Desenvolupament d'aplicacions de comunicacions: Sockets

Cèsar Fernández, Enric Guitart, Carles Mateu

Departament d'Informàtica
Universitat de Lleida

Febrer 2019

Esquema

Introducció

A l'hora de comunicar entitats d'una xarxa podem emprar dos models o arquitectures:

- Model igual-a-igual (*peer-2-peer*)
  - Patró d'interacció entre aplicacions corporatives descentralitzades
- Model client/servidor
  - Patró d'interacció entre aplicacions corporatives centralitzades

Model igual-a-igual

Peer

Qualsevol programa que ofereix un servei que pot ser accedit des de la xarxa i que al seu torn accedexi a serveis proporcionats per altres

Exemple

GNutella: transferència de fitxers

- Els programes escolten un port i responen peticions de fitxers que els arriben
- Els programes envien peticions de fitxers als seus iguals al mateix port

Model client-servidor

Servidor

Qualsevol programa que ofereix un servei que pot ser accedit des de la xarxa

Client

Qualsevol programa que tramet una demanda al servidor i espera la seva resposta

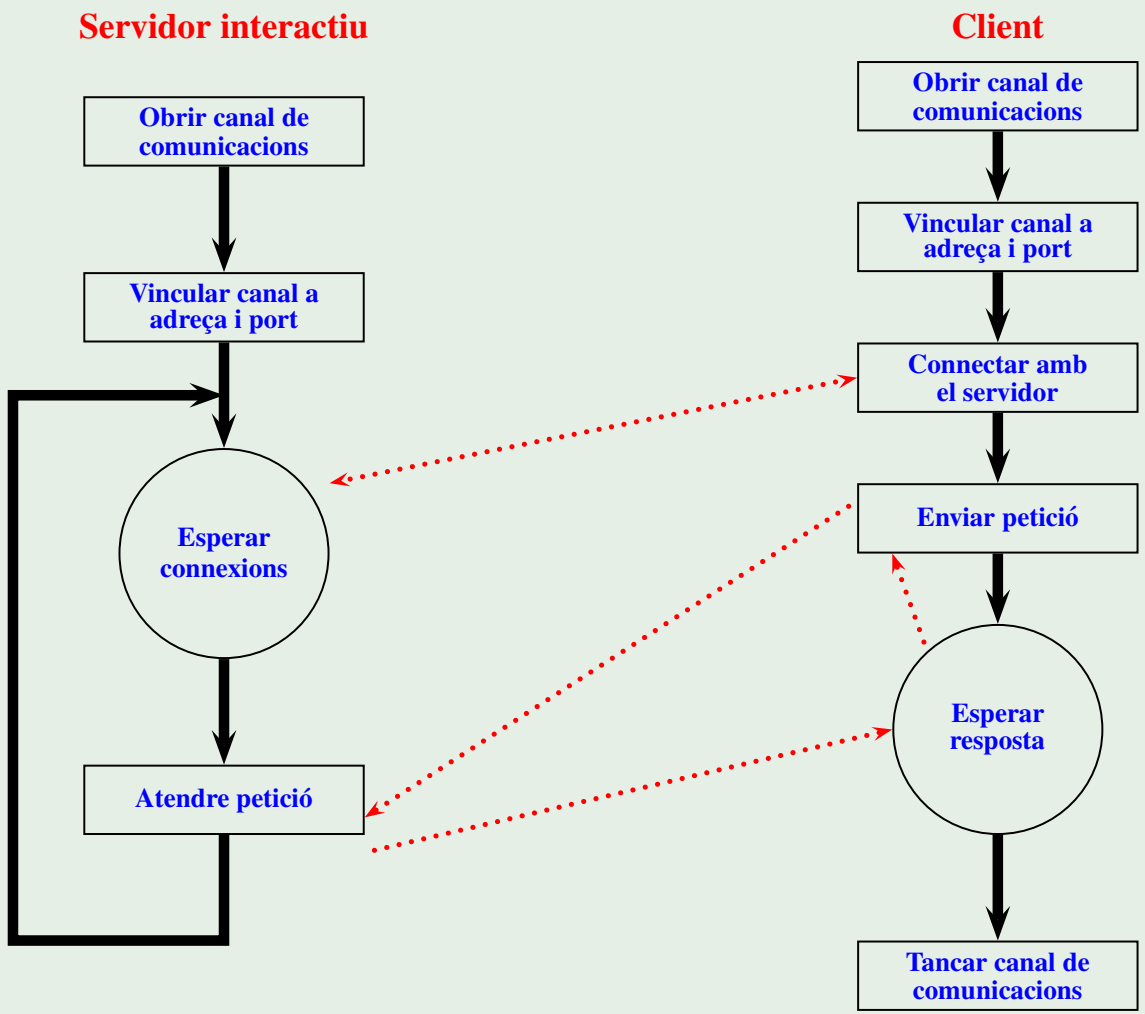
Exemple

Servei d'eco UDP:

- El servidor escolta pel port 7 i repeteix qualsevol paquet que entri per aquest port
- El client envia un paquet a un servidor determinat, esperant la seva resposta
- Mecanisme emprat per l'aplicació `ping`

