

第5章 局 域 网

本章学习目标

- 掌握局域网常见的拓扑结构以及局域网常见的传输介质。
- 掌握局域网的体系结构。
- 掌握常见的局域网类型。
- 熟悉以太网技术。
- 掌握广播域、冲突域的概念。
- 熟悉以太网帧结构,掌握以太网 MAC 帧格式分析实验。
- 熟悉虚拟局域网 VLAN 技术,掌握交换机 VLAN 划分实验。
- 掌握交换机自学习功能实验。

本章主要讲解局域网相关知识,详细讲解局域网拓扑结构,介绍局域网常见的传输介质,探讨局域网的体系结构,分析常见的局域网类型。

本章重点讲解以太网技术,分析冲突域和广播域的概念,接着分析以太网的帧结构,并通过实验验证以太网 MAC 帧格式,分析以太网扩展技术。本章最后详细分析虚拟局域网 VLAN 技术,并通过实验实现交换机 VLAN 技术。

5.1 局域网技术概述

局域网(Local Area Network, LAN)是指在某一区域内由多台计算机互连组成的计算机组,覆盖范围比较小,通常十千米左右,是局部范围内的小规模的计算机网络,如一个实验室、一栋建筑、一个学校等。现在局域网使用非常广泛,学校和企业大都拥有校园网或企业网。局域网可以实现文件管理、应用软件共享、打印机共享等。常见的局域网类型有以太网、令牌环、令牌总线、FDDI 以及无线局域网等。

拓扑结构和传输介质决定了各种局域网的特点。常见的局域网拓扑结构有总线型、环形、星形以及树形。常见的局域网有线传输介质有同轴电缆、双绞线以及光纤,无线传输介质有无线电波、微波、红外线等。局域网的相关标准由 IEEE 802 委员会制定。

出于有关厂商在商业上的激烈竞争,IEEE 802 委员会未能形成一个统一的、“最佳的”局域网标准,而是被迫制定了几个不同的局域网标准,如 802.3 以太网标准、802.4 令牌总线网(Token-Bus)标准、802.5 令牌环网(Token-Ring)标准以及 802.11 无线局域网标准等。

5.1.1 局域网的拓扑结构

局域网常见的拓扑结构有总线型、环形、星形、树形。

1. 总线型

最初的局域网使用同轴电缆进行组网,采用总线型拓扑,一条链路通过 T 形接口连接

多个网络设备,链路上的两个计算机通信,同轴电缆会把承载该帧的数字信号传送到所有终端,链路上的所有计算机都能收到(所以称为广播信道)。要在这样的广播信道实现点到点通信,需要给发送的帧添加源地址和目的地址,这就要求网络中的每个计算机的网卡有唯一的一个物理地址(即 MAC 地址),仅当帧的目的 MAC 地址和计算机的网卡 MAC 地址相同,网卡才接收该帧,对于不是发给自己的帧,则丢弃。这和点到点链路不同,点到点链路的帧不需要源 MAC 地址和目的 MAC 地址。

总线型网络结构必须解决的问题是,确保端用户使用媒体发送数据时不会出现冲突。它通过 CSMA/CD 解决碰撞问题。

总线型结构的网络中,总线的两端连接有终结器(电阻),作用是与总线进行阻抗匹配,最大限度吸收传送到端部的能量,避免信号反射回总线而产生不必要的干扰。总线型局域网如图 5.1 所示。

