Programarea in retea (I)

Lenuta Alboaie

adria@info.uaic.ro

Cuprins

- Modelul client/server
- API pentru programarea in retea
- *Socket*-uri BSD
  - Caracterizare
  - Creare
  - Primitive
- Modelul client/server TCP

Paradigme ale comunicarii in retea

- Modelul client/server
- Apelul procedurilor la distanta (RPC)
- Mecanismul peer-to-peer (P2P) – comunicare punct-la-punct

Modelul client/server

[Primul server Web]

- Proces **server**
  - Ofera servicii in retea
  - Accepta cereri de la un proces client
  - Realizeaza un anumit serviciu si returneaza rezultatul
- Proces **client**
  - Initializeaza comunicarea cu serverul
  - Solicita un serviciu, apoi asteapta raspunsul serverului

Modelul client/server

- Moduri de interactiune
  - **Orientat-conexiune** – bazat pe TCP
  - **Neorientat-conexiune** – bazat pe UDP

Modelul client/server

- Implementare:
  - **iterativa** – fiecare client e tratat pe rind, secvential

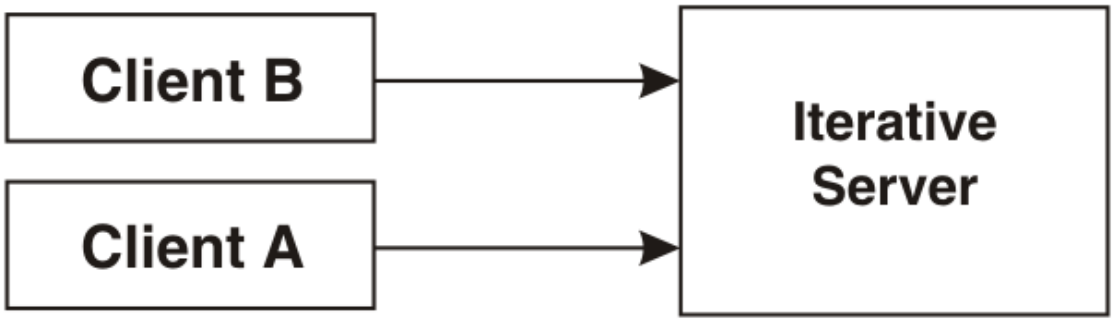


Figura: Exemplu de server iterativ

[http://publib.boulder.ibm.com]

Modelul client/server

- Implementare:
  - **concurenta** – cererile sunt procesate concurent

    Procese copil pentru fiecare cerere de procesat

    Multiplexarea conexiunii

    Tehnici combinate

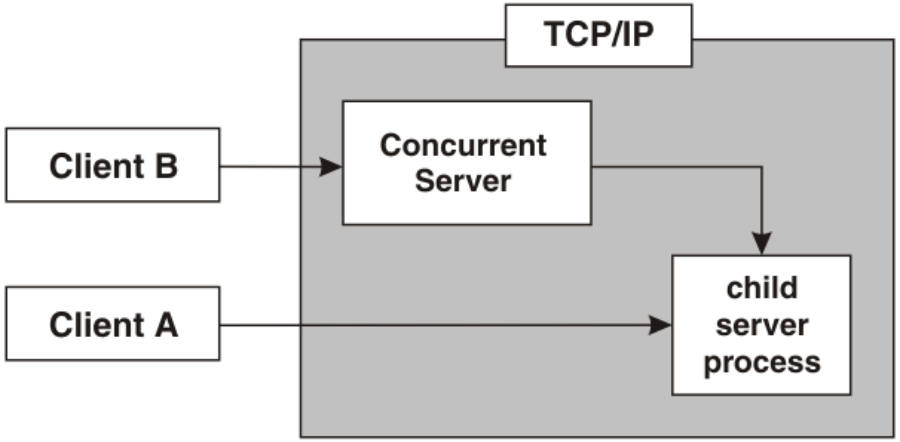


Figura: Exemplu de server concurent

[http://publib.boulder.ibm.com]

API pentru programarea in retea

- Necesitate:
  - Interfata generica pentru programare
  - Independenta de hardware si de sistemul de operare
  - Suport pentru diferite protocoale de comunicatie
  - Suport pentru comunicatii orientate-conexiune si prin mesaje
  - Independenta in reprezentarea adreselor
  - Compatibilitatea cu serviciile I/O comune

API pentru programarea in retea

- Se pot utiliza mai multe API-uri pentru programarea aplicatiilor Internet
  - ***Socket*-uri BSD** (*Berkeley System Distribution*)
  - TLI (*Transport Layer Interface*) – AT&T, XTI (Solaris)
  - Winsock
  - MacTCP
- Functii oferite:

  specificarea de puncte terminale locale si la distanta, initierea si acceptarea de conexiuni, trimitere si receptare de date, terminarea conexiunii, tratare erori
- TCP/IP nu include definirea unui API

...

