

# 第3章 传输网技术

传输网是由多种异构的网络互联起来的网际网,这些网络包括广域网、城域网、局域网与个域网等。本章将在介绍传输网概念的基础上,系统地讨论各类网络的概念、技术特点、发展与演变过程,以及关键技术及协议标准等。

## 3.1 传输网的基本概念

### 3.1.1 层次化的网络结构模型

对于进行分布式进程通信的两台计算机,无须了解网络拓扑、传输路径、交换过程等细节。也就是说,网络环境对于用户是透明的。对于网络技术研究人员,这是他们希望实现的运行效果。但是,实际网络工作过程远比想象复杂得多。在研究复杂的网络系统时,可采用“化繁为简”的抽象方法。图 3-1 给出了层次化的网络结构模型。

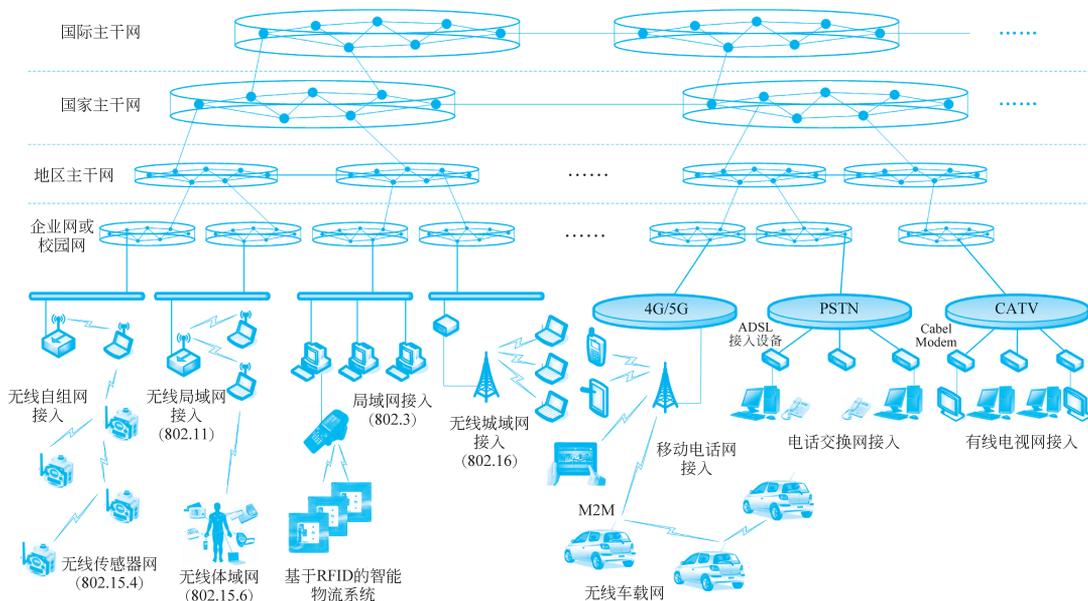


图 3-1 层次化的网络结构模型

图 3-1 中是以我国的 CERNET 为主要研究对象,针对大学实验室之间协作研究所实际面对的大型计算机网络系统做出的抽象。如果范围扩大到国内大学通过 Internet 与美国大学之

间协作,则面对的网络环境远比图 3-1 描述的结构复杂得多。这时,自顶向下的计算机网络分析和设计方法提供了一个很好的思路。

### 3.1.2 自顶向下的分析和设计方法

自顶向下的分析和设计方法将一个大型网络系统分解为两大部分:边缘部分(端系统)与核心交换部分(传输网)。构成边缘部分的端系统由接入网络的计算机、智能终端等设备组成,主要通过分布式进程通信完成网络服务功能。核心交换部分的传输网主要由路由器与传输介质组成,主要为应用软件的进程通信提供数据传输服务。图 3-2 给出了 Internet 端系统与传输网的结构模型。

自顶向下的网络结构抽象描述方法可以很好地描述复杂的 Internet 结构,其中的传输网主要包括:计算机网络中的广域网(WAN)、城域网(MAN)、局域网(LAN)、个域网(PAN)与体域网(BAN),电信公司的移动通信网(4G/5G)与电话交换网(PSTN),以及广电部门的电视传输网(CATV)等。因此,Internet 的传输网是由多种异构的网络互联起来的国际网。

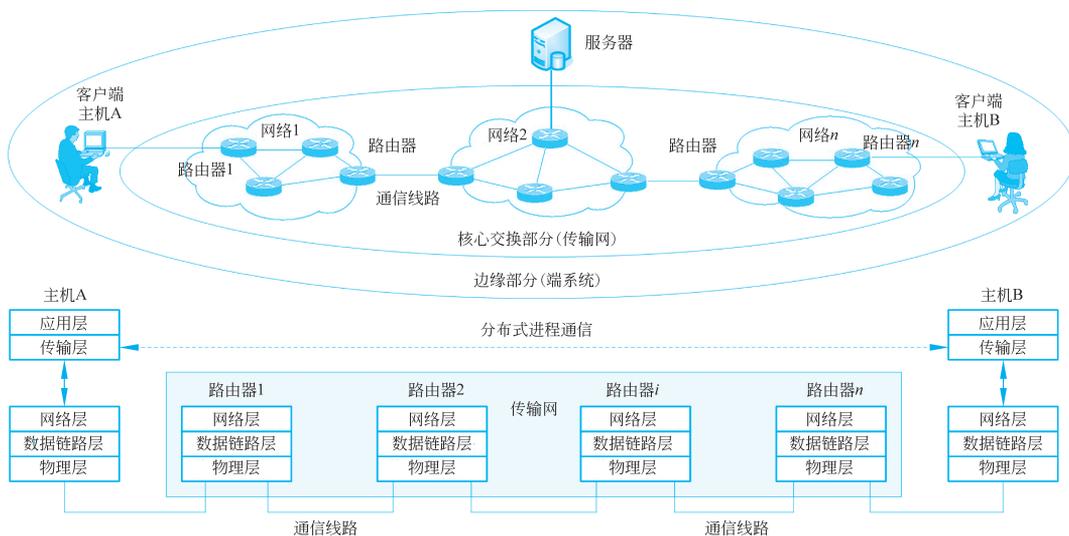


图 3-2 Internet 端系统与传输网的结构模型

基于自顶向下的分析和设计方法对 Internet 所做的抽象模型具有以下几个优点。

(1) 使复杂大系统的描述变得简洁。

随着广域网、城域网、局域网、个域网以及各种接入技术的发展,当前用户实际面对的 Internet 结构越来越复杂,这就促使适应 Internet 结构与网络系统的描述方法研究。实践证明,自顶向下的分析与设计思路对于解决互联网应用系统设计与应用软件开发是有效的。根据自顶向下的分析与设计思路,将结构复杂、规模很大的 Internet 划分为端系统与传输网两大部分,并提出网络应用程序体系结构的概念。端系统必须具备执行从应用层到物理层协议的能力,传输网中的路由器需具备执行网络层、数据链路层与物理层协议的能力。

(2) 使网络系统的设计、实现与管理的界限变得清晰。

自顶向下的网络结构抽象描述方法对于网络系统的设计、实现与管理有利。网络应用系统设计人员的任务是:按照网络应用程序体系结构的思想,设计网络应用系统功能与结构,完

成网络应用软件编程;利用传输网提供的数据传输服务,解决互联的计算机之间分布式进程通信问题,实现预定的网络服务功能。网络运维与管理人员的任务是:运行与管理传输网中的路由器、通信线路,为互联的计算机之间的可靠数据传输提供支持。

(3) 使网络应用系统的设计、实现方法与步骤变得清晰。

按照网络应用程序体系结构的分析与设计方法,计算机网络与软件工程师在设计一个大型网络应用系统时,可以按照以下步骤开展工作。

① 根据应用需求规划应用层功能,设计网络应用软件工作模式,并选择应用层协议;再根据应用层协议的要求,选择传输层采用 TCP、UDP 还是其他协议。

② 根据网络应用对数据传输的具体要求,选择适当的传输网类型、结构与 QoS 指标,进而选择能满足要求的网络服务提供商。

③ 根据应用层协议开发网络应用软件。在完成网络应用软件编程后,在实际的网络中调试网络应用软件,在调试通过后进入使用阶段。

④ 在网络应用系统运行过程中,应用软件的维护、升级由计算机工程师负责;而数据传输中存在的问题,由网络服务提供商的通信工程师解决。

因此,计算机工程师在设计一种新的网络应用时,只需考虑如何充分利用核心交换部分的传输网所能提供的服务,不涉及传输网中的路由器、交换机等低层设备或通信协议软件的编程问题。这种分工明确与密切协作的模式保证了互联网、移动互联网与物联网等各种网络应用系统可以快速地设计、开发与稳定地运行。