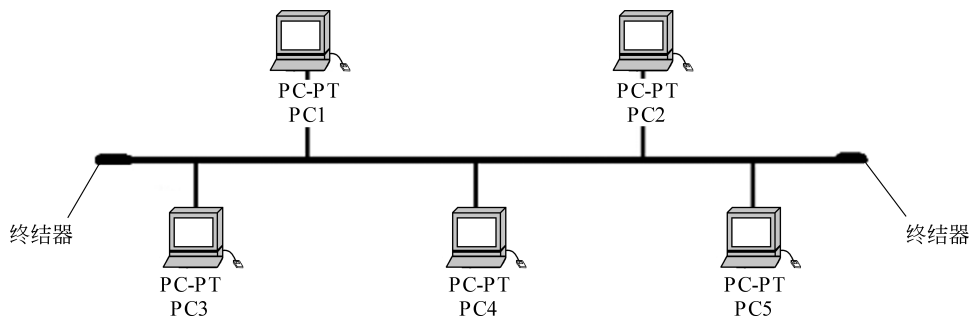


图 5.1 总线型局域网

2. 环形

环形结构由连接成封闭回路的网络结点组成,每个结点与它左右相邻的结点连接。环形局域网如图 5.2 所示。环形局域网的一个典型代表是令牌环局域网。这种网络结构最早由 IBM 推出,被其他厂家采用。在令牌环局域网中,拥有“令牌”的设备允许在网络中传输数据,这样可以保证在某一时间内网络中只有一台设备可以传送信息。在环形网络中,信息流只能是单方向的,每个收到信息包的站点都向它的下游站点转发该信息包。信息包在环形网络中“旅行”一圈,最后由发送站回收。

这种网络结构中的设备是直接通过电缆串接的,最后形成一个闭环,整个网络发送的信息都在这个环中传递。

3. 星形

星形结构局域网是指各工作站以星形方式连接成网。网络有中央结点,便于集中控制,端用户之间的通信必须经过中央结点。星形局域网如图 5.3 所示。

4. 树形

树形网络可以认为由多级星形结构组成,这种多级星形结构自上而下呈三角分布,就像一棵树,最顶端的枝叶少,中间多,最下面最多。树的最下端相当于网络的接入层,树的中间部分相当于网络的汇聚层,树的最顶端相当于网络的核心层。树形局域网如图 5.4 所示。

