

3.1 Ethernet 与高速局域网技术的发展

3.1.1 ALOHANET 与介质访问控制方法

广域网技术的成熟与微型机的广泛应用,推动了局域网技术研究的发展。局域网是继广域网之后,网络研究与应用的又一个热点。20 世纪 80 年代,随着个人计算机技术的发展和广泛应用,用户共享数据、硬件与软件的愿望日益强烈。这种社会需求导致局域网技术出现了突破性进展。图 3-1 给出了局域网技术发展的过程示意图。

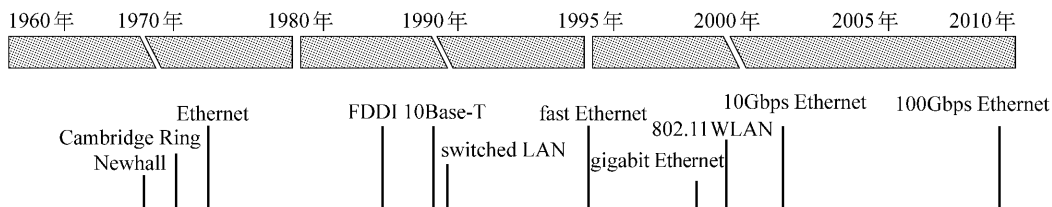


图 3-1 局域网技术发展的过程

在局域网的研究领域中,Ethernet 技术并不是最早的,但是它是最成功的局域网技术。20 世纪 70 年代初期,欧美的一些大学和研究所已开始研究局域网技术。1972 年,美国加州大学研究了 Newhall 环网;1976 年,美国 Xerox 公司研究了总线拓扑的实验性 Ethernet 网;1974 年,英国剑桥大学研制了 Cambridge Ring 环网。这些研究成果对局域网技术的发展起到了十分重要的作用。20 世纪 80 年代,局域网领域出现了 Ethernet 与令牌总线、令牌环的三足鼎立局面,并且各自都形成了相应的国际标准。到 20 世纪 90 年代,Ethernet 开始受到业界认可和广泛应用。21 世纪 Ethernet 技术已经成为局域网领域的主流技术。因此,在讨论局域网技术研究与发展时,首先要重点研究 Ethernet 技术的发展历程。^[1,2,10]

Ethernet 的核心技术是共享总线的介质访问控制 CSMA/CD 方法,而它的设计思想是来源于 ALOHA 网(ALOHANET)。在讨论局域网技术发展时,一定会涉及两位有影响的人物:Norman Abramson 与 Bob Metcalfe。

ALOHANET 出现在 20 世纪 60 年代末期。夏威夷大学的 Norman Abramson 和同事们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,研究了一种以无线广播方式工作的分组交换网。ALOHANET 使用的是一个共用的无线电信道,支持多个结点对

一个共享的无线信道的“多路访问”。ALOHANET 中心结点是一台位于 Oahu 岛校园的 IBM 360 主机,它要通过学校的无线通信网与分布在各个岛屿的计算机终端通信。最初设计时的数据传输速率为 4800bps,以后提高到 9600bps。ALOHANET 的信道方向的规定是以 IBM 360 主机为基准,从 IBM 360 主机到终端的无线通信信道为下行信道,而从终端到 IBM 360 主机的无线通信信道为上行信道。下行信道是一台 IBM 360 主机向多个终端通过广播方式发送数据,因此不会出现冲突。但是,当多个终端利用上行信道向 IBM 360 主机传输数据时,就可能出现两个或两个以上的终端同时争用一个通信信道而产生“冲突”的情况。解决“冲突”的办法只有两种:一种是集中控制的方法,另一种是分布控制的方法。集中控制是一种传统的方法,需要在系统中设置一个中心控制结点,由中心控制结点决定哪个终端中可以使用共用的上行信道发送数据,从而避免出现多个终端争用一个上行信道的“冲突”。但是,由于系统中存在着一个控制中心,因此控制中心会成为系统性能与可靠性瓶颈。ALOHANET 采用的是分布式控制方法。

3.1.2 Ethernet 的产生与发展

Bob Metcalfe 对 Ethernet 的产生作出了重大的贡献。他在夏威夷大学无线分组广播网 ALOHANET 的基础上,提出了一种总线型局域网的设计思想。图 3-2 就是被称为“Ethernet 之父”的 Bob Metcalfe。

