第5章　计算机局域网

20世纪70年代后期出现的微型机由于价格低廉，终于成为了一般用户能够买得起的计算机，因此许多机构都购买了大量的微型机。出于共享资源的需要，人们希望将这些计算机互联起来，于是出现了局域网。本章介绍局域网体系结构、标准；以太网的原理和介质访问控制方法；高速局域网技术；交换式以太网技术；虚拟局域网技术；无线局域网技术以及有线和无线组网技术。

5.1　局域网及其标准

5.1.1　局域网概述

1. 局域网的概念

局域网是在局部的地理范围内将各种计算机及其外围设备互相连接起来组成的计算机通信网，简称LAN(local area network)。局域网可以实现文件共享、应用软件共享、打印机共享、通信服务共享等功能，其通常由一个单位或部门组建，仅供单位内部使用，具有覆盖地理范围小、传输速率高、误码率低等特点。

早期的局域网技术都由各不同厂家所专有，互不兼容。为了推动局域网技术的标准化，1980年2月，IEEE成立了一个专门的委员会从事局域网标准的研究，并制定了IEEE 802系列标准，后来这个标准被接纳为国际标准，使用户在建设局域网时可以选用不同厂家的设备，并能保证其兼容性。IEEE 802系列标准覆盖了双绞线、同轴电缆、光纤和无线等多种传输媒介和组网方式，随着新技术的不断出现，这一系列标准仍在不断的更新发展之中。

局域网技术有多种，其中以太网是最常用的局域网组网方式。以太网可以使用同轴电缆、双绞线、光纤等传输介质，其数据传输速率有10Mb/s、100Mb/s、1000Mb/s和10000Mb/s等几个序列。

其他主要的局域网类型有令牌环(token ring)、令牌总线网(token BUS)以及FDDI(fiber distributed data interface，光纤分布式数据接口)。令牌环网和令牌总线网现在已经很少使用。FDDI采用光纤传输，网络带宽大，适于用作连接多个局域网的骨干网。

近年来,随着笔记本计算机和PDA等移动终端设备的增多和802.11标准的制定,无线局域网的应用成为了行业热点。

2. 介质访问控制方法

早期的局域网都是共享传输介质的,在共享介质的网络上,信道上任意一个时刻只能有一个站点发送数据,其他站点都只能处于接收的状态,在多个站点都想发送数据的情况下,需要解决信道归谁占用的问题,人们把这样一种控制对信道访问的规则叫介质访问控制方法。

局域网中的介质访问控制方法主要有两种类型,一种是以CSMA/CD(carvier sense multiple access with collision detection,带冲突检测的载波监听多路访问)为代表的争用型方法,还有一种是以令牌控制为代表的轮询型方法。

*5.1.2 局域网层次模型

局域网的层次模型是IEEE提出的,其将局域网的体系结构分为3层,相当于OSI参考模型的底2层,如图5-1所示。这是因为当初在制定局域网标准时,只考虑了局域网如何在一个小的范围通信的问题,因此,局域网标准只有OSI参考模型的底2层即可,高层协议的实现通常由网络操作系统来完成。

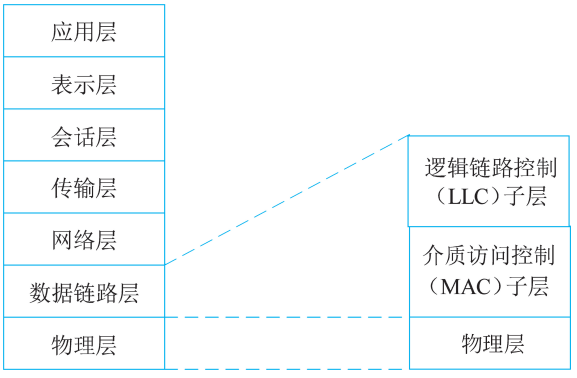

图5-1 局域网体系结构

由于局域网可以采用多种传输介质,也可以使用多种介质访问控制方法,为了使局域网的体系结构适应不同的传输介质和不同的介质访问控制方法,IEEE将数据链路层分为两个层次,一个是与介质访问控制方法和传输介质无关的逻辑链路控制(logical link control,LLC)子层,一个是与介质访问控制方法和传输介质相关的介质访问控制(medium access control,MAC)子层。所以,不同类型局域网在逻辑链路控制子层上的协议是相同的,它们的区别主要在介质访问控制子层上。

