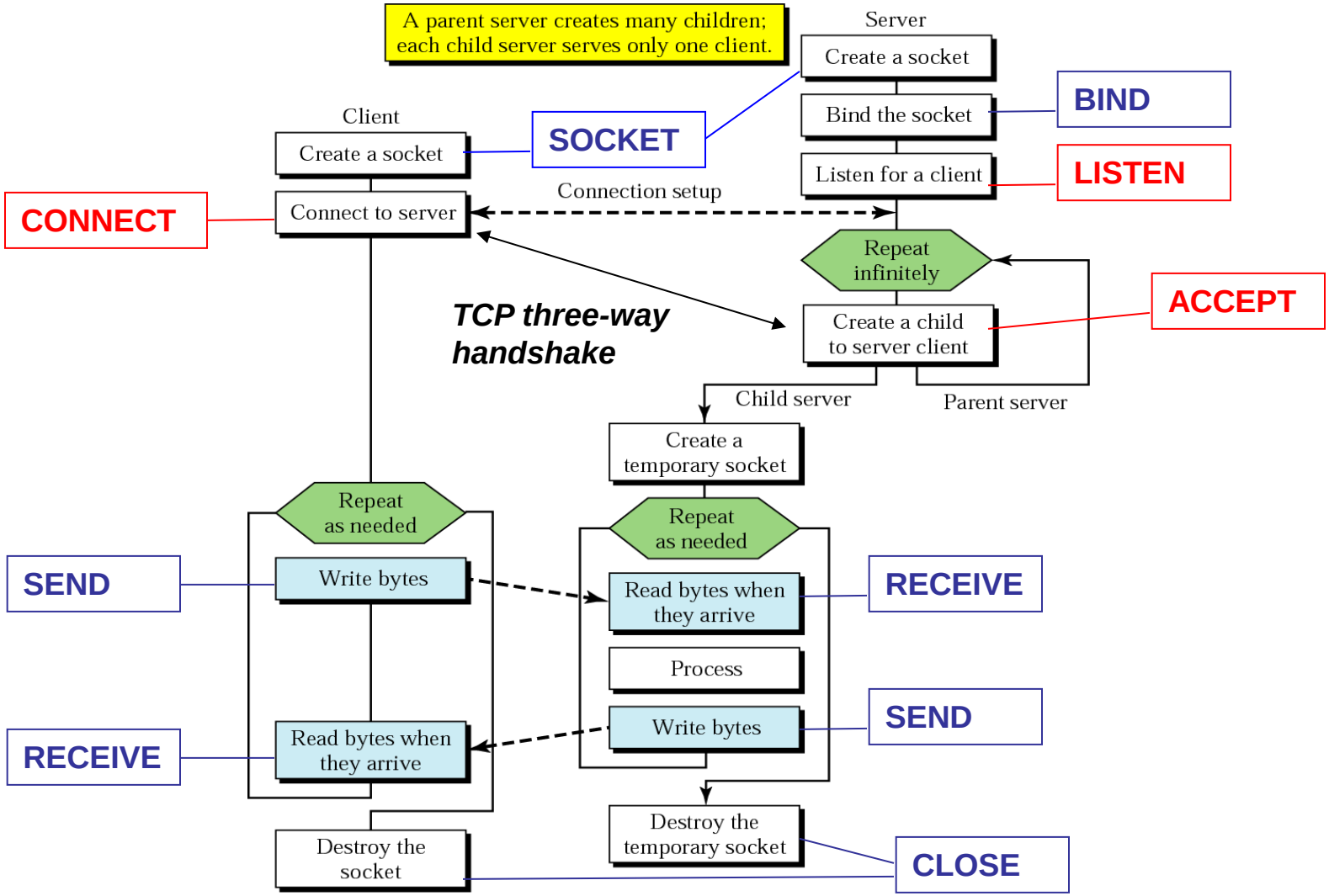
Primitivas de Sockets

- **CLOSE: close (*socketfd*);**
  - Fecha o socket

Cliente+Servidor: Sem Conexão



Cliente+Servidor: Com Conexão



EchoClient.c

```
#include <stdio.h>      /* for printf() and fprintf() */
#include <sys/socket.h> /* for socket(), connect(),
                                        sendto(), and recvfrom() */
#include <arpa/inet.h>  /* for sockaddr_in and
                                        inet_addr() */
#include <stdlib.h>     /* for atoi() and exit() */
#include <string.h>     /* for memset() */
#include <unistd.h>     /* for close() */

#define ECHOMAX 255     /* Longest string to echo */

int main(int argc, char *argv[])
{
    int sock;                        /* Socket descriptor */
    struct sockaddr_in echoServAddr; /* Echo server address */
    struct sockaddr_in fromAddr;     /* Source address of echo */
    unsigned short echoServPort =7;  /* Echo server port */
    unsigned int fromSize;           /* address size for recvfrom() */
    char *servIP="172.24.23.4";      /* IP address of server */
    char *echoString="Does it work?"; /* String to send to echo server */
    char echoBuffer[ECHOMAX+1];      /* Buffer for receiving echoed string */
    int echoStringLen;               /* Length of string to echo */
    int respStringLen;               /* Length of received response */
```

EchoClient.c

```
/* Create a datagram/UDP socket */
sock = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);

/* Construct the server address structure */
memset(&echoServAddr, 0, sizeof(echoServAddr)); /* Zero out structure */
echoServAddr.sin_family = AF_INET; /* Internet addr family */
echoServAddr.sin_addr.s_addr = htonl(servIP); /* Server IP address */
echoServAddr.sin_port = htons(echoServPort); /* Server port */

/* Send the string to the server */
sendto(sock, echoString, echoStringLen, 0, (struct sockaddr *)&echoServAddr,
sizeof(echoServAddr);
/* Recv a response */

fromSize = sizeof(fromAddr);
recvfrom(sock, echoBuffer, ECHOMAX, 0, (struct sockaddr *) &fromAddr, &fromSize);
