Linux 操作系统

15 网络编程

主讲：杨东平
中国矿大计算机学院

进程通信：套接字(socket)

- 套接字也是一种进程间通信机制，可用于不同机器间的进程通信
- 套接字起初是由 Unix 系统的 BSD 分支开发出来的，但现在一般可以移植到其它类 Unix 系统上：Linux 和 System V 的变种都支持套接字

有关套接字的头文件和函数

- 头文件
  - 数据类型：sys/types.h
  - 函数定义：sys/socket.h
- 函数：
  - socket()
  - bind()
  - listen()
  - connect()
  - accept()
  - recv() /recvfrom()
  - send() / sendto()
  - close()

socket 函数

- Socket描述符:一个int型的变量,标志连接的一方。
- 原型：int socket(int domain, int type, int protocol);
- 参数：
  - domain：程序采用的通讯协族
    - AF_UNIX：只用于单一的 Unix 系统进程间通信
    - AF_INET：用于 Internet 通信
    - type：采用的通讯协议
      - SOCK_STREAM：用 TCP 协议
      - SOCK_DGRAM：用 UDP 协议
    - protocol：由于指定了 type，此值一般为 0
- 返回值：
  - 成功：Socket 描述符
  - 失败：-1，可用 errno 查看出错的详细情况
- 示例：
  - TCP：sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  - UDP：sockfd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);

通用地址结构：sockaddr

- 定义：

```
struct sockaddr {
    unsigned short sa_family; /*地址族, AF_xxx */
    char sa_data[14];   /* 14字节，包含套接字中的目标地址和端口信息 */
};
```

- 说明：
  - sa_family：2 字节地址族，包括三种：
    - AF_INET：IPv4 地址信息(Socket编程只能用它)
    - AF_INET6：IPv6 地址信息
    - AF_UNSPEC：使用适用于指定主机名和服务名且适合任何协议族的地址。如果主机既有支持 IPv6 地址，也支持 IPv4 地址，则返回 sockaddr_in6 结构，否则返回 sockaddr_in 结构
- 用于 bind、connect、recvfrom、sendto 等函数的参数，指明地址信息

IPv4 地址结构：sockaddr_in

- 头文件：netinet/in.h
  或 arpa/inet.h
- 该结构体解决了sockaddr 的缺陷，把 port 和 addr 分开储存在两个变量中：

```
struct sockaddr_in {
    short int sin_family;       /* 协议族，socket 中只能是 AF_INET */
    unsigned short int sin_port; /* 端口号 */
    struct in_addr  sin_addr;     /* IP 地址 */
    unsigned char sin_zero[8]; /* 使 sockaddr_in 相同大小而保留 */
};
```

存储 IP 地址的数据结构：in_addr

```
struct in_addr
{
  union
  {
    struct { u_char s_b1,s_b2,s_b3,s_b4; } S_un_b; // 4 字节 IPv4 地址
    struct { u_short s_w1,s_w2; } S_un_w;      // 两个短整数 IPv4 地址
    u_long S_addr;                             // 32 位整数 IPv4地址
  } S_un;
  #define s_addr S_un.S_addr
};
```

- 有三种表达方式：
  - 1) 用四个字节来表示 IP 地址的四个数字
  - 2) 用两个双字节来表示 IP 地址
  - 3) 用一个长整型来表示 IP 地址

IPv6 地址结构

```
struct sockaddr_in6 {
    sa_family_t     sin6_family;   /* AF_INET6 */
    in_port_t       sin6_port;     /* port number */
    uint32_t        sin6_flowinfo; /* IPv6 flow information */
    struct in6_addr sin6_addr;     /* IPv6 address */
    uint32_t        sin6_scope_id; /* Scope ID (new in 2.4) */
};

struct in6_addr {
    unsigned char   s6_addr[16];   /* IPv6 address */
};
```


IPv4 地址函数：inet_addr、inet_ntoa

- 这两个函数互为反函数
- 原型：unsigned long inet_addr(const char *cp);
  - inet_addr 函数是给 in_addr 赋值的一种最简单方法，它可以把一个点分十进制 IP 地址字符串转换为 in_addr 类型，如：addrto.sin_addr.s_addr=inet_addr("192.168.0.2");
- 原型： char* inet_ntoa(struct in_addr in);
  - inet_ntoa 函数将一个 32 位数字表示的 IP 地址转换成点分十进制 IP 地址字符串
  - 由于字节序的问题，不主张使用此函数