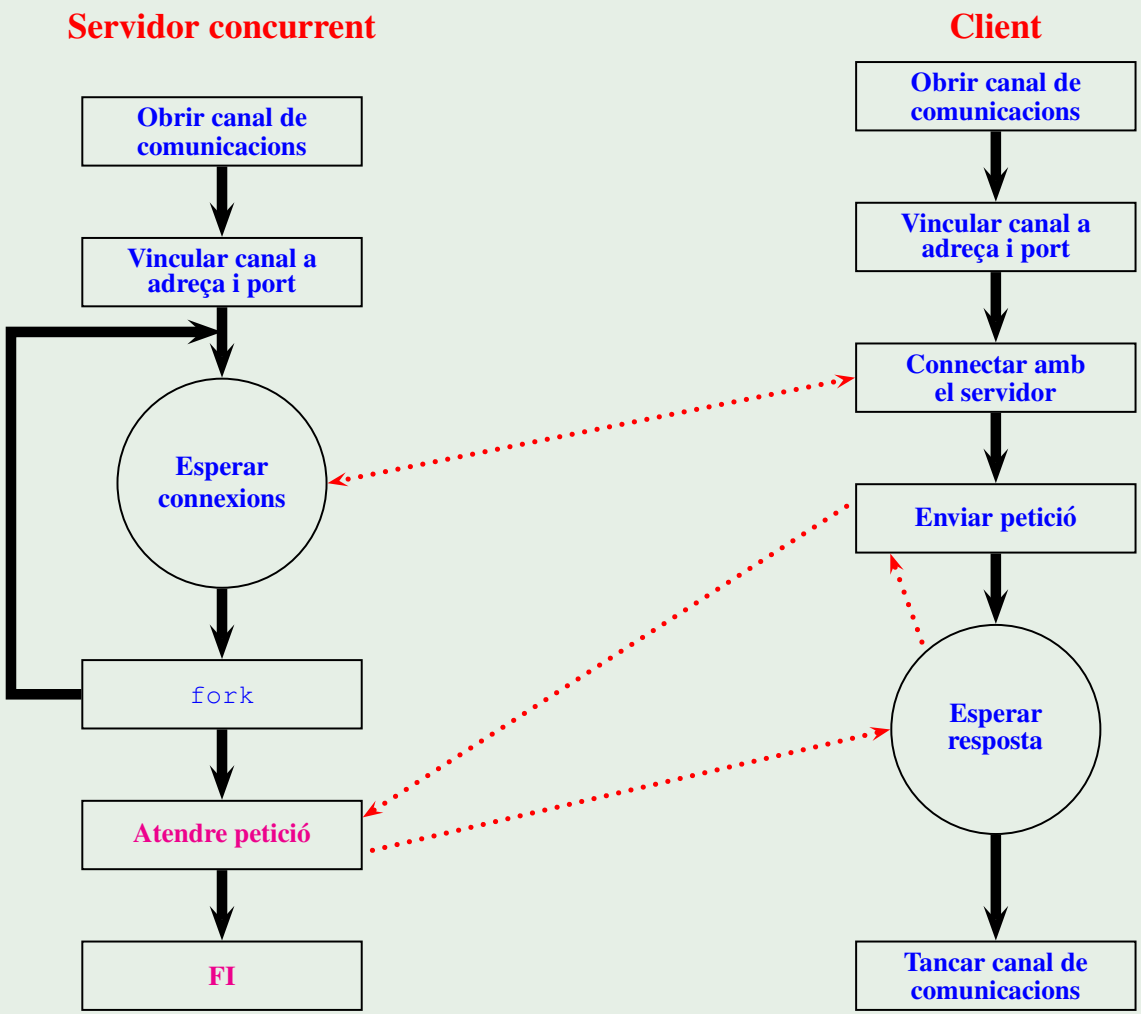
Model client-servidor

Estructura client/servidor interactiu



Model client-servidor

Estructura client/servidor concurrent



Berkeley Socket API

- Interfície de programació per comunicació entre programes mitjançant descriptors de fitxers
- *BSD Sockets*: cas particular per protocol IP. Altres protocols soportats (Unix-Domain Sockets, X25 Sockets, ATM PVC/SVC, Appletalk, IPv6, etc.)
- Mantenen la característica asimètrica del model client-servidor
- Existeixen altres API: TLI UNIX-*SV*, JAVA, etc.
- Coherent amb la filosofia UNIX: empra crides de tractament d'arxius (`open, close, read, ...`)
- Permet establir serveis orientat o no a connexió emprant TCP o UDP

Tipus de sockets

- *Stream Sockets*: Orientats a connexió, protocol TCP
  - Comunicació bidireccional fiable: manteniment de l'ordre, lliure d'errors, lliurament assegurat.
  - Ex: HTTP (Web), SMTP/POP3 (e-mail).
- *Datagram Sockets*: No orientats a connexió, protocol UDP
  - Comunicació no fiable: no s'assegura ni el lliurament ni l'ordre.
  - Ex: NFS (Compartició de disc), DNS (Resolució de noms).
- *Raw Sockets*: Construcció manual dels paquets.

Estructures de dades

- Definides a `/usr/include/sys/socket.h` del tipus:

/usr/include/sys/socket.h

```
struct sockaddr {
  u_short   sa_family; /*Familia adreces*/
  char      sa_data[14]; /*Fins 14 octets específics*/
};
```

- `sa_family`: Especifica la família de protocols
  - `AF_INET` → TCP/IPv4
  - `AF_UNIX` → Unix
  - `AF_INET6` → TCP/IPv6
  - `AF_IPX` → IPX
  - ...
- `sa_data`: Varia en funció del protocol

Estructures de dades

- L'estructura corresponent a `AF_INET`, es troba a: `/usr/include/netinet/in.h` .