 /* Error checks like packet is received from the same server*/

/* null-terminate the received data */
echoBuffer[echoStringLen] = '\0';
printf("Received: %s\n", echoBuffer); /* Print the echoed arg */
close(sock);
exit(0);
} /* end of main () */
```

EchoServer.c

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    int sock;                          /* Socket */
    struct sockaddr_in echoServAddr; /* Local address */
    struct sockaddr_in echoClntAddr; /* Client address */
    unsigned int cliAddrLen;           /* Length of incoming message */
    char echoBuffer[ECHOMAX];          /* Buffer for echo string */
    unsigned short echoServPort =7;  /* Server port */
    int recvMsgSize;                   /* Size of received message */
   /* Create socket for sending/receiving datagrams */
   sock = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
    /* Construct local address structure */
    memset(&echoServAddr, 0, sizeof(echoServAddr));   /* Zero out structure */
    echoServAddr.sin_family = AF_INET; /* Internet address family */
    echoServAddr.sin_addr.s_addr = htonl("172.24.23.4");
    echoServAddr.sin_port = htons(echoServPort);      /* Local port */

    /* Bind to the local address */
    bind(sock, (struct sockaddr *) &echoServAddr, sizeof(echoServAddr);
```

EchoServer.c

```
for (;;) /* Run forever */
    {
        cliAddrLen = sizeof(echoClntAddr);

        /* Block until receive message from a client */
        recvMsgSize = recvfrom(sock, echoBuffer, ECHOMAX, 0,
            (struct sockaddr *) &echoClntAddr, &cliAddrLen);

        printf("Handling client %s\n", inet_ntoa(echoClntAddr.sin_addr));

        /* Send received datagram back to the client */
        sendto(sock, echoBuffer, recvMsgSize, 0,
             (struct sockaddr *) &echoClntAddr, sizeof(echoClntAddr);
    }

} /* end of main () */
```

Leitura Recomendada

- **Brian "Beej Jorgensen" Hall, "*Beej's Guide to Network Programming - Using Internet Sockets*"**
  - Acessível em http://beej.us/guide/bgnet/