字节顺序(字节序)

- 字节顺序：指占内存多于一个字节类型的数据在内存中的存放顺序，包括：
  - 小端字节序(Little endian)：低字节数据存放在内存低地址处，高字节数据存放在内存高地址处
  - 大端字节序(Big endian)：高字节数据存放在低地址处，低字节数据存放在高地址处
- 网络字节顺序(NBO，Network Byte Order)：
  - TCP/IP 中规定的一种数据表示格式，它与具体的 CPU 类型、操作系统等无关，从而可以保证数据在不同主机之间传输时能够被正确解释
  - 采用 big endian 排序方式
- 一般地，基于 x86 平台的 PC 机是小端字节序的，而有的嵌入式平台则是大端字节序的
- 网络数据收发：
  - 程序中发数据包时，需要将主机字节序(HBO，Host Byte Order)转换为网络字节序
  - 接收数据包时需要将网络字节序转换为主机字节序

字节顺序转换函数

- 头文件：arpa/inet.h
- 主机字节顺序转换为网络字节顺序
  - uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
    - 将无符号长整数从主机字节序转换为网络字节序
  - uint16_t htons(uint16_t hostshort);
    - 将无符号短整数从主机字节序转换为网络字节序
- 网络字节顺序转换为主机字节顺序
  - uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
    - 将无符号长整数从网络字节序转换为主机字节序
  - uint16_t ntohs(uint16_t netshort);
    - 将无符号短整数从网络字节序转换为主机字节序

程序中通常用 sockaddr_in 结构

```
struct sockaddr_in my_addr;

my_addr.sin_family = AF_INET;
my_addr.sin_port = htons(3490);
my_addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("132.241.5.10");
bzero(&(my_addr.sin_zero), 8);
// 原型：void bzero(void *s, int n);
// 头文件：string.h
// 功能：置字节字符串 s 的前 n 个字节为零且包括 '\0'
```

- 注意：sin_addr.s_addr
  - 对 client 程序，填服务器 IP
  - 对 server 程序，一般填 INADDR_ANY，表示接收所有 IP 连接

bind 函数

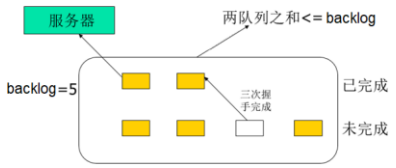
- 作用：用于 Server 程序，绑定被侦听的端口
- 原型：int bind(int sockfd, struct sockaddr* servaddr, int addrlen);
- 参数：
  - sockfd：由 socket 调用返回的文件描述符
  - servaddr：出于兼容性，一般使用 sockaddr_in 结构
  - addrlen：servaddr 结构的长度
- 返回值：
  - 成功：0
  - 失败：-1，相应地设定全局变量 errno，最常见的错误是该端口已经被其他程序绑定
- 注意：在 Linux 系统中，1024 以下的端口只有拥有 root 权限的程序才能绑定

connect 函数

- 作用：用于 Client 程序，连接到某个 Server
- 原型：int connect(int sockfd, struct sockaddr* servaddr, int addrlen);
- 参数：
  - sockfd：socket 返回的文件描述符
  - servaddr：被连接的服务器端地址和端口信息，出于兼容性，一般使用 sockaddr_in 结构
  - addrlen：servaddr 的长度
- 返回值：
  - 成功：0
  - 失败：-1，相应地设定全局变量 errno

listen 函数

- 作用：用于 Server 程序，侦听 bind 绑定的套接字
- 原型：int listen(int sockfd, int backlog)
- 参数：
  - sockfd：被 bind 的文件描述符(socket()建立的)
  - backlog：设置 Server 端请求队列的最大长度
- 返回值：
  - 成功：0
  - 失败：-1