(4) 使互联网产业链的结构与分工变得清晰。

一个成功的设计思想同时会使产业链的结构与分工非常清晰。在开发实际的网络应用系统中,除了有特殊需要之外,几乎没有任何个人、单位、网络运营商、网络系统集成商或软件公司,能独立完成一个跨地区、跨国的大型网络应用系统,或者承担从规划、设计、软件开发到传输网的组建、运行管理的全过程。跨地区的传输网通常由电信运营商或 ISP 来运营,传输网的日常运营、维护任务也由它们来承担。

### 3.1.3 传输网技术发展

经过几十年的发展,传输网已从早期的广域网(WAN)、局域网(LAN)与城域网(MAN),逐步扩展出个域网(PAN)与体域网(BAN)。通过分析不同阶段出现的传输网技术,按 WAN、MAN、LAN 与 PAN/BAN 这四条主线,可以将各个阶段出现的主要技术按时间顺序加以归纳。图 3-3 给出了传输网技术发展过程。

目前,可清晰地看到两大融合的发展趋势:计算机网络、电信网与有线电视网在技术与业务的三网融合,以及计算机网络中的局域网、城域网与广域网技术的三网融合。从技术融合的角度来看,电信网、有线电视网都统一到计算机网络的 IP 上,通过网关实现电信网、有线电视网与计算机网络的互联。从业务融合的角度来看,无论是电话用户、有线电视用户还是 Internet 用户,都希望在自己网络上能使用以前仅由其他网络提供的业务。以太网具有成本、可扩展性和易用性等方面的优势。光以太网技术发展将导致广域网、城域网与局域网在技术上的融合。

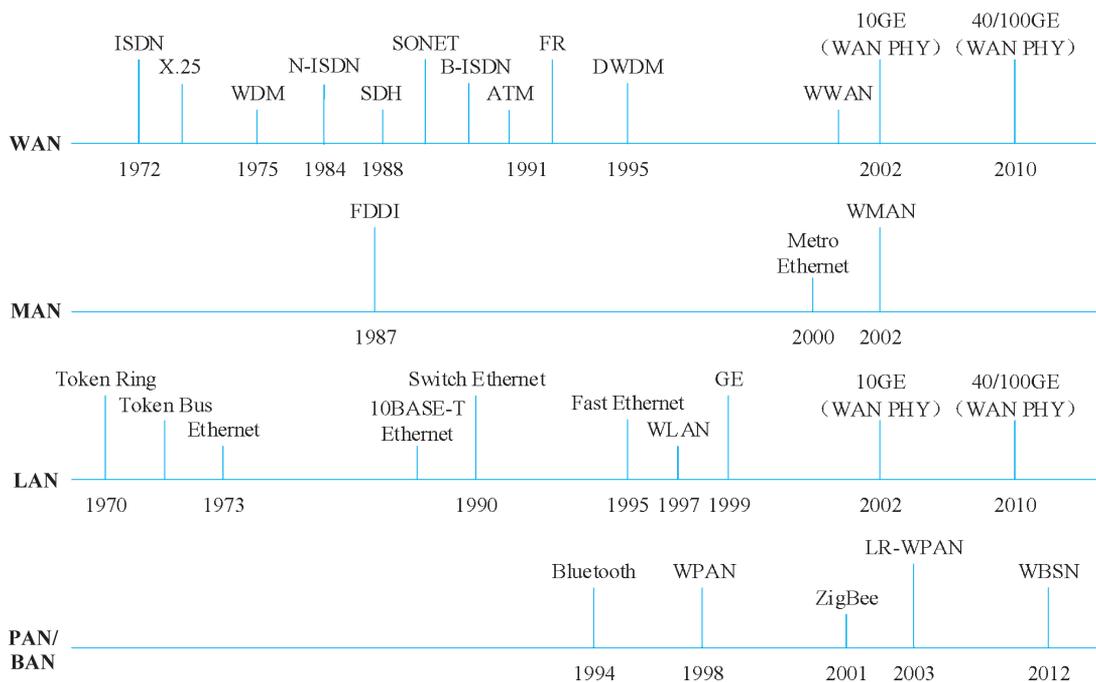


图 3-3 传输网技术发展过程

## 3.2 广域网技术

### 3.2.1 广域网的主要特点

通常作为网际网的主干网使用的广域网,具有以下两个最基本的特点。

#### 1. 广域网是一种公共数据网络

局域网、个人区域网与人体区域网通常属于一个单位或个人所有,组建成本低、易于建立与维护,通常是自建、自管、自用。广域网建设投资很大,管理困难,通常由电信运营商负责组建、运营与维护。对于那些有特殊需要的国家部门与大型企业,它们也可以组建自己使用和管理专用广域网。

网络运营商组建的广域网为广大用户提供数据传输服务,因此这类广域网属于公共数据网络(Public Data Network, PDN)的性质。用户可以在公共数据网络上开发与运行各种网络服务系统。如果用户想要使用广域网服务,需要向网络运营商租用通信线路或其他资源。网络运营商需要按照合同的要求,为用户提供电信级  $7 \times 24$ (每个星期 7 天、每天 24h) 服务。

#### 2. 广域网研发重点是宽带核心交换技术

早期的广域网主要用于大型计算机、中型计算机与小型计算机系统的互联。用户终端接入本地主机系统,本地主机系统再接入广域网。用户通过终端登录到本地主机系统之后,才能实现对异地联网的其他主机系统的硬件、软件或数据资源的访问和共享。针对这样一种工作方式,研究人员提出了资源子网与通信子网的两级结构。随着互联网应用的发展,广域网更多是作为覆盖地区、国家或洲际地理区域的核心交换网络平台。

目前,大量用户通过局域网或其他接入技术接入城域网,城域网接入连接不同城市的广域网,大量广域网互联形成 Internet 的宽带、核心交换平台,从而构成了层次结构的大型互联网络。因此,简单地描述单个广域网的通信子网与资源子网的两级结构,已不能准确地描述当前互联网的网络结构。

随着网络互联技术的发展,广域网作为互联网的宽带、核心交换平台,其研究重点已经从开始阶段“如何接入不同类型的异构主机系统”,转变为“如何提供保证服务质量(Quality of Service, QoS)的宽带核心交换服务”。因此,广域网研究重点是保证 QoS 的宽带核心交换技术。

### 3.2.2 广域网的技术路线

通过研究广域网的发展与演变的历史,发现从事广域网技术研究的人员主要有两类:一类是电信网技术人员,另一类是计算机网络技术人员。这两类技术人员的研究思路与协议表述方法有明显的差异,两者在技术上表现出竞争与互补关系。

#### 1. 电信网技术人员采取的技术路线

从事电话交换、电信网技术的研究人员考虑问题的方法是:如何在技术成熟和使用广泛的已有电信传输网的基础上,将传统的语音传输业务和新的数据传输业务相结合。这种研究思路就导致了综合业务数字网(ISDN)、X.25 分组交换网、帧中继网、异步传输模式(ATM)网、光纤波分复用(WDM)技术的研究与应用。

早期人们利用电话交换网的模拟信道,使用调制解调器完成计算机之间的低速数据通信。1974年,X.25网技术出现。随着光纤的大规模应用,1991年简化X.25协议的帧中继技术得到广泛应用。这几种技术在早期广域网建设中发挥了一定的作用。

ATM网络最初是从事电话交换与电信网的技术人员提出的。在早期跟踪ATM技术时发现:电信网技术人员有一个宏伟的蓝图,试图将语音传输与数据传输在一个ATM网络中完成,从而实现覆盖从局部到广域范围的整个领域。但是,这条技术路线是不成功的。尽管目前某些广域网仍在用ATM技术,但是它的发展空间已经很小。

20世纪80年代,光纤波分复用(WDM)是面向传统电话传输,它并不适合于传输IP分组。出于经济上的原因,电信网技术人员不会放弃大量已有的、成熟的、覆盖面很广的同步光网络/同步数据体系(SONET/SDH)技术。为了适应数据业务发展的需要,电信运营商采取在SDH的基础上支持IP协议,并不断融合ATM和路由交换功能,构成以SDH为基础的广域网平台。广域网发展的一个重要趋势是IP over SONET/SDH。

#### 2. 计算机网络技术人员采取的技术路线

早期从事计算机网络的研究人员的研究思路是:在电话传输网(PSTN)的基础上,考虑如何在物理层利用已有的通信设备和线路,实现分布在不同地理位置的计算机之间的数据通信。因此,研究重点放在物理层接口标准、数据链路层协议与网络层协议标准上。当光以太网(optical Ethernet)技术日趋成熟并广泛应用时,他们调整了高速局域网的设计思路,在传输速率达到1Gb/s、10Gb/s甚至100Gb/s以太网物理层设计中,利用光纤作为传输介质,设计了两种物理层标准:广域网物理层(WAN PHY)与局域网物理层(LAN PHY),将以太网技术从局域网扩大到城域网、广域网。从目前的应用效果看,这种技术路线有着很好的发展前景。