/usr/include/netinet/in.h

```
struct sockaddr_in {
  short sin_family;           /*AF_INET*/
  u_short  sin_port;          /*16 bits pel port*/
  struct   in_addr sin_addr; /*32 bits adreca IP*/
  char     sin_zero[8];       /*no emprat*/
};


struct in_addr {
  unsigned long s_addr;
};
```

- `sin_port` i `sin_addr` han d'estar en *network byte order*

Estructures de dades: L'ordenació dels octets

- Diferents arquitectures ordenen els octets de les paraules de 16 i 32 bits de forma diferent
- Necessitat de transmetre-les de forma estàndard
- Funcions de traducció (definides a `#include <netinet/in.h>`)
  - `htons()` Host a xarxa per enters curts (16 bits)
  - `htonl()` Host a xarxa per enters llargs (32 bits)
  - `ntohs()` Xarxa a host per enters curts (16 bits)
  - `ntohl()` Xarxa a host per enters llargs (32 bits)

Estructures de dades: Les adreces IP (I)

- El API *Berkeley Sockets* proporciona una serie de funcions que ens permeten convertir adreces a `struct sockaddr_in`.
  - `inet_addr()` Adreça en format text a `sockaddr_in` (format xarxa).
  - `inet_ntoa()` Adreça en format `sockaddr_in` a text.
- `inet_addr()` ja retorna l'adreça en format de xarxa i no cal cridar a `hton()`.

Estructures de dades: Les adreces IP (II)

- El API *Berkeley Sockets* també proporciona mitjans per convertir de noms de màquina a adreça IP.
- Per fer-ho empra l'estructura:

/usr/include/netdb.h

```
#include <netdb.h>
struct hostent{
        char    *h_name;
        char    **h_aliases;
        int      h_addrtype;
        int      h_length;
        char    **h_add_list;
};
```

Estructures de dades: Les adreces IP (III)

- L'estructura `hostent` es usada per la funció `gethostbyname` per retornar la informació d'adreces corresponent a un nom concret.

gethostbyname

```
struct hostent  *gethostbyname(const char *name);
```

- Aquest crida cerca, segons la definició a `/etc/resolv.conf` quina informació d'adreces i sobrenoms té el nom que li passem.

Exemple

```
[root@dire p1]# ./info_host www.linux.com
Resultat:
Nom Oficial:     www.linux.com
Alias:
Tipus d'adreca: AF_INET -> IPv4
Longitud d'adreca: 4 bytes
Adreces:
 - 140.211.167.51
 - 140.211.167.50
```

Crides de BSD sockets

Crida	Descripció
`socket()`	Crear socket
`bind()`	Fixar adreça
`listen()`	Especificar cua
`accept()`	Esperar connexió

`read()`, `write()`
`recv()`, `send()`
`recvfrom()`, `sendto()`
	Transferir dades

`close()`	Tancar socket

- Els arxius de definició són `sys/types.h` i `sys/socket.h`
- La implementació depèn de si es tracta de:
  - Servidor o client
  - Orientat a connexió o datagrama

Crides de BSD sockets: `socket`

- Crea un socket del tipus especificat i ens retorna un descriptor de socket (un enter) que emprarem per la resta de crides, o en cas d'error a la creació del socket ens retorna -1.

socket

```
int socket(int família, int tipus, int protocol);
```

- *família* = `AF_INET` per als protocols TCP/IP, `AF_UNIX` per Unix sockets, etc.
- *tipus* = (`SOCK_STREAM`, `SOCK_DGRAM`) per als protocols TCP, UDP i (`SOCK_RAW`) *raw sockets* respectivament
- *protocol* = 0 per acceptar les combinacions per defecte (o bé `IPPROTO_TCP`, `IPPROTO_UDP`, etc.)

Crides de BSD sockets: `bind`

- "*Enganxa*" un socket a un port (i adreça) determinats per on rebrem les connexions. Retorna -1 en cas d'error.

bind

```
int bind(int sockfd, struct sockaddr *adreça, int longitud);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *adreça* = adreça i port on "enganxarem" el socket
- *longitud* = mida (en octets) de: *adreça*
- Podem escollir un port aleatori i deixar que el sistema operatiu ens posin l'adreça de la forma:

```
adreca.sin_port = 0;    /* Port aleatori */
adreca.sin_addr.s_addr= INADDR_ANY; /* Adr. autom. */
```

Crides de BSD sockets: `connect`

- Estableix la connexió cap a un servidor a l'adreça i ports especificats. Retorna 0 si s'ha pogut connectar, -1 en cas d'error.

connect

```
int connect(int sockfd, struct sockaddr *adreça_serv,
int longitud);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *adreça_serv* = adreça i port on volem connectar
- *longitud* = mida (en octets) de: *adreça_serv*
- No es necessari cridar a `bind` per connectar, al cridar a `connect` ell crida a `bind` si fa falta.

Crides de BSD sockets: `listen`

- Posa el socket en espera de connexions. Retorna 0 si s'ha pogut realitzar, -1 en cas d'error.

listen

```
int listen(int sockfd, int #_connex);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *#_connex* = nombre màxim de connexions en cua

Crides de BSD sockets: `accept`

- Accepta una de les connexions que tenim en la cua d'espera. Retorna un nou socket per la transferència de dades o -1 en cas d'error.

accept

```
int accept(int sockfd, struct sockaddr *adreça_remota,
int longitud);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *adreça_remota* = identificació de la màquina remota (adreça i port)
- *longitud* = mida (en octets) de: *adreça_remota*
- Al cridar a `accept()` una de les connexions que tinguem pendents a la cua establerta per `listen()` es acceptada, si no n'hi ha s'espera a que n'hi hagi.