1946 年 Bob Metcalfe 生于纽约州布鲁克林。他在 MIT 获电子工程与工商管理双学位,后又获哈佛应用数学硕士和计算机科学博士学位。Bob Metcalfe 曾在 MIT 的一个 ARPANET 相关项目中,负责设计将 MIT 的小型机连接到 ARPANET 的硬件 IMP 设备,这为以后在网络接口设备的设计方面打下了坚实基础。在读完博士课程之后的 3 个月中,他访问了夏威夷大学的 Norman Abramson 和其他的 ALOHANET 研究人员,获得了第一手资料并受到很大启发。他在修改 ALOHANET 工作模型的基础上,提出了“冲突检测”、“载波侦听”机制与“随机后退延迟算法”,并以此作为在博士论文的主要内容通过了论文答辩。

1972 年 Bob Metcalfe 在 Xerox 公司的 PARC 计算机实验室工作时,主要研究任务是如何将他们的第一台个人计算机 Alto 和第一台激光打印机 EARS 互联起来。1972 年底 Bob Metcalfe 和同事 David Boggs 开发出第一个实验性的局域网系统,实验系统的数据传输率达到 2.94Mbps。

1973 年 5 月 22 日, Metcalfe 与 Boggs 在“Alto Ethernet”中提出了 Ethernet 网工作原理设计方案。他们受到 19 世纪物理学家解释光在空间中传播的介质“以太(ether)”的影响,把这种局域网命名为 Ethernet 网。图 3-3 为最早的 Ethernet 原理设计图。



图 3-2 Ethernet 之父 Bob Metcalfe

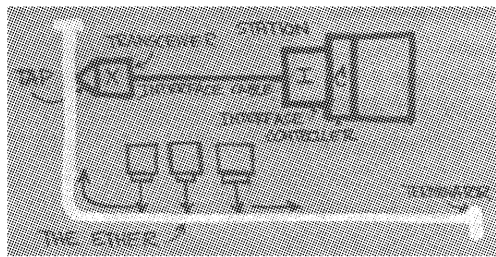


图 3-3 最早的 Ethernet 原理设计图

1976年7月, Metcalfe 与 Boggs 发表了具有里程碑意义的论文“Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks”。Ethernet 核心技术是介质存取访问控制方法 CSMA/CD。CSMA/CD 方法用来解决多结点如何共享共用总线的问题。在 Ethernet 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,并且网中不存在集中控制的结点,网中结点都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, Metcalfe 和同事们共同申请了 Ethernet 专利。

1978年,他们研制的 Ethernet 中继器 repeater 获得了专利。

1980年, Xerox、DEC 与 Intel 等公司合作,第一次公布了 Ethernet 的物理层、数据链路层规范。

1981年, Ethernet V2.0 规范公布。IEEE 802.3 标准是在 Ethernet V2.0 的基础上制定的,它的制定推动了 Ethernet 技术的发展。

1982年,第一片支持 IEEE 802.3 标准的超大规模集成电路芯片——Ethernet 控制器问世。很多软件公司开发出支持 802.3 标准的网络操作系统及各种应用软件。

尽管 Ethernet 技术已获得重大的成功,但是它的发展道路也是很艰难的。1980年左右, Ethernet 网络技术是有争议的。当时,还有 IBM 公司研究的令牌环(Token Ring)网,以及通用汽车公司为实时控制系统设计的令牌总线(Token Bus)网,三者之间竞争非常激烈。早期的 Ethernet 使用的传输介质(同轴电缆)的造价比较高。1990年, IEEE 802.3 标准中的物理层标准 10Base-T 的推出,使普通双绞线可以作为 10Mbps 的 Ethernet 传输介质。在使用普通双绞线以后, Ethernet 组网的造价降低,性能价格比大大提高,这就使 Ethernet 在与其他局域网竞争中占据了明显优势。同年, Ethernet 交换机产品面世,标志着交换式 Ethernet 的出现。