### 3.2.3 光传输网技术发展

#### 1. SONET 与 SDH

早期的电话运营商在电话交换网中使用光纤,采用的是时分多路复用(Time Division Multiplexing, TDM),各个运营商的设备与标准各不相同。1988年,美国国家标准化组织(ANSI)的 T1.105 与 T1.106 定义了光纤传输系统的线路速率等级,即同步光纤网(Synchronous Optical Network, SONET)与同步数据体系(Synchronous Data Hierarchy, SDH)。SONET 的速率标准是 51.84~2488.32Mb/s,基本速率(STS-1)是 51.84Mb/s。SONET 标准不仅适用于光纤传输系统,也适用于微波与卫星传输体系。

在实际的使用中,SDH 速率体系涉及三种速率:SONET 的 STS 标准与 OC 标准以及 SDH 的 STM 标准。它们之间的区别表现在:

- (1) STS 定义的是数字电路接口的电信号传输速率。
- (2) OC 定义的是光纤上传输的光信号速率。
- (3) STM 是电话公司为国家之间主干线路的数字信号规定的速率标准。

表 3-1 给出了 SONET 的速率对应关系。这里,STS-1 信号的传输速率为 51.84Mb/s,对应 810 路电话线路。根据 STS 信号的复用关系,STS-3 信号复用 3 路 STS-1 信号,传输速率为  $51.84 \times 3 = 155.52$  Mb/s,对应  $810 \times 3 = 2430$  路电话线路;STS-9 信号复用 9 路 STS-1 信号,传输速率为  $51.84 \times 9 = 466.56$  Mb/s,对应  $810 \times 9 = 7290$  路电话线路;STS-12 信号复用 12 路 STS-1 信号,传输速率为  $51.84 \times 12 = 622.08$  Mb/s,对应  $810 \times 12 = 9720$  路电话线路。根据 STS 与 STM 信号的对应关系,STM-1 等于 STS-3,STM-4 等于 STS-12。

表 3-1 SONET 的速率对应关系

传输速率/Mb · s <sup>-1</sup>	OC 级	STS 级	STM 级
51.84	OC-1	STS-1	
155.52	OC-3	STS-3	STM-1
466.56	OC-9	STS-9	
622.08	OC-12	STS-12	STM-4
933.12	OC-18	STS-18	
1243.16	OC-24	STS-24	STM-8
1866.24	OC-36	STS-36	STM-12
2488.32	OC-48	STS-48	STM-16
9952.28	OC-192	STS-192	STM-64

#### 2. 光传输网技术发展

现有的传输网由光传输系统和交换结点的电子设备(例如路由器)组成。光纤用于两个交换结点之间的点-点的数据传输。在每个交换结点中,光信号被转换成电信号后由路由器处理。在 SONET/SDH 技术出现以后,这种光传输与电交换结合的技术很快成为主流的广域网组网技术。随着 Internet 业务和其他宽带业务剧增,已经铺设的光纤带宽消耗殆尽,必须寻找更合适的技术来解决这个问题,这时就出现了以下三种技术。

- (1) 在 SDH 系统中进一步挖掘光缆的带宽潜力。
- (2) 采用光时分复用(OTDM)技术,增加单根光纤中的 SDH 传输容量。
- (3) 采用光波分复用(WDM)技术,在单根光纤中进行波分复用。

在不断研究和比较的过程中,WDM 技术获得充分肯定与优先发展,并在广域网主干网中取代了 SDH 技术,成为宽带广域网组网的首选方案。WDM 技术不仅具有 SDH 一样灵活的保护和恢复方式,并且使光纤的传输容量增加几倍甚至几十倍。

WDM 技术在传输网中的应用,经历了从“线”到“面”的发展过程,即从点-点的密集波分复用(DWDM)系统到环网,再向网状结构的方向发展。点-点的 DWDM 传输技术已经比较成熟。目前,WDM 技术研究主要集中在两个方向:一是朝着更多波长、单波长更高速率的方向发展;二是朝着 WDM 联网的方向发展。

随着可用波长数的增加、光放大与光交换等技术的发展,以及越来越多的光传输系统升级为 WDM 或 DWDM 系统,下层的光传输系统不断向多功能、可重构、高灵活性、高性价比和支持多种恢复能力等方面发展。在 DWDM 从主干网向城域网和接入网扩展的过程中,人们发现波分复用技术不仅可充分利用光纤中的带宽,而且其多波长特性还促使波分复用系统由传统的点-点传输系统向光传输联网的方向发展,这样就形成了多波长波分复用光网络,即光传输网(Optical Transport Network, OTN)。

### 3. 光以太网技术

以太网大规模应用与高速以太网技术发展给研究人员一个启示:能否将在办公环境中广泛应用的以太网技术,从局域网扩展到城域网甚至广域网。这个思路导致了应用于广域网的光以太网技术研究。

从提供电信级运营要求的角度,传统的以太网技术达不到要求。存在这个问题的原因很容易理解:在初期设计以太网时,研究人员只考虑如何将局部地区,例如实验室、办公室中的多台计算机互联成局域网。

光以太网术语是北电(Nortel)等电信设备制造商于 2000 年提出的,并得到网络界与电信界的认同和支持。光以太网设计的出发点是:利用光纤的巨大带宽资源,以及成熟和广泛应用的以太网技术,为运营商建造新一代网络提供技术支持。基于这样一个设计思想,一种可达到电信级运营要求的光以太网技术应运而生,并从根本上影响到电信运营商规划、建设、管理传输网的技术路线。

1998 年,以光纤为传输介质、速率为 1Gb/s 的 GE 物理层标准 IEEE 802.3z 问世。2001 年,以光纤为传输介质、速率为 10Gb/s 的 10GE 物理层标准 IEEE 802.3ae 问世。2010 年,IEEE 通过了传输速率为 100Gb/s 的 IEEE 802.3ba 标准,其中包括用于广域网的物理层标准(WAN PHY)。

对于电信级运营要求的光以太网设备和线路,它们必须满足电信网 99.999% 的高可靠性要求。光以太网必须克服传统以太网的不足,具备以下特征。

- (1) 根据终端用户的实际应用需求分配带宽,保证带宽资源充分、合理应用。
- (2) 用户访问网络资源必须经过认证和授权,确保用户对网络资源的安全使用。
- (3) 及时获得用户的上网时间和流量记录,支持按上网时间、用户流量实时计费,或者提供包月计费功能。
- (4) 支持 VPN 和防火墙,有效保证网络安全。
- (5) 提供分级的 QoS 服务。

(6) 方便、快速、灵活地适应用户和业务的扩展。

因此,研究可运营的光以太网已不是单一技术研究,而是需要提出一个解决方案。光以太网是以太网与密集波分复用(DWDM)结合的产物,它在广域网与城域网的组网应用中具有明显的优势。

## 3.3 局域网技术

### 3.3.1 局域网技术发展

在局域网研究领域,以太网技术并不是最早的,但它是最成功的技术。20世纪70年代初,欧美一些研究机构开始研究局域网技术。1972年,美国加州大学提出 Newhall 环网。1974年,英国剑桥大学提出 Cambridge Ring 环网。这些研究成果对局域网技术发展起到重要作用。20世纪80年代,局域网领域出现以太网与令牌总线、令牌环三足鼎立的局面,并且各自形成相应的国际标准。20世纪90年代,以太网开始受到业界认可并广泛应用。进入21世纪,以太网成为局域网领域的主流技术。

尽管以太网技术已获得重大成功,但是它的发展道路也很艰难。1980年,以太网技术在当时是有争议的。当时,存在IBM公司的令牌环网(Token Ring)和通用汽车公司为实时控制系统设计的令牌总线网(Token Bus),三者之间竞争激烈。与采用随机型介质访问控制方法的以太网相比,采用确定型介质访问控制方法的令牌总线网、令牌环网的共同特点是:适用于对数据传输实时性要求高的环境(例如生产过程控制),适用于通信负荷较重的环境,但是环维护工作复杂,实现起来相对困难。

早期以太网使用的传输介质(同轴电缆)造价较高。1990年,IEEE 802.3的物理层标准10BASE-T推出,普通双绞线可作为10Mb/s传输介质。在使用双绞线之后,以太网组网的造价降低,性价比获得极大的提高。