Crides de BSD sockets: `send`

- Envia dades per un socket de tipus *connectat* (STREAM). Retorna el nombre de octets enviats (pot ser menys del que li passem) o -1 en cas d'error.

send

```
int send(int sockfd, char *buff, int #_octets, int flags);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *buff* = dades a enviar
- *#_octets* = longitud a enviar
- *flags* = paràmetres especials, generalment 0 (`MSG_OOB`, `MSG_DONTROUTE`, etc.)

Crides de BSD sockets: `recv`

- Recull dades rebudes per un socket de tipus *connectat* (STREAM). Retorna el nombre de octets rebuts (no pot superar el màxim que li donem nosaltres) o -1 en cas d'error.

recv

```
int recv(int sockfd, char *buff, int #_octets, int flags);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *buff* = dades a rebre
- *#_octets* = longitud màxima a rebre
- *flags* = paràmetres especials, generalment 0 (`MSG_OOB`, `MSG_DONTROUTE`, etc.)

Crides de BSD sockets: `sendto`

- Envia dades per un socket de tipus *no-connectat* (DGRAM). Retorna el nombre de octets enviats (pot ser menys que *#_octets*) o -1 en cas d'error.

sendto

```
int sendto(int sockfd, char *buff, int #_octets, int
flags, struct sockaddr *cap_a, int longitud);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *buff* = dades a enviar
- *#_octets* = longitud a enviar
- *flags* = paràmetres especials, generalment 0 (`MSG_OOB`, `MSG_DONTROUTE`, etc.)
- *cap_a* = adreça destinació
- *longitud* = longitud en octets de *cap_a*

Crides de BSD sockets: `recvfrom`

- Recull dades rebudes per un socket de tipus *no-connectat* (DGRAM). Retorna el nombre de octets rebuts (no es pot superar *#_octets*) o -1 en cas d'error. A *de* posa l'adreça de l'origen.

recvfrom

```
int recvfrom(int sockfd, char *buff, int #_octets, int flags, struct sockaddr *de, int *longitud);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- *buff* = dades a rebre
- *#_octets* = longitud màxima a rebre
- *flags* = paràmetres especials, generalment 0 (`MSG_OOB`, `MSG_DONTROUTE`, etc.)
- *de* = adreça origen
- *longitud* = longitud en octets de *de*

Crides de BSD sockets: `close`

- Tanca el socket especificat.

close

```
int close(int sockfd);
```

- *sockfd* = descriptor de socket (de `socket()`)
- Per controlar de millor forma el tancament disposem de la crida `shutdown()`

Crides de BSD sockets: Altres crides

shutdown

```
int shutdown(int sockfd, int flags);
```

getpeername

```
int getpeername(int sockfd, struct sockaddr *adr, int
*longitud);
```

getsockname

```
int getsockname(int sockfd, struct sockaddr *adr, int
*longitud);
```

gethostname

```
int gethostname(char *nomhost, size_t mida);
```

Crides de BSD sockets: Altres crides

select

```
int select(int numdf, fd_set *dflect, fd_set *dfescr,
fd_set *dfexce, struct timeval *tempor);
```

Macros:

```
void FD_ZERO (fd_set *set);
```

```
void FD_SET (int filedes, fd_set *set);
```

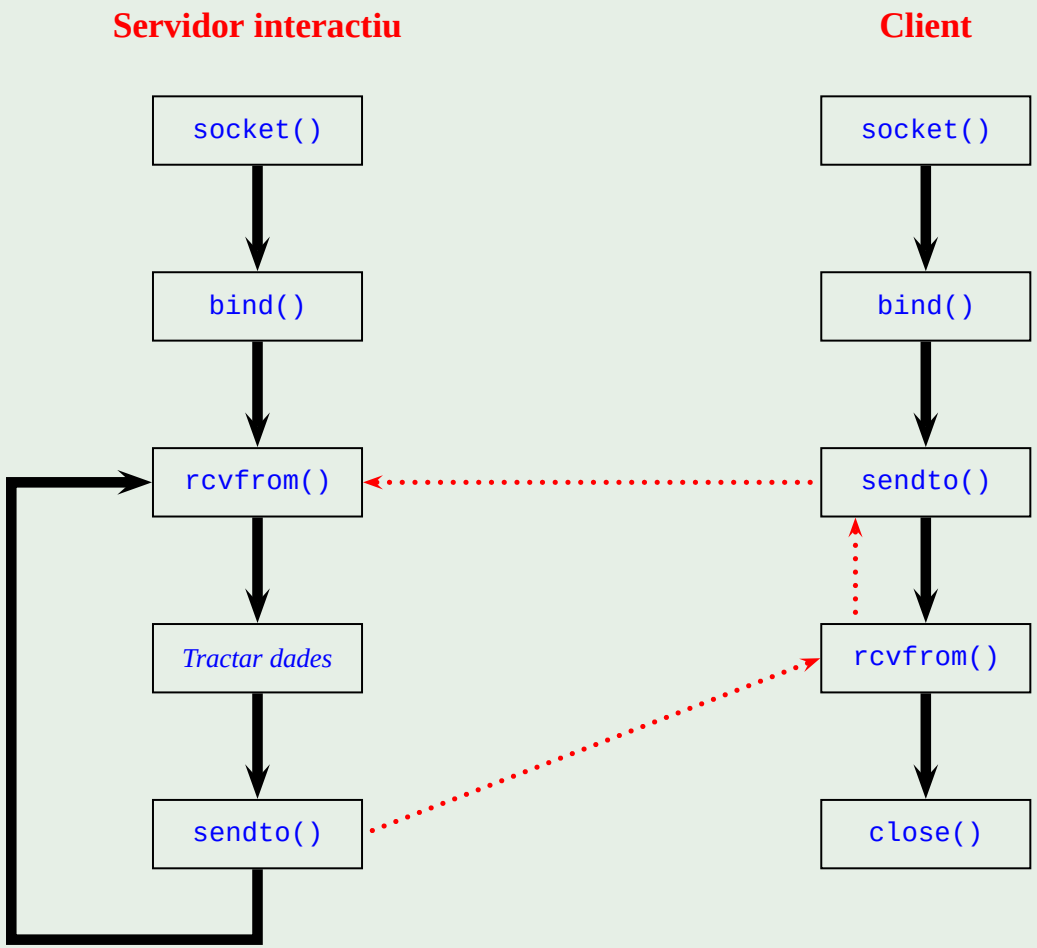
```
void FD_CLR (int filedes, fd_set *set);
```

```
int FD_ISSET (int filedes, const fd_set *set);
```

```
int FD_SETSIZE;
```