从目前局域网的实际应用情况来看,以太网(Ethernet)已经占据统治地位,几乎所有局域网(如企业网、办公网、校园网等)都采用以太网协议,因此局域网中是否使用LLC子层已变得不重要,很多硬件和软件厂商已经不使用LLC协议,而是直接将数据封装在以

太网的 MAC 帧结构中，整个协议处理的过程也变得更加简洁，因此人们已经很少去讨论 LLC 协议。

5.1.3　IEEE 802 标准

IEEE 802 委员会从 1980 年开始着手制订局域网标准，到 1985 年公布了 IEEE 802 标准的五个相关标准文本，这些标准于同年被 ANSI 采纳为美国国家标准，ISO 也将其作为局域网的国际标准，对应标准为 IS0 8802。之后，IEEE 802 委员会对 IEEE 802 标准又陆续进行了多次扩充，至今其已经成为一个标准系列。

IEEE 802 系列中的主要标准包括以下内容。

(1) IEEE 802：概述和系统结构。

(2) IEEE 802.1：定义了寻址，网络管理和网际互联。

(3) IEEE 802.2：定义了逻辑链路控制子层的功能与服务。

(4) IEEE 802.3：定义了 CSMA/CD 总线访问控制及物理层规范(以太网)。

(5) IEEE 802.4：定义了令牌总线访问控制及物理层规范(Token Bus)。

(6) IEEE 802.5：定义了令牌环网访问控制及物理层规范(Token Ring)。

(7) IEEE 802.6：定义了分布式队列双总线访问控制及物理层规范(DQDB)。

(8) IEEE 802.7：定义了宽带 LAN 技术。

(9) IEEE 802.8：定义了光纤技术(FDDI 在 802.3、802.4、802.5 中的使用)。

(10)IEEE 802.9：定义了综合业务服务(IS) LAN 接口。

(11) IEEE 802.10：定义了互操作 LAN/MAN 安全(SILS)。

(12) IEEE 802.11：定义了无线局域网访问控制及物理层规范(Wireless LAN)。

(13) IEEE 802.12：定义了 DPAM 按需优先访问控制、物理层和中继器规范。

(14) IEEE 802.14：定义了基于 Cable-TV(有线电视)的宽带通信网。

(15) IEEE 802.15：定义了近距离个人无线网络访问控制子层与物理层的标准。

(16) IEEE 802.16：定义了宽带无线局域网访问控制子层与物理层的标准。

这些标准中，IEEE 802.1 标准用于说明网络互联以及网络管理与性能测试；IEEE 802.2是逻辑链路控制 LLC 子层的标准，其余都是 MAC 子层的标准。在 MAC 子层标准中，目前应用最多的是 IEEE 802.3 标准和 IEEE 802.11 标准。

IEEE 在创建补充标准时会为它们分配字母代号。补充标准在完成标准化流程后会成为基本标准的一部分，而不再作为单个补充文件发布。但是，人们有时仍会看到用补充文件首次被标准化时分配的字母代号描述的以太网设备，如 IEEE 802.3u 被用来指代快速以太网。表 3-1 列举了一些标准的补充内容。

表中标出了各个补充标准正式写入标准的年份，并按字母顺序进行排序，但表中的年份并非顺序递增，这是因为标准化过程的速度各不相同，例如，IEEE 802.3ac 补充内容完成标准化的时间早于 IEEE 802.3ab 补充文件。资料显示 100Gb/s，200Gb/s 和 400Gb/s 相关标准在逐步完善中。