以太网协议开放性使它很快获得很多集成电路制造商、软件开发商的支持,出现多种实现以太网算法的集成电路芯片,以及很多支持以太网的操作系统与应用软件,使以太网在与其他局域网的竞争中具有优势。以太网交换机的面世标志着交换式以太网的出现,进一步增强了以太网的竞争优势。NetWare、Windows NT与UNIX操作系统的应用,使以太网技术进入成熟阶段。基于传统以太网的高速以太网、交换式以太网与局域网互联等技术的研究,使以太网获得更广泛的应用。图3-4给出了局域网技术演变过程。

### 3.3.2 IEEE 802 参考模型

为了解决局域网协议标准化问题,IEEE在1980年专门成立IEEE 802委员会,并制定IEEE 802系列标准。IEEE 802研究重点是解决局部范围内的计算机联网问题,研究者仅需面对OSI参考模型中的数据链路层与物理层,网络层及以上高层不属于其研究范围。这就是IEEE 802标准只制定对应数据链路层与物理层协议的原因。

在成立IEEE 802委员会时,局域网领域已有三类典型技术:以太网、令牌总线网与令牌环网。同时,市场上有多个厂家的局域网产品,它们的数据链路层与物理层协议各不相同。面对这样一个复杂的局面,要想为多种局域网技术和产品制定一个共用的模型,IEEE 802标准

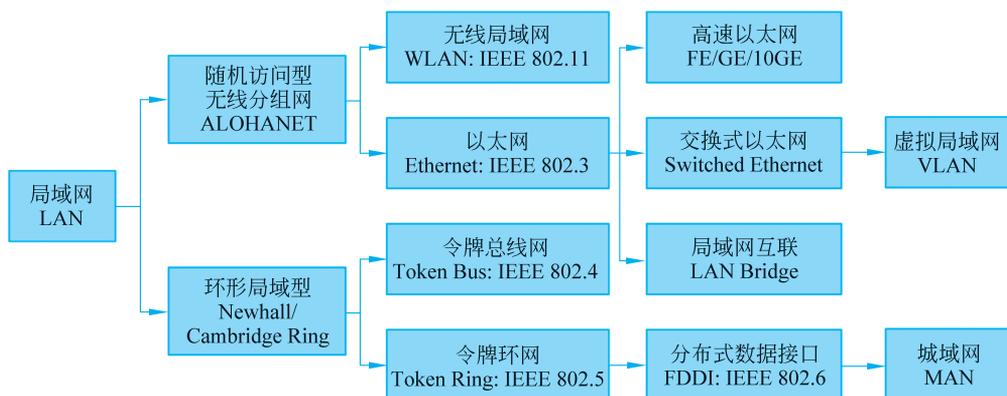


图 3-4 局域网技术演变过程

设计者提出将数据链路层划分为两个子层：逻辑链路控制(Logical Link Control, LLC)子层与介质访问控制(Media Access Control, MAC)子层。

不同局域网在 MAC 子层和物理层可采用不同协议,但在 LLC 子层必须采用相同协议。这一点与网络层 IP 的设计思路相类似。尽管局域网采用的传输介质与访问控制方法不同,LLC 子层统一将它们封装到固定格式的 LLC 帧中。LLC 子层与低层具体采用的传输介质、访问控制方法无关,网络层可以不考虑局域网采用哪种传输介质、介质访问控制方法和拓扑构型。这种方法在解决异构的局域网互联问题上是有有效的。

经过多年激烈的市场竞争,局域网从开始的混战局面转化到以太网、令牌总线网与令牌环网的三足鼎立局面,最终以以太网突破重围形成一枝独秀的格局。从目前局域网实际应用情况来看,几乎所有办公环境的局域网(例如企业网、校园网)都采用以太网,因此是否使用 LLC 子层已变得不重要,很多硬件和软件厂商已不使用 LLC 协议,而是直接将数据封装在以太网协议的 MAC 帧中。整个协议处理过程变得简洁,因此现在已很少讨论 LLC 协议。

IEEE 802 委员会为制定标准而成立一系列组织,例如,制定某类协议的工作组(WG)或技术行动组(TAG),它们制定的标准统称 IEEE 802 标准。随着局域网技术的发展,IEEE 802.4、IEEE 802.6、IEEE 802.7、IEEE 802.12 等已停止工作。目前,仍处于活跃状态的是 IEEE 802.3、IEEE 802.10、IEEE 802.11 等工作组。

IEEE 802 委员会公布了很多标准,这些协议可以分为以下 3 类。

- (1) 定义局域网体系结构、网络互联、网络管理与性能测试的 IEEE 802.1 标准。
- (2) 定义逻辑链路控制(LLC)子层功能与服务的 IEEE 802.2 标准。
- (3) 定义不同介质访问控制技术的相关标准。

第三类标准曾经多达 16 个。随着局域网技术的发展,目前应用较多和仍在发展的标准主要有 4 个,其中 3 个是无线局域网标准,而其他标准已很少使用。图 3-5 给出了简化的 IEEE 802 协议结构。其中,4 个主要的 IEEE 802 标准如下。



图 3-5 简化的 IEEE 802 协议结构

- (1) IEEE 802.3 标准：定义以太网的 MAC 子层与物理层标准。
- (2) IEEE 802.11 标准：定义无线局域网的 MAC 子层与物理层标准。
- (3) IEEE 802.15 标准：定义无线个人区域网的 MAC 子层与物理层标准。
- (4) IEEE 802.16 标准：定义宽带无线城域网的 MAC 子层与物理层标准。

### 3.3.3 以太网工作原理

以太网(Ethernet)核心技术是共享总线的介质访问控制方法,而它的设计思想来源于 20 世纪 60 年代末出现的 ALOHANET。

#### 1. 以太网的形成背景

为了在位于夏威夷各个岛屿上的不同校区之间进行计算机通信,夏威夷大学的 Norman Abramson 研究了一种以无线方式工作的分组交换网。ALOCHANET 使用一个共用的无线信道,支持多个结点对该信道的多路访问。ALOCHANET 中心结点是一台位于瓦胡岛校区的 IBM 360 主机,它通过无线网络与分布在各个岛屿的终端通信。最初设计时的传输速率为 4800b/s,后来提高到 9600b/s。从主机到终端的无线信道为下行信道,而从终端到主机的无线信道为上行信道。在下行信道中,主机通过广播方式向多个终端发送数据,不会出现冲突。但是,当多个终端利用上行信道向主机发送数据时,可能因两个或多个终端同时争用信道而冲突。解决冲突的办法有两种:一种是集中控制方法,另一种是分布控制方法。集中控制是一种传统的方法,需要在系统中设置一个控制结点,由它决定哪个终端可使用信道。但是,控制结点会成为系统性能与可靠性瓶颈。ALOCHANET 采用了分布式控制方法。

1972 年,Xerox 公司的 Bob Metcalfe 和 David Boggs 开发了第一个实验性的局域网系统,其数据传输率可达 2.94Mb/s。1973 年,两人在论文 *Alto Ethernet* 中提出了以太网设计方案。1976 年,两人发表了具有里程碑意义的论文“以太网:局部计算机网络的分布式包交换”。在以太网中,任何结点都没有可预约的发送时间,它们的发送都是随机的,并且网络中不存在集中控制的结点,所有结点必须平等地争用发送时间,这种介质访问控制属于随机争用型方法。1977 年,Bob Metcalfe 和同事们申请了以太网专利。1978 年,以太网中继器也获得了专利。

1980 年,Xerox、DEC 与 Intel 等公司合作,第一次公布以太网的物理层、数据链路层规范。1981 年,Ethernet V2.0 规范发布。IEEE 802.3 标准是建立在 Ethernet V2.0 的基础上。1982 年,第一片支持 IEEE 802.3 标准的 VLSI 芯片(以太网控制器)问世。同期,很多软件公司开始开发支持该标准的操作系统与应用软件。1990 年,IEEE 802.3 标准中的物理层标准 10BASE-T 出现,双绞线可作为 10Mb/s 以太网的传输介质。1993 年,随着全双工以太网技术出现,改变传统以太网的半双工模式,并将以太网带宽增加一倍。在此基础上,以光纤作为传输介质的 10BASE-F 标准出现,促使以太网技术最终从三足鼎立中脱颖而出。

#### 2. CSMA/CD 访问控制方法

以太网是一种典型的总线型局域网。图 3-6 给出了总线型局域网的拓扑结构。总线型局域网采用共享介质方式。所有结点都通过网卡连接到作为公共介质的总线上。总线通常采用的是双绞线或同轴电缆。所有结点都可通过总线发送或接收数据,但一段时间内只允许一个结点通过总线发送数据。当一个结点通过总线以广播方式发送数据时,其他结点只能以收听方式来接收数据。

