

计算机网络技术系列教材

• 陈强 主编 孙建华 副主编 •

网络互连技术 教程

李 健 等 编著

人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

计算机网络技术系列教材

网络互连技术教程

李 健 等 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书共分 12 章。第一章介绍了网络的发展过程；第 2 章介绍网络互连体系中的两个主要模型 OSI/RM 和 TCP/IP 以及与体系框架相关的协议和基本概念；第 3 章对网络接入层中使用的技术进行简单介绍，并讲述数据链路层的基本功能和主要协议以及数据链路层中的典型控制方式；第 4 章到第 10 章介绍在互联网系统中广泛采用的 TCP/IP 协议簇和其他相关协议以及 IP 协议和路由机制、地址解析算法等；第 11 章介绍域名服务体系；第 12 章简要介绍 WWW 服务和 HTTP 协议、电子邮件服务和 SMTP 协议、FTP 服务和相应的协议等。

本书为高等学校、高等职业学校网络互连技术课程的教材，也可作为希望了解互联网技术人员的自学用书。

计算机网络技术系列教材 网络互连技术教程

◆ 编 著 李 健 等

责任编辑 潘春燕

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

读者热线 010-67180876

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京朝阳隆昌印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787 × 1092 1/16

印张: 10

字数: 231 千字

2002 年 2 月第 1 版

印数: 6 001 - 11 000 册

2002 年 4 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-115-10143-4/TP·2775

定价: 14.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)67129223

丛 书 前 言

计算机网络技术是近年来兴起的、发展相当迅速的计算机新技术。21 世纪的今天不会使用网络就等于不会使用计算机。IBM 公司早在 20 世纪 80 年代就提出：网络就是计算机。因此，必须十分重视计算机网络的普及与推广应用，使更多的人能够利用网上的资源，提高工作水平和效率。

为适应社会的需要和计算机网络技术的发展，全国高等院校的各个专业都开设了有关计算机网络技术课程，特别是近年来高等职业教育的发展，急需以计算机网络应用为主的实用教材，使学生在学计算机网络时，适当减少那些枯燥难懂的理论，取而代之的是建网、管网、上网的实际操作和网络的应用开发技术。根据这一发展趋势，我们组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的老师编写了这套计算机网络技术系列教材。

本套教材共 11 本。为了便于教学，本套教材每本均配有实训内容，每一章都有内容摘要和习题。

本套教材在编写过程中力求做到：网络理论以必需、够用为度，注重网络实用技术及实际应用的介绍，并以实际需要的技术、操作和使用技巧为主体，使学生在学计算机网络理论的同时，掌握相关的实际操作和应用技巧。本套教材突出了内容新、讲述方法浅显、重应用和技术的特点，适合高等职业学校、成人高校、本科院校设立的二级职业技术学院学生和自学计算机网络应用和开发的人员使用。

本套教材已经被选为北京市高等教育自学考试高职自考“网络技术应用与服务”专业的指定教材。

编 者 的 话

高等职业教育的特点是注重实用技能以及与实用技能相关的应用基础知识。作为高等职业教育的网络互连技术课程用书，本书在确定编写内容时充分考虑了高等职业教育的需要，尽量选取了与互联网基本概念和简单管理技能相关的内容。书中主要考虑了中小型网络管理人员在网络的设计和配置方面所应当具有的基础知识，以此为主线介绍了在互联网中使用的主要协议和应用服务。

在编写风格上，本书没有采取“大全”方式，而是力求对学生起到导引的作用。在实施网络互连技术课程教育时，由于各个学校的环境不同，所以书中尽量选取了在不同系统中都能够实现的例子作为教学实例，学员可以根据自己的网络环境进行实验。

本书的读者对象主要是高等职业教育的学生，也可以作为希望了解互联网技术的一般读者的自学用书。

北京工业大学计算机学院的部分教师参加了本书的编写工作。第1章和第12章由李健编写，第2章由吴简编写，第3章、第5章和第6章由刘鹏编写，第4章和第7章由邢文娟编写，第8章到第10章由马涛编写，第11章由俞敏编写。李健对全书进行了审核。