表 5-1 IEEE 802.3 补充标准示例

标准的补充内容	描 述
IEEE 802.3a-1988	10BASE2 细以太网
IEEE 802.3c-1985	10Mb/s 中继器规范
IEEE 802.3d-1987	FOIRL 10Mb/s 光纤链路
IEEE 802.3i-1900	10BASE-T 双绞线
IEEE 802.3j-1993	10BASE-F 光纤电缆
IEEE 802.3u-1995	100BASE-T 快速以太网和自动协商
IEEE 802.3x-1997	全双工标准
IEEE 802.z-1998	1000BASE-X“千兆”以太网
IEEE 802.3ab-1999	1000BASE-T 双绞线“千兆”以太网
IEEE 802.3ac-1998	支持 VLAN 标识,扩展到 1522B 的“千兆”以太网
IEEE 802.3ad-2000	平行链路的链路聚合
IEEE 802.3ae-2002	10Gb/s 以太网
IEEE 802.3af-2003	以太网供电(“通过 MDI 的 DTE 供电”)
IEEE 802.3ak-2004	10GBASE-CX4 基于短程同轴电缆的 10 千兆以太网
IEEE 802.3an-2006	10GBASE-T 基于双绞线的 10 千兆以太网
IEEE 802.3as-2006	支持所有标识,尺寸扩展位 2000B 的帧
IEEE 802.3aq-2007	10GBASE-LRM 基于远程光纤电缆的 10 千兆以太网
IEEE 802.3az-2010	节能以太网
IEEE 802.3ba-2010	40Gb/s 以太网和 100Gb/s 以太网

5.2 共享介质以太网的工作原理

以太网(Ethernet)是 Xerox、Digital Equipment 和 Intel 三家公司于 20 世纪 80 年代初开发的局域网组网规范,初版为 DIX 1.0,1982 年修改后的版本为 DIX 2.0。此规范后来提交给 IEEE 802 委员会,形成了 IEEE 的正式标准 IEEE 802.3。

以太网是一种计算机局域网组网技术。IEEE 制定的 IEEE 802.3 标准给出了以太网的技术标准,它规定了包括物理层的连线、电信号和介质访问控制子层协议的内容。以太网是当前应用最普遍的局域网技术。

5.2.1 传统以太网的组成

传统以太网是指 10 兆以太网,传统以太网都是共享介质的。最初的以太网采用同轴电缆作为传输介质,网络拓扑结构为总线型,如图 5-2(a)所示。

同轴电缆以太网有两个标准，即 10BASE-5 和 10BASE-2，其中，10BASE-5 用粗同轴电缆为传输介质，10BASE-2 用细同轴电缆为传输介质，连接以太网时还需要在每个计算机上插入一块以太网卡，通过该网卡连接计算机和总线，并在网卡上实现 LLC 子层和 MAC 子层的功能，以对传输的信号进行变换。另外，在总线的两端需要加装端接器，如果没有端接器，信号广播到两端时会形成折射，从而对正常传输的信号带来干扰，而端接器的作用是吸收信号，使信号迅速衰减掉。

(a) 同轴电缆以太网　　(b) 双绞线以太网

图 5-2　以太网的组成

1990 年推出了以双绞线为传输介质的 10BASE-T 标准，其拓扑结构为星形结构，需要借助集线器将多个站点连接在一起，如图 5-2(b)所示。集线器的作用是连接各个计算机，其内部结构相当于总线，也是一点发送数据向多点广播。由于双绞线造价低、安装维护容易，故使用双绞线组网迅速流行起来。1993 年又推出了以光纤为传输介质的 10BASE-F 标准。

5.2.2　共享介质以太网的介质访问控制方法

1. 以太网的介质访问控制方法

以太网的介质访问控制方法的发展经历了 4 个阶段，第一阶段叫 ALOHA(阿罗哈)，这种方法很简单，网络中的站点可以随时发送数据，发送数据后就等待确认，但当多个站点一起发送数据时，信号将叠加在一起，导致任何信号都无法被识别，网络中将这种现象叫冲突或碰撞，冲突将导致发送数据失败。产生冲突后，各站点需要随机退避一段时间，然后再次尝试发送数据，直到发送成功。

