

计算机网络中的通信地址与路由

通信的目的是要传递信息,因此通信地址是非常重要的。在书信通信中,没有收信人地址的信件是无法邮寄的。在计算机网络中,通信地址也是通信过程中的关键。如何表示通信地址是网络通信协议解决的重要问题。

3.1 计算机网络中的地址种类

3.1.1 物理地址

物理地址是标识网络内计算机的唯一地址,就像信封上的收信人地址一样,包括省、市、县、村、街道、门牌号等。计算机的物理地址在不同协议的网络中有不同的表示方法。目前在计算机网络中大多采用局域网接入方式。计算机接入局域网时需要使用一个网络接口卡,简称网卡。常见的以太网网络接口卡如图 3-1 所示。

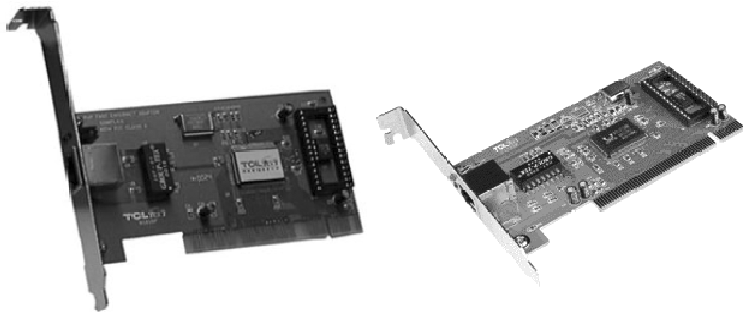


图 3-1 以太网网络接口卡

网卡生产厂商在网卡上集成了一个 48 位二进制编号(一般按字节使用十六进制数书写,中间用“:”分隔,如 00:5b:03:5e:3f:0b),其中前 24 位是从电气电子工程师协会(IEEE)的注册管理委员会申请的厂商注册号,后 24 位是厂商生产的网卡序号,这就保证了每块网卡的编号在全世界范围内是唯一的。一块网卡无论安装在哪个计算机上,网卡编号不会变化,所以在计算机网络中就使用网卡编号作为计算机的物理地址。计算机上安装了一块网卡之后,这个计算机的物理地址就确定了,在没有更换网卡的情况下,该物

理地址是不会变化的。

局域网中的网卡完成计算机与网络通信线路的连接和通信线路的连接控制以及数据的发送、接收等功能,相当于 OSI 参考模型中的物理层和数据链路层功能。一般把这些功能称为介质访问控制(Media Access Control,MAC)。网卡在发送数据时,会将网卡编号作为源地址加入发送的数据报文,表示发送该报文的计算机物理地址,接收该报文的计算机物理地址使用目的计算机上的网卡编号表示。网卡接收数据时,会将报文中的目的计算机的物理地址和自己的网卡编号相比较,用于确定该报文的接收者是否是本计算机,所以计算机的物理地址也称作介质访问控制地址(MAC 地址)。图 3-2 所示是以太网网卡为 TCP/IP 协议网络传输 IP 报文时使用 MAC 地址的示意图。