1993年, Kalpana 研究了全双工 Ethernet,它改变了传统 Ethernet 依靠单根传输介质的半双工的工作模式,使得 Ethernet 的带宽增加了一倍。在此基础上,利用光纤作为传输介质的物理层标准 10Base-F 和产品的推出,使得 Ethernet 技术最终从三足鼎立中脱颖而出。

开放的 Ethernet 技术与标准,使它得到软件开发商与硬件制造商的广泛支持。网络操作系统 NetWare、Windows NT Server、IBM LAN Server 及 UNIX 操作系统的应用,使得 Ethernet 技术进入了成熟阶段。

3.1.3 高速 Ethernet 技术的发展

促进局域网发展的直接因素是个人计算机的广泛应用。在过去 20 年中,计算机的处理速度已经提高了百万倍,但是网络数据传输速率只提高了上千倍。从理论上来说,一台微通道或 ISA 总线的微型机能产生大约 250Mbps 的流量,如果 Ethernet 仍保持 10Mbps 的数据传输速率,显然是不能适应的。

个人计算机的处理速度迅速上升,而价格却在很快下降,这进一步促进了个人计算机的广泛应用。大量用于办公自动化与信息处理的计算机必然要联网,这就造成局域网规模的不断增大和网络通信量的进一步增加。因此,局域网的带宽与性能已不能适应要求。各种新的应用不断提出,个人计算机已从初期简单的文字处理、信息管理等应用发展到分布式计

算、多媒体应用,用户对局域网的带宽与性能也有了更高的要求。同时,新的基于 Web 的 Internet/Intranet 应用也要求更高的带宽。这些因素促使人们研究高速局域网技术,希望通过提高局域网的带宽来改善局域网的性能,以适应各种新的应用环境的要求。

传统的局域网技术建立在“共享介质”的基础上,网中的所有结点共享一条共用的通信传输介质,典型的介质访问控制方法是 CSMA/CD、Token Ring 与 Token Bus。介质访问控制方法用来保证每个结点都能“公平”地使用传输介质。在网络技术的讨论中,人们经常将数据传输速率称为信道带宽。例如, Ethernet 的数据传输速率为 10Mbps,那么它的带宽为 10Mbps。可以粗略做一个估算,如果局域网中有 N 个结点,那么每个结点平均能分配到的带宽为 $10/N(\text{Mbps})$ 。显然,随着局域网规模的不断扩大,结点数 N 的不断增加,而带宽不变,那么每个结点平均能分配到的带宽将越来越少。也就是说,当网络结点数 N 增大时,网络通信负荷加重,冲突和重发次数将大幅增长,网络线路的利用率急剧下降,网络传输延迟明显增加,网络服务质量将会显著下降。

为了克服网络规模与网络性能之间的矛盾,人们提出了以下三种可能的解决方案。

(1) 提高 Ethernet 的数据传输速率,从 10Mbps 提高到 100Mbps,甚至提高到 1Gbps 或 10Gbps,这就导致了高速局域网技术的研究。在这个方案中,无论局域网的传输速率提高到 100Mbps 还是 10Gbps,甚至是 100Gbps,它们的 Ethernet 帧结构都应该基本保持不变。

(2) 将一个大型局域网划分成多个用网桥或路由器互联的小型局域网,这就导致了局域网互联技术的发展。网桥与路由器可以隔离局域网之间的交通量,使每个局域网作为一个独立的小型网络。通过减少每个网络内部结点数 N 的方法,使每个局域网的网络性能得到改善,而每个局域网的介质访问控制仍采用 CSMA/CD 方法。

(3) 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发展。交换局域网的核心设备是局域网交换机,它可以在多个端口之间同时建立多个并发连接。

第三种方案的提出,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)。

1995 年,传输速率为 100Mbps 的 fast Ethernet 标准和产品推出。1998 年传输速率为 1Gbps 的 Gigabit Ethernet 标准推出。1999 年 Gigabit Ethernet 的产品问世,并成为局域网主干网的首选方案。2002 年数据传输速率为 10Gbps 的 Ethernet 标准正式通过。预计 2009~2010 年将完成数据传输速率为 100Gbps 的 Ethernet 标准与技术的研究。这些都进一步增强了 Ethernet 在局域网应用中的竞争优势。在局域网工程领域中,人们经常将 fast Ethernet、gigabit Ethernet 与 10Gbps 的 Ethernet 简称为 FE、GE 与 10GE,而把 10Mbps 的 Ethernet 简称为传统 Ethernet。Ethernet 技术的发展过程可以用图 3-4 表示。