第二阶段叫时隙 ALOHA，与第一代 ALOHA 相比，其将时间分成时间片(时隙)，一个时隙是发送一个数据帧所需的时间，然后，规定发送数据只能在时间片的开始发送，这样可以减轻无序竞争，缓解冲突。

第三阶段增加了载波监听功能，叫载波监听多路访问(CSMA)，这里的载波监听是指在发送数据前先监听总线，如果总线忙(总线上有信号在传输)就继续监听，如果总线空闲(无信号在传输)就立即发送；这里的多路访问是指网络上的每个站点都有平等的发送数据的机会。

因为总线总有一定的长度，信号从一个站点传输到另一个站点总需要时间，因此 CSMA 中监听到的空闲可能是不可靠的，仍有可能出现冲突的情况(参见图 5-3)：站点 1

在 t0 时刻发送了数据,当信号在站点上传输还没有到达站点 2 时,在 t1 时刻站点 2 监听到总线是空闲的,于是站点 2 也发送了数据,于是两个站点发送的信号在 t2 时刻发送了碰撞,发生冲突后,由于没有冲突停止机制,所以站点 1 和站点 2 继续发送自己的数据,导致冲突时间进一步延长。

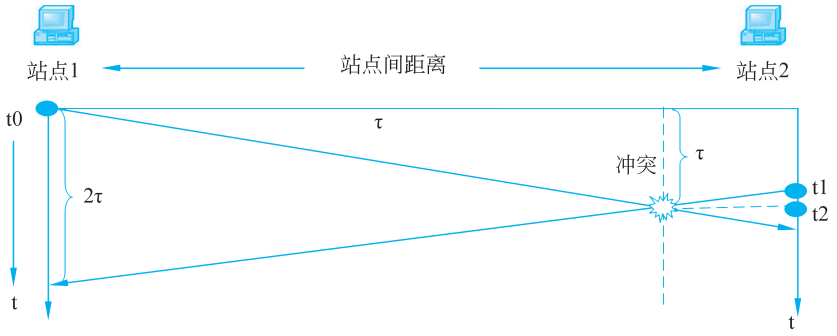

图 5-3 CSMA 中的冲突

第四阶段在 CSMA 基础上增加了冲突检测和冲突后就立即停止发送的机制,叫带冲突检测的载波监听多路访问(CSMA/CD)。CSMA/CD 介质访问控制方法可以如下方式叙述。

某站点在发送数据时需要先监听总线,如果总线忙就等待,如果总线空闲就立即发送,一边发送一边将刚发送的信号接收回来,与刚发送的信号做比较,如果一致说明没有冲突,继续发送;如果不一致,就立即停止发送,并发出一串阻塞信号瞬间加强冲突,使全网都知道网上出现了冲突;经过随机等待后再重新尝试,直到某站点发送数据成功。

以太网的这种介质访问控制方法好比是大家坐在一起开会,到会的每个人都想发言,所以每个人都监听会场,当会场上有人发言时就等待;当上一个人发言结束时就立即站起来发言,一边发言一边监听会场;若会场上只有自己一个声音说明没有冲突,继续发言;如果会场上有两个以上的声音就立即停止发言,经过退避等待后再重新尝试,直到发言成功。

这种控制方法由于引入了冲突检测和发现冲突后立即停止发送的机制,因此减少了冲突的时间,提高了网络工作的效率。以太网发送数据流程如图 5-4 所示。

* 2. 以太网帧长度和传输距离与传输速率之间关系

为了说明数据传输速度和传输距离的关系,此处首先介绍冲突窗口、数据传输时延和信号传播时延这 3 个概念。

1) 冲突窗口的概念

参见图 5-3,考虑最坏的情况,设站点 1 和站点 2 是网络中相距最远的两个站点,站点 1 发送的数据经过时间 τ 在站点 2 的附近产生碰撞,则站点 1 收到碰撞信号的时间是 2τ,此时,可以把 2τ 称为一个冲突窗口或时间槽。