由于编写时间紧张和编者的水平及经验所限，书中难免存在表达不当甚至错误的地方，欢迎读者提出宝贵意见，以便做进一步的改进。

编 者
2002 年元月

目 录

第 1 章 网络的历史与发展	1
1.1 网络的发展	1
1.1.1 早期的网络	1
1.1.2 局域网与广域网	4
1.1.3 互联网	5
1.2 网络系统的发展	7
1.2.1 基于应用的结构	7
1.2.2 基于系统的结构	8
1.3 互联网的组织	9
1.3.1 互联网的有关组织	9
1.3.2 管理机构	9
第 2 章 网络互连体系	11
2.1 系统模型	11
2.1.1 层次化的网络体系结构	11
2.1.2 ISO 的开放系统互连模型	12
2.1.3 TCP/IP 体系	17
2.2 名词与概念	19
2.2.1 协议、服务和原语	19
2.2.2 层间接口	21
2.2.3 端口	22
2.2.4 服务访问点 (N 连接, 一个 N 服务提供者和两个 N 服务使用者)	22
2.3 标准与实现	23
2.4 RFCs	23
第 3 章 网络接入技术	27
3.1 LAN 与 WAN	27
3.1.1 LAN 技术	28
3.1.2 WAN 技术	30
3.1.3 中继与桥接	31
3.2 网络接入层的功能	33
3.2.1 基本数据链路	33
3.2.2 差错控制	34
3.2.3 流量控制	34
3.2.4 链路管理	34
3.3 数据链路协议	35

3.3.1	停等协议	35
3.3.2	“回退 N” 协议	36
3.3.3	选择重传协议	36
3.4	接入层通信规程	37
3.4.1	接口与协议数据单元	37
3.4.2	通信规程	39
第 4 章	网络互连协议——IP	42
4.1	基本概念	42
4.2	IP 数据格式	43
4.2.1	数据报	43
4.2.2	IP 报头	43
4.2.3	优先级和服务类型	45
4.2.4	分片问题	45
4.2.5	选项	47
4.3	IP 地址	48
4.3.1	IP 地址格式与分类	49
4.3.2	点分十进制记法	49
4.3.3	IP 地址的分类	50
4.4	特殊地址	51
4.4.1	网络地址	51
4.4.2	广播地址	51
4.4.3	组播地址	52
4.4.4	回送地址	52
4.5	地址与接口	53
4.5.1	接口的概念	53
4.5.2	路由器	53
4.5.3	多穴主机	53
4.6	IP 路由	54
4.6.1	路由工作机制	54
4.6.2	路由表	55
4.6.3	掩码	57
4.7	几个常用命令	57
4.7.1	连通测试	57
4.7.2	查看接口配置	58
4.8	简单网络示例	60
4.8.1	基本任务	60
4.8.2	方案选择	60
第 5 章	子网与超网	62
5.1	子网	62

5.1.1	子网的概念与目的	62
5.1.2	子网的实现与子网掩码	63
5.2	超网	66
5.2.1	超网的概念与目的	66
5.3	网络互连	66
第 6 章	地址解析	69
6.1	ARP	69
6.1.1	概念与机制	69
6.1.2	ARP 数据格式	73
6.1.3	代理 ARP	74
6.1.4	命令与示例	75
6.2	RARP	76
第 7 章	ICMP 和网络状态	79
7.1	网络为什么是复杂的	79
7.2	ICMP	79
7.2.1	ICMP 用途与机制	79
7.2.2	ICMP 报文	80
7.2.3	使用 ICMP 了解网络状态	81
7.3	几个工具	81
7.3.1	配置路由表(route)	81
7.3.2	数据跟踪(traceroute)	83
7.4	了解网络工作状态	83
7.4.1	路由失败	83
7.4.2	重定向	84
第 8 章	用户数据报协议——UDP	86
8.1	UDP 协议	87
8.1.1	UDP 协议工作机制	87
8.1.2	UDP 数据报格式	87
8.1.3	UDP 工作示例	88
8.2	利用 UDP 了解网络	89
8.2.1	IP 分段	89
8.2.2	UDP 服务器	91
第 9 章	广播	94
9.1	广播的概念	94
9.2	网络广播	94
9.2.1	有限广播	95
9.2.2	网络直接广播	95
9.2.3	子网直接广播	95

