

第 3 章

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。常见的以太网络接口卡如图 3-1 所示。目前独立网卡已经非常少见,绝大多数计算机上都有集成的以太网卡或无线网卡。

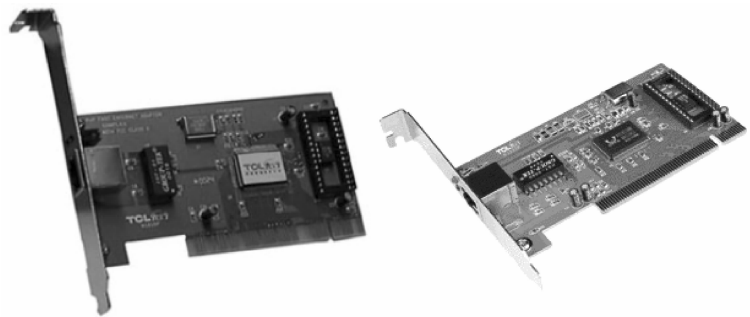


图 3-1 以太网络接口卡

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台计算机上,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,这台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。

局域网络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。

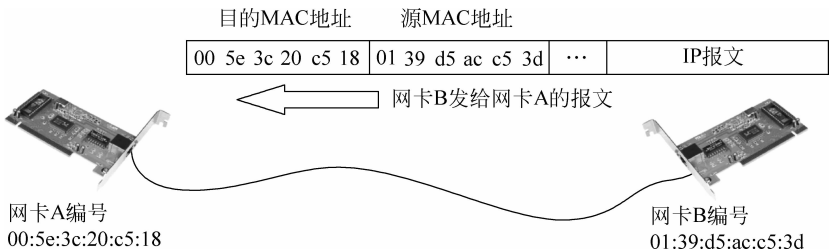


图 3-2 数据报文中的 MAC 地址

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。

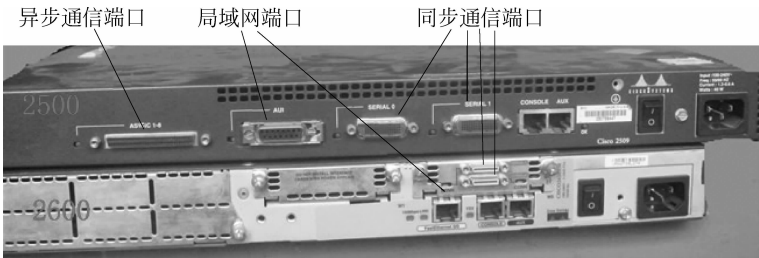


图 3-3 Cisco 路由器

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)和第 6 版 IP 协议(IPv6)。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方法

IPv4 是最早网络使用的网络层协议,在设计 IPv4 时没有预见到计算机网络的发展规模,以至于造成了 IP 地址紧缺。为了解决 IP 地址的紧缺以及 IPv4 中的其他缺陷,1994 年 7 月有关机构开始组织开发新版 IP 协议,2003 年 1 月发布了 IPv6 的测试版本。2011 年后计算机系统、路由器及软件开始支持 IPv6 协议,Windows 7、Windows XP、Windows Server 2003 操作系统及更高版本的操作系统中都可以安装 IPv6 协议,使用 IPv4、IPv6 双协议栈,支持 IPv4 和 IPv6 报文的访问。2012 年 6 月 6 日,国际互联网协会举行了世界 IPv6 启动纪念日,全球 IPv6 网络正式启动。2004 年我国开始组建 IPv6 实验网络。2017 年 11 月 26 日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《推进互联网协议第六版(IPv6)规模部署行动计划》,该计划指出到 2018 年年末国内 IPv6 活跃用户要达到 2 亿,2020 年年末达到 50 亿,2025 年年末国内 IPv6 规模要达到世界第一。由于 IPv4 和 IPv6 协议不兼容,从 IPv4 网络向 IPv6 网络转移还需要克服很多技术上和资金上的困难,但是今后的发展趋势必将走向 IPv6 网络。当然 IPv4 和 IPv6 共存的情况也将持续相当长的时期。所以当前学习网络技术就要掌握 IPv4 的现有技术,并且要跟踪 IPv6 的技术发展,不断学习掌握 IPv6 新技术。

IPv6 中使用 128 位二进制数编码地址,书写方式以 16 位二进制数编码为一个分组,每个 16 位分组写成 4 个十六进制数,中间用冒号分隔,称为冒分十六进制格式(也有冒号十六进制的叫法)。

例如,128 位二进制 IPv6 地址:

0011000000000001 0000000001110011 0000000000000000 0010111100111100
0000001010111011 0000000000011111 1111000000101000 0001110001011011

冒分十六进制格式为

3001:0073:0000:2F3C:02BB:001F:F028:1C5B

IPv6 地址中每个 16 位分组中的前导无效 0 位可以去除做简化表示,但每个分组必须至少保留一位数字。如上例中的地址,去除前导无效 0 位后可写成:

3001:73:0:2F3C:2BB:1F:F028:1C5B。

如果地址中包含很长的 0 序列,为进一步简化表示法,还可以将冒分十六进制格式中相邻的连续 0 位合并,用双冒号“::”表示。“::”符号在一个地址中只能出现一次。例如,

3001:0:0:0:0:0:0:1 可以写成 3001::1

0:0:0:0:0:0:0:0 可以写成::

注意:在后续有关 IP 协议内容中注定要涉及 IPv4 和 IPv6 两个版本的内容。一般概念性问题没有什么差别,所以一般叙述都不加区别,有差别的地方会特别指出,有些简单的差别读者也可以通过举一反三理解。涉及 IP 协议版本的内容,读者可以根据 IP 地址的长度和表示方式判断是哪个版本。所以在后续内容中,一般情况下不再声明是在哪个版本中。

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?

在 IPv4 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。IPv4 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				224.0.0.0～ 239.255.255.255
E类	11110	保留地址				240.0.0.0～ 255.255.255.255

图 3-5 IPv4 地址的分类方法

在 IPv4 网络中一般使用 A 类、B 类、C 类 IP 地址,D 类地址用于多播。多播(组播)主要用于网络会议、网络游戏、网络教学等领域,本书不讨论多播技术。

在 A 类、B 类、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。

在 IPv6 网络中,不再使用 IPv4 地址的分类方法,网络号是用网络地址长度表示的。例如,

3001:1::1/64 表示网络地址长度是 64 位,即网络号部分是 64 位,后 64 位是主机地址。

20D3:2::3:1/112 表示网络地址长度是 112 位,即前 112 位是网络号,后 16 位是主机地址。

3.1.3 域名地址

在 Internet 网络中,必须为每台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,表示一台 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台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,当一台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。

根据域名查找 IP 地址的过程称作域名解析。实际上,域名解析的过程是比较复杂的。一般域名在本地域名服务器中很难找到,但本地域名服务器会自动到它的上级域名