Interfata de programare a aplicatiilor bazata pe

soket-uri BSD

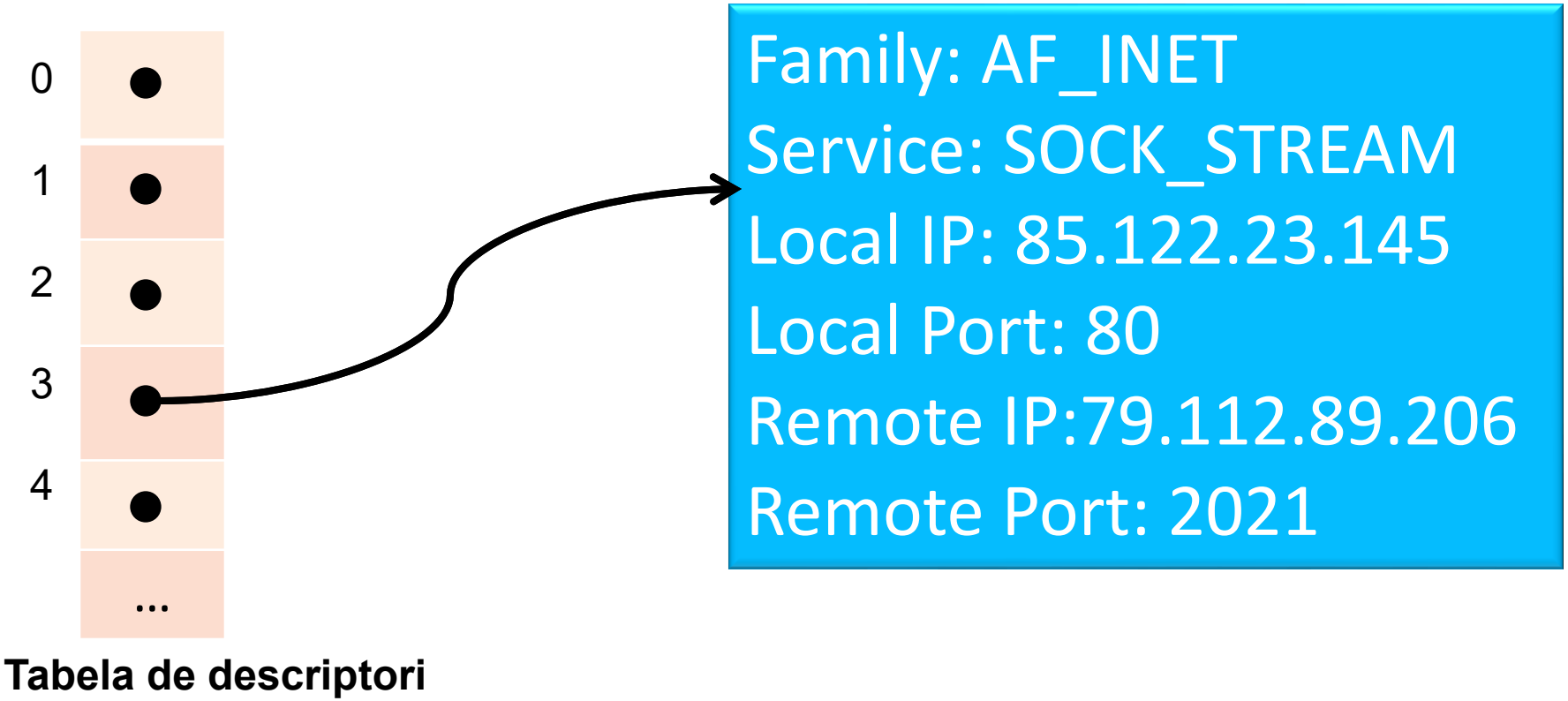
Socket

- Facilitate generala, independenta de arhitectura hardware, de protocol si de tipul de transmisiune a datelor, pentru comunicare intre procese aflate pe masini diferite, in retea
- Ofera suport pentru familii multiple de protocoale
  - Protocolul domeniului UNIX – folosit pentru comunicatii locale
  - Protocolul domeniului Internet folosind TCP/IP
  - Altele: XNS Xerox,…
- Abstractiune a unui punct terminal (*end-point*) la nivelul transport