accept 函数

- 作用：Server 用它响应连接请求，建立与 Client 连接
- 原型：int accept(int sockfd, struct sockaddr* addr, int *addrlen);
- 参数：
  - sockfd：listen 后的文件描述符(socket()建立的)
  - addr：返回 Client 的 IP、端口等信息，确切格式由套接字的地址类别(如 TCP 或 UDP)决定；若 addr 为 NULL，则 addrlen 应置为 NULL
  - addrlen：返回真实的 addr 所指向结构的大小，只要传递指针就可以，但必须先初始化为 addr 所指向结构的大小
  - 注意：
    - addr 通常是指向局部数据结构 sockaddr_in 的指针
    - addrlen 是局部变量，通常设置为 sizeof(struct sockaddr_in)
- 返回值：
  - 成功：Server 用于与 Client 进行数据传输的文件描述符
  - 失败：-1，相应地设定全局变量 errno
- 说明：accept 是阻塞函数，服务器端会一直阻塞到有一个客户程序发出了连接

accept() 函数应用示例

```
struct sockaddr_in their_addr; /* 用于存储连接对方的地址信息*/
int sin_size = sizeof(struct sockaddr_in);

… …// (依次调用socket(), bind(), listen()等函数)
new_fd = accept(sockfd, &their_addr, &sin_size);
printf("对方地址: %s\n", inet_ntoa(their_addr.sin_addr));
… …
```


recv 函数

- 作用：用于 TCP 协议中接收信息
- 原型：ssize_t recv(int sockfd, void *buf, size_t nbytes, int flags);
- 参数：
  - sockfd：接收端套接字描述符
  - buf：指向容纳接收信息的缓冲区的指针
  - nbytes：buf 缓冲区的大小
  - flags：接收标志，一般置为 0或：

flags	说明
MSG_DONTWAIT	仅本操作非阻塞
MSG_OOB	发送或接收带外数据
MSG_PEEK	窥看外来消息
MSG_WAITALL	等待所有数据

- 返回值：
  - 成功：实际接收的字节数
  - 失败：-1，相应地设定全局变量 errno
  - 为0：表示对端已经关闭
- 说明：recv 缺省是阻塞函数，直到接收到信息或出错

recvfrom 函数

- 作用：用于 UDP 协议中接收信息
- 原型：ssize_t recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags, struct sockaddr *from, socklen_t *fromlen);
- 参数：
  - sockfd：socket 描述符
  - buf：指向容纳接收 UDP 数据报的缓冲区的指针
  - len：buf 缓冲区的大小
  - flags：接收标志，一般为 0
  - from：指明数据的来源
  - fromlen：传入函数之前初始化为 from 的大小，返回之后存放 from 实际大小
- 返回值：
  - 成功：实际接收的字节数
  - 失败：-1，错误原因存于 errno 中
  - 为0：表示对端已经关闭
- 说明：recvfrom 是阻塞函数，直到接收到信息或出错

send 函数

- 作用：用于 TCP 协议中发送信息
- 原型：ssize_t send(int sockfd, const void *buf, size_t nbytes, int flags);
- 参数：
  - sockfd：指定发送端套接字描述符
  - buf：存放要发送数据的缓冲区
  - nbytes：实际要发送的数据的字节数
  - flags：一般设置为 0 或：

flags	说明
MSG_DONTROUTE	绕过路由表查找
MSG_DONTWAIT	仅本操作非阻塞
MSG_OOB	发送或接收带外数据

- 返回值：
  - 成功：已发送的字节数
  - 失败：-1，相应地设定全局变量 errno
- 说明：send 缺省是阻塞函数，直到发送完毕或出错

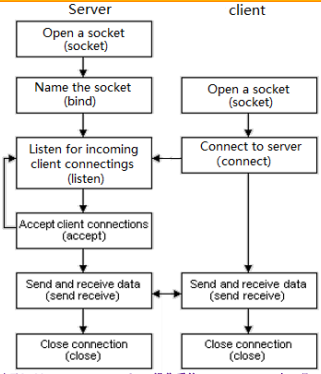
sendto 函数

- 作用：用于 UDP 协议中发送信息
- 原型：int sendto(int sockfd, const void *msg, int len, unsigned int flags, const struct sockaddr *to, int tolen);
- 参数：
  - sock：将要从其发送数据的套接字
  - buf：指向将要发送数据的缓冲区
  - len：数据缓冲区的长度
  - flags：一般是 0
  - to：指明数据的目的地
  - tolen： to 内存区的长度
- 返回值：
  - 成功：实际传送出去的字符数
  - 失败：-1，错误原因存于 errno 中
- 说明：sendto缺省是阻塞函数，直到发送完毕或出错