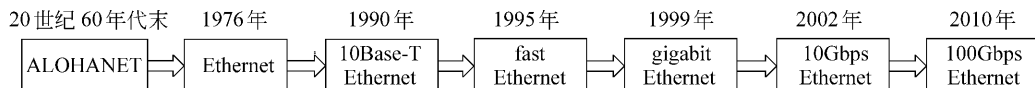


图 3-4 Ethernet 技术的发展过程

2006 年 IEEE 成立了研究组着手速率为 100Gbps 的高速 Ethernet 标准与实现技术的研究,计划在 2010 年完成该项研究。

3.1.4 局域网参考模型与协议标准

1. 局域网参考模型

当局域网技术开始日渐成熟的时候,人们开始考虑它的参考模型和协议标准化的问题。在这段时间中,不断有文章批评 OSI 参考模型在设计中没有考虑局域网,并提出修正和补充 OSI 参考模型。现在看来是非常自然的事,因为当年在研究 OSI 参考模型时,主要需要解决的问题是:位于世界任何地方、任意一个网络中的计算机如何相互通信。不但要解决一个网络内部结点之间的通信问题,更重要的是要解决网络之间的互连、互通与互操作问题。要解决这类问题,系统必须具备完整的 7 层协议。

为了解决协议标准化问题,1980 年 2 月 IEEE 成立了专门从事局域网标准化工作的 IEEE 802 委员会。IEEE 802 标准研究的重点是要解决在一个局部地区范围内的计算机组网问题。因此研究者只需面对 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局域网协议研究的范围。这就是最终的 IEEE 802 标准只制定了对应 OSI 参考模型的数据链路层与物理层协议的原因。

1980 年成立 IEEE 802 委员会的时候,局域网领域中已经有三类典型的技术与产品,即 Ethernet、Token Bus、Token Ring。同时,市场上还有很多不同厂家的局域网产品,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协议模型,IEEE 802 标准的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。不同的局域网在 MAC 子层和物理层可以采用不同协议,而在 LLC 子层必须采用相同的协议。这点与网络层 IP 协议的设计思路很类似。不管局域网的介质访问控制方法与帧结构,以及采用的物理传输介质有什么不同,LLC 子层统一将它们封装到固定结构的 LLC 帧中。LLC 子层与低层具体采用的传输介质、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。

现在看来这种设计思想是成功的。这个划分两个子层的参考模型已成为局域网的标准。图 3-5 给出了 IEEE 802 参考模型与 OSI 参考模型的对应关系。

从目前局域网的实际应用情况来看,几乎所有在办公自动化中大量应用的局域网环境,例如企业网、办公网、校园网都采用了 Ethernet 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,而直接将数据封装在 Ethernet 的 MAC 帧结构中。网络层 IP 协议直接将分组封装到 Ethernet 帧中,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。目前教科书与文献也已经不再讨论 LLC 协议的问题。

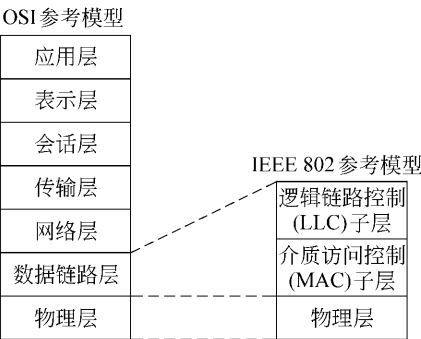


图 3-5 IEEE 802 参考模型与 OSI 参考模型的对应关系

2. IEEE 802 协议标准

IEEE 802 委员会为了制定局域网标准而成立了一系列组织,例如制定某类协议的工作组(WG)或技术行动组(TAG)。它们研究和制定的标准统称为 IEEE 802 标准。随着局域网技术的发展,IEEE 802.4WG、IEEE 802.6WG、IEEE 802.7WG、IEEE 802.12WG 等工作组已停止工作。目前,最活跃的工作组是 IEEE 802.3WG、IEEE 802.10WG、IEEE 802.11WG 等。