Socket

- Utilizeaza interfata de programare I/O existenta (similar fisierelor, *pipe*-urilor, *FIFO*-urilor etc.)
- Poate fi asociat cu unul/mai multe procese, existind in cadrul unui domeniu de comunicatie
- Ofera un API pentru programarea in retea, avind implementari multiple
- Din punctul de vedere al programatorului, un *socket* este similar unui descriptor de fisier; diferente apar la creare si la diferite optiuni de control al *socket*-urilor

Socket


0
1
2
3
4
...
Family: AF_INET
Service: SOCK_STREAM
Local IP: 85.122.23.145
Local Port: 80
Remote IP:79.112.89.206
Remote Port: 2021
Tabela de descriptori

Interfata de programare a aplicatiilor bazata pe *socket*-uri BSD

Primitive de baza:

- **socket()** – creaza un nou punct terminal al conexiunii
- **bind()** ataseaza o adresa locala la un *socket*
- **listen()** permite unui *socket* sa accepte conexiuni
- **accept()** blocheaza apelantul pina la sosirea unei cereri de conectare(utilizata de serverul TCP)
- **connect()** tentativa (activa) de stabilire a conexiunii (folosita de clientul TCP)
- **send()** trimitere de date via *socket*
- **recv()** receptarea de date via *socket*
- **close()** elibereaza conexiunea (inchide un *socket*)
- **shutdown()** inchide directional un *socket*

Interfata de programare a aplicatiilor bazata pe *socket*-uri BSD

Alte primitive:

- Citire de date
  - read() / readv() / recvfrom() / recvmsg()
- Trimitere de date
  - write() / writev() / sendto() / sendmsg()
- Multiplexare I/O
  - select()
- Administrarea conexiunii
  - fcntl() / ioctl() / setsockopt() / getsockopt() / getsockname() / getpeername()

Socket-uri|creare

Apelul de sistem **socket()**

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
int socket (int domain, int type, int protocol)
```

Domeniul de comunicare: **AF_UNIX, AF_INET, AF_INET6, …**

Protocolul utilizat pentru transmitere (uzual: **0** pentru nivelul transport)

Tipul socketului (modalitatea de realizare a comunicarii): **SOCK_STREAM, SOCK_DGRAM, SOCK_RAW**

Socket-uri|creare

Apelul de sistem **socket()**

Valoarea de retur

- Succes: descriptorul de *socket* creat
- Eroare: -1
  - Raportarea erorii se realizeaza *via* variabilei **errno**
    - **EACCES**
    - **EAFNOSUPPORT**
    - **ENFILE**
    - **ENOBUFS sau ENOMEM**
    - **EPROTONOSUPPORT**
    - **…**

Constante definite in **errno.h**

Socket-uri

Exemplu de combinatii posibile pentru cele trei argumente ale primitivei socket():

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

Domeniu	Tip	Protocol
AF_INET	SOCK_STREAM	TCP
	SOCK_DGRAM	UDP
	SOCK_RAW	IP
AF_INET6	SOCK_STREAM	TCP
	SOCK_DGRAM	UDP
	SOCK_RAW	IPv6
AF_LOCAL	SOCK_STREAM	Mecanism intern de comunicare
	SOCK_DGRAM	

Observatie: AF_LOCAL=AF_UNIX (din motive istorice)

Socket-uri

Observatii

- Primitiva *socket()* aloca resursele necesare unui punct terminal de comunicare, dar nu stabileste modul de adresare
- *Socket*-urile ofera un mod generic de adresare; pentru TCP/IP trebuie specificate (*adresa IP, port*)
- Alte suite de protocoale pot folosi alte scheme de adresare

Tipuri POSIX

int8_t, uint8_t, int16_t, uint16_t, int32_t, int32_t, u_char, u_short, u_int, u_long

Socket-uri

- Tipuri POSIX folosite de socket-uri:
  - sa_family_t – familia de adrese
  - socklen_t – lungimea structurii de memorare
  - in_addr_t – adresaIP (v4)
  - in_port_t – numarul de port
- Specificarea adreselor generice