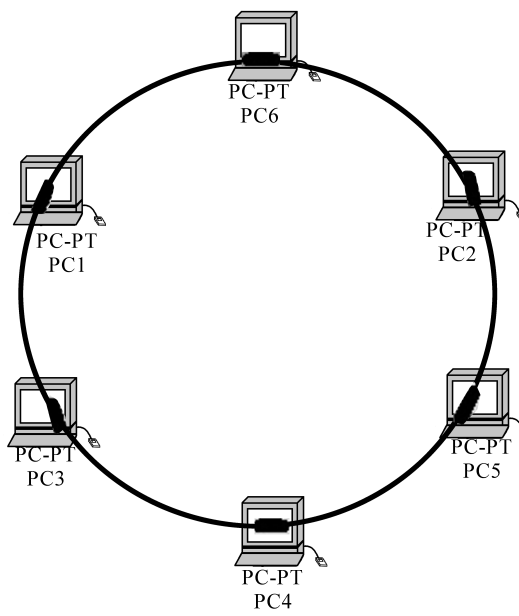


图 5.2 环形局域网

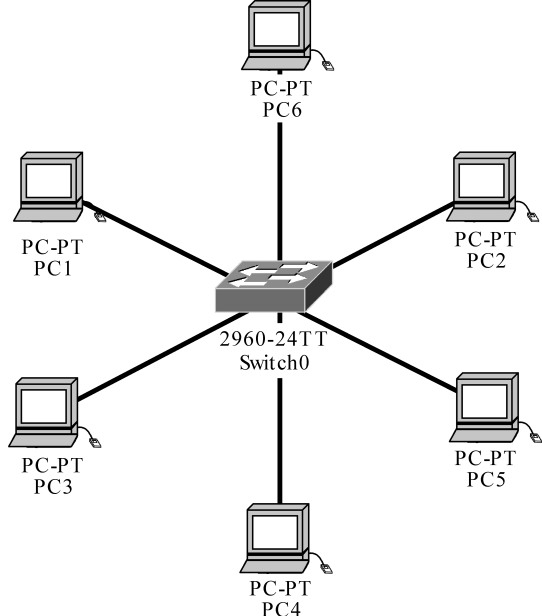


图 5.3 星形局域网

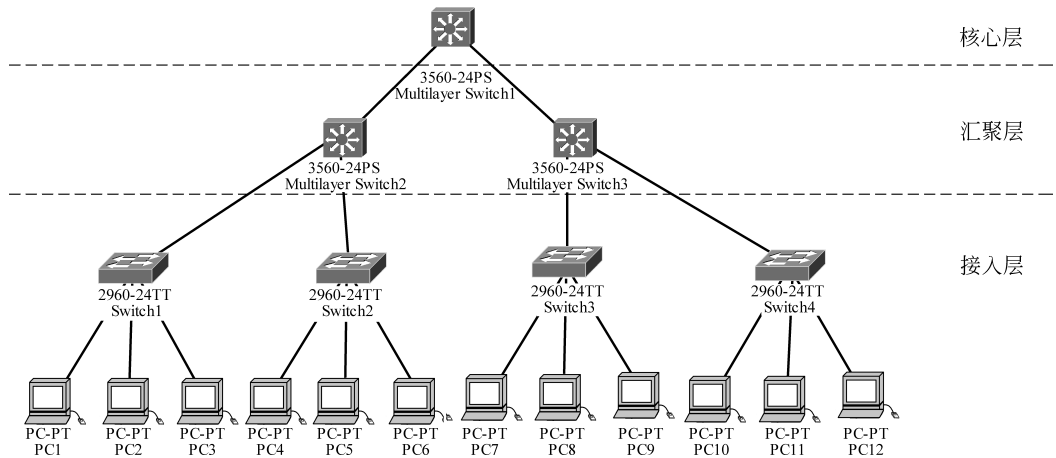


图 5.4 树形局域网

5.1.2 局域网的传输介质

局域网的传输介质分为有线传输介质和无线传输介质两类。其中有有线传输介质有同轴电缆、双绞线、光缆，无线传输介质有无线电波、微波以及红外线等。有线传输介质用于有线局域网中，无线传输介质用于无线局域网中。

1. 同轴电缆

同轴电缆主要用于总线型拓扑结构的局域网中，在局域网发展初期曾广泛使用，但随着技术的进步，在局域网领域基本上都采用双绞线。

同轴电缆也应用于环形拓扑结构的局域网中。环形结构的网络形式主要应用于令牌网

中,这种网络结构中的设备是直接通过同轴电缆(或光缆)串接的,最后形成一个闭环。

目前,同轴电缆主要用在有线电视网的居民小区中。同轴电缆的带宽取决于电缆的质量。

2. 双绞线

现在的局域网基本上都采用双绞线作为传输介质。目前广泛采用的局域网拓扑结构有星形结构、树形结构等。这些拓扑结构使用的基本上都是双绞线。令牌环网也可采用双绞线作为传输介质。

3. 光缆

光缆可用于环形拓扑结构局域网中,该拓扑结构目前已很少使用。目前,树形结构局域网的主干中通常使用光纤实现远距离传输。在局域网的星形和树形拓扑结构中,光纤到桌面应该是将来发展的趋势。

4. 无线传输介质

无线传输介质应用于无线局域网中,本课程不讨论无线局域网相关知识。

5.1.3 局域网体系结构

局域网体系结构仅涉及 OSI 七层体系结构的低两层,即物理层和数据链路层,或 TCP/IP 体系结构的网络接口层。考虑到局域网类型多,制定的局域网标准多,为了使数据链路层能更好地适应多种局域网标准,IEEE 802 委员会把局域网的数据链路层拆分成两个子层。即逻辑链路控制(Logical Link Control)子层和媒体接入控制(Medium Access Control,MAC)子层。局域网体系结构与 OSI 参考模型的对应关系如图 5.5 所示。