2) 数据传输时延

数据传输时延是一个站点从发送第一个 bit 到把全部 bit 发送完毕所需要的时间,它

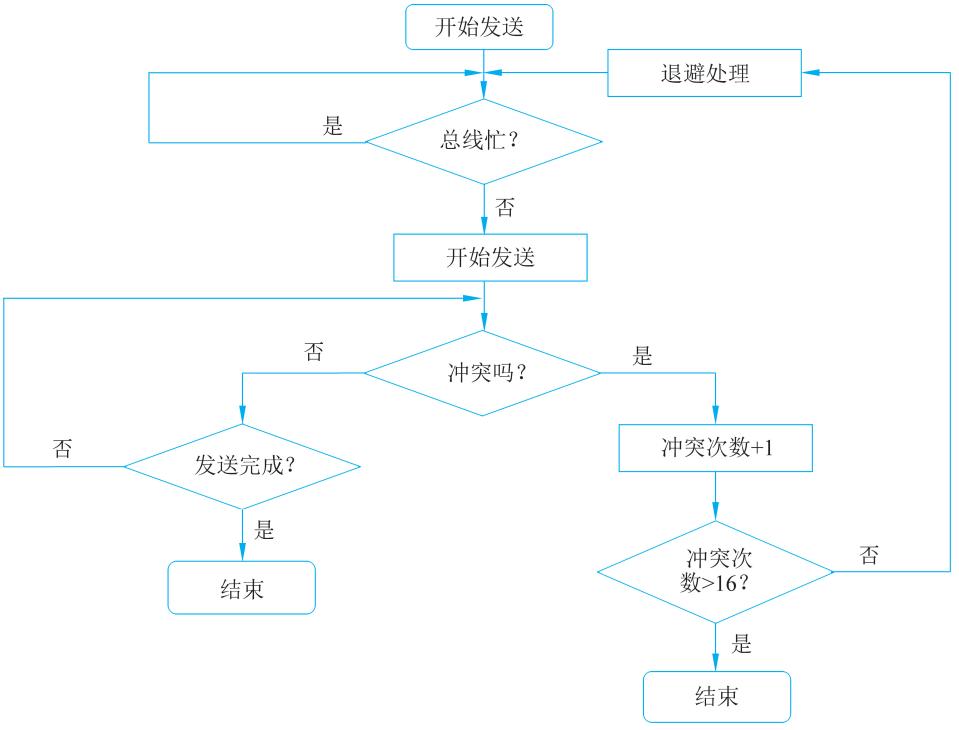

图 5-4　以太网发送数据的流程

的定义为：数据帧长度/数据传输速率(b/s)。

3) 信号传播时延

信号传播时延是一个站点发送的 bit 通过传输介质到达另一个站点所需要的时间，它的定义为站点间的距离/信号传播速度。信号传播速度一般可以被看成是常量：200M/μs。

为了保证以太网介质访问控制方法能够实现，发送端应该确保最后一个 bit 被发送出去之前应该能够检测到所有可能存在的冲突，否则，冲突停止机制就得不到执行，接收端会收到帧的结束标记而错误地把一个发生碰撞的帧当做正常的帧接收下来，这就失去了“冲突停止”的意义。为了达到这样的目的，以太网要求数据传输时延要大于 2 倍的信号传播时延，或者说数据传输时延要大于一个冲突窗口，如下。

数据帧长度/数据传输速率＞2(两点间距离/信号传播速度)

根据上式进行讨论，可以得到以下重要结论。

(1) 若使网络保持一定的数据传输速率，又要保持一定的数据传输距离，则数据帧的长度必须大于某个值。

(2) 当数据帧最小长度固定，提高传输速率就要减少传输距离，即数据传输速率和传输距离成反比。

(3) 冲突只可能在站点发送数据后的一个冲突窗口内发生，如果超过了一个冲突窗口却没有发生冲突，那么就不会再产生冲突。因为经过一个冲突窗口后，所有的站点都已

经知道总线是忙的。

以太网协议中规定一个冲突窗口时长为51.2μs,对于10Mb/s以太网,一个冲突窗口可以发送512bit,即64B,所以以太网最小帧长度不能小于64B。据此,也可以得到以下结论。