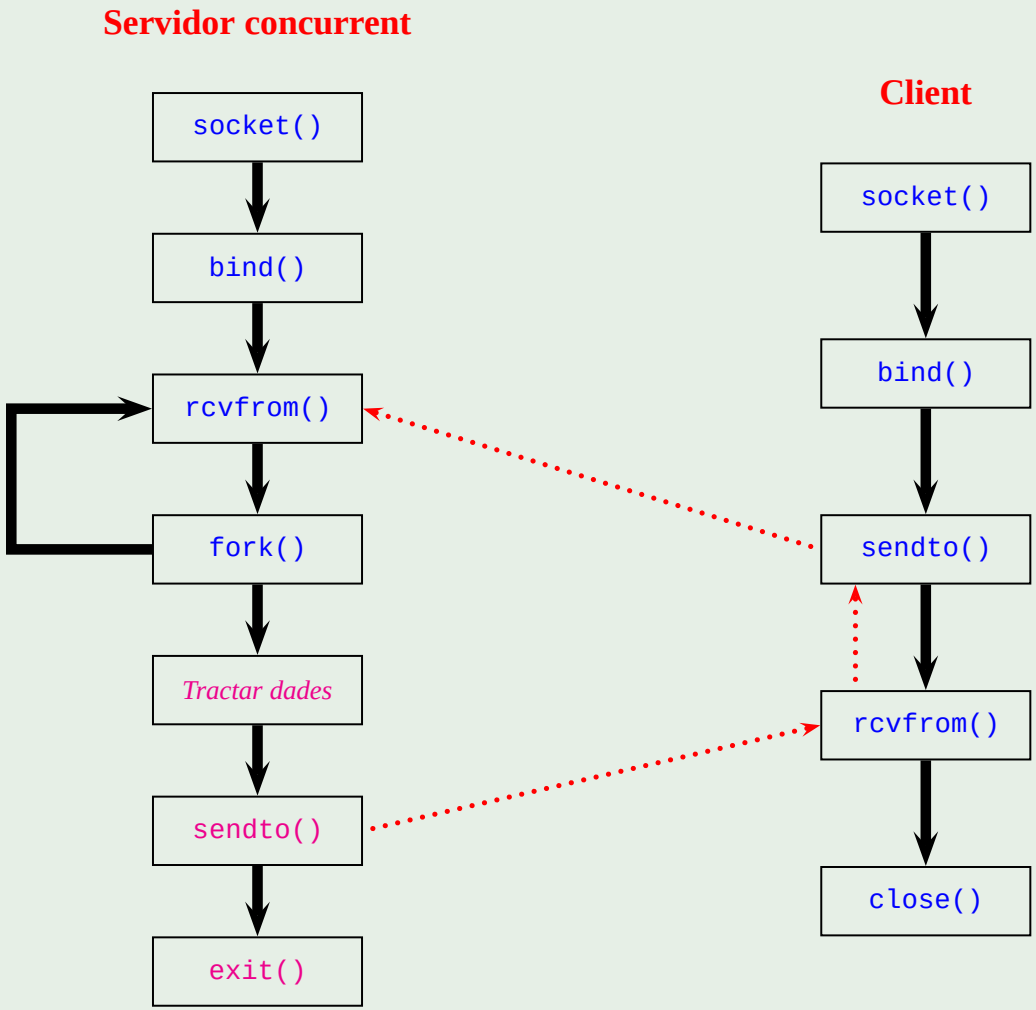
Estructures client/servidor

Interactiu UDP



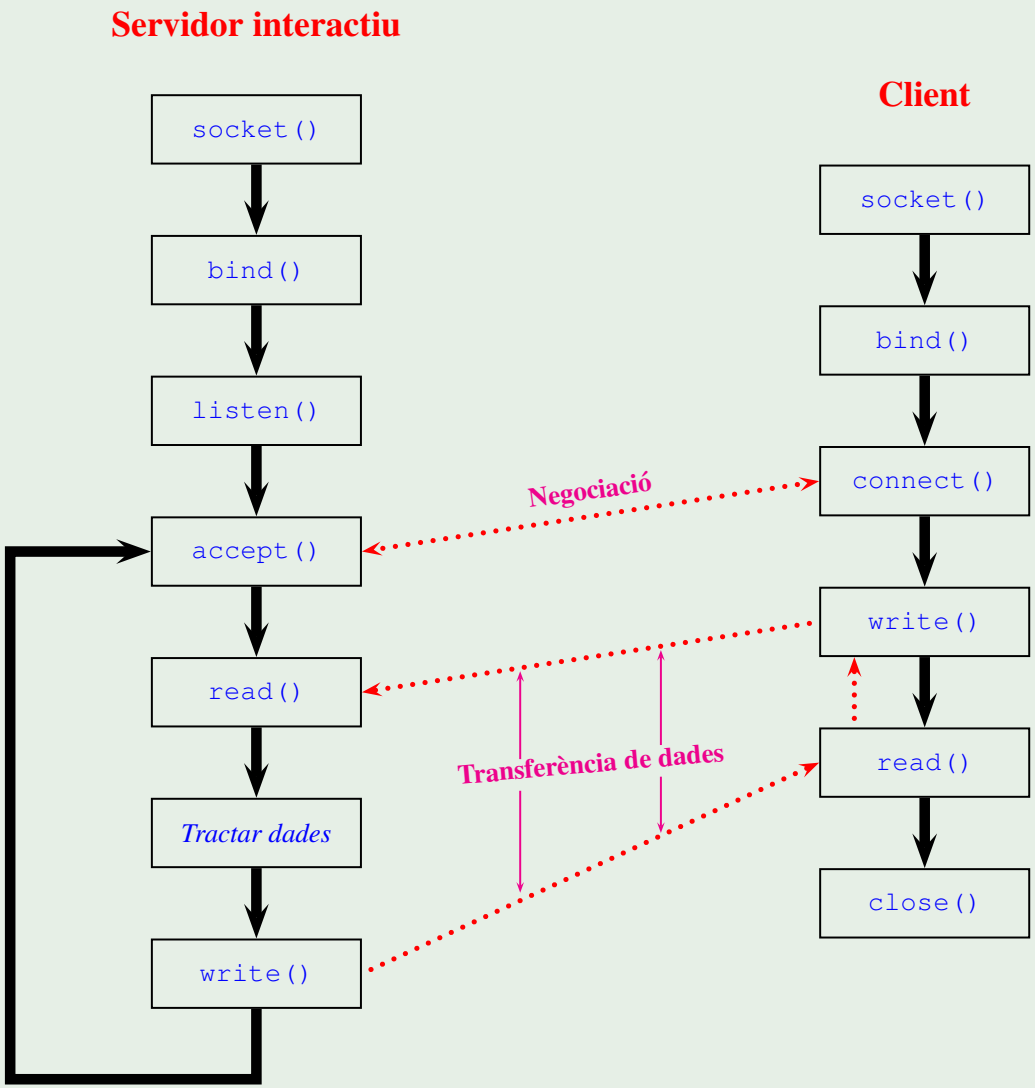
Estructures client/servidor

Concurrent UDP



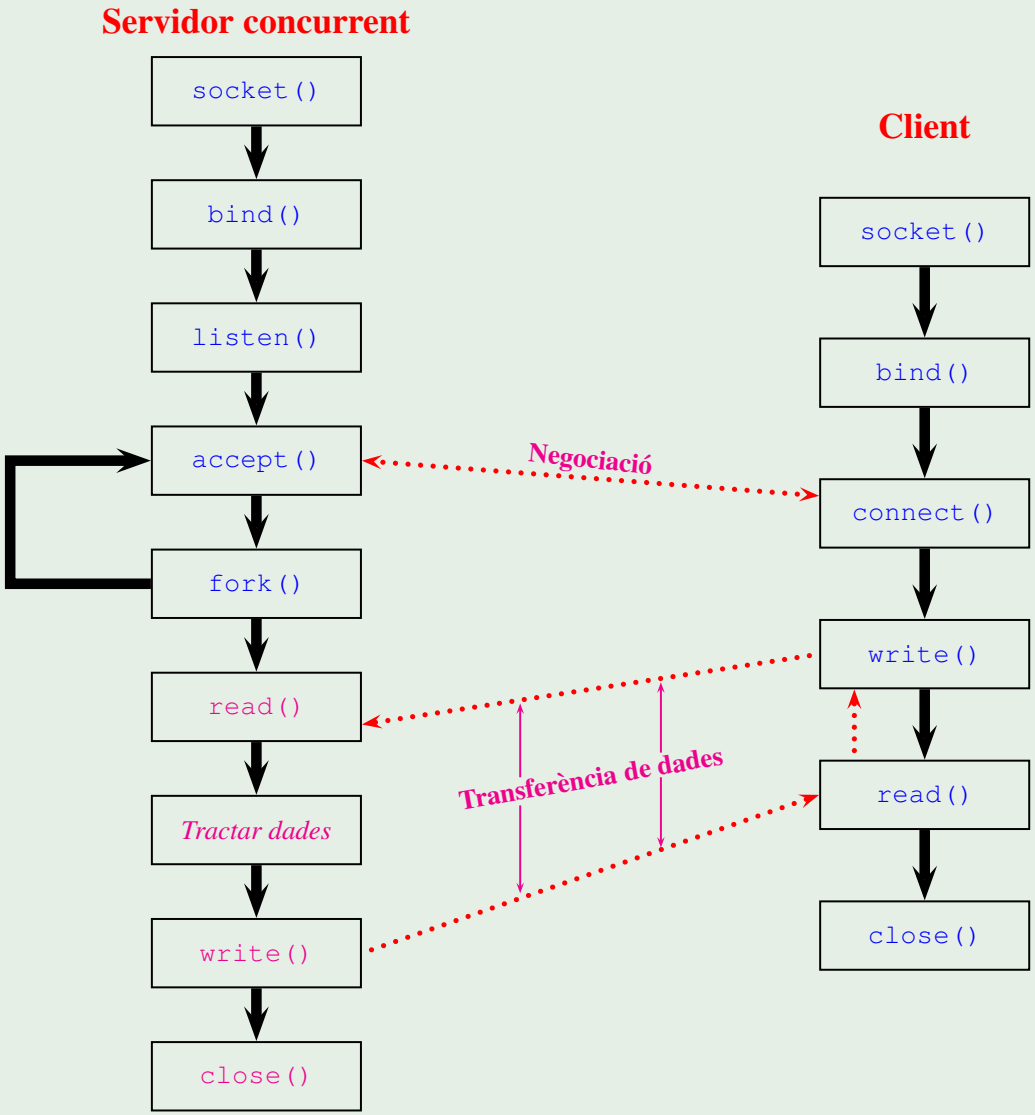
Estructures client/servidor

Interactiu TCP



Estructures client/servidor

Concurrent TCP



Python: Módul socket

Conté funcions bàsiques de treball amb sockets (així com la creació de sockets).

- `getfqdn(ipaddr)`: Retorna el Fully Qualified Domain Name per una màquina. Si és `''` retorna el nostre nom.
- `gethostbyaddr(ipaddr)`: Retorna una tupla amb (`hostname`, `alias_list`, `ipaddr_list`). On hi haurà el nom primari, la llista d'àlias i la llista d'IPs dels alias i nom.
- `gethostbyname(hostname)`: Retorna en un *string* l'adreça IPv4 de `hostname` en format decimal per punts (quad).
- `gethostbyname_ex(hostname)`: El mateix que `gethostbyaddr`, però accepta un nom de màquina o una IP (en quad) com paràmetre.

Python: Módul socket

- `htonl(i32), htons(i16)`: Converteix int32 o int16 de host a màquina.
- `ntohl(i32), ntohs(i16)`: Converteix int32 o int16 de màquina a host.
- `inet_aton(string)`: Converteix adreça IP (en text) a packed string de 4 bytes
- `inet_ntoa(string)`: Converteix adreça IP (en packed string de 4 bytes) a cadena.

Creació de sockets: `socket.socket()`

`socket(familia, tipus)`