```
struct sockaddr {
    sa_family_t  sa_family;
    char sa_data[14]
}
```

Familia de adrese: AF_INET, AF_ISO,…

14 bytes - adresa folosita

Socket-uri

- Pentru IPv4 AF_INET vom avea nevoie de o structura speciala: sockaddr_in

```
struct sockaddr_in {
        short int sin_family;
        unisgned short int sin_port;
        struct in_addr sin_addr;
        unsigned char sin_zero[8];
}

struct in_addr{
        in_addr_t s_addr;
}
```

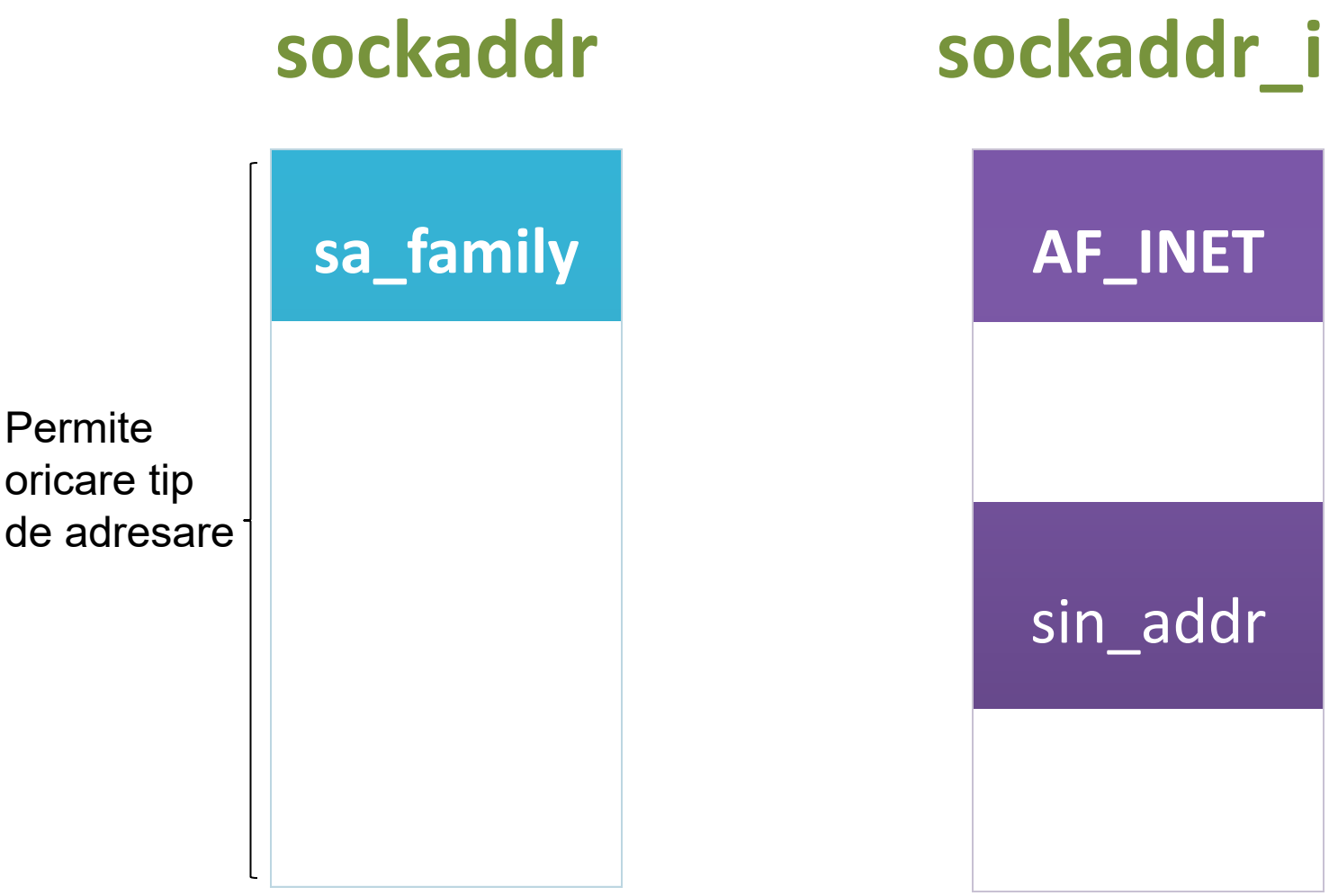
Familia de adrese: **AF_INET**

Portul (2 octeti)

Bytes neutilizati

4 bytes ai adresei IP

Socket-uri


sockaddr
sockaddr_in
sa_family
AF_INET
sin_addr
Permite oricare tip de adresare

Socket-uri

- Toate valorile stocate in sokaddr_in vor respecta ordinea de codificare a retelei (*network byte order*)
- Functii de conversie (netinet/in.h)
  - **uint16_t htons (uint16_t)** – conversie a unui intreg scurt (2 octeti) de la gazda la retea;
  - **uint16_t ntohs (uint16_t)**;
  - **uint32_t ntohl (uint32_t)** – conversie a unui intreg lung(4 octeti) de la retea la gazda;
  - **uint32_t htonl (unit32_t)**;

Discutii|Ordinea octetilor

Ordinea octetilor dintr-un cuvint (*word* – 2 octeti) se poate realiza in doua moduri:

- **Big-Endian** – cel mai semnificativ octet este primul
- **Little-Endian** – cel mai semnificativ octet este al doilea

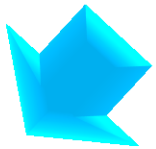
Exemplu:

Masina BigEndian trimite
(e.g. procesor Motorola)

=2

Masina LittleEndian va interpreta:
(e.g. procesor Intel)

=512



Drept conventie, se considera ordinea retelei (*network byte order*) - *BigEndian*

Socket-uri

- Pentru IPv6 AF_INET6 vom avea nevoie de o structura sockaddr_in6:

```
struct sockaddr_in6 {
  u_int16_t sin6_family;   /* AF_INET6*/
  u_int16_t sin6_port;
  u_int32_t sin6_flowinfo;
  struct in6_addr sin6_addr;
  u_int32_t  sin6_scope_id;
}

struct in6_addr{
  unsigned char s6_addr[16];
}
```

Socket-uri

Exemplu:

```
// IPv4:
 struct sockaddr_in ip4addr;  int s;
 ip4addr.sin_family = AF_INET;
 ip4addr.sin_port = htons(2510);
 inet_pton(AF_INET, "10.0.0.1", &ip4addr.sin_addr);
 s = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
 bind(s, (struct sockaddr*)&ip4addr, sizeof (ip4addr));

// IPv6:
 struct sockaddr_in6 ip6addr; int s;
 ip6addr.sin6_family = AF_INET6;
 ip6addr.sin6_port = htons(2610);
 inet_pton(AF_INET6, "2001:db8:8714:3a90::12", &ip6addr.sin6_addr);
 s = socket(PF_INET6, SOCK_STREAM, 0);
 bind(s, (struct sockaddr*)&ip6addr, sizeof (ip6addr));
```

Converteste adrese IPv4 si IPv6 din sir de caractere (x.x.x.x) in ordinea de codificare a retelei (#include <arpa/inet.h>)

? (urmatorul slide)

Socket-uri (slide 19)

Observatii

- Primitiva *socket()* aloca resursele necesare unui punct terminal de comunicare, dar nu stabileste modul de adresare
- *Socket*-urile ofera un mod generic de adresare; pentru TCP/IP trebuie specificate (*adresa IP, port*)
- Alte suite de protocoale pot folosi alte scheme de adresare

Socket-uri| asignarea unei adrese

- Asignarea unei adrese la un socket existent se realizeaza cu **bind()**

```
int bind ( int sockfd,
           const struct sockaddr *addr,
           int addrlen );
```

- Se returneaza: 0 in caz de succes, -1 eroare
  variabila errno va contine codul de eroare corespunzator: EACCES , EADDRINUSE, EBADF, EINVAL, ENOTSOCK,…

Socket-uri| asignarea unei adrese

Exemplu:

```
#define PORT 2021
struct sockaddr_in adresa;
int sd;

sd = socket (AF_INET, SOCK_STREAM, 0))  // TCP
adresa.sin_family = AF_INET; // stabilirea familiei de socket-uri
adresa.sin_addr.s_addr = htonl (adresaIP); //adresa IP
adresa.sin_port = htons (PORT);  //portul

if (bind (sd, (struct sockaddr *) &adresa, sizeof (adresa) == -1)
        {
                perror ("Eroare la bind().\n");
                …
        }
```

Socket-uri| asignarea unei adrese

- Utilizari ale lui bind():
  - Serverul doreste sa ataseze un socket la un port prestabilit (pentru a oferi servicii via acel port)
  - Clientul vrea sa ataseze un socket la un port specificat
  - Clientul cere sistemului de operare sa asigneze orice port disponibil
- In mod normal, clientul nu necesita atasarea la un port specificat
- Alegerea oricarui port liber:

```
adresa.sin_port = htons(0);
```

Socket-uri| asignarea unei adrese

- Alegerea adresei IP la bind()
  - Daca gazda are asignate mai multe adrese IP?
  - Cum se rezolva independenta de platforma?

Pentru a atasa un socket la adresa IP locala, se va utiliza in locul unei adrese IP constanta

INADDR_ANY

Socket-uri| asignarea unei adrese

- Conversia adreselor IP:

  int inet_aton (const char *cp, struct in_addr *inp);

  ASCII “x.x.x.x” -> reprezentare interna pe 32 biti (*network byte order*)

  char *inet_ntoa(struct in_addr in);

  reprezentare pe 32 biti (*network byte order*)-> ASCII “x.x.x.x”

  Obs: **[@fenrir ~]$** man inet_addr

Socket-uri| asignarea unei adrese

- Observatii:
  - PentruIPv6 in locul constantei INADDR_ANY

  se va folosi (vezi antetul netinet/in.h):

  serv.sin6_addr = in6addr_any;
  - Functiile de conversie pentru IPv6 (merg si pentru IPv4) sunt:

  inet_pton()

  inet_ntop()

Socket-uri| listen()

- Stabilirea modului pasiv de interactiune
  - Nucleul sistemului va astepta cereri de conectare directionate la adresa la care este atasat socketul

    3-way handshake
  - Conexiunile multiple receptionate vor fi plasate intr-o coada de asteptare

    int listen(int sockfd, int backlog);

    Numarul de conexiuni din coada de asteptare

    Socket TCP atasat unei adrese
  - Se returneaza: 0 – succes, -1 - eroare

Socket-uri| listen()

- Observatii:
  - Alegerea valorii *backlog* depinde de aplicatie
  - Serverele HTTP trebuie sa specifice o valoare *backlog* cit mai mare (din cauza incarcarii cu cereri multiple)

Socket-uri| accept()

- Acceptarea propriu-zisa a conexiunilor din partea clientilor
  - Cand aplicatia este pregatia pentru a trata o noua conexiune, va trebui sa interogam sistemul asupra unei alte conexiuni cu un client

```
int accept (int sockfd,
            struct sockaddr *cliaddr,
            socklen_t *addrlen);
```

Socket TCP (mod pasiv)

- Trebuie initial sa fie egal cu lungimea structurii **cliaddr**
- Se va returna numarul de bytes folositi in **cliaddr**

Se returneaza descriptorul de socket corespunzator punctului terminal al clientului sau -1 in caz de eroare

Socket-uri| connect()

- Incercarea de a stabili o conexiune cu serverul
  - *3-way handshake*

Socket TCP
- Nu necesita atasarea cu bind(); sistemul de operare va asigna o adresa locala (IP, port)

```
int connect (int sockfd,
             const struct sockaddr *serv_addr,
             socklen_t addrlen);
```

Contine adresa serverului (IP, port)

Se returneaza: succes ->0, eroare -> -1

I/O TCP| read()

int read(int sockfd, void *buf, int max);

- Apelul este blocant in mod normal, read() returneaza doar cind exista date disponibile
- Citirea de la un socket TCP poate returna mai putini octeti decat numarul maxim dorit
  - Trebuie sa fim pregatiti sa citim cate 1 byte la un moment dat (vezi cursul anterior)
- Daca partenerul a inchis conexiunea si nu mai sunt date de primit, se returneaza 0 (EOF)
- Erori: EINTR – un semnal a intrerupt citirea, EIO – eroare I/O, EWOULDBLOCK – *socket*-ul nu are date intr-o citire neblocanta

I/O TCP| write()

int write(int sockfd, const void *buf, int count);

- Apelul este blocant in mod normal
- Erori:
  - EPIPE – scriere la un socket neconectat
  - EWOULDBLOCK – nu se pot accepta date fara blocare, insa operatiunea este setata ca find blocanta

I/O TCP| Exemplu

