



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机网络及应用

第二版

何顶新 郑定富 胡晓娅 瞿坦 编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机网络及应用

第二版

何顶新 郑定富 胡晓娅 瞿坦 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为适应工科非计算机类专业的需求,从工程应用角度,保留了学习计算机网络必备的基础知识,增加了无线网络、轻型 IP 网络等新型计算机网络技术。另外,为适应电气信息类、仪器仪表类以及机电类各专业的需求,介绍了现场总线网络技术。

本书内容考虑高等院校工科非计算机类专业的计算机网络教育实际,兼顾网络原理及网络应用技术的发展,包括网络原理、网络新技术及应用。为配合课程教学的需要,本书给出了部分课程设计题目及案例。

本书可作为高等院校非计算机类相关专业本科生的教材,也可供研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机网络及应用/何顶新等编. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2011. 6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-12117-2

I. 计… II. 何… III. 计算机网络-高等学校-教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 168970 号

责任编辑: 郝英华 唐旭华
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 陈 元
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 557 千字 2011 年 6 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前言

计算机技术与通信技术的发展与结合,工业、民用和军事等多领域的需求和催化,在20世纪下半叶产生了一门至今依旧让人振奋的新的学科分支——计算机网络。计算机网络的出现令世界焕然一新,它改变了千千万万人的学习、生活和工作方式,成为半个世纪来最热门的话题。当前,计算机网络已渗透到各学科,成为各学科的内在组成部分之一。

现今各高校,不仅在计算机专业和通信专业开设了计算机网络课程,而且在很多非计算机和通信专业也开设了计算机网络课程,并且是作为一门非常重要的信息大类平台课在开设,因此,在计算机网络的教学中既要注意教学内容的循序渐进、深入浅出,更要注意对学生进行新技术的理解和实际动手能力的培养。自20世纪90年代开始,在瞿坦教授的主持下,曾经出版了《计算机网络及应用》,该书出版以来,受到了广大读者的好评和厚爱。该书视角独特、概念清晰、内容丰富,因此在国内一些高校相继被指定为教材或教学参考书。为了适应计算机网络技术的高速发展和教学改革的需要,我们综合多年的教学实践,在瞿坦教授的关心、支持和指导下,编写了《计算机网络及应用》(第二版)。本书的主要特点和出发点体现在以下几个方面。

① 本书属于计算机网络(原理与应用)技术基础性书籍,从工程应用角度介绍基本原理、基本概念和应用。

② 自顶向下逐步理解计算机网络的层次体系结构,以看透计算机网络为目的,自底向上讲授计算机网络体系结构的各层次功能、原理和相关技术。

③ 计算机网络是个复杂系统,本书通过体系结构的分析,注意上下文的内容及联系,试图让学生通过计算机网络的学习来掌握一些处理复杂问题的方法。

④ 本书通过附录中的大作业,提倡在教学中利用前面课程知识如C语言程序设计、单片机技术等来解决计算机网络中的局部技术问题,增强学生的学习兴趣和综合动手能力。

⑤ 在有线局域网中,介绍了工业以太网和现场总线,在无线局域网中,介绍了蓝牙、ZigBee等技术,这部分内容对于电气信息类、机电类的学生尤为重要。

⑥ 书中最后介绍了LwIP(轻型IP协议)及其网络编程应用实例,通过该部分内容的学习为开发嵌入式应用系统及其网路编程打下坚实基础。

本书由何顶新和瞿坦整体规划和统稿,其中第2、5、8章由郑定富编写,第6、7章由胡晓娅编写,第3、4章由郑定富和瞿坦教授共同编写,第1、9章和本书的其余部分由何顶新编写。

为方便教学,本书配套的电子课件可免费提供给采用本书作为教材的相关院校使用,如有需要,请发邮件至 cipedu@163.com 索取。

本书的出版得到了华中科技大学信息学院、控制科学与工程系以及教务处领导和同事们的关心和帮助,在此,要特别感谢的是控制科学与工程系的秦肖臻主任和化学工业出版社,没有他(她)们的支持,就没有本书的问世。原课程组教师代建民、硕士生叶存奎、马驹、冯鹏、郑凯对本书资料的整理和程序的验证进行了有效的工作,自动化专业2008级的部分本科生也为附录的大作业和实验的完成做了大量积极的工作,在此一并表示感谢。