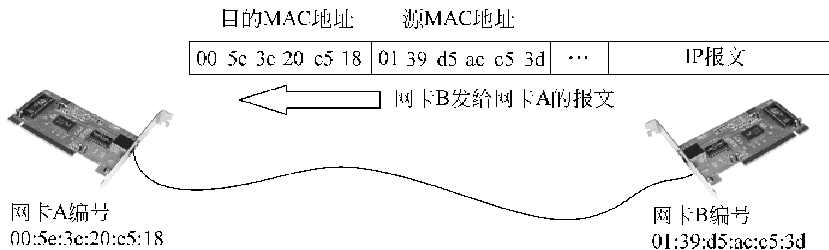


图 3-2 数据报文中的 MAC 地址

在计算机网络中,需要使用地址标识的除了计算机之外,还有中间连接转发节点,一般为路由器。图 3-3 所示是两款 Cisco 路由器。

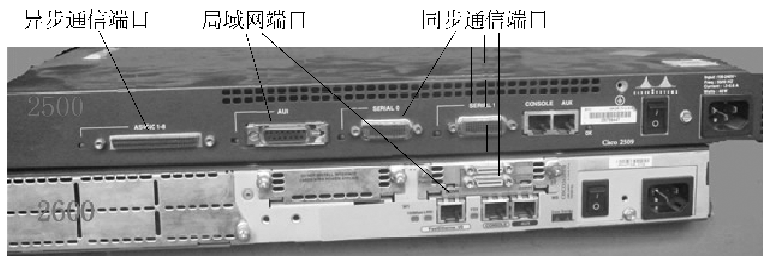


图 3-3 Cisco 路由器

路由器上的局域网端口是用来连接局域网的,每个局域网端口相当于一块网卡。对于路由器的每个局域网端口,和网卡一样,也是集成了一个 48 位物理地址编号,这个编号在全世界范围内是唯一的。

3.1.2 IP 地址

1. 什么是 IP 地址

使用网卡表示的物理地址可以在全世界范围内唯一地标识一台计算机,就像使用省、市、街道、门牌号码标识一个通信地址一样。但是这两者具有很大的不同。使用省、市、街道、门牌号码标识的通信地址中,地址信息具有区域层次结构,邮局可以根据区域信息逐级分拣传递。使用网卡表示的物理地址虽然是唯一的,但不具备层次结构,而且在全世界范围内的分布是随机的,因为网卡的销售与地区无关。如果在覆盖全世界范围的

Internet 中使用物理地址通信,根本就不可能知道目的主机在网络中的具体位置。

在 TCP/IP 网络中使用网际网协议(Internet Protocol,IP)地址表示通信地址,通常称为 IP 地址。IP 地址是一种层次结构地址编号,它包括网络编号和主机编号两个部分,就像电话号码中包含区号和区内编号一样。IP 地址由 InterNIC(Internet 网络信息中心)统一管理,每个国家的网络信息中心统一向 InterNIC 申请 IP 地址,并负责国内 IP 地址的管理与分配。网络信息中心一般只分配网络号,网内编号由取得该网络编号使用权的网络管理人员管理和分配。这样,在计算机被分配了一个 IP 地址后,该计算机肯定是该网络号内的成员,在 Internet 上当其他计算机与该计算机通信时,首先根据该计算机 IP 地址的网络号找到网络,再从网络中寻找该计算机。这个过程和打长途电话的过程是相似的,先根据区号找到受话方所在的地区,再从该区内根据电话号码找到受话方。

2. IP 地址表示方法

在 TCP/IP 网络中目前主要使用的是第 4 版 IP 协议(IPv4)。IPv4 中采用 32 位二进制数编码 IP 地址。为了书写方便,IP 地址采用点分十进制表示,即把 IP 地址的每个字节(8 位二进制数)用十进制数表示,每个字节之间用“.”分隔。图 3-4 所示是二进制 IP 地址编码与点分十进制表示方法。

IP地址	00100001	10010001	10101000	00000100
点分十进制表示	33.145.168.4			

图 3-4 二进制 IP 地址编码与点分十进制表示

3. IP 地址的分类

IP 地址中包含网络编号和主机编号。网络编号和主机编号是如何划分的呢? 这个问题涉及 IP 地址的分类,类别不同,其划分方法也不同。

在 IP 地址中,为了照顾不同网络内有不同的主机数目以及其他目的,IP 地址被划分成 A、B、C、D、E 五类。IP 地址的分类方法如图 3-5 所示。

	1	8	16	24	32	IP地址范围
A类	0	网络号	主机号			1.0.0.0~ 127.255.255.255
B类	10	网络号	主机号			128.0.0.0~ 191.255.255.255
C类	110	网络号	主机号			192.0.0.0~ 223.255.255.255
D类	1110	多播地址				

在 A、B、C 类 IP 地址中, A 类网络有 127 个网络号, 一个 A 类网络中可以有 $2^{24} = 16\text{M}$ 个主机编号; B 类网络有 $2^{14} = 16\text{K}$ 个网络号, 一个 B 类网络中可以有 $2^{16} = 65536$ 个主机编号; C 类网络有 $2^{21} = 2\text{M}$ 个网络号, 一个 C 类网络中可以有 $2^8 = 256$ 个主机编号。