IEEE 802 委员会公布了很多标准,这些协议可以分为三类。

- (1) 定义了局域网体系结构、网络互联,以及网络管理与性能测试的 IEEE 802.1 标准。
- (2) 定义了逻辑链路控制 LLC 子层功能与服务的 IEEE 802.2 标准。
- (3) 定义了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,应用最多和正在发展的标准主要有 4 个,其中 3 个是无线局域网的标准,而其他标准目前已经很少使用。图 3-6 给出了一个简化的 IEEE 802 协议结构。



图 3-6 IEEE 802 协议结构

定义不同介质访问控制的 IEEE 802 标准有以下 4 个。

- IEEE 802.3 标准: 定义 CSMA/CD 总线介质访问控制子层与物理层标准。
- IEEE 802.11 标准: 定义无线局域网访问控制子层与物理层的标准。
- IEEE 802.15 标准: 定义近距离个人无线网络访问控制子层与物理层的标准。
- IEEE 802.16 标准: 定义宽带无线局域网访问控制子层与物理层的标准。

对局域网技术研究与应用的实际情况进行总结,可以归纳出以下几个重要的发展趋势。

- (1) Ethernet 已经占据了绝对的优势,已成为办公自动化环境组建局域网的首选技术。
- (2) 在大型局域网系统中,桌面系统采用传统 10Mbps 的 Ethernet 或 100Mbps 的 FE,主干网采用 1Gbps 的 GE 技术,核心交换网采用 10Gbps 的 10GE 技术成为一种趋势。
- (3) 传统 10Mbps 的 Ethernet 物理层有多种标准,目前基本只使用非屏蔽双绞线的 10Base-T 标准。
- (4) IP 协议直接与 Ethernet 帧接口,LLC 帧协议已经很少使用。
- (5) GE 与 10GE 保留了传统的 Ethernet 帧结构,但是它们在主干网或核心网应用时,基本上采用光纤作为传输介质,采用点到点的全双工通信方式,而不是传统的 CSMA/CD 的随机争用方式。
- (6) GE 与 10GE 技术已经发展成熟,并已从局域网应用逐步扩大到城域网与广域网中。
- (7) 速率为 100Gbps 的高速 Ethernet 标准与实现技术正在的研究之中。
- (8) 无线局域网技术将成为下一阶段研究与应用的焦点。

3.2 对 Ethernet 核心技术的理解

由于 Ethernet 技术应用得非常广泛,世界上已有几亿个 Ethernet 结点在使用,因此它已经成为局域网的主流技术。在传统 Ethernet 技术基础上发展起来的高速局域网(FE、GE 与 10GE),已经成为覆盖校园网、大型企业网的主流技术,并且已开始应用于城域网与广域网中。因此,学习局域网必须深入研究 Ethernet 的技术特点,这也为进一步学习城域网技术打下良好的基础。

3.2.1 ALOHANET 与 Ethernet

Ethernet 的核心技术是介质存取控制方法 CSMA/CD,而它的设计思想则来源于 ALOHANET。ALOHANET 协议的设计思想很简单,它允许网络中任何一个结点可以随时发送数据,但是在数据发送后需要确认是否发生冲突。如果在一段时间(如 $0.2 \sim 1.5 \mu\text{s}$)内没有收到确认,那么发送结点就认为有另一个或多个结点在同一时刻也在传送数据,即出现了“冲突”现象。“冲突”的结果是任何一个接收结点收到的信号是多个结点发送信号的叠加,叠加后的信号波形将不等于任何一路发送的信号波形,因此接收结点不可能接收到有效的数据信号,这样多个结点此次发送都失败。这时,发生冲突的多个结点需要各自随机后退一个延迟时间,并再次发送数据直至成功发送为止。因此,ALOHANET 属于一种随机争用型的系统。

ALOHANET 系统给人们一个启示,那就是:在局部范围内完全可以采用一种简单的方法来控制多个结点利用一条共用的信道传输数据信号。Bob Metcalfe 对 Ethernet 原理的研究作出了重大贡献,他在美国夏威夷大学无线分组广播网 ALOHANET 的基础上,提出了一种总线型局域网的设计思想。^[7,14]