第 10 章 传输控制协议——TCP	97
10.1 TCP	97
10.1.1 TCP 服务	97
10.1.2 报文格式	98
10.2 TCP 连接	99
10.2.1 TCP 连接的建立与终止	99
10.2.2 TCP 传输与控制	101
10.2.3 几个特殊问题	104
10.3 TCP 服务器的工作	105
10.3.1 端口号的使用	105
10.3.2 IP 地址限制	107
10.3.3 连接请求处理	108
第 11 章 域名服务系统——DNS	109
11.1 域名服务系统	109
11.1.1 层次型组织	109
11.1.2 域名服务	110
11.1.3 管理方法	112
11.2 域名解析	113
11.2.1 域名服务器和解析器	113
11.2.2 报文结构	113
11.2.3 资源记录	116
11.2.4 解析方式	117
11.3 使用域名服务	119
11.4 实验	120
第 12 章 应用服务	122
12.1 WWW 服务	122
12.1.1 WWW 服务器	123
12.1.2 浏览器	125
12.1.3 工作机制	127
12.2 电子邮件服务	128
12.2.1 Internet 电子邮件系统	129
12.2.2 信件	130
12.2.3 电子邮件传送机制与 SMTP	133
12.2.4 POP 协议	136
12.2.5 IMAP	138
12.3 FTP 服务	138
12.3.1 工作机制	139
12.3.2 客户端系统和 FTP 命令	140
12.3.3 服务器和应答信息	142

12.4 网络互连应用技术	144
12.4.1 xDSL	145
12.4.2 帧中继	146
12.4.3 ISDN	147

第 1 章 网络的历史与发展

本章提要

- 网络的发展。
- 网络系统的发展。
- 互联网的组织。

1.1 网络的发展

计算机网络是由多台独立的计算机组成的系统,这些计算机经通信线路彼此连接在一起,通过相互通信的方式共享设备资源和信息资源。从早期的远程终端联机方式到今天的互联网,网络的发展经历了从封闭系统到开放体系的过程。网络传输技术经历了电路交换方式到数据分组交换方式的过程。

1.1.1 早期的网络

早期的计算机是非常昂贵的设备,它通常由主机和外部设备组成,人们通过由显示器和键盘组成的终端设备使用计算机。一台大型计算机可以连接许多终端供人们同时使用,计算机则以分时方式处理多个任务。

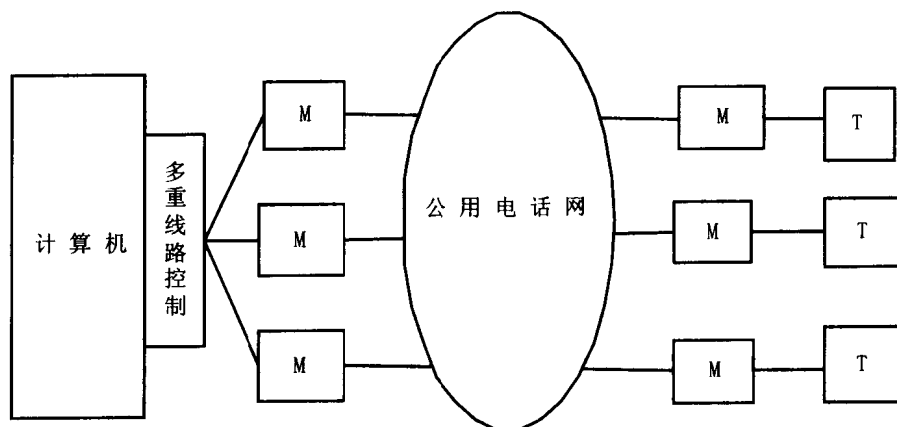


图 1-1 远程终端共享主机资源

为了使远方的用户能够使用计算机,人们利用通信技术将远方的终端接到计算机上,使用远程终端为资源的共享提供了极大的方便。远程终端是通过电话线路从远方连接到主机上

的，为了利用电话线路传输数据，必须使用调制解调器对数字信号进行调制，使其适于在模拟电话网上传输，如图 1-1 所示。图中 M 为调制解调器，T 为终端。

远程终端方式提供了最早的远程资源共享，通过把终端连接到不同的主机，用户可以利用远在千里之外的不同的计算机进行运算。

在一台计算机连接了多个远程终端时，处理这些终端的 I/O 任务需要花费大量时间。为了少占用主机资源，有些系统使用了前端处理机，由前端处理机负责处理所有的输入输出工作，使主机可以专门处理计算任务。前端处理机也叫做通信处理机，由于减少了主机的额外开销，因而使用了通信处理机的系统能够显著提高数据处理的效率。图 1-2 表示了用一台通信处理机连接了多台远程终端的情况。