总线(bus)作为公共的传输介质被多个结点共享,可能出现两个或多个结点同时发送数据

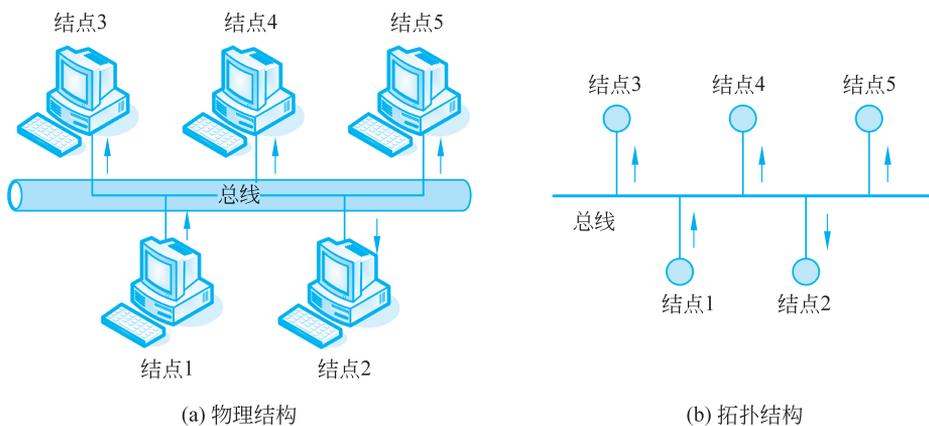


图 3-6 总线型局域网的拓扑结构

的情况,这时由于信号叠加而出现冲突(collision),这种情况下的数据传输将会失败。图 3-7 给出了总线型局域网的冲突情况。因此,在总线型的以太网实现技术中,必须解决多个结点访问总线的介质访问控制问题。

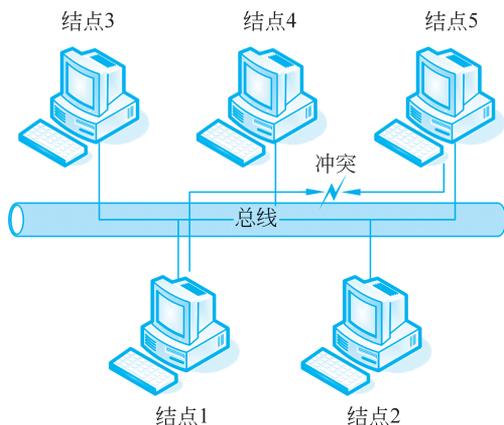


图 3-7 总线型局域网的冲突情况

介质访问控制方法是指控制多个结点利用公共介质发送和接收数据的方法,它是所有共享介质型的局域网都需要考虑的问题。介质访问控制方法需要解决 3 个问题:哪个结点可以发送数据?发送时是否出现冲突?出现冲突后怎么处理?以太网核心技术是带冲突检测的载波侦听多路访问(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD)方法。CSMA/CD 方法用于解决多结点如何共享总线的问题。

下面通过会议的例子来说明局域网访问控制的设计思想。在班会上,每次只能由一个人发言。如果有两个或多个人同时发言,则其他人听不清任何一个人的发言。解决方法主要有三种:一是由会议主持人决定谁发言;二是按照一定的顺序依次发言;三是打算发言的人举手,先举手的人先发言。

第一种方法最简单且最有效,但是需要有一个主持人。按照这种思路,需要在局域网中专门设置一台计算机,由它决定哪台计算机可发送数据。如果这台计算机出现故障,整个局域网就会瘫痪。采用这种方式的局域网属于集中控制的局域网。

第二种方法属于分布式控制方法,并且也很有效,但是如果有人临时退出或加入会场,人们之间需要重新调整发言次序。这种方法的好处是每人都有机会发言,并且经过多长时间可以发言是能确定的,因此它属于确定型的控制方法。这种方法的缺点是:在新结点加入与结点退出时,控制访问用到的令牌机制复杂,实现成本高。

第三种方法属于分布式、随机访问的控制类型,由局域网中的每台计算机自己确定是否可发言。更恰当的比喻是多人在一间黑屋子中举行会议,参加者都只能听到其他人的声音。每个人在说话前必须先倾听,只有等会场安静下来后发言。在发言前需要监听以确定是否已有人发言,称为“载波侦听”;在会场安静的情况下每人都有平等的机会发言,称为“多路访问”;如果有两人或两人以上同时说话,大家无法听清任何一人的发言,称为发生“冲突”;发言人在发言过程中需及时发现是否冲突,称为“冲突检测”。

CSMA/CD 访问控制方法与上面描述的过程相似。在以太网中,如果一个结点要发送数据,它以广播方式将数据通过总线发送出去,连接在总线上的所有结点都能接收该数据。由于所有结点都可利用总线发送数据,并且网络中没有控制中心,因此冲突的发生将不可避免。为了有效实现多个结点访问总线的控制策略,CSMA/CD 发送流程可简单概括为“先听后发,边听边发,冲突停止,延迟重发”。

如果一个结点获得利用总线发送数据的权力,其他结点都应处于接收状态。IEEE 802.3 协议规定了数据(即帧)的最小与最大长度,当一个结点接收到一个帧之后,首先需要判断接收帧的长度。如果帧长度小于规定的最小长度,说明冲突发生,这时结点应丢弃该帧,并重新进入等待接收状态;否则,说明冲突未发生,这时结点应检查该帧的目的地址。如果目的地址是单播地址,并且是本结点的地址,则接收该帧;如果目的地址是组地址,并且结点属于该组,则接收该帧;如果目的地址是广播地址,则接收该帧;如果目的地址不符,则丢弃该帧。如果确认是应接收的帧,则下一步进行 CRC 校验。

### 3. 以太网帧结构

Ethernet V2.0 是对 Xerox、DEC 与 Intel 公司的以太网规范的改进,而 IEEE 802.3 是由 IEEE 定义的以太网标准。Ethernet V2.0 和 IEEE 802.3 定义的帧结构有一定差别,这是由于 IEEE 802.3 标准需考虑 IEEE 802.4、IEEE 802.5 等标准的兼容问题。目前,IEEE 802.4、IEEE 802.5 标准已很少使用,基本都采用 Ethernet V2.0 规定的帧结构。

图 3-8 给出了以太网帧结构。这里是 Ethernet V2.0 规范的帧结构。在 IEEE 802.3 标准定义的以太网帧结构中,“类型”字段由“类型/长度”字段来代替。在处理 IEEE 802.3 标准的以太网帧时,需要确定字段是“类型”还是“长度”。



图 3-8 以太网帧结构

以太网帧结构由以下几个部分组成。

#### (1) 前导码与帧前定界符字段。

前导码是 56 位(7B)的 10101010...101010 比特序列。帧前定界符是 8 位(1B)的 10101011。前导码与帧前定界符用于接收同步阶段。由于曼彻斯特解码采用锁相电路实现同

步,锁相电路达到稳定状态需要  $10\sim 20\mu\text{s}$ ,因此设计前导码与帧前定界符是为了满足接收电路的要求,保证接收电路在目的地址到达之前进入稳定状态。前导码与帧前定界符在接收后不保留,也不计入帧头长度中。

### (2) 目的地址与源地址字段。

目的地址与源地址分别是接收结点与发送结点的硬件地址。硬件地址一般称为 MAC 地址、物理地址或以太网地址。图 3-9 给出了 MAC 地址的例子。MAC 地址长度为 48b。目的地址可以分为 3 类:单播地址(unicast address)、多播地址(multicast address)与广播地址(broadcast address)。其中,目的地址第 1 位为 0 表示单播地址,该帧可被目的地址所在结点接收;目的地址第 1 位为 1 表示多播地址,该帧可被一组结点接收;目的地址全为 1 表示广播地址,该帧可被所有结点接收。

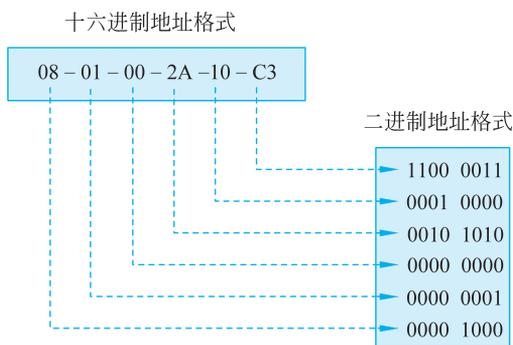


图 3-9 一个 MAC 地址的例子

每块以太网卡的 MAC 地址需要保证唯一。IEEE 注册认证委员会(Registration Authority Committee, RAC)为每个生产商分配地址的前三字节,即机构唯一标识符(Organizationally Unique Identifier, OUI)。MAC 地址的后三字节由网卡的生产商自行分配。一个生产商获得前三字节后,可生产的网卡数量是  $2^{24}$ 。例如,IEEE 分配给某个公司的前三字节是 08-01-00,在 MAC 地址中表示为 08-01-00;该公司为生产的网卡分配后三字节(例如 2A-10-C3),则该网卡的 MAC 地址为 08-01-00-2A-10-C3。