La crida socket crea i retorna un objecte de tipus socket. Tipus i familia són similars als de les crides de BSD Sockets per C: `AF_INET`, `AF_INET6` o `AF_UNIX` per una banda i `SOCK_STREAM` i `SOCK_DGRAM` per un altra.

Disposem també de: `SOCK_RAW`, `SOCK_RDM` (UDP confiable) i `SOCK_SEQPACKET` (UDP confiable i orientat a connexió).

Creació de socket

```
import socket

s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
```

Objectes socket (I)

La classe que modela els sockets (`socket.SocketType`) i es retornada per la crida `socket.socket()` té totes les funcions bàsiques de treball en sockets similars (idèntiques de fet) a les de BSD Sockets per C.

Un objecte s de tipus socket proporciona:

- `s.bind(host, port)`: vincula un socket a un port per escoltar. `host` pot ser cadena buida: ”, i vol dir qualsevol de les nostres adreces IP. `port = 0` implica port aleatori.
- `s.listen(backlog)`: Estableix el socket a escoltar connexions i dona la mida de la cua de connexions en espera.
- `s.connect((host,port) )`: Connecta el socket cap al host `host` i el port `port`. Crida bloquejant, i en cas d'error llença excepcions.

Objectes socket (II)

- `(s1,(ip,port))=s.accept()`: accepta una connexió pendent i retorna una parella: `s1` és el nou socket i (`ip,port`) la parella de l'adreça IP de l'altre extrem de la connexió i el port. `s` ha de ser `SOCK_STREAM` i prèviament s'ha d'haver cridat `bind` i `listen`. Si no hi ha clients intentant connectar, la crida es bloquejant.