(1) 冲突只能在前64B产生,如果前64B没有产生冲突,那么就不会再产生冲突。

(2) 如果接收方收到长度小于64B的帧,则该帧一定是经过碰撞的帧。

*3. 截断二进制指数退避算法

如果在发送数据时出现了冲突,发送端要进入停止发送数据、随机延迟后重发的流程。为了公平地占用信道,以太网采取了一种"优胜劣汰"的方法,即不发生冲突或少发生冲突的站点发送成功的概率高,而经常冲突的站点发送成功的概率低。为此,以太网采用了截断二进制指数退避算法,该算法如下。

(1) 确定基本退避时间 T,T 的初值取冲突窗口长度 2τ。

(2) 定义一个参数 k,k 是重传的次数,重传次数小于10时,k=重传次数,当重传次数大于10时,$k=10$。

(3) 第一次重传时,$k=1$,在 $0\sim T$ 之间随机重传一次,如果冲突,将 T 值加倍,$T=4\tau$。

(4) 第二次重传时,$k=2$,在 $0\sim 2T$ 之间重传一次,如果冲突,再将 T 值加倍,$T=8\tau$,如此进行下去。

(5) 如果重传次数 k 大于等于10,则会 $k=10$。

(6) 如果重传16次还冲突,则禁止该站点发送数据。

4. 以太网接收流程

以太网接收数据流程如图5-5所示,具体接收过程如下。

(1) 在收到发送端发送的同步信号以后,启动接收器。

(2) 检查收到的数据帧是否小于64B。如果小于64B说明该帧是碰撞后的帧,将其丢弃。

(3) 检查数据帧中的目的地址是否是本站地址,若是本站地址则接收下来,否则将之丢弃。

(4) 对收到的数据帧进行差错检验,如果有错则丢弃。

(5) 检查LLC数据的长度,如果长度正确则将LLC数据送LLC层,否则丢弃。

5. 共享介质以太网的主要特点

共享介质以太网有以下特点。

(1) 采用CSMA/CD算法争用信道。

(2) 当网络负载增加时,网络性能将下降,当网络负载增加到一定程度时,将严重下降,所以它只适合于轻负载的场合。

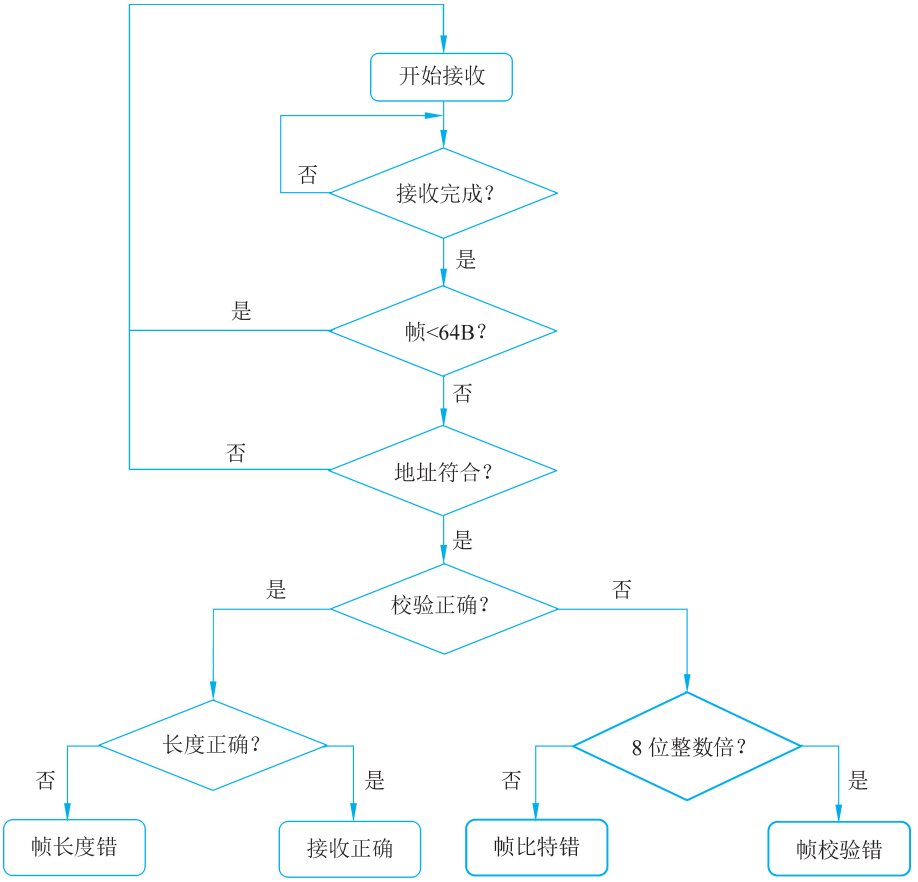

图 5-5　以太网接收数据流程

5.3　以太网系列标准

传统以太网传输速率只有 10Mb/s，之后又出现了快速以太网（速率为 100Mb/s）、“吉比特”以太网（速率为 1000Mb/s）乃至“10 吉比特”以太网（速率为 10 000Mb/s）。但他们都是从传统以太网演化而来的，基本原理趋于一致。

以太网的标准首先是按速率划分的，在同一速率下，根据物理层使用的传输介质不同，又可将其分成不同的标准，具体格式如下。