```
#define MAXBUF 127  /* lungime buffer citire*/
…
char *cerere= “da-mi ceva”;
char buf [MAXBUF]; /* buffer pentru raspuns*/
char *pbuf= buf; /* pointer la buffer */
int n, lung = MAXBUF; /* nr. bytes cititi, nr. bytes liberi in buffer */
…
/* trimite cererea*/
write(sd, cerere, strlen(cerere));

/* asteapta raspunsul*/
while ((n = read (sd, pbuf, lung)) > 0) {
        pbuf+= n;
        lung -= n;
}
```

Exemplu de comunicarea dintre client si sever

Inchiderea conexiunii| close()

int close(int sockfd)

- Efect:
  - terminarea conexiunii;
  - dealocarea memoriei alocate *socket*-ului
    - pentru procese care partajeaza acelasi *socket*, se decrementeaza numarul de referinte la acel socket; cind ajunge la 0 *socket*-ul este dealocat
- Probleme:
  - serverul nu poate termina conexiunea, nu stie daca si cind clientul va mai trimite si alte cereri
  - clientul nu poate sti daca datele au ajuns la server

Inchiderea conexiunii| shutdown()

- Inchidere unidirectionala
  - Cind un client termina de trimis cererile, poate apela shutdown() pentru a specifica faptul ca nu va mai trimite date pe *socket*, fara a dealoca *socket*-ul
  - Serverul va primi EOF si, dupa expedierea catre client a ultimului raspuns, va putea inchide conexiunea