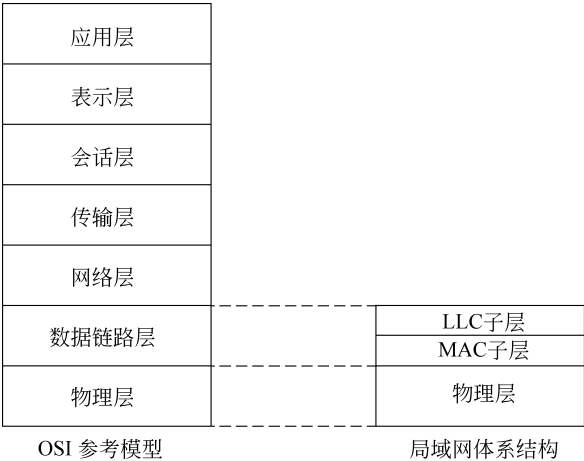


图 5.5 局域网体系结构与 OSI 参考模型的对应关系

20 世纪 90 年代后,激烈竞争的局域网市场逐渐明朗,以太网在局域网市场中取得垄断地位,几乎成了局域网的代名词,由于互联网的发展,TCP/IP 体系支持的局域网为 DIX Ethernet V2(DEC、Intel 和 Xerox 联合提出的以太网标准),而该标准中不支持 LLC 子层。因此,IEEE 802 委员会制定的 LLC 子层(即 IEEE 802.2 标准)的作用已经消失。很多厂商生产的适配器上仅装有 MAC 协议,而没有 LLC 协议,因此现在讨论局域网就不再考虑

LLC 子层。

5.2 常见的局域网类型

常见的局域网类型有：令牌环网、令牌总线网、FDDI 网以及以太网等。

5.2.1 令牌环网

令牌环网(Token-Ring network)常用于 IBM 系统中,在该网络中有一种专门的帧称为“令牌”,在环路上持续传输确定一个结点何时可以发送数据。

令牌环网是 IBM 公司 20 世纪 70 年代发展的,目前这种网络很少见。令牌环网的媒体接入控制机制采用的是分布式控制模式的循环方法。在令牌环网中有一个令牌(Token)沿着环形总线在入网结点计算机间依次传递,令牌实际上是一个特殊格式的帧,本身并不包含信息,仅控制信道的使用,确保在同一时刻只有一个结点能够独占信道。当环上结点都空闲时,令牌绕环行进。结点计算机只有取得令牌后才能发送数据帧,因此不会发生碰撞。由于令牌在令牌环网上是按顺序依次传递的,因此对所有入网计算机而言,访问权是公平的。

令牌在工作中有“闲”和“忙”两种状态。“闲”表示令牌没有被占用,即网中没有计算机在传送信息;“忙”表示令牌已被占用,即网中有信息正在传送。希望传送数据的计算机必须首先检测到“闲”令牌,将它置为“忙”状态,然后在令牌后面传送数据。当所传数据被目的结点计算机接收后,数据被从网络中除去,令牌被重新置为“闲”。令牌环网上传送的信号是差分曼彻斯特编码信号。

令牌环网的缺点是需要维护令牌,一旦失去令牌,就无法工作,需要选择专门的结点监视和管理令牌。由于以太网技术发展迅速,所以令牌环网存在固有的缺点。令牌环网在整个局域网中已不多见,生产令牌环网设备的厂商也退出了市场。

5.2.2 令牌总线网

令牌总线(Token-Bus)网类似令牌环网,是一个使用令牌通过接入一个总线拓扑的局域网架构。令牌总线被 IEEE 802.4 工作组标准化,它是一种在总线拓扑结构中利用“令牌”(Token)作为控制结点访问公共传输介质的确定型介质访问控制方法。在采用令牌总线方法的局域网中,任何一个结点只有在取得令牌后,才能使用共享总线发送数据。当令牌传到某个结点后,如果该结点没有要发送的信息,就把令牌按顺序传到下一个结点。如果该结点需要发送信息,可以在令牌持有的最大时间内发送自己的一个帧或多个数据帧,信息发送完毕或者到达持有令牌最大时间时,结点必须交出令牌,把令牌传送到下一个结点。

令牌按照站点地址的序列号,从一个站点传到另一个站点。这个令牌实际上是按照逻辑环,而不是物理环进行传递。在数字序列的最后一个站点将令牌返回到第一个站点。这个令牌并不遵照连接到这条电缆的工作站的物理顺序进行传递。可能站点 1 在一条电缆的一端,而站点 2 在这条电缆的另一端,站点 3 却在这条电缆的中间。