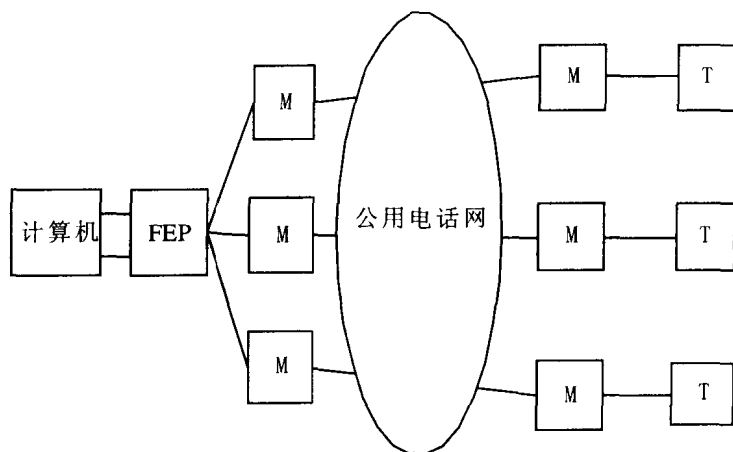


图 1-2 通过前端处理机连接到主机的远程终端

为了节省通信费用，在远程终端密集的地方使用集中器可以使多个远程终端共享通信线路。集中器是一种智能化的线路复用设备，它可以把多条低速的数据线路与一条高速的数据线路连接起来。集中器接受终端的数据并把它们通过高速线路送到计算机，同时也能把计算机送来的数据分发给各终端。由于终端工作时总会有空闲，所以集中器所连接的高速线路的容量可以低于各终端的数据线路容量的总和，从而降低了通信费用。另外，由于集中器离终端很近，所以常常可以省去集中器和终端中间的调制解调器，如图 1-3 所示。

远程终端方式的系统称为面向终端的计算机网络，在有些资料中把它称为第一代计算机网络。它以计算机主机为中心，各个终端分布在不同的地点并通过通信网络与主机通信，共享主机的资源。

为了加快处理速度，人们希望把一个计算任务分成几个部分，把它们分别分配给多台计算机，使这几台计算机同时处理这个任务，再把得到的中间结果送到一台计算机上做最后的处理。按照这种期望，计算机通过通信线路被连接在一起，并相互交换数据。在这种系统中，由通信线路连接在一起的不再是终端与主机，而是计算机主机与计算机主机，主机之间可以直接交换数据，形成了由计算机所构成的网络。

早期的网络常常使用电话网进行通信，在通信之前需要先拨通电话。当拨通了一条线路后，两个计算机就建立了连接关系。因为电话网络采用的是电路交换的方式，通信线路是靠

电话网络设备中开关元件的闭合建立的（这仅仅是早期的情况），因此，连接好的两台计算机之间无论是否有数据传送，这条线路也不能给别人使用。采用电路交换技术是早期网络的特征之一。从通信资源分配的观点看，电路交换采用的是预先分配带宽。也就是说，两端之间的通信带宽是由通信之前建立的端到端的物理通路所保证的，在通信的全过程中，用户始终占用端到端的固定传输带宽。在通过线路的通信量非常稳定的情况下这是很好的，但是这种线路用于计算机通信就会出现問題。计算机的数据传送是突发的（也就是说在某一时刻会突然发送大量数据，然后可能会有长时间的通信间歇），而所占用的通信线路费用是按照占用线路的时间长短计算的，这就造成了线路资源的浪费，也造成了通信资金的浪费。在采用电路交换的计算机通信中，线路上真正用来传输数据的时间往往不到 1%。