close 函数

- 作用：用于 TCP，关闭特定的 socket 连接
- 原型：int close(int sockfd);
- 返回值：
  - 成功：0
  - 失败：-1，并置错误码 errno：
    - EBADF：sockfd 不是一个有效描述符
    - EINTR：close 函数被信号中断
    - EIO：IO错误
- 说明：
  - close 一个 TCP socket 的缺省行为是把该 socket 标记为已关闭，然后立即返回到调用进程。该描述字不能再由调用进程使用
  - close 操作只是使相应 socket 描述字的引用计数 -1，只有当引用计数为 0 的时候，才会触发 TCP 客户端向服务器发送终止连接请求

C/S 模式的 TCP 通信



TCP 应用举例：一个简单的 TCP Server

- 基本步骤：
  - 程序初始化
  - 持续监听一个固定的端口
  - 收到 Client 的连接后建立一个 socket 连接
  - 与 Client 进行通信和信息处理
  - 接收 Client 通过 socket 连接发送来的数据，进行相应处理并返回处理结果，如 BBS Server
  - 通信结束后中断与 Client 的连接

一个简单的 TCP Server(TCPServer.c)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/wait.h>

#define MYPORT  3490    // 侦听的端口号
#define BACKLOG 10      // 侦听队列长度

void main()
{
   int serverfd, clientfd;                 // 侦听的套接字和客户套接字描述符
   struct sockaddr_in serveraddr;    // 侦听的套接字地址信息
   struct sockaddr_in clientaddr;    // 客户端的地址信息
   int clientsinsize;                      // 客户端地址信息结构大小
```



```
   // 1 取得侦听套接字 socket 描述符
   if((serverfd=socket(AF_INET, SOCK_STREAM,0)) == -1)
   {
      perror("Server socket failed");
      exit(1);
   }

   // 2 填写侦听套接字地址信息的 sockaddr_in 结构
   serveraddr.sin_family = AF_INET;                        // 使用 Internet 地址
   serveraddr.sin_port = htons(MYPORT);                    // 网络字节序的侦听端口号
   serveraddr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); // 网络字节序的侦听 IP
   bzero(&(serveraddr.sin_zero),8);                        // 其余部分置 0

   // 3 绑定端口
   if(bind(serverfd,(struct sockaddr*)&serveraddr,sizeof(struct sockaddr))==-1)
   {
      perror("Server bind failed");
      exit(1);
   }
```

```
   // 4 监听端口
   if(listen(serverfd, BACKLOG) == -1)
   {
      perror("Server listen failed");
      exit(1);
   }
   // 主循环
   while(1)
   {
      // 5 接受客户端的连接请求
      clientsinsize = sizeof(struct sockaddr_in);
      clientfd = accept(serverfd,(struct sockaddr *)&clientaddr,&clientsinsize);
      if(clientfd ==- 1)
      {
         perror("Server accept failed");
         continue;
      }
      int clientip = clientaddr.sin_addr.s_addr; // 客户端的 IP 地址
      printf("Got connection from %d.%d.%d.%d\n",
           clientip&255,(clientip>>8)&255,(clientip>>16)&255,(clientip>>24)&255);
```

```
      // 6 产生新进程(线程)处理读写 socket
      if(!fork())
      {  // 子进程
         char msg[14]="Hello,world!\n";
         if(send(clientfd,msg,14,0)==-1)  // 使用客户端 socket 描述符发送信息
            perror("send failed");