3.1.3 域名地址

在 Internet 网络中, 必须为每个计算机分配一个合法的 IP 地址, 就像手机必须有一个合法的电话号码才能通信一样。虽然手机号码和 IP 地址都是通信地址, 但是它们的用途有较大差别。手机通信的对象范围较小, 多是固定的通信对象, 只要记住这些手机号码就可以了; IP 地址用于 Internet 上计算机之间的通信, 通信对象范围大, 而且没有固定性。在 Internet 上浏览信息时, 如果不知道某个网站服务器的 IP 地址, 显然就无法浏览。如果要像记电话号码一样记住众多网站服务器的 IP 地址, 是不可能的。

域名地址就是使用助记符表示的 IP 地址。例如, 著名的中文搜索网站百度网站的 IP 地址是 202.108.22.43, 我们记住这个 IP 地址不太容易, 但它的域名地址是 www.baidu.com, 记忆这个域名地址比记忆 IP 地址就容易多了。

域名地址虽然容易记忆, 但在 IP 报文中使用的是用数字表示的 IP 地址。在浏览器中输入一个域名地址之后, 必须将其转换成 IP 地址才能进行网络通信, 完成这个转换功能的设备称作域名系统 (Domain Name System, DNS) 服务器。DNS 服务器也是安装在一台计算机上的服务程序, 采用查表的方法完成域名地址和 IP 地址的转换。

如果一台计算机想要别人使用域名地址来访问, 首先要在 DNS 服务器中注册, 一般是在上一级域名服务器中注册。域名是分级分层设置的, 各级域名间使用“.”分隔。例如域名 www.nankai.edu.cn, 其中:

- cn 是顶级域名, 代表中国。顶级域名是在 Internet 管理中心注册的域名;
- edu 是二级域名, 代表教育网。edu 是在中国互联网中心 cn 域名下注册的域名;
- nankai 是三级域名, 代表南开大学。nankai 是在教育网 edu 域名下注册的域名;
- www 是主机域名, 表示一个 Web 服务器, 它是在 nankai 域名下注册的域名。

除了主机域名外, 每级域名下都会设置一个域名服务器和备用域名服务器供下级进行域名注册。为了能够在网络中使用域名地址, 在计算机网络连接的 TCP/IP 属性设置中, 必须设置 DNS 服务器地址。网络连接的 TCP/IP 属性设置窗口如图 3-6 所示。

DNS 服务器一般可以设置两个, 但必须填写服务器的 IP 地址。DNS 一般需要设置本地域名服务器地址, 即计算机所在域的 DNS 服务器 IP 地址。在设置完成 DNS 服务器地址之后, 当一个计算机使用域名地址通信时, 系统首先根据域名服务器 IP 地址将域名地址信息发送给域名服务器, 域名服务器根据域名地址查找 IP 地址, 然后将 IP 地址返回给该计算机, 计算机再使用 IP 地址和需要通信的计算机进行通信。

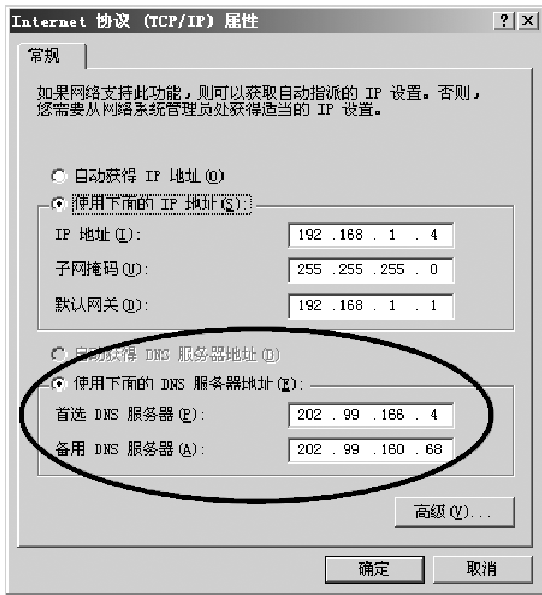


图 3-6 网络连接的 TCP/IP 属性设置窗口

去上级域名服务器解析。各级域名服务器也采取类似的处理方法,用于提高 DNS 的工作效率。

总之,域名地址是 IP 地址的助记符形式,使用域名地址需要 DNS 的帮助。域名地址一般用于 Internet。在 Internet 中,如果在网络连接的 TCP/IP 属性设置中没有正确设置 DNS 服务器,该计算机就不能使用域名地址和其他计算机通信。