3.2.2 CSMA/CD、Token Bus 与 Token Ring 特点的比较

学习局域网技术必然涉及到对三种主要局域网类型的比较。这三种局域网类型是:符合 IEEE 802.3 标准的 Ethernet、符合 IEEE 802.4 标准的令牌总线网与符合 IEEE 802.3 标准的令牌环网。

1. CSMA/CD、Token Bus 与 Token Ring 的共同之处

(1) 对于这三种类型的局域网,它们共同遵循 IEEE 802 体系结构,也就是说都是按物理层、介质访问控制子层与逻辑链路控制子层的层次结构模型来设计。它们的物理层、介质访问控制子层不同,而在逻辑链路控制子层采取相同的协议标准。

(2) 它们在数据传输技术上都采用以广播方式共享的共用传输介质。传输介质类型主要有双绞线、同轴电缆与光纤。

(3) 决定它们性能的三个因素同样是:拓扑、传输介质与介质访问控制方法。

(4) 影响局域网性能与应用领域的主要因素是所采用的介质访问控制方法。三种局域网都采用了分布式访问控制方法,在网络中没有集中控制结点。

(5) 介质访问控制方法是指控制多个结点利用共用传输介质发送和接收数据的方法,

它是所有“共享介质”类型的局域网都必须解决的共性问题。介质访问控制方法要解决以下几个问题：该哪个结点发送数据？发送时会不会出现冲突？出现冲突时怎么办？

2. CSMA/CD、Token Bus 与 Token Ring 的结构特点

图 3-7～图 3-9 分别给出了总线型、Token Bus 与 Token Ring 的结构与工作原理。从网络的物理结构的角度来看,CSMA/CD 与 Token Bus 都是针对总线结构的局域网设计的,而 Token Ring 是针对环状拓扑的局域网设计的。