令牌总线网在物理拓扑上是总线型的,在令牌传递上是环形的。在令牌总线网中,每个结点都有本结点的地址,以便接收其他站点传来的令牌(令牌按地址传送),同时,每个结点必须知道它的上一个结点和下一个结点的地址,以便令牌的传递能够形成一个逻辑环形。

令牌总线网与以太网的总线型结构使用的 CSMA/CD 方法相比,令牌总线方法比较复杂。

5.2.3 FDDI 网

FDDI(Fiber Distributed Data Interface)即光纤分布式数据接口,是一项局域网数据传输标准。FDDI 标准由 ANSI(American National Standards Institute,美国国家标准学会)制定,为网络高容量输入输出提供一种访问方法。FDDI 于 20 世纪 80 年代中期发展起来,它提供的高速数据通信能力高于当时的以太网(10Mb/s)和令牌网(4 或 16Mb/s)的能力。

FDDI 的访问方法与令牌环网的访问方法类似,在网络通信中均采用“令牌”传递。它与标准的令牌环又有所不同,主要在于 FDDI 使用定时的令牌环访问方法。FDDI 令牌沿网络环路从一个结点向另一个结点移动,如果某结点不需要传输数据,FDDI 将获取令牌并将其发送到下一个结点中。如果处理令牌的结点需要传输,那么在指定的称为“目标令牌循环时间”(Target Token Rotation Time,TTRT)的时间内,它可以按照用户的需求发送尽可能多的帧。因为 FDDI 采用的是定时的令牌方法,所以在给定时间中,来自多个结点的多个帧可能都在网络上,为用户提供高容量的通信。

由光纤构成的 FDDI 网,其基本结构为逆向双环。一个环为主环,另一个环为备用环。一个顺时针传送信息,另一个逆时针传送信息。当主环上的设备失效或光缆发生故障时,通过从主环向备用环的切换可继续维持 FDDI 的正常工作,这种容错能力是其他网络没有的。

FDDI 使用了比令牌环更复杂的方法访问网络。和令牌环一样,也需在环内传递一个令牌,而且允许令牌的持有者发送 FDDI 帧。和令牌环不同,FDDI 网络可在环内传送几个帧。

令牌接受传送数据帧的任务以后,FDDI 令牌持有者可以立即释放令牌,把它传给环内的下一个站点,无须等待数据帧完成在环内的全部循环。这意味着,第一个站点发出的数据帧仍在环内循环时,下一个站点可以立即开始发送自己的数据。

当时,FDDI 与 10Mb/s 的以太网和令牌环网相比,性能有很大改进,但是,随着快速以太网和千兆以太网技术的发展,用 FDDI 的人越来越少。因为 FDDI 使用的通信介质主要是光纤,这一点它比快速以太网及 100Mb/s 令牌环网传输介质要贵很多,然而,FDDI 最常见的应用是用作校园环境的主干网,以及提供对网络服务器的快速访问,所以 FDDI 技术并没有得到充分认可和广泛应用。

5.2.4 以太网

以太网(Ethernet)是一种计算机局域网技术。IEEE 组织的 IEEE 802.3 标准制定了以太网的技术标准。以太网是目前应用最普遍的局域网技术,取代了其他局域网技术,如令牌环、令牌总线以及 FDDI 等。

目前,以太网在局域网市场中已取得垄断地位,几乎成了局域网的代名词。因此,本章接下来重点探讨以太网技术。

5.3 以太网技术

以太网技术来自 Xerox 公司的 Palo Alto 研究中心的许多先锋技术项目中的一个。罗伯特·梅特卡夫(Robert Metcalfe)与他在 Xerox 公司 PARC(Palo Alto 研究中心)的同事们研究如何将 Xerox Alto 工作站与其他 Xerox Alto 工作站、服务器以及激光打印机相互联网。他们成功地用一个网络实现了 2.94Mb/s 的数据传输率的互联,并将此网络命名为 Alto Aloha 网络,Robert Metcalf 将此延伸至支持其他的计算机类型。人们通常认为以太网发明于 1973 年,当年 Robert Metcalfe 给他 PARC 的老板写了一篇有关以太网潜力的备忘录。但是,Robert Metcalfe 认为以太网是之后几年才出现的。1976 年,Robert Metcalfe 和他的助手 David Boggs 发表了一篇名为《以太网:局域计算机网络的分布式包交换技术》的文章。1977 年年底,Robert Metcalfe 和他的合作者获得了“具有冲突检测的多点数据通信系统”的专利。因为 Ether(以太)曾被科学家认为是电磁波在真空中的传输介质,而 Ethernet 就是以太网的意思,就是数据传输的网络。