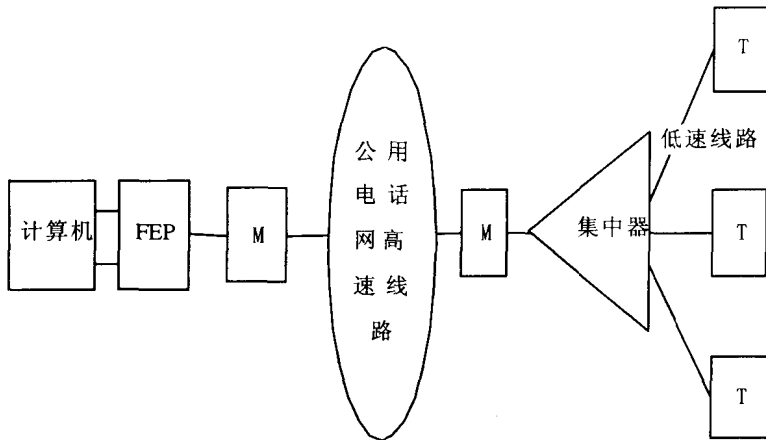


图 1-3 使用线路集中器

在计算机通信中，现在广泛使用的是分组交换技术。在图 1-4 中，给出了分组交换网的示意。图中的结点 A, B, …F 以及连接这些结点的链路 AB, AC 等组成了分组交换网，H1 到 H5 表示利用分组交换网交换数据的计算机。计算机在发送数据时，必须先把数据划分成长度相等的分组，然后将这些数据分组经过分组交换网一个一个地发往目的计算机。每一个数据分组在分组交换网中传送时，实际上是在网中的结点之间一步一步传送的。计算机 H1 向计算机 H2 发送一个数据分组的过程实际上是先由 H1 发送给结点 A，结点 A 保存这个数据分组再把它发送给结点 C，……，最后由结点 E 发送给计算机 H2。这种方式被称为存储转发方式，一个数据分组在途径的各个结点上被临时存储，然后转发给下一个结点。

在一个计算机网络中，包含有多台计算机，这些计算机一般被称为主机。这些主机以设备资源共享或信息资源共享为目的相互通过通信线路连接在一起，它们其中的某一台可能会作为路由器或服务器担负起网络通信中的控制和管理任务。