### (3) 类型字段。

类型字段表示网络层使用的协议类型。例如,0x0800 表示网络层使用 IP 协议,0x8137 表示网络层使用 NetWare 的 IPX 协议。

### (4) 数据字段。

数据字段是高层待发送的数据部分。数据字段的最小长度为 46B。如果数据长度小于 46B,应将它填充至 46B。填充字符任意,不计入长度字段值。数据字段的最大长度为 1500B。由于帧头部分包括 6B 目的地址、6B 源地址字段、2B 长度字段与 4B 帧校验字段,因此帧头部分的长度为 18B。以太网帧的大小为 64~1518B。

### (5) 帧校验字段。

帧校验字段采用 32 位的 CRC 校验。CRC 校验的范围包括:目的地址、源地址、长度、数据等部分。CRC 校验的生成多项式为:  $G(X) = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$ 。

## 4. 以太网实现方法

很多计算机与芯片生产商支持 IEEE 802.3 标准,促使以太网更有生命力与竞争力。从实

现的角度来看,以太网连接设备包括:网络接口卡(简称网卡)、收发器和收发器电缆。从功能的角度来看,以太网连接设备包括:发送与接收信号的收发器、曼彻斯特编码与解码器、数据链路控制、帧装配及主机接口。从层次的角度来看,这些功能覆盖 IEEE 802.3 协议的 MAC 子层与物理层。

网卡可以连接计算机与传输介质。网卡的主要功能包括:数据编码与解码、CRC 生成与校验、帧装配与拆封,以及 CSMA/CD 访问控制等功能。实际的以太网卡均采用专用芯片,该芯片可实现介质访问控制、CRC 校验、曼彻斯特编码、收发器与冲突检测等功能。很多厂商提供支持以太网专用芯片,例如 Intel、Motorola、AMD 公司等。例如,利用 Intel 公司的 82588 链路控制处理器与 82501 串行接口、82502 收发器就能构成以太网卡(如图 3-10 所示)。

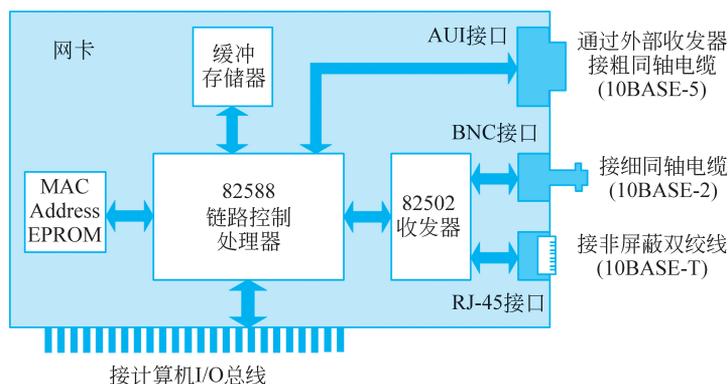


图 3-10 以太网卡结构

### 5. 以太网技术发展

促进局域网发展的直接因素是个人计算机(PC)的广泛应用。在过去 20 年中,计算机的处理速度已提高了数百万倍,但是网络的传输速率仅提高了几千倍。从理论上来说,一台计算机每秒能产生大约 250MB 数据,如果以太网仍保持 10Mb/s 传输速率,这显然难以适应实际的应用需求变化。

计算机的处理速度迅速上升,而产品价格却在持续下降,这进一步促进了计算机的广泛应用。这些用于办公与信息处理的计算机必然要求联网,这就造成局域网规模和通信量的不断增加。随着各种新的网络应用的出现,计算机已从初期简单的文字处理、信息管理等,逐步发展为后来的分布式计算、在线多媒体等应用,它们对局域网的带宽与性能提出更高的要求。这些因素促使研究者开始研究高速局域网,希望通过提高局域网带宽来改善性能,以便适应各种新应用对网络的需求。

传统局域网技术建立在共享介质的基础上,所有结点共享一条共用的传输介质。访问控制方法用来保证每个结点都能公平使用传输介质。在网络技术讨论中,人们经常将数据传输速率称为网络带宽。例如,以太网传输速率为 10Mb/s,则其带宽为 10Mb/s。如果局域网中有  $N$  个结点,则每个结点的平均带宽为  $10/N$ 。显然,随着局域网规模的不断扩大,如果局域网带宽不变,则每个结点平均带宽将越来越少。也就是说,随着网络结点数的增加,网络通信负荷在变大,冲突和重发次数将大幅增长,网络利用率急剧下降,传输延迟明显增加,这时网络服务质量将显著下降。

为了克服网络规模与性能之间的矛盾,研究者提出了以下 3 种可能的解决方案。

(1) 将以太网传输速率从 10Mb/s 提高到 100Mb/s、1Gb/s 甚至 10Gb/s,这就导致了高速局域网技术的研究。在这个方案中,无论以太网传输速率提高到多高,以太网帧结构都基本保持不变。

(2) 将一个大型的局域网划分成多个用网桥或路由器互联的子网,这就导致了局域网互联技术的发展。网桥与路由器可隔离子网之间的通信量,使每个子网成为一个独立的小型局域网。通过减少每个子网的内部结点数量,每个子网的网络性能可得到改善,而介质访问控制仍采用 CSMA/CD 方法。

(3) 将以太网从共享介质方式改为交换方式,这就导致了交换式局域网技术的发展。交换局域网的核心设备是局域网交换机,可在多个端口之间建立多个并发连接。这种方案导致局域网被分为两类:共享式局域网(shared LAN)和交换式局域网(switched LAN)。

### 3.3.4 高速以太网技术

高速以太网技术研究的基本原则是:在保持与传统以太网兼容的前提下,尽力提高以太网能提供的传输速率,以及扩大以太网的覆盖范围。

#### 1. 快速以太网

快速以太网(Fast Ethernet, FE)是传输速率为 100Mb/s 的以太网。1995 年,IEEE 802 委员会批准 IEEE 802.3u 作为快速以太网标准。IEEE 802.3u 标准在 MAC 子层仍使用 CSMA/CD 方法,只是在物理层做了一些必要的调整,主要是定义 100BASE 系列物理层标准,它们可以支持多种传输介质,主要包括双绞线、单模与多模光纤等。

IEEE 802.3u 标准定义了介质专用接口(Media Independent Interface, MII),用于对 MAC 子层与物理层加以分隔。这样,在物理层实现 100Mb/s 传输速率的同时,传输介质和信号编码方式的变化不影响 MAC 子层。为了支持不同传输速率的设备共同组网,IEEE 802.3u 标准提出了速率自动协商的概念。

#### 2. 千兆以太网

千兆以太网(Gigabit Ethernet, GE)是传输速率为 1Gb/s 的以太网。1998 年,IEEE 802 委员会批准 IEEE 802.3z 作为千兆以太网标准。IEEE 802.3z 标准在 MAC 子层仍使用 CSMA/CD 方法,只是在物理层做了一些必要的调整,主要是定义 1000BASE 系列物理层标准,它们可以支持多种传输介质,主要包括双绞线、单模与多模光纤等。

IEEE 802.3z 标准定义了千兆介质专用接口(Gigabit MII, GMII),用于对 MAC 子层与物理层加以分隔。这样,在物理层实现 1Gb/s 传输速率的同时,传输介质和信号编码方式的变化不影响 MAC 子层。为了适应传输速率提高带来的变化,它对 CSMA/CD 访问控制方法加以修改,包括冲突窗口处理、载波扩展、短帧发送等。IEEE 802.3z 标准延续了速率自动协商的概念,并将它扩展到光纤连接上。

#### 3. 万兆以太网

万兆以太网(10 Gigabit Ethernet, 10GE)是传输速率为 10Gb/s 的以太网。2002 年,IEEE 802 委员会批准 IEEE 802.3ae 作为万兆以太网标准。万兆以太网并非简单地将千兆以太网的速率提高 10 倍。万兆以太网的物理层使用光纤通道技术,它的物理层协议需要进行修改。万兆以太网定义了两类物理层标准:以太局域网(Ethernet LAN, ELAN)与以太广域网(Ethernet WAN, EWAN)。万兆以太网致力于将覆盖范围从局域网扩展到城域网、广域网,成为城域网与广域网主干网的主流组网技术。

万兆以太网主要具有以下几个特点。

(1) 保留 IEEE 802.3 标准对以太网的最小和最大帧长度的规定,以便用户在将其已有的 Ethernet 升级为万兆以太网时,仍可与低速率以太网之间通信。