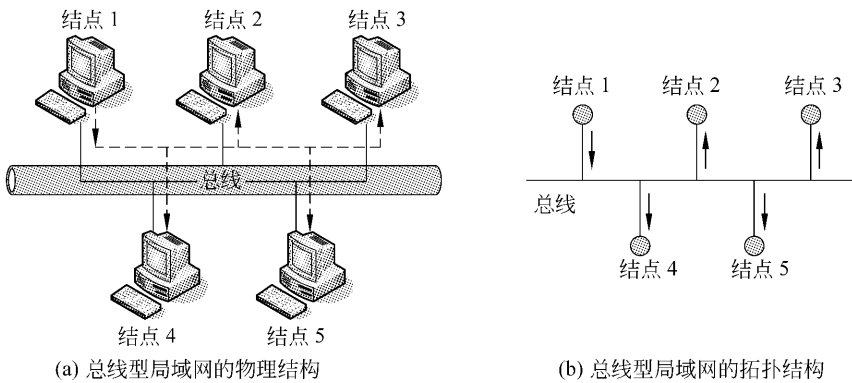


图 3-7 总线型局域网结构与工作原理

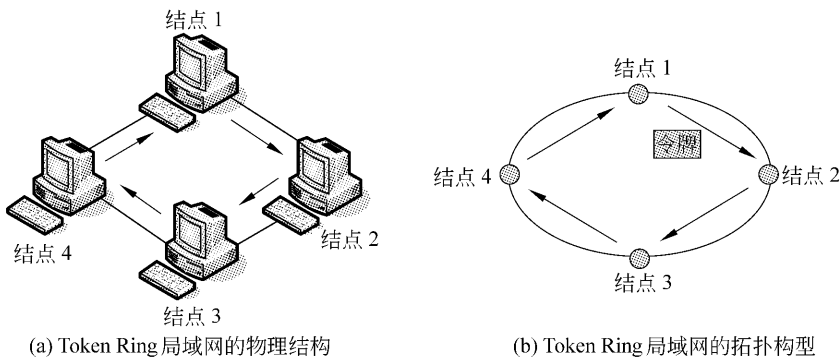


图 3-8 Token Ring 结构与工作原理

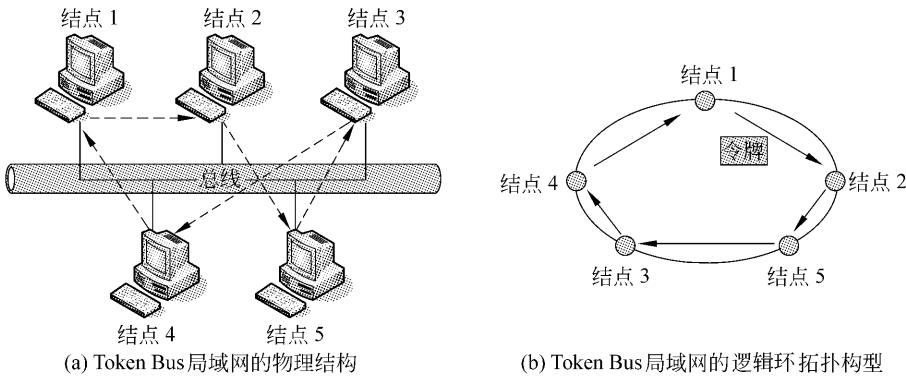


图 3-9 Token Bus 结构与工作原理

1) CSMA/CD 总线型局域网的特点

在采用 CSMA/CD 方式的总线型局域网中,所有结点都通过网卡直接连接到一条作为共用传输介质的总线上,所有结点都可以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传输介质以“广播”方式发送数据时,其他的结点只能以“收听”方式接收数据;由于总线作为共用传输介质为多个结点共享,就有可能出现同时有两个或两个以上结点通过总线发送数据的情况,因此会出现“冲突”(collision)造成传输失败。“冲突”的存在必然会浪费总线的带宽,解决多个结点访问总线的介质访问控制方法很容易用电子学的方法实现。因此,从介质访问控制方法的性质来看,CSMA/CD 属于随机型介质访问控制方法。由于早期的共享传输介质是同轴电缆,因此人们将共享的传输介质(同轴电缆)称为一个“缆段”,连接在一条“缆段”的结点共享一个“冲突域”或“广播域”。

2) 令牌环局域网的特点

IEEE 802.5 标准定义了总线拓扑的令牌环网介质访问控制方法与相应的物理规范。令牌环网中的计算机通过网卡和点-点线路,逐个连接构成闭合的环状结构。环中数据沿着一个方向绕环逐站传输。令牌是一种特殊的 MAC 控制帧。令牌帧中有一位标志令牌的忙/闲。当环正常工作时,令牌总是沿着物理环单向逐站传送,传送顺序与结点在环中排列的顺序相同。如果结点 1 有数据帧需要发送,它必须等待空闲令牌的到来。当结点 1 获得空闲令牌之后,它将令牌标志位由“闲”变为“忙”,然后传送数据帧。结点 2、3、4、5 将依次接收到数据帧。如果该数据帧的目的地址是结点 3,则结点 3 在正确接收该数据帧后,在帧中标志出帧已被正确接收和复制。当结点 1 重新接收到自己发出的、已被目的结点正确接收的数据帧时,它将回收已发送出去的数据帧,并将忙令牌改成空闲令牌,再将空闲令牌向它的下一结点传送。令牌环控制方式的特点是:环中结点访问延迟确定,支持优先级服务,适用于重负载环境。令牌环控制方式的缺点主要是:环维护复杂,实现比较困难。

3) 令牌总线局域网的特点

IEEE 802.4 标准定义了总线拓扑的令牌总线介质访问控制方法与相应的物理规范。令牌总线是一种在总线拓扑中利用令牌作为控制结点访问共用传输介质的确定型介质访问控制方法。在采用令牌总线的局域网中,任何一个结点只有在取得令牌后才能使用共享总线去发送数据。令牌是一种特殊结构的控制帧,用来控制结点对总线的访问权。与令牌环相同的是:令牌总线的结点访问延迟时间有确定值;通过令牌协调各结点之间的通信关系,各结点之间不会发生冲突,在重负载情况下信道的利用率高;支持优先级服务。但是,与 CSMA/CD 方法相比,令牌总线方法比较复杂,需要完成大量的环维护工作,并且必须有一个或多个结点协作来完成环维护工作。