从早期的远程终端联机方式到今天的互联网，网络的发展经历了从封闭系统到开放体系的过程。网络传输技术经历了电路交换方式到数据分组交换方式的过程。

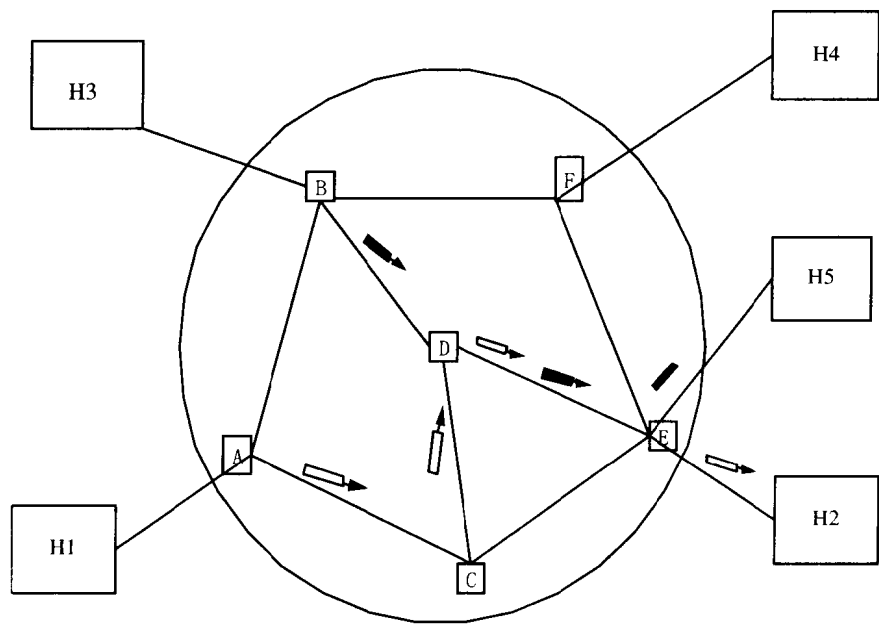


图 1-4 分组交换网络

1.1.2 局域网与广域网

局域网和广域网是在描述计算机网络时经常用到的术语。局域网（Local Area Network, LAN）是最常见的计算机网络，它由网络电缆和经网络电缆连接在一起的若干台计算机组成，计算机上的网络接口卡是连接计算机和网络电缆的专用装置。局域网跨越的地域范围一般比较小，通常在几百米的范围之内。一个局域网可能仅仅连接了一个办公室中的设备，也可能覆盖了一座楼宇或一个范围不大的单位。使用局域网，可以方便地将计算机和其他设备连接在一起，实现计算机之间的数据交换或者共享设备资源。例如，让所有计算机可以共同使用连接在网上的一台打印机或是其他设备，如图 1-5 所示。局域网采用的网络电缆和连接技术有很多种，无屏蔽双绞线（UTP）是现在最常见的形式，早期的局域网则多数使用同轴电缆连接。局域网采用的网络拓扑结构也有多种形式，例如总线型网络、星型网络和环型网络等。在实际中采用最多的是总线型网络和它的各种变形。

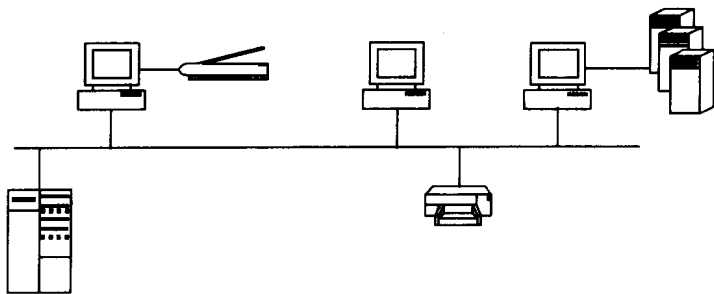


图 1-5 局域网和设备共享

局域网在相对较小的地理范围内提供高速数据传输。网络的传输速度一般用带宽来描述,带宽指每秒内网络所能传输的二进制数据位数,通常以 kbit/s 或 Mbit/s 为单位。局域网的数据传输速率很高,可以达到 1000Mbit/s 每秒。数据在网络中传播时,会有一定的时间延迟,这是由于数据的传播依赖于电信号(或其他信息传输技术)的传播而造成的。信号在网络中传播所造成的延迟被称为网络的时延。在局域网中,通常具有较高的传输质量和较小且稳定的时延。以太网技术是一种常见的局域网技术,早期最流行的是 10Mbit/s 以太网,现在则大量使用快速以太网(100Mbit/s)和吉比特以太网。以太网的覆盖范围一般在几百米以内。为了适当扩大局域网的覆盖范围,可以使用中继设备和其他网络设备,但其覆盖区域仍然被限制在一个相对小的地理范围内。

与局域网不同,跨越的地域范围较大的网络通常被叫做广域网(Wide Area Network, WAN)。广域网也被叫做远程网,它提供计算机之间远距离资源共享和远距离通信的能力。广域网技术使得通信的距离几乎不受限制,现代的广域网可以跨越大洋或是横跨大陆。早期的广域网一般以远程电信网络技术为基础,通常具有较低的数据传输速率和较高的数据传输错误率。但是,今天的多数广域网使用光纤技术和卫星传输技术,这些网络不但具有很高的数据传输速率,也具有稳定可靠的传输质量。举例来说,广域网的传输速度早已达到了 155Mbit/s(兆位/每秒),传输时延仅为十几或是几毫秒。一般地,广域网可覆盖较大的地域范围,它使用的技术可以支持长距离数据传输;针对长距离传输可能带来的高错误率,广域网技术中也包含了较多的纠错措施;由于传输距离长,广域网的时延也较大。

“广域”是一种相对的描述,是相对于覆盖范围较小的“局域”而言的。关于广域网和局域网,没有正式的定义指出它们所跨越范围的严格界限,以及各自应当具有什么样的形态和技术指标,只是用这两个术语粗略地区分两类不同地域范围的网络。一般来说,局域网允许多台计算机同时彼此连接,具有较小的地域范围和较高的数据传输速率;广域网则提供了两个或多个局域网之间的较大的地域范围的连接、或是在较大的地域范围中的多台计算机的连接,数据传输速率不及局域网。