(2) 提供的传输速率高达 10Gb/s,不再使用铜质的双绞线,而仅使用光纤作为传输介质,以便在城域网和广域网范围内工作。

(3) 仅支持全双工方式,不存在介质争用的问题。由于无须使用 CSMA/CD 方法,因此传输距离不再受冲突检测的限制。

#### 4. 更高速率的以太网

随着用户对网络接入带宽的要求不断提升,流媒体、移动互联网、物联网等应用的兴起,城域网与广域网的主干网带宽面临巨大的挑战,现有的万兆以太网已难以应对日益增长的需求,更高速率的 40Gb/s、100Gb/s 以太网研究被提上了日程,并开始呈现从 10Gb/s 以太网向 40/100Gb/s 以太网过渡的发展趋势。

1996 年,40Gb/s 的波分复用 WDM 技术出现;2004 年,个别路由器产品开始提供 40Gb/s 接口;2007 年,多个厂商开始提供 40Gb/s 波分复用设备。同时,电信业对 40Gb/s 波分复用设备的业务需求日益增多,大量应用于数据中心、高性能服务器集群与云计算平台。2004 年,100Gb/s 以太网技术开始出现。它不是一个单项技术的研究,而是一系列技术的综合研究,包括以太网、DWDM 以及相关的技术标准等。

为了适应数据中心、运营商网络和其他高性能计算环境的需求,IEEE 于 2007 年专门成立了 IEEE 802.3ba 工作组,开始研究 40/100 Gigabit Ethernet 标准。2010 年,IEEE 802 委员会批准 IEEE 802.3ba 作为十万兆以太网(100 Gigabit Ethernet,100GE)标准。100GE 仍保留传统以太网帧格式与最小、最大帧长度的规定。

100GE 物理接口主要有以下三种类型。

(1) 10×10Gb/s 短距离互联的 LAN 接口技术。

该方案采用并行的 10 根光纤,每根光纤的传输速率为 10Gb/s,以便达到 100Gb/s 的传输速率。这种方案的优点是可沿用现有的万兆以太网设备,技术比较成熟。

(2) 4×25Gb/s 中短距离互联的 LAN 接口技术。

该方案采用波分复用的方法,在一根光纤上复用 4 路 25Gb/s 信号,以便达到 100Gb/s 的传输速率。这种方案主要考虑的是性价比,需要选择合适的编码、调制与 WDM 技术,技术相对不成熟。

(3) 10m 铜缆接口和 1m 系统背板互联技术。

该方案采用并行的 10 对铜缆,每对的传输速率为 10Gb/s,以便达到 100Gb/s 的传输速率。这种方案主要面向的是数据中心的短距离和内部互联。

### 3.3.5 交换式局域网与虚拟局域网

交换技术在高速局域网实现技术中占据了重要的地位。在传统的共享介质局域网中,所有结点共享一条传输介质,因此不可避免会发生冲突。随着局域网规模的扩大,网络性能会急剧下降。为了克服网络规模与性能之间的矛盾,研究者提出将共享介质方式改为交换方式,这就导致了交换式局域网技术的研究。

#### 1. 交换机的工作原理

交换式局域网中的核心设备是局域网交换机,通常简称为交换机(switch)。如果一个交

换式局域网是以太网,则它被称为交换式以太网(switched Ethernet)。交换机可在多对端口之间建立多个并发连接,多个以太网帧可在不同连接上同时传输。图 3-11 给出了交换机的工作原理。交换机通常包括以下几个组成部分:地址映射表、转发器、缓冲器与端口。其中,地址映射表是交换机的核心部分,实现端口与结点 MAC 地址的映射关系。端口既可以连接单个结点,也可以连接一个局域网。

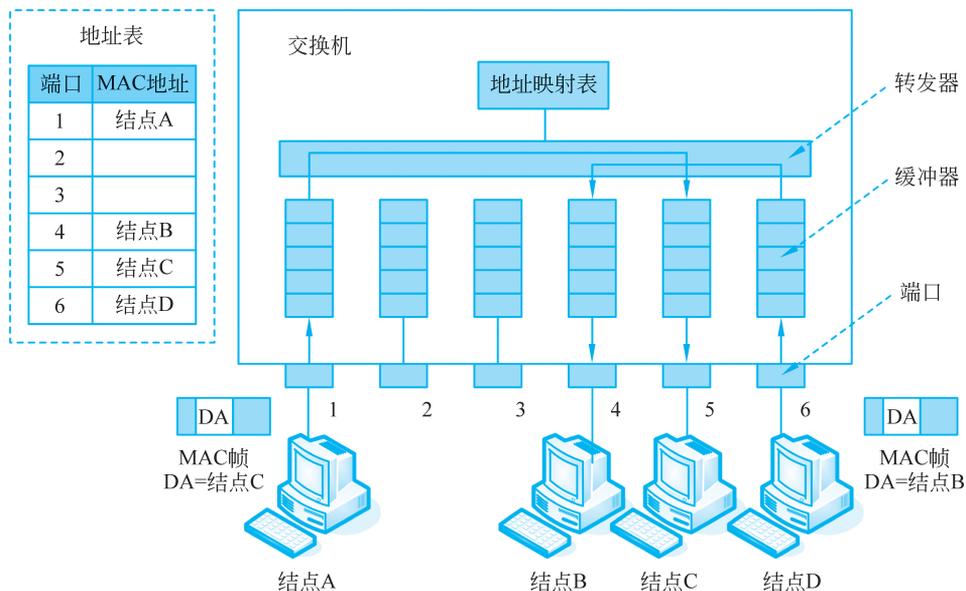


图 3-11 局域网交换机结构与工作原理

如图 3-11 所示的交换机共有六个端口,其中端口 1、4、5、6 分别连接结点 A、B、C、D。地址映射表的建立是根据端口与结点 MAC 地址的对应关系。如果结点 A、D 同时需要发送数据,则它们分别填写各自帧的目的地址。例如,结点 A 向结点 C 发送帧,则目的地址为结点 C;结点 D 要向结点 B 发送帧,则目的地址为结点 B。交换机根据地址映射表的对应关系,找到对应于该目的地址的输出端口,为结点 A 到 C 建立端口 1 到 5 的连接,为结点 D 到 B 建立端口 6 到 4 的连接,然后在两个连接上传输相应的帧。

## 2. 交换机的交换方式

交换机的交换方式有多种类型,例如,直接交换方式、存储转发交换方式与改进的直接交换方式。

### 1) 直接交换方式

在直接交换(cut through)方式中,交换机只要接收并检测到目的地址,就立即转发该帧,而不管该帧是否出错。帧校验操作由结点负责完成。这种交换方式的优点是交换延迟较短,但是缺乏差错检测能力。

### 2) 存储转发交换方式

在存储转发(store and forward)方式中,交换机首先需要接收整个帧,然后对该帧执行帧校验操作,如果没有出错则转发。这种交换方式的优点是具有差错检测能力,支持不同速率的端口之间转发,缺点是交换延迟将会增大。

### 3) 改进的直接交换方式

改进的直接交换方式将上述两种方式相结合。交换机在接收到一个帧的前 64B 后,检测帧

头中的各个字段是否出错,如果没有出错则转发。对于短的以太网帧,该方法的交换延迟与直接交换方式相近;对于长的以太网帧,由于仅对地址等字段进行帧校验,因此交换延迟将会减小。

### 3. 交换机的性能参数

衡量交换机性能的参数主要包括以下几个。

- (1) 最大转发速率是指两个端口之间每秒最多能转发的帧数量。
- (2) 汇集转发速率是指所有端口之间每秒最多能转发的帧数量总和。
- (3) 转发等待时间是交换机做出转发决策所需时间,它与交换机采用的交换技术相关。

由于交换机完成以太网帧的交换,并且工作在数据链路层上,因此它被称为第二层交换机。交换机具有交换延迟低、支持不同速率和工作模式、支持虚拟局域网等优点。

### 4. 虚拟局域网技术

虚拟局域网(Virtual LAN, VLAN)并不是一种新型局域网,而是局域网为用户提供的一种新型服务。VLAN 是用户与局域网资源的一种逻辑组合,而交换式局域网技术是实现 VLAN 的基础。1999年,IEEE发布了有关 VLAN 的 IEEE 802.1q 标准。因此,建立 VLAN 需要利用交换式局域网的核心设备——交换机。

在传统的局域网中,一个工作组的成员必须位于同一网段。多个工作组之间通过互联的网桥或路由器来交换数据。如果一个工作组中的结点要转移到其他工作组,需要将该结点从自己连接的网段撤出,并将它连接到相应的网段中,有时甚至需要重新布线。因此,工作组受到结点所处网段的物理位置限制。