- `s.close()`: Tanca el socket. No es pot cridar més mètodes a `s` després.
- `f=s.makefile([mode[,bufsize]])`: Crea un objecte `f` de tipus `file` associat al socket `s`. Podem aleshores emprar-lo com un fitxer normal. Els paràmetres són els mateixos que al crear fitxers.
  Python tanca el socket només quan l'objecte `s` i el fitxer `f` s'han tancat.

Objectes socket (III)

- `str=s.recv(size)`: Rebrà com a màxim `size` bytes del socket i els retorna (cadena). Retorna cadena buida en cas de desconnexió. Si no hi ha dades el socket es bloqueja.

- `(data,(ip,port))=s.recvfrom(size)`: Rebrà com a màxim `size` bytes del socket i retorna una tupla on: `data` és la cadena de màxim `size` bytes i (`ip`,`port`) són l'adreça IP i el port de l'emissor. Crida bloquejant.

  Emprat en sockets no orientats a connexió (UDP).

Objectes socket (IV)

- `n=s.send(string)`: Envia `string` pel socket `s` i retorna el nombre de bytes enviats. Pot no enviar-los tots, aleshores hem de reenviar `string[n:]`.
  Si no hi ha espai als buffers la crida es bloquejant.
- `s.sendall(string)`: Envia `string` pel socket `s` de forma completa, si no pot enviar `string` íntegrament bloqueja fins aconseguir-ho.
- `n=s.sendto(string,(host,port))`: Envia `string` pel socket `s` a (`host`,`port`). Retorna el nombre de bytes enviats, podent no enviar-se tots. Es tasca nostra enviar aleshores `string[n:]`.
  Emprat en sockets de datagrama (UDP).