3.1.4 端口地址

MAC 地址表示一台计算机或网络中间节点的物理地址,是在数据链路层传输中使用的地址。IP 地址使用层次结构地址表示网络中的计算机或转发节点,是在网络寻址中使用的地址。MAC 地址和 IP 地址只能表示到计算机,但在一台计算机上可以同时打开多个网站,也可以同时多次打开同一个网站。这就说明网络通信的最终对象不是计算机,而是应用程序,严格地说是应用程序进程。程序是按照一定次序进行操作的命令序列,是一个静态的概念;进程是一个程序得到了系统资源的具体执行过程,是一个动态的概念。例如,浏览器程序 Internet Explorer 是一个程序,执行该程序时打开一个浏览器窗口,可以实现和某一网站的连接,这时可以说它是一个进程;再次启动一个 Internet Explorer 时,又建立了一个进程,该进程与前面打开的 Internet Explorer 进程是两个完全不同的对象,在网络中是独立的通信对象。

网络通信的最终对象是应用程序进程,那么进程如何标识呢?在一台计算机中,不同的进程是用不同的进程编号标识的,这个进程编号在网络通信中称作端口号或端口地址。

口号。怎样获取对方进程的端口号呢？为了解决这个问题，在网络通信中采用了客户/服务器模式(Client/Server,C/S)。客户和服务端分别表示相互通信的两个应用程序进程，客户向服务器发出服务请求，服务器响应客户的请求，为客户提供所需的服务。在 TCP/IP 协议网络中，服务器进程使用固定的，所谓“众所周知”的知名端口(Well-Known Ports)。知名端口号在 1~255 范围内，由 Internet 编号分配机构(Internet Assigned Numbers Authority,IANA)来管理；256~1023 为注册端口号，由一些系统软件使用；1024~65535 为动态端口号，供用户随机使用。表 3-1 所示是 TCP 协议使用的部分知名端口，表 3-2 所示是 UDP 协议使用的部分知名端口。

表 3-1 TCP 协议使用的部分知名端口

端口号	服 务	描 述
20	FTP-DATA	文件传输协议数据
21	FTP	文件传输协议控制
23	TELNET	远程登录协议
25	SMTP	简单邮件传输协议
53	DOMAIN	域名服务器
80	HTTP	超文本传输协议
110	POP3	邮局协议

表 3-2 UDP 协议使用的部分知名端口

端口号	服 务	描 述
53	DOMAIN	域名服务器
69	TFTP	简单文件传送
161	SNMP	简单网络管理协议

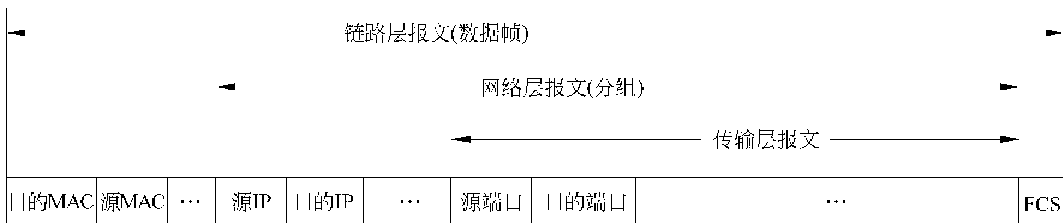
服务器进程又称作守候进程。服务器进程使用知名端口号等待为客户提供服务。客户程序需要某种服务时，通过服务器的 IP 地址和服务器端口号得到服务。例如在浏览器地址栏输入 `http://www.baidu.com`，其中域名地址提供了服务器的主机地址，http 是 TCP 协议的超文本传输协议，服务器进程端口号是 80，所以就可以打开百度网站，得到该服务器的 Web 服务。