3. CSMA/CD 与 Token Bus、Token Ring 的比较^[11]

与确定型介质访问控制方法 Token Bus、Token Ring 比较,CSMA/CD 方法有以下几个主要的特点。

(1) CSMA/CD 介质访问控制方法算法简单,并且易于实现。目前,有多种 VLSI 可以实现 CSMA/CD 方法,这样有利于降低 Ethernet 成本和扩大应用范围。

(2) CSMA/CD 是一种用户访问总线时间不确定的随机竞争总线的方法,适用于办公

自动化等对数据传输实时性要求不严格的应用环境。

(3) CSMA/CD 在网络通信负荷较低时表现出较好的吞吐率与延迟特性。但是,当网络通信负荷增大时,由于冲突增多,网络吞吐率下降、传输延迟增加,因此 CSMA/CD 方法一般用于通信负荷较轻的应用环境中。

与随机型介质访问控制方法 CSMA/CD 比较,确定型介质访问控制方法 Token Bus、Token Ring 有以下几个主要的特点。

(1) Token Bus 或 Token Ring 网中结点两次获得令牌之间的最大间隔时间确定,因此适用于对数据传输实时性要求较高的应用环境(例如生产过程控制)。

(2) Token Bus 与 Token Ring 在网络通信负荷较重时,表现出很好的吞吐率与较低的传输延迟,因此适用于通信负荷较重的应用环境。

(3) Token Bus 与 Token Ring 不足之处是都需要复杂的环境维护功能,实现起来比较困难。

4. CSMA/CD、Token Bus 与 Token Ring 性能的分析与比较

图 3-10 给出了 Token Bus、Token Ring 与 CSMA/CD 方法在不同网络通信负荷情况下实际能达到的数据传输速率的比较。图 3-10 的

横坐标与纵坐标的单位均为 Mbps。曲线的测试条件是:三种局域网都传输长度为 2000b 的帧,网络中有 100 个结点,并且 100 个结点都在利用共享的传输介质发送数据帧。图中的横坐标表示网络的数据传输速率(单位是 Mbps),它实际上表示的是不同的物理层数据帧的发送时钟。因为如果物理层发送一个比特的时间是 $0.1\mu\text{s}$,那么它对应的数据传输速率为 10Mbps。图中的纵坐标表示网络实际能成功发送数据帧的最大数据传输速率(单位是 Mbps)。由于发送时存在冲突而必须采用介质访问控制方法,因此网络实际能成功发送数据帧的最大数据传输速率,反映了不同的介质访问控制方法对信道利用率的影响。我们可以比较在数据传输速率为 10Mbps 时,使用 CSMA/CD 方法的网络最大可以达到的数据传输速率大约为 4.47Mbps;使用 Token Bus 方法的网络最大可以达到的数据传输速率大约为 8.94Mbps;使用 Token Ring 方法的网络最大可以达到的数据传输速率大约为 9.41Mbps。

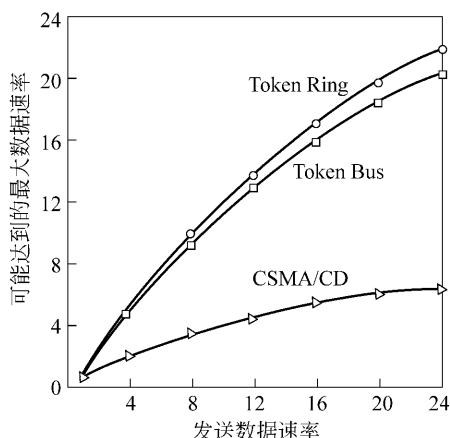


图 3-10 不同通信负荷的实际数据传输速率的比较

从对图 3-10 的分析中,可以得出以下两个重要的结论。

(1) 在使用 CSMA/CD 方法的 Ethernet 网中,假设有 100 个结点,每一个结点都以 10Mbps 的数据传输速率发送长度为 1000b 的帧,可能由于碰撞而造成帧的发送失败,实际能利用共享传输介质成功发送的数据最多为 4.47Mbps。也就是说,在这样的网络负载的条件下,对于数据传输速率为 10Mbps 的 Ethernet 网,能够成功发送数据的实际速率最多可达到 4.47Mbps。