         // 7 读写完成，关闭插口
         close(clientfd);
         exit(0);
      }

      close(clientfd);        // 无法生成子进程时有用

      while(waitpid(-1,NULL,WNOHANG)>0);   // 清除所有子进程
   }
}
```

TCP应用举例：一个简单的TCP Client

- Client 步骤
  - 程序初始化
  - 连接到某个 Server 上，建立 socket 连接
  - 与 Server 进行通信和信息处理
  - 接收 Server 通过 socket 连接发送来的数据，进行相应处理
  - 通过 socket 连接向 Server 发送请求信息
  - 通信结束后中断与 Server 的连接

一个简单的TCP Client(TCPClient.c)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
#include <netdb.h>
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
#include <sys/socket.h>

#define PORT 3490                       // 服务器端的侦听端口
#define MAXDATASIZE 100         // 一次可以读的最大字节数

int main(int argc, char *argv[])
{
   int sockfd, numbytes;           // 客户端 socket 描述符和地址信息结构大小
   char buf[MAXDATASIZE];          // 读取的数据缓冲区
   struct sockaddr_in their_addr; // Server 址信息
```

```
// (1) 取得客户端 socket 描述符
if ((sockfd=socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0)) == -1)
{
    perror("socket");
    exit(1);
}

// (2) 填写被连接的服务器端侦听的地址信息的 sockaddr_in 结构
their_addr.sin_family = AF_INET;          // 使用 IP 地址
their_addr.sin_port = htons(PORT);        // short, NBO，服务器端侦听端口号
their_addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("192.168.116.169"); // 服务器 IP 地址
bzero(&(their_addr.sin_zero),8);          // 其余部分设成 0

// (3) 向服务器端发起连接
if (connect(sockfd, (struct sockaddr *)&their_addr, sizeof(struct sockaddr))
== -1)
{
    perror("connect");
    exit(1);
}
```

```
// (4) 读 socket
if ((numbytes=recv(sockfd,buf,MAXDATASIZE,0))==-1)
{
    perror("recv");
    exit(1);
}
buf[numbytes] = '\0';
printf("Received: %s",buf);

// (5) 关闭socket
close(sockfd);

return 0;
}
```

```
[root@localhost ~]# ./TCPServer
Got connection from 192.168.116.169
Got connection from 192.168.116.169
Got connection from 192.168.116.169
Got connection from 192.168.116.169
Got connection from 192.168.116.169
Got connection from 192.168.116.169
Got connection from 192.168.116.169
```

```
[root@localhost ~]# ./TCPClient
Received: Hello,world!
[root@localhost ~]# ./TCPClient
Received: Hello,world!
[root@localhost ~]# ./TCPClient
Received: Hello,world!
[root@localhost ~]# ./TCPClient
Received: Hello,world!
[root@localhost ~]# ./TCPClient
Received: Hello,world!
[root@localhost ~]# ./TCPClient
Received: Hello,world!
[root@localhost ~]# _
```

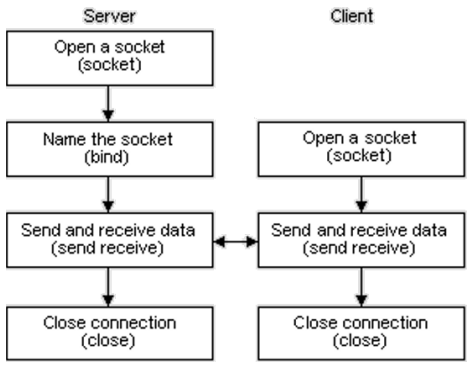
UDP 与 TCP 的区别

- 基于连接与无连接
- 流模式与数据报模式
  - TCP 保证数据正确性，UDP 可能丢包
  - TCP 保证数据顺序，UDP 不保证
- 对系统资源的要求(TCP 较多，UDP 少)

UDP 与 TCP 的编程区别

- socket() 的参数不同
- UDP Server 不需要调用 listen 和 accept
- UDP 收发数据用 sendto / recvfrom 函数
- TCP：地址信息在 connect/accept 时确定
  - UDP：在 sendto / recvfrom 函数中每次均需指定地址信息

UDP C/S 通信



UDP 应用举例：Server 部分(UDPServer.c)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/wait.h>

#define MYPORT 3490 // 监听端口

void main()
{
    int serverfd;                       // 侦听的 socket 描述符
    struct sockaddr_in serveraddr;      // 客户端地址信息
    struct sockaddr_in clientaddr;      // 服务器端地址信息
    int addrsize;                       // 地址结构的大小
    int retval;                         // 接收的数据字节数
    char buf[128];                      // 数据缓冲区
```