```
X BASE-Y
```

这里 X 代表数据传输速率，单位是“Mb/s”；中间的“BASE”表示“基带传输”；Y 如果是数字，就表示使用同轴电缆做传输介质，数字代表传输距离；若 Y 是字母，则代表其使用的是其他传输介质类型，如 T 代表双绞线，F 代表光纤等。

5.3.1 传统以太网标准

早期的以太网只有10Mb/s的速率,人们一般称之为传统以太网。传统以太网遵循IEEE 802.3标准,采用CSMA/CD介质访问控制方法,可以使用同轴电缆、双绞线和光纤作为传输介质,主要标准如下。

1) 10Base-5标准

10Base-5标准使用粗同轴电缆,AUI连接器,最大网段长度为500m,拓扑结构为总线型。

2) 10Base-2标准

10Base-2标准使用细同轴电缆,BNC连接器,最大网段长度为185m,拓扑结构为总线型。

3) 10Base-T标准

10Base-T标准使用双绞线电缆,RJ-45连接器,最大网段长度为100m,拓扑结构为星形。

4) 10Base-FL标准

10Base-FL标准使用光纤传输介质,ST连接器,最大网段长度为2000m,拓扑结构为点对点。

现在,10Mb/s以太网主要用于用户桌面网络连接。

5.3.2 快速以太网标准

快速以太网(fast ethernet)专指"百兆以太网"速率为100Mb/s),快速以太网遵循IEEE 802.3u标准,常见的100Mb/s快速以太网标准如下。

1) 100BASE-TX标准

使用5类双绞线的快速以太网技术。100BASE-TX标准使用与10BASE-T相同的RJ-45连接器,最大网段长度为100m,支持全双工的数据传输。

2) 100BASE-FX标准

使用单模(62.5μm)或多模光纤(125μm)的快速以太网技术,100BASE-FX标准使用MIC/FDDI连接器、ST连接器或SC连接器,其网段最大长度与使用的光纤类型和工作模式有关,最大网段长度可达150m、412m、2km甚至10km,同样支持全双工的数据传输。

3) 100BASE-T4标准

100BASE-T4标准是使用3、4、5类双绞线的快速以太网技术,它使用4对双绞线,3对用于传送数据,1对用于检测冲突信号。100BASE-T4标准使用与10BASE-T标准相同的RJ-45连接器,最大网段长度为100m。

快速以太网主要用于桌面网络连接或楼宇内部的骨干网络连接。

5.3.3 "吉比特"以太网标准

"吉比特"以太网又叫"千兆"以太网,即速率为1000Mb/s的以太网,其技术标准有两