3.1.5 TCP/IP 协议报文中的地址信息

一个 TCP/IP 协议信息报文从应用程序进程到交给数据链路层通过物理网络传输，报文中包含的地址信息有以下三个。

- (1) MAC 地址：由数据链路层识别的主机物理地址。
- (2) IP 地址：由网络层识别的主机逻辑地址。
- (3) 端口号：由传输层识别的应用程序进程标识。

TCP/IP 协议报文中的地址信息如图 3-7 所示。



3.2 IP 地址的分配规则

一台计算机如果要连接到 TCP/IP 协议网络中,必须为该计算机分配一个 IP 地址;网络管理员可能会从上级网络管理部门得到一个或几个 IP 网络地址。为了保证 TCP/IP 协议网络内的计算机正常工作,必须保证 IP 地址分配正确。

3.2.1 网络的划分

TCP/IP 网络中可以互连很多网络,整个网络就像一个国家,每个网络就像国家中的一个地区一样。在 TCP/IP 网络中,各个网络是用不同的网络号区分的。在一个网络中可以连接若干台计算机。

在一个国家中,行政区域是使用地区边界分隔的。在 TCP/IP 网络中,不同的网络是通过网络连接设备(路由器)来分隔的。路由器上的每个广域网接口或局域网接口可以分别连接到不同的网络。图 3-8 所示是通过路由器连接网络的例子。

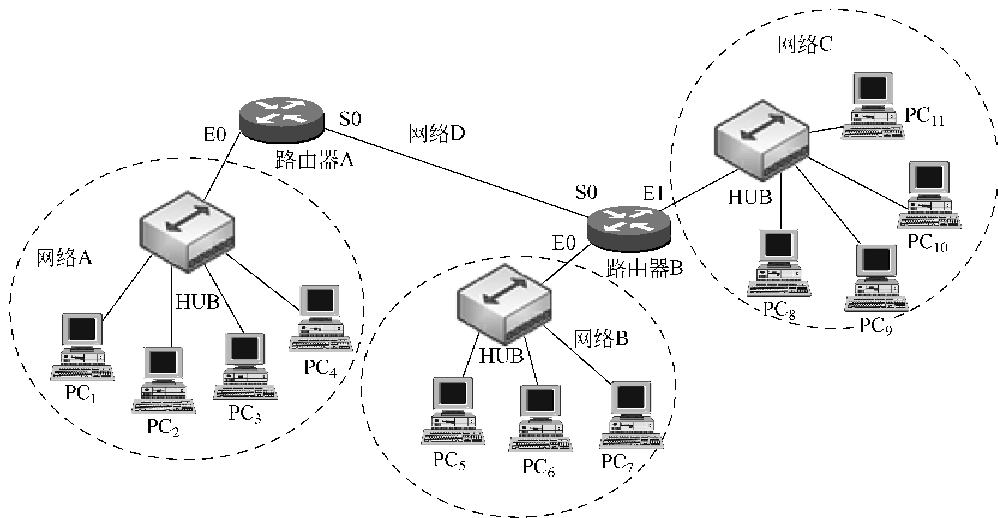


图 3-8 路由器连接的网络

在图 3-8 中,路由器 A 和路由器 B 连接着 4 个网络。在网络 A、网络 B 和网络 C 中,若干计算机和路由器上的一个端口通过集线器(HUB)设备连接在一起,组成一个网络。而网络 D 相当于两个路由器之间的连接线,两端分别连接到两个路由器的一个端口,但它确实是一个网络,也要占用一个网络号。

3.2.2 特殊 IP 地址

在 TCP/IP 网络内,一些 IP 地址具有特殊的用途,不能随意使用。这些 IP 地址包括以下几类。

1. 网络地址

在 IP 地址中,主机编号部分全“0”的地址表示网络地址,网络地址不能分配给主机使

用。全“0”是指表示主机地址的二进制数据位全部是“0”。在 C 类 IP 地址中,前 3 个字节是网络号,第 4 个字节是主机编号,第 4 个字节数值等于 0 时,表示这是一个网络地址。例如,200.22.66.0 就是一个网络地址。换句话说,网络内的主机编号不能采用 0 号。

2. 广播地址

在 IP 地址中,主机编号部分全“1”的地址表示广播地址,广播地址当然不能分配给主机使用。在 C 类 IP 地址中,第 4 个字节是主机编号,主机编号的 8 个二进制位全“1”时,对应的十进制数是 255,例如 200.22.66.255 就是一个广播地址。