```
// 1 获取服务器的侦听 socket 描述符
if((serverfd=socket(AF_INET,SOCK_DGRAM,0))==-1)
{
   perror("socket");
   exit(1);
}

// 2 填写服务器端侦听的 IP 地址和端口号
serveraddr.sin_family = AF_INET;            // 使用 IP 地址
serveraddr.sin_port = htons(MYPORT);        // 网络字节序的本机端口号
serveraddr.sin_addr.s_addr=INADDR_ANY; // 自动填写本机 IP
bzero(&(serveraddr.sin_zero),8);            // 其余部分置 0

// 3 绑定 socket 描述符和侦听 IP 地址及端口
if(bind(serverfd,(struct sockaddr *)&serveraddr,
        sizeof(serveraddr)) == -1)
{
   perror("bind");
   exit(1);
}
```

```
// 主循环
while(1)
{
   // 4 接收从客户端发送过来的数据
   retval = recvfrom(serverfd,buf,128,0,
                     (struct sockaddr *)&clientaddr,&addrsize);
   int clientip = clientaddr.sin_addr.s_addr;
   printf("Received datagram from %d.%d.%d.%d\n",
clientip&255,(clientip>>8)&255,(clientip>>16)&255,(clientip>>24)&255);

   if(retval==0)   {
      perror("recvfrom");
      close(serverfd);
      break;
   }

   // 将接收的数据发回给客户端
   retval = sendto(serverfd,buf,128,0,
                   (struct sockaddr *)&clientaddr,addrsize);
}
}
```

UDP 应用举例：Client 部分

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
#include <netdb.h>
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
#include <sys/socket.h>

#define PORT 3490                // UDP 服务器端的侦听端口号
#define MAXDATASIZE 100    // 一次可读取的最大字节数

int main(int arg,char* argv[])
{
   int clientfd;            // UDP 客户端的 socket 描述符
   int numbytes;          // 数据字节数
   int addrsize;          // 地址结构的大小
   char buf[MAXDATASIZE] = "Hello,World!";
   struct sockaddr_in serveraddr;       // UDP 服务器的地址信息
```



```
// 1 获取 UDP 客户端的 socket 描述符
if((clientfd=socket(AF_INET,SOCK_DGRAM,0))==-1)
{
   perror("socket");
   exit(1);
}

// 2 填写 UDP 服务器端的地址信息
serveraddr.sin_family = AF_INET;   // 使用 IP 地址
serveraddr.sin_port = htons(PORT);  // 网络字节序的服务器侦听端口号
serveraddr.sin_addr.s_addr = inet_addr("192.168.116.169");// 服务器
端侦听 IP 地址
bzero(&(serveraddr.sin_zero),8);     // 其余部分设置成 0
```

```
// 3 向 UDP 服务器发送数据
if((numbytes = sendto(clientfd,buf,MAXDATASIZE,0,
          (struct sockaddr *)&serveraddr,sizeof(serveraddr)))==-1)  {
   perror("sendto");
   exit(1);
}
printf("Send:%s\n",buf);

// 4 从 UDP 服务器接收数据
if((numbytes = recvfrom(clientfd,buf,MAXDATASIZE,0,
                  (struct sockaddr *)&serveraddr,&addrsize))==-1)
{
   perror("recvfrom");
   exit(1);
}

buf[numbytes]='\0';
printf("Received:%s\n",buf);
close(clientfd);
return 0;
}
```

```
[root@localhost ~]# ./UDPServer
Received datagram from 255.127.0.0
Received datagram from 192.168.116.169
```

```
[root@localhost ~]# ./UDPClient
Send:Hello,World!
Received:Hello,World!
[root@localhost ~]#
```

UDP 编程的适用范围

- 部分满足以下几点要求时，应该用 UDP
  - 面向数据报
  - 网络数据大多为短消息
  - 拥有大量 Client
  - 对数据安全性无特殊要求
  - 网络负担非常重，但对响应速度要求高
- 例子：ICQ、ping