Mòdul select

Conté una implementació independent de plataforma de `select()` (i altres utilitats depenents del sistema operatiu).

select

```
i,o,e = select(inputs, outputs, excepts,
timeout=None)
```

- `inputs`, `outputs` i `excepts` son llistes de sockets a ser revisades per si poden llegir-se (`inputs`), escriure's (`outputs`) o hi ha hagut excepcions (`excepts`).
- `timeout` és un nombre (float) de segons a esperar, si és `0` retorna immediatament sense esperar esdeveniments i si es `None` espera indefinidament.
- Retorna una tupla (`i,o,e`) on `i` és una llista de 0 o més elements sockets d'on podem fer una lectura no bloquejant. `o` és una llista de sockets on podem escriure. I `e` és una llista de sockets on hi ha hagut una excepció.

Mòdul asyncore

Asyncore (`i asynchat`) permeten implementar servidors i clients asíncrons de forma fàcil i més eficient que select.

```
asyncore.loop()
```

Implementa el bucle principal (implementat internament per asyncore).

Per implementar el que volem hem de crear classes derivades de `asyncore.dispatcher` o `asyncore.dispatcher_with_send`.

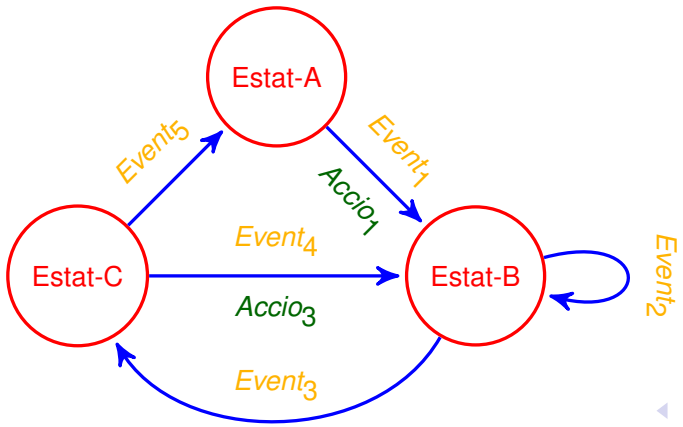
`d.create_socket(family, type)` crea el socket per `asyncore.dispatcher`

En les classes derivades hem d'implementar els `handle_` pertinents: `handle_accept`, `handle_close`, `handle_connect`, `handle_read`, `handle_write`.

Protocol (I)

Conjunt de regles i convencions que controlen l'intercanvi de missatges entre dues entitats d'una xarxa de comunicacions.

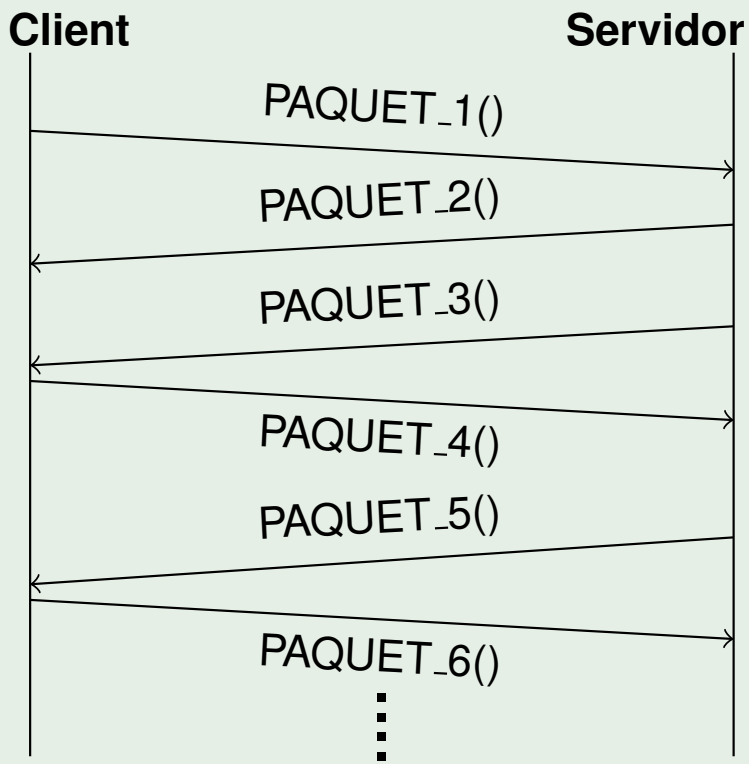
- Un protocol pot ser vist com una màquina d'estats. Molts cops es dissenyen i s'especifiquen (fins i tot es programen) com a tals.
- Per definir el comportament d'un protocol s'empra el Diagrama d'estats.
- Un diagrama d'estats té tres components:
  - Estats: Situació estable del protocol.
  - Events: Esdeveniment que pot comportar un canvi d'estat.
  - Accions: Resposta a un event.



Protocol (II)

- Per especificar el funcionament de l'intercanvi de missatges s'empren els diagrames de temps:

Diagrama de temps



Protocol (III)

- Cada protocol té una estructura o format de paquets pròpia (PDU, *Protocol Data Unit*).
- De forma general, un paquet consta de:
  - Un camp d'informació (payload): el que volem transmetre.
  - Camps de capçalera/cua (header/tail) . Ubicats davant i/o darrera de la informació

PDU