```
#include <sys/socket.h>
int shutdown (int sockfd, int how);
```

0 – viitoare citiri de pe socket nu vor mai fi permise (SHUT_RD);
1 – viitoarele scrieri pe socket nu vor mai fi permise (SHUT_WR);
2 - citirile/scrierile nu vor mai fi permise (SHUT_RDWR)

Metaphor for Good Relationships

To succeed in relationships…

- you need to establish your own identity. bind()
- you need to be open & accepting. accept()
- you need to establish contacts. connect()
- you need to take things as they come, not as you expect them. *read might return 1 byte*
- you need to handle problems as they arise. *check for errors*

[Retele de calculatoare – curs 2007-2008, Sabin Buraga]

Model client/server

- **Modelul unui server TCP iterativ:**
  - Creare *socket* pentru tratarea conexiunilor cu clientii: socket()
  - Pregatirea structurilor de date (sockaddr_in)
  - Atasarea *socket*-ului la adresa locala (port): bind()
  - Pregatirea *socket*-ului pentru ascultarea portului in vederea stabilirii conexiunii cu clientii: listen()
  - Asteptarea realizarii unei conexiuni cu un anumit client (deschidere pasiva): accept()
  - Procesarea cererilor clientului, folosindu-se *socket*-ul returnat de accept(): succesiune de read()/write()
  - Inchiderea (directionata) a conexiunii cu clientul: close(), shutdown()

Model client/server

- **Modelul unui client TCP:**
  - Creare *socket* pentru conectarea la server: socket()
  - Pregatirea structurilor de date (sockaddr_in)
  - Atasarea socket-ului: bind() – optional
  - Conectarea la server (deschidere activa): connect()
  - Solicitarea de servicii si receptionarea rezultatelor trimise de server: succesiune de write()/read()
  - Inchiderea (directionata) a conexiunii cu serverul: close(), shutdown()

Model general - server/client TCP

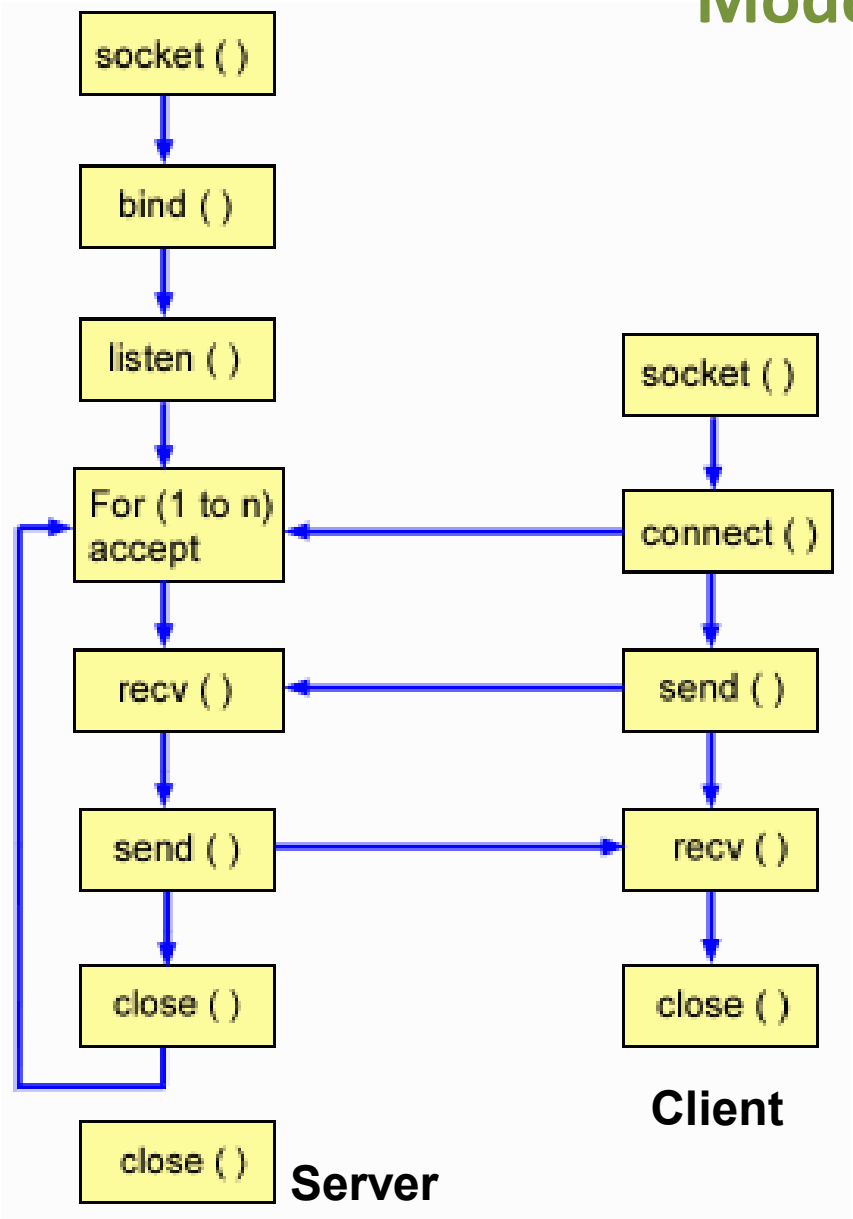
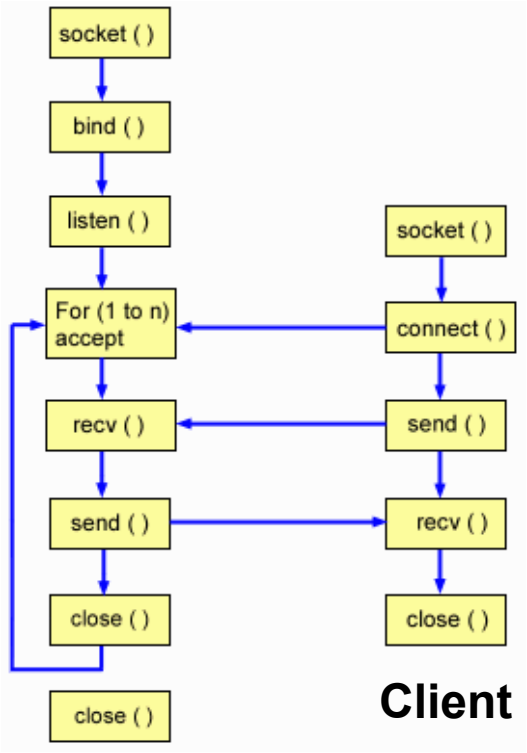


Figura: Server TCP Iterativ-succesiunea de evenimente

[http://publib.boulder.ibm.com]



DEMO ☺

Exemplu de server/client TCP iterativ

Cuprins

- Modelul client/server
- API pentru programarea in retea
- *Socket*-uri BSD
  - Caracterizare
  - Creare
  - Primitive
- Modelul client/server TCP

Intrebari?