图 3-12 给出了 VLAN 的工作原理。如果将结点按需划分成多个逻辑工作组,则每个工作组就是一个 VLAN。例如,结点 N1-1 至 N1-4、N2-1 至 N2-4、N3-1 至 N3-4 分别连接在交换机 1、2、3 的网段,它们分布于 3 个楼层。如果希望划分 4 个逻辑工作组(N1-1、N2-1 与 N3-1)、(N1-2、N2-2 与 N3-2)、(N1-3、N2-3 与 N3-3)和(N1-4、N2-4 与 N3-4),建立产品、财务、营销与售后 4 个专用子网,最简单的方法是通过软件在交换机中设置 4 个 VLAN。

VLAN 是建立在局域网中的交换机之上,以软件方式划分与管理逻辑工作组,工作组中的结点不受物理位置限制。工作组成员不一定连接在同一网段,它们可连接在同一交换机,也可连接在不同交换机,只要这些交换机之间互联即可。如果某个结点要转移到其他工作组,只需通过软件设定来改变工作组,而无须改变它在网络中的位置。VLAN 的设置可基于交换机端口、MAC 地址、IP 地址或网络层协议等。VLAN 的主要优点表现在:方便用户管理,改善服务质量,可增强安全性。

## 3.3.6 无线局域网技术

无线局域网(Wireless LAN, WLAN)是实现移动计算的关键技术之一。无线局域网以微波、激光与红外线等无线电波作为传输介质,部分代替传统局域网中的同轴电缆、双绞线与光纤等有线传输介质,实现移动结点的物理层与数据链路层功能。

### 1. 无线局域网的应用领域

1987年,IEEE 802.4 工作组开始无线局域网研究。最初目标是研究一种基于无线令牌总线网的 MAC 协议。经过一段时间的研究之后,研究者发现令牌方式不适合无线信道控制。1990年,IEEE 802 委员会成立 IEEE 802.11 工作组,从事无线局域网 MAC 子层的访问控制协议和物理层的传输介质标准的研究。无线局域网能满足移动和特殊应用需求。无线局域网的应用领域主要有以下三个方面。

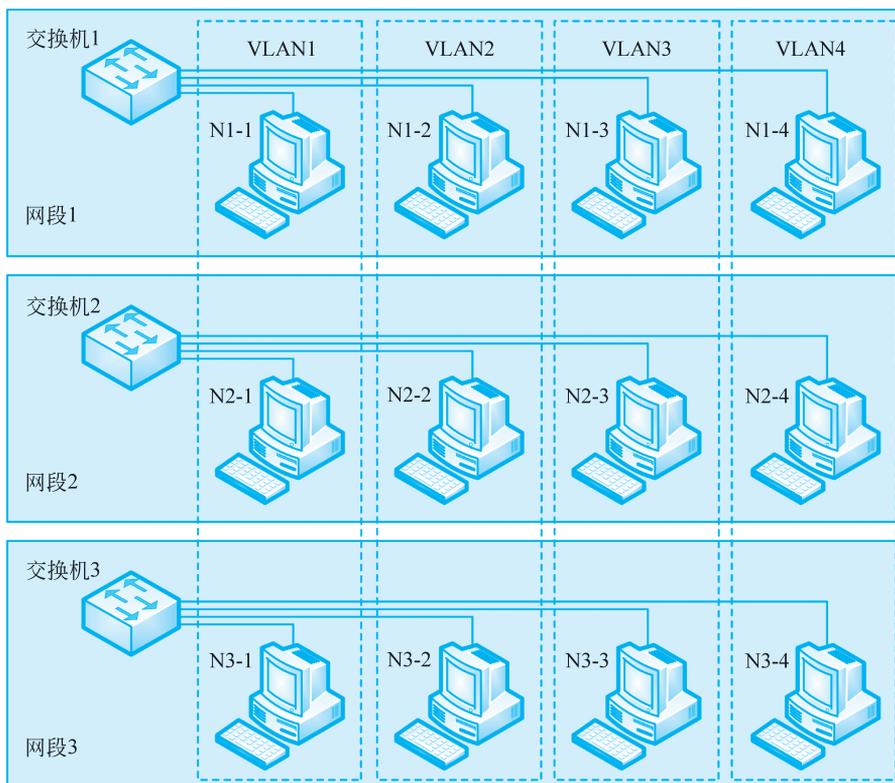


图 3-12 VLAN 的工作原理

(1) 作为传统局域网的扩充。

有线局域网以双绞线实现 10Mb/s~1Gb/s 甚至更高速率,促使结构化布线技术获得广泛的应用。很多建筑物在建设过程中预先布好双绞线。在某些特殊的环境中,无线局域网能发挥传统局域网难以起到的作用。这类环境主要是建筑物群、工业厂房、不允许布线的历史古建筑,以及临时性的大型展览会等。无线局域网提供一种更有效的联网方式。在大多数情况下,有线局域网用于连接服务器和易布线的固定结点,无线局域网用于连接移动结点和不易布线的固定结点。图 3-13 给出了典型的无线局域网结构。

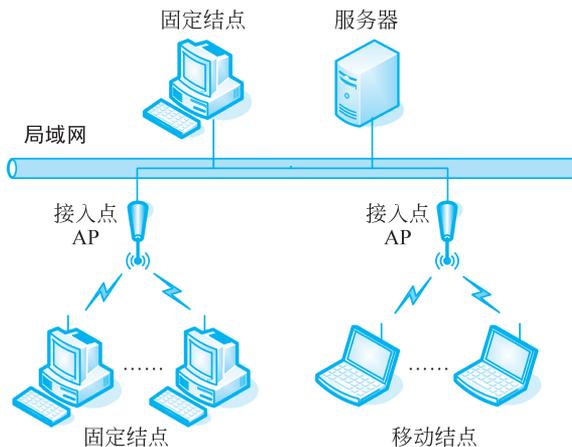


图 3-13 典型的无线局域网结构

(2) 用于移动结点的漫游访问。

带天线的移动设备(例如笔记本)与 AP 之间可实现漫游访问。例如,展览会场的工作人员在向听众做报告时,通过笔记本访问位于服务器中的文件。漫游访问在大学校园或业务分布于多幢建筑物的环境也很有用。用户可以带着笔记本随意走动,从其中某些地点的接入设备接入无线局域网。

(3) 用于构建特殊的移动网络。

一群工作人员每人携带一台笔记本,他们在一个房间中召开一次临时性会议,这些笔记本可临时自组织成一个无线网络,这个网络在会议结束后将自行消失。这种情况在军事应用中也很常见。这种类型的无线网络被称为无线自组网(Ad hoc)。图 3-14 给出了无线自组网的典型结构。

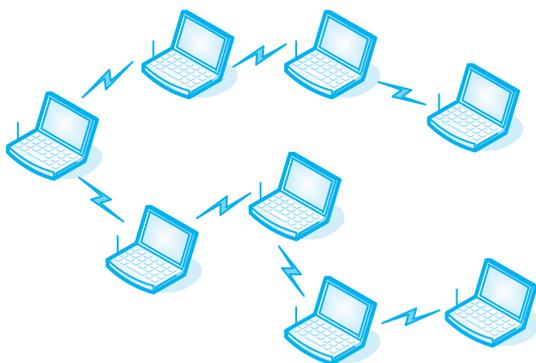


图 3-14 无线自组网的典型结构

## 2. 无线局域网的技术分类

无线局域网采用的是无线传输介质,按传输技术可分为三种类型:红外无线局域网、扩频无线局域网和窄带微波无线局域网。

### 1) 红外无线局域网

红外线(Infrared Radio, IR)信号按视距方式传播,发送方必须能够直接看到接收方。由于红外线的频谱非常宽,因此它可提供很高的传输速率。红外线与可见光的部分特性一致,它可以被浅色的物体漫反射,可通过天花板反射覆盖整个房间。但是,红外线不会穿过墙壁或其他不透明物体。

红外传输技术主要有三种类型:定向光束红外传输、全方位红外传输与漫反射红外传输。其中,定向光束红外传输可用于点到点链路,传输范围取决于发射强度与接收设备的性能;全方位红外传输需要在天花板安装基站,它能看到局域网中的所有结点;漫反射红外传输不需要在天花板安装基站,所有结点的发射器对准天花板漫反射区。

红外无线局域网的优点是:通信安全性好,抗干扰性强,安装简单,易于管理。但是,其传输距离受到一定的限制。

### 2) 扩频无线局域网

扩频通信是军事电子对抗中经常使用的方法,将数据的基带信号频谱扩展几倍或几十倍,以牺牲通信频带宽度为代价,提高无线通信的抗干扰性与安全性。与传统的利用较窄频谱的调频、调幅无线通信相比,它需要将信号扩展到更宽的频谱上传输,因此这种技术被称为扩频通信。目前,无线局域网最常用的是扩频通信技术。