由于时间仓促、作者水平有限,书中不足之处恳请广大读者批评指正。

编者

2011年5月于喻园

目 录

1 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的定义	1
1.1.1 因特网的组成	2
1.1.2 因特网的结构及服务	2
1.1.3 计算机网络构成与数据传输方式	3
1.1.4 计算机网络的接入方式和物理介质	5
1.1.5 计算机网络的拓扑结构	8
1.1.6 计算机网络的分类	10
1.2 网络协议与网络体系结构	11
1.2.1 网络协议	11
1.2.2 网络体系结构	12
1.3 网络协议体系结构的典型解决方案	15
1.3.1 OSI/RM 参考模型	15
1.3.2 TCP/IP 参考模型	17
1.3.3 网络协议混合模型	18
1.4 因特网发展历史	19
习题 1	20
2 物理层	21
2.1 物理层的基本概念	21
2.1.1 物理层的基本目标	21
2.1.2 物理层的四个重要特性	21
2.1.3 计算机网络与通信系统之间的关系	22
2.2 物理层的协议内容	22
2.3 数据通信的基本概念	23
2.3.1 数据通信系统的模型	23
2.3.2 数据通信系统的一些基本概念	23
2.3.3 数据传输方式	24
2.4 数据通信的基础理论	26
2.4.1 傅立叶分析	26
2.4.2 信号的频谱分析	26
2.4.3 信道特性	28
2.4.4 波特率和比特率	28
2.4.5 奈奎斯特 (Nyquist) 定律	29
2.4.6 香农公式	29
2.5 编码与调制技术	30
2.5.1 数字数据到模拟信号的调制/解调技术	30
2.5.2 模拟数据到数字信号的编码技术	33
2.5.3 数字数据到数字信号的编码技术	34
2.6 信道复用技术	38
2.6.1 频分多路复用技术	38
2.6.2 时分多路复用技术	40
2.6.3 波分多路复用技术	41
2.6.4 码分复用技术	41
2.6.5 常用数字载波标准	42
2.7 传输介质	45
2.7.1 双绞线	46
2.7.2 同轴电缆	47
2.7.3 光纤	47
2.7.4 电磁波谱	49
2.7.5 无线电波	50
2.7.6 地面微波	50
2.7.7 通信卫星	51
2.7.8 红外线	52
2.7.9 激光	52
2.8 物理层常用接口标准	52
2.8.1 EIA-232-E 接口标准	52
2.8.2 RS-449 标准接口	54
2.8.3 RS-485 接口标准	55
2.8.4 CAN 接口标准	56
2.8.5 PROFIBUS 接口标准	59
习题 2	61
3 数据链路层	63
3.1 数据链路层的基本概念	63
3.1.1 数据链路层的工作环境	63
3.1.2 数据链路层的服务	64
3.1.3 数据链路层的实现	64

3.2 成帧的基本技术	65	3.5.1 链路的类型	80
3.2.1 字符计数成帧技术	65	3.5.2 点对点的数据链路协议	80
3.2.2 字符填充成帧技术	66	3.5.3 多点访问的数据链路协议	80
3.2.3 位填充成帧技术	67	3.5.4 ALOHA 协议	81
3.2.4 物理层违例码成帧技术	67	3.5.5 CSMA 协议	83
3.3 差错控制技术	68	3.5.6 带冲突检测的 CSMA 协议 (CSMA/CD)	85
3.3.1 差错控制的基本概念	68	3.5.7 带碰撞避免的 CSMA 协议 (CSMA/CA)	89
3.3.2 奇偶校验技术	69	3.6 高级数据链路层协议 HDLC	89
3.3.3 海明编码技术	70	3.6.1 HDLC 协议概述	89
3.3.4 CRC 编码技术	72	3.6.2 HDLC 协议的帧结构	91
3.4 数据重传与流量控制技术	73	3.6.3 HDLC 协议的数据交换过程	93
3.4.1 停止/等待协议	73	3.7 PPP 协议	96
3.4.2 单工肯定应答/重传协议	74	3.7.1 PPP 协议概述	96
3.4.3 双工停止/等待协议	75	3.7.2 PPP 协议的帧结构	96
3.4.4 连续 ARQ 协议	77	3.7.3 PPP 协议的工作过程	97
3.4.5 选择重传 ARQ 协议	78	习题 3	99
3.4.6 滑动窗口协议	79		
3.5 链路和链路控制协议	80		

4 有线局域网 100

4.1 局域网概述	100	4.6.4 千兆以太网的介质无关接口	119
4.1.1 局域网的定义	100	4.6.5 千兆以太网的自动协商机制	119
4.1.2 局域网的特点	100	4.7 虚拟局域网	119
4.1.3 局域网的拓扑结构和分类	100	4.7.1 虚拟局域网的概念	119
4.2 局域网的体系结构	101	4.7.2 虚拟局域网的工作原理	120
4.2.1 局域网的体系结构	101	4.7.3 虚拟局域网的划分	121
4.2.2 IEEE 委员会 802 工作组的局域网 协议概述	103	4.7.4 虚拟局域网的帧格式	121
4.3 IEEE 802.3 标准及以太网	104	4.7.5 虚拟局域网的优点	122
4.4 传统以太网	105	4.8 IEEE 802.5 协议及令牌环网	122
4.4.1 传统以太网概述	105	4.8.1 令牌环网概述	122
4.4.2 IEEE 802.3 标准的物理层及介质 规范	105	4.8.2 令牌环网工作原理	122
4.4.3 IEEE 802.3 标准及传统以太网的 工作原理	106	4.8.3 IEEE 802.5 标准	123
4.4.4 IEEE 802.3 帧格式	107	4.9 IEEE 802.4 协议及令牌总线网	124
4.4.5 IEEE 802.3 标准的争用期与最小 帧长	110	4.9.1 令牌总线网概述	124
4.5 快速以太网	111	4.9.2 IEEE 802.4 标准	125
4.5.1 快速以太网概述	111	4.9.3 令牌总线网的非稳态操作