在广播地址中,网络编号部分表示对哪个网络内的主机广播,一般称作直接广播。如果网络编号部分也是全“1”,并不表示向网络内的所有主机广播,而是限制在对自己所在网络内的主机广播,一般称作受限广播。例如,255.255.255.255 就是一个受限广播地址。

3. 本网络内主机

在 IP 地址中,0 号网络不能使用。一个 IP 地址的网络编号部分全“0”时,网络地址表示本网络。例如,0.0.0.38 表示本网络内的 38 号主机。

4. 回送地址

A 类地址中的 127.0.0.0 网络用于网络软件测试和本地进程间通信,该网络内的所有地址不能分配给主机使用。目的地址网络号包含 127 的报文不会发送到网络上。一般情况下,测试 TCP/IP 协议软件是否正常时,可以在“命令提示符”窗口使用

```
Ping 127.0.0.1
```

如果能够收到类似“Reply from 127.0.0.1: bytes=32 time<1ms TTL=128”的信息,说明该计算机上的 TCP/IP 协议软件工作正常。

5. 私有 IP 地址(专用地址)

在 IP 地址中,A、B、C 类地址中都保留了一块空间作为私有(专用)IP 地址使用,它们是:

```
10.0.0.0~10.255.255.255  
172.16.0.0~172.31.255.255  
192.168.0.0~192.168.255.255
```

所谓私有 IP 地址,就是不能在 Internet 公共网络上使用的 IP 地址,因为在 Internet 上的信息服务商都会设置对私有 IP 地址的报文过滤,所以在 Internet 上不会传送目的 IP 地址是私有 IP 地址的报文。但私有 IP 地址可以在自己的内部网络上任意使用,而且不用考虑和其他地方有 IP 地址冲突的问题。

用户在自己的内部网络中可以任意使用私有 IP 地址,但如果想把内部网络连接到 Internet,必须借助网络地址转换(Network Address Translation,NAT)服务,将私有 IP 地址转换成合法的公网 IP 地址后才能进入 Internet。市场上

概念和掌握技术,使用什么地址没有关系,因此会使用私有 IP 地址配置网络。在实际工作中,租用到公用 IP 地址后,也会使用公用 IP 地址配置网络。

3.2.3 IP 地址分配规则

TCP/IP 网络内的主机没有合法的 IP 地址就不能联网工作。网络管理员在分配 IP 地址时需要遵守以下规则。

1. 每个网络接口(连接)应该分配一个 IP 地址

一台主机通过网络接口连接到网络,例如使用网卡实现和网络的连接。连接到网络的接口都需要分配 IP 地址。一般情况下,计算机只通过一个接口和网络连接,所以分配一个 IP 地址,即通常所说的给主机分配 IP 地址(严格地说是为网络连接或网络接口分配 IP 地址)。但如果一台计算机使用两个网络接口分别连接到两个网络,即建立了两个网络连接,就需要给每个网络连接分配一个合法的 IP 地址。路由器作为网络中的连接和报文存储转发设备,其每个连接到网络的接口都需要分配一个合法的 IP 地址。路由器可以看作是具有多个网络接口的计算机。

2. 使用合法的 IP 地址

对于不需要和 Internet 连接的 TCP/IP 网络,网络内可以任意使用 A、B、C 类 IP 地址或者私有 IP 地址。但如果网络连接在 Internet 上,IP 地址就不能随意使用,只能从上级网络管理部门申请获得;如果采用私有 IP 地址,需要使用 NAT 转换。特殊的 IP 地址不能分配给网络接口(或者说主机),每个网络接口的 IP 地址必须是唯一的。

3. 同一网络内的 IP 地址网络号必须相同,一个网络的 IP 地址网络号必须唯一

在同一个网络内的所有主机、网络接口所分配的 IP 地址必须有相同的网络号。例如在图 3-8 中,假设取得了 200.100.61.0~200.100.69.0 九个 C 类网络 IP 地址使用权,那么,网络 A 中的 IP 地址分配方案可以是:

路由器 A 的 E0 口: 200.100.65.1
PC₁: 200.100.65.2
PC₂: 200.100.65.3
PC₃: 200.100.65.4
PC₄: 200.100.65.5

网络 B 中的 IP 地址分配方案可以是:

路由器 B 的 E0 口: 200.100.62.1
PC₅: 200.100.62.2
PC₆: 200.100.62.3

网络 C 中的 IP 地址分配方案可以是:

路由器 B 的 E1 口: 200.100.67.1
PC₈: 200.100.67.2
PC₉: 200.100.67.3
PC₁₀: 200.100.67.4
PC₁₁: 200.100.67.5

网络 D 中的 IP 地址分配方案可以是：

路由器 A 的 S0 口：200.100.69.1

路由器 B 的 S0 口：200.100.69.2

在每个网络内，各个网络接口的 IP 地址是唯一的，但每个网络内所有 IP 地址的网络号是相同的，不同网络内的网络号都是不同的。虽然网络 D 内只占用了两个 IP 地址，但它必须占用一个网络号。

一个网络内的 IP 地址如果使用了其他网络的网络号，不仅会造成 IP 地址冲突，而且会造成网络错误。这就像一个北京人寄信时把寄信人地址写成了上海，那么对方回信时信件肯定会寄到上海，发信人就永远收不到回信，这在网络中就是网络不通。

3.3 子网与子网掩码

3.3.1 子网的概念

如今，IP 地址成为非常紧缺的信息资源。Internet 发展之快使得 IP 地址几乎消耗殆尽，申请 IP 地址的使用权已经变得相当困难。为了解决这个问题，IP 协议推出了第 6 个版本 IPv6，IPv6 将 IP 地址编码长度扩展到了 128 位（16 个字节）。但是目前大多数系统还在使用 IPv4，版本升级还有很多的困难。

在 IP 地址如此紧张的情况下，3.2 节中为图 3-8 设计的 IP 地址分配方案虽然没有错误，但基本上是行不通的，因为在这个方案中浪费了大量的 IP 地址。

在 A、B、C 类 IP 地址中，虽然一个网络号内可以包含很多主机地址，但使用起来不方便。例如，一个 B 类网络中可以容纳 65534 个主机地址，如果某个单位总共有 6 万台计算机，显然申请一个 B 类网络就足够了。但是 6 万台计算机不可能都放置在一起，如果分散在几百个部门，每个部门组成一个网络，各个部门之间使用路由器连接起来，这时最大的问题是网络号只有一个，而实际可能需要几百个网络号。

为了解决网络地址不足的问题，可以在一个网络地址内再划分出若干网络。在一个网络地址内划分出的网络称作子网。划分子网时需要占用原来的主机编号字段。当然，一个网络划分为若干网络后，每个网络内能够容纳的主机编码个数必然减少。

例如在图 3-8 中，如果只申请到一个 C 类网络地址 200.100.61.0，因为一个 C 类网络中可以容纳 254 个主机，对于图 3-8 所示的情况是足够的。但需要的 4 个网络号如何取得呢？这里可以把主机编码部分分成两部分，左边 2 位用于子网编码，其余 6 位用于子网内主机编码，编码情况如图 3-9 所示。

通过将第 4 个字节的左边 2 位二进制位拿来作为子网编码，可以得到 00、01、10、11 四组编码，即 4 个子网号。在每个子网内，主机编码部分可以从 000000 到 111111 变化，可以得到 64 个主机编码地址。但是在书写 IP 地址时不能把 1 个字节拆开写，即子网编码和子网内主机编码要合在一起书写，所以 4 个子网内的 IP 地址如图 3-9 所示。

前3个字节			第4字节							IP地址	网络地址	
位			8	7	6	5	4	3	2	1		
200. 100. 61.			子网		主机编号							
			0 0		0	0	0	0	0	0	0号子网	200. 100. 61. 0
					...						...	200. 100. 61. 0
			0 0		1	1	1	1	1	1		200. 100. 61. 63
			0 1		0	0	0	0	0	0	1号子网	200. 100. 61. 64
					...							...
			0 1		1	1	1	1	1	1		200. 100. 61. 127
			1 0		0	0	0	0	0	0	2号子网	200. 100. 61. 128
					...							