局域网和广域网没有严格的定义,主要是通过描述性的方式介绍它们各自的特点以及适用范围。按照网络中结点的连接方式,计算机网络的拓扑结构可以简单地分为总线型网络、星型网络、环型网络和网状网络,如图 1-6 所示。每种拓扑结构都有它的优点,适应于一些特定的应用环境。

总线型结构和环型结构多用于局域网,而网状结构是在大型的跨地域网络中常采用的结构。

1.1.3 互联网

在早期的网络发展中,主要的目的是把多台计算机连接到一个网络中。如何通过网络实现计算机之间的相互资源共享,特别是在不同机种之间的资源共享是人们关注的主要目标。在这一阶段,出现了很多与这一要求相适应的技术,例如 Novell 公司的 Netware 就是其中有代表性的产品。网络把多台独立的计算机连接在一起,使它们可以共享设备资源和信息资源,为满足各种计算要求带来了极大的方便。孤立的网络之间的资源共享是无法实现的。

为了在各个网络之间能够实现信息的交换,人们很快就提出了新的要求:把不同的网络连接在一起,在更大的范围中实现资源共享。Internet 就是在这一需求下出现的,它是由多个

网络连接而形成的大规模网络互连系统，因而被称为互联网。互联网有时也被称为网际网，以表明它与网络的不同。与互联网技术有关的英文词汇中有 internet 和 Internet,internet 的意思是网络的互连，是为研究网络连接而使用的技术词汇。而 Internet 则是指由众多网络相互连接形成的全球化网络互连体系，也就是现在所说的互联网。互联网由不同的网络组成，这些网络设备来自不同的厂家，使用不同的技术，隶属于不同的机构和团体。为了把各个网络连接在一起，使各个网络上的不同主机可以相互访问，互联网必须解决相互的连接问题和主机的标识问题，以及在网络上信息的传输和传输控制等问题。