1979 年,Robert Metcalfe 离开 Xerox 公司,成立了 3COM 公司。3COM 对 DEC、Intel 和 Xerox 进行游说,希望将以太网标准化。1980 年 9 月,DEC、Intel 和 Xerox 联合提出 10Mb/s 以太网规约的第一个版本 DIX v1(DIX 是这三个公司名称的缩写),1982 年修改为第二版规约,也是最后的版本,即 DIX v2。

IEEE 802 委员会的 802.3 工作组在 DIX v2 的基础上于 1983 年制定了第一个 IEEE 以太网标准 IEEE 802.3,数据率为 10Mb/s。以太网的两个标准 DIX Ethernet v2 与 IEEE 的 802.3 只有很小的差别,因此很多人也常把 802.3 局域网称为“以太网”。严格来说,“以太网”是指符合 DIX Ethernet v2 标准的局域网。

5.3.1 以太网技术基础

传统以太网最初使用粗同轴电缆,后来演进到使用比较便宜的细同轴电缆,最后发展成为使用更便宜和更灵活的双绞线。

1. 同轴电缆总线型以太网

最早的以太网是将许多计算机都连接到一根总线上,当初认为这种连接方法既简单,又可靠,因为在那个时代人们普遍认为:“有源器件不可靠,而无源的电缆线才是最可靠的”。最初的以太网选择了总线型结构,在粗同轴电缆上通过 T 型接口连接各个计算机设备,计算机通过一个叫作附加单元接口(Attachment Unit Interface,AUI)的收发器连接到电缆上,如图 5.6 所示。

粗同轴电缆总线型以太网的特点是:传输距离长,性能高,成本也高,适用于大型以太网干线,连接时两端需接终结器。粗缆与外部收发器相连,收发器与网卡之间用 AUI 电缆相连,网卡必须有 AUI 接口,AUI 接口是一个 15 针 D 形接口,类似显示器接口,如图 5.7 所示。粗同轴电缆可以通过中继器连接,连接的每段可以达到 500m,最多连接 4 个中继器,最终可达 2500m。用粗同轴电缆组建局域网虽然各项性能较高,具有较大的传输距离,但是网络安装、维护等方面比较困难,造价较高。

细同轴电缆总线型以太网的特点是:传输距离短,相对便宜,利用 T 型接口连接器连

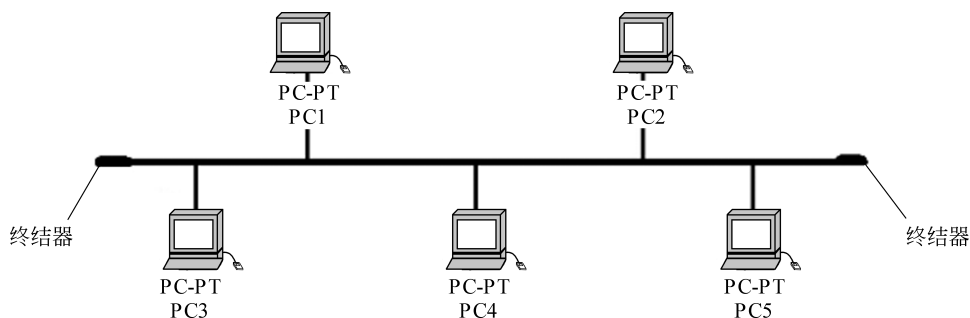


图 5.6 同轴电缆连接的以太网

接 BNC 接口网卡,如图 5.8 所示,两端头需安装终端电阻器。细同轴电缆网络每段干线长度最大为 185m,每段干线最多接入 30 个用户。如要拓宽网络范围,需使用中继器,如采用 4 个中继器连接 5 个网段,使网络最大距离达到 925m。细同轴电缆安装较容易,而且造价较低,但因受网络布线结构的限制,其日常维护不方便,一旦一个用户出故障,便会影响其他用户的正常工作。



图 5.7 AUI 接口

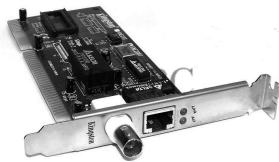


图 5.8 BNC 接口网卡

总之,总线型结构以太网的特点是:当一台计算机发送数据时,总线上的所有计算机都能检测到这个数据,这就是广播通信方式。为了在总线上实现一对一的通信,可以使每台计算机的适配器拥有一个与其他适配器都不同的地址。发送数据帧时,在帧的首部写明接收站的地址,仅当数据帧中的目的地址与适配器 ROM 中存放的硬件地址一致时,该适配器才能接收这个数据帧。适配器对不是发给自己的数据帧就丢弃。这样,具有广播特性的总线上就实现了一对一的通信。

广播信道中的计算机发送数据的机会均等,但是链路上又不能同时传送多个计算机发送的信号,因为会产生信号叠加相互干扰,产生碰撞,发生冲突,最终导致总线上传输的信号产生严重的失真,无法从中恢复出有用的信息。因此,每台计算机发送前要判断链路上是否有信号在传,开始发送后还要判断是否和其他正在链路上传过来的数字信号发生冲突。以太网采用 CSMA/CD 协议解决冲突问题。该协议的工作原理前面已经讨论过,这里不再重复讨论。

实践证明,连接有大量站点的总线型以太网很容易出现故障,后期出现的集线器采用专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)芯片,一方面可以将星形结构做得非常可靠;另一方面,使用双绞线的以太网价格便宜、使用方便,因此现在的以太网一般都使用星形结构。

2. 集线器星形以太网

集线器(Hub)的主要功能是对接收到的信号进行放大,以扩大网络的传输距离,同时把所有结点集中在以它为中心的结点上。集线器工作在 OSI 参考模型的物理层,它采用 CSMA/CD 介质访问控制机制。集线器的接口功能简单,每个接口只做简单的收发比特,收到 1 就转发 1,收到 0 就转发 0。

集线器属于纯硬件网络底层设备,不具有智能记忆和学习能力,它发送数据时都是没有针对性的,而是采用广播方式发送,即它向某结点发送数据时,不是直接把数据发送到目的结点,而是把数据包发送到除接收该数据包的接口外其他与集线器相连的所有结点。图 5.9 所示为利用集线器连接网络的情况。

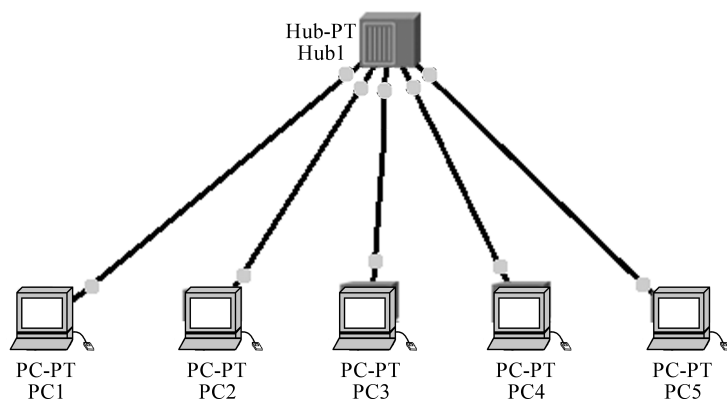


图 5.9 集线器连接的以太网

双绞线以太网和集线器配合使用,每个站需要用两对无屏蔽双绞线(放在一根电缆内),分别用于发送和接收。双绞线的两端使用 RJ-45 插头,如图 5.10 所示。由于集线器使用了大规模集成电路芯片,因此集线器的可靠性大大提高了。