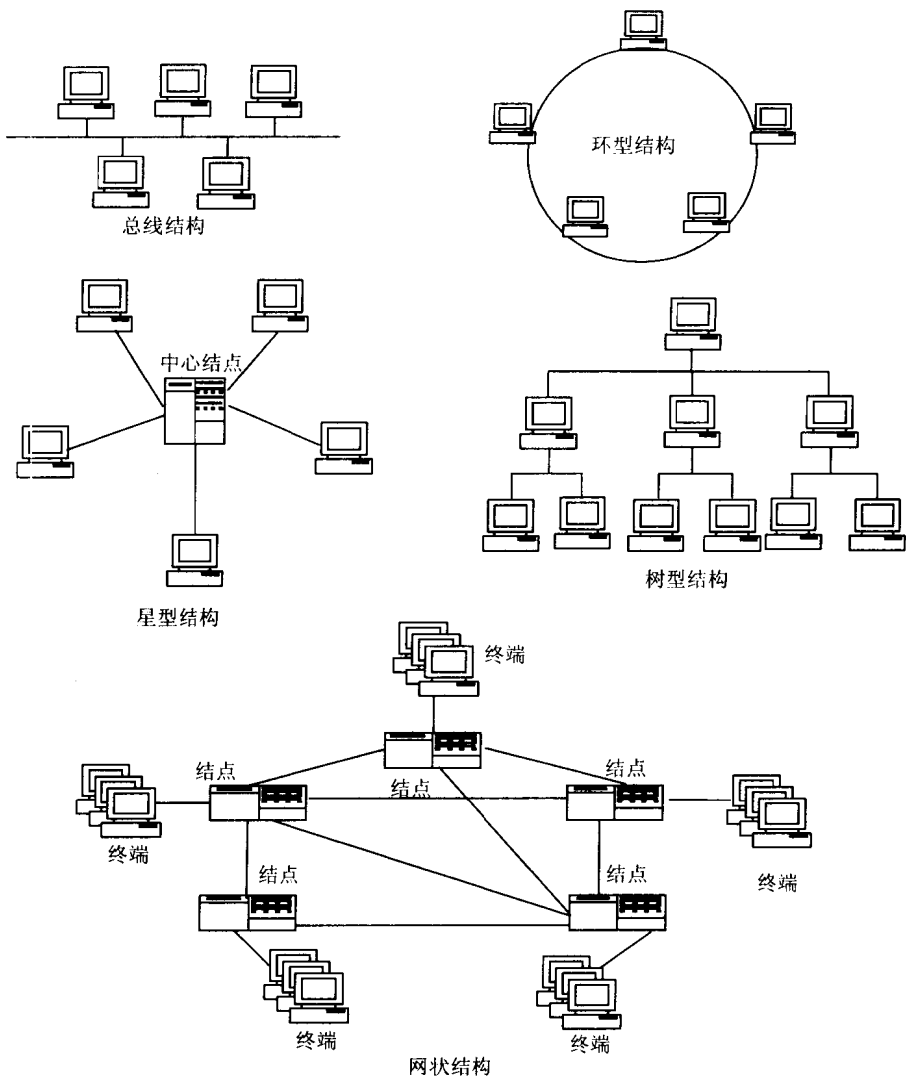


图 1-6 网络的拓扑结构

由于互联网中的各个网络采用的技术来自于不同的厂家,因此其技术构成是非常复杂的。为了保证信息交换的进行,加入到互联网中的所有计算机设备和网络设备都必须按照同样的规则工作,遵循同样的网络协议。互联网是多个网络按一定的协议规则连接形成的系统,处

于互联网上任何位置的主机都能够获得互联网上的资源。

1.2 网络系统的发展

1.2.1 基于应用的结构

在早期的网络应用系统中，所有的网络通信和应用功能都直接由应用软件控制。网络设备非常简单，仅提供设备之间的基本连接条件。应用软件必须完成所有其他的控制，包括硬件的直接控制、数据传输的控制、数据传输中的检查、数据的转换和数据的处理等工作。

在这一阶段，网络应用系统的功能基本上是在两台主机之间以点对点的方式进行通信，以完成直接对话、文件传输等功能。通信的手段主要是借助于公用电话网络和串行通信接口，在应用软件的直接控制下进行。在进行通信之前，参与通信的各台机器上必须首先安装同一套应用系统。使用通信功能时，首先启动软件的电话拨号功能，拨叫对方主机所使用的电话号码，拨通后进入应用程序的操作界面开始通信。一般情况下，两套不同的通信应用系统之间是不能互相通信的。为了使不同厂商的设备能够相互通信，生产通信应用系统的软件制造商需要为不同厂家的设备分别提供不同的软件版本。

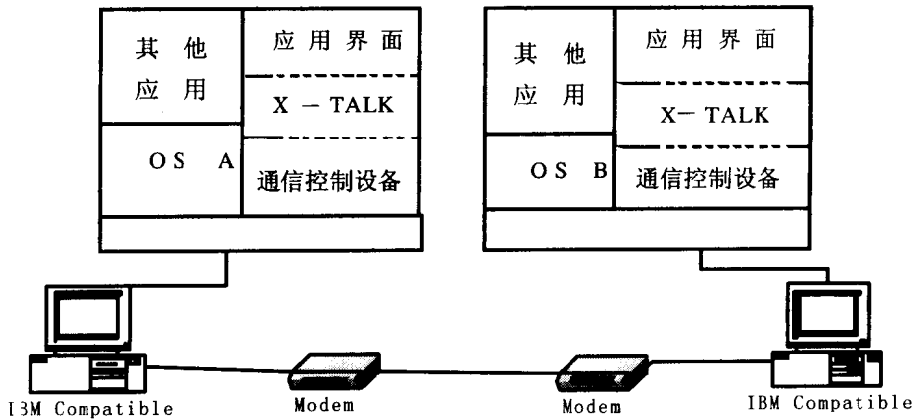


图 1-7 基于应用的结构

在 PC 机上曾经非常流行的通信应用系统 X-TALK 就是一个例子，安装了 X-TALK 的计算机设备之间能够相互通信，使用者可以利用 X-TALK 进行文字交谈，进行文件交换，如图 1-7 所示。在使用 X-TALK 之前，必须在机器上安装用于相应机型的 X-TALK 版本，配置所使用的通信接口，配置调制解调器参数。在进行通信时，启动 X-TALK 软件后首先要拨通对方机器所使用的电话号码，X-TALK 负责对调制解调器进行初始化，协调传输参数。一旦各种参数协调成功，X-TALK 将在计算机屏幕上显示出操作 MENU，MENU 中包括了所有的应用功能选项。

为了处理通信，X-TALK 必须有能力：

- (1) 处理串行接口；