图 5.10 RJ-45 网卡

1990 年,IEEE 制定出星形以太网 10Base-T 的标准 802.3i。10 代表 10Mb/s 的数据率,Base 表示连接线上的信号是基带信号,T 代表双绞线。实践证明,这比使用具有大量机械接头的无源电缆可靠得多。由于使用双绞线电缆的以太网价格便宜,使用方便,因此粗缆和细缆以太网从市场上消失了。

但 10Base-T 以太网的通信距离稍短,每个站到集线器的距离不超过 100m。这种性价比很高的 10Base-T 双绞线以太网的出现,是局域网发展史上的一个非常重要的里程碑,从此以太网的拓扑就从总线型变为更加方便的星形网络,而以太网也就在局域网中占据了统

治地位。

表面上看,使用集线器的以太网在物理上是一个星形网,但由于集线器使用电子器件模拟实际电缆线的工作,因此整个系统仍像一个传统以太网那样运行。也就是说,使用集线器的以太网在逻辑上仍然是一个总线网,各站共享逻辑上的总线,使用的还是 CSMA/CD 协议。

3. 交换机星形以太网

交换机(Switch)意为“开关”,是一种用于电(光)信号转发的网络设备,为接入交换机的任意两个网络结点提供独享的电(光)信号通路。最常见的交换机是以太网交换机。其他常见的还有电话程控交换机。

交换机有多个端口,每个端口都具有桥接功能,可以连接一个局域网或一台高性能服务器或工作站,如图 5.11 所示。交换机也被称为多端口网桥。

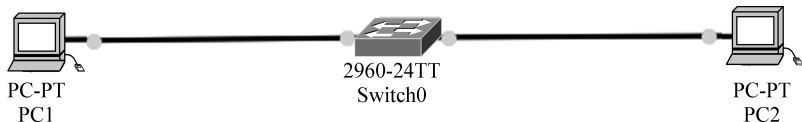


图 5.11 交换机连接的以太网

交换机工作于 OSI 参考模型的第二层,即数据链路层。交换机内部的 CPU 会在每个端口成功连接时,通过将 MAC 地址和端口对应,形成一张 MAC 表。在今后的通信中,发往该 MAC 地址的数据包将仅送往其对应的端口,而不是所有的端口。因此,交换机可以分割冲突域,但它不能分割网络层的广播,即广播域。

交换机的控制电路收到数据包以后,处理端口会查找内存中的地址对照表,以确定目的 MAC(网卡的硬件地址)的 NIC(网卡)接在哪个端口上,通过内部交换矩阵迅速将数据包传送到目的端口,目的 MAC 若不存在,交换机将向所有端口进行广播。接收端口回应后,交换机会学习新的 MAC 地址,并把它添加到内部 MAC 地址表中。

具体工作流程如下:

- (1) 当交换机从某个端口收到一个数据包,它先读取包头中的源 MAC 地址,这样它就知道源 MAC 地址的机器是连在交换机的哪个端口上。
- (2) 读取包头中的目的 MAC 地址,并在地址表中查找相应的端口。
- (3) 如表中有与这个目的 MAC 地址对应的端口,则把数据包直接复制到这个端口上。
- (4) 如表中找不到相应的端口,则把数据包广播到所有端口上,当目的机器对源机器回应时,交换机又可以记录这一目的 MAC 地址与交换机端口的对应关系,下次传送数据时就不再需要对所有端口进行广播了。交换机不断循环这个过程,对于全网的 MAC 地址信息都可以学习到,二层交换机就是这样建立和维护它自己的地址表。

二层交换机用于小型的局域网,在小型的局域网中,广播包影响不大,二层交换机的快速交换功能、多个接入端口和低廉价格为小型网络用户提供了很完善的解决方案。

4. 冲突域(或碰撞域)与广播域

碰撞域(Collision Domain)又称为冲突域,是指网络中一个站点发出的帧会与其他站点发出的帧产生碰撞或冲突的那部分网络。碰撞域越大,发生碰撞的概率越高。在 OSI 模型中,冲突域被看作第一层(即物理层)概念。常见的物理层设备有中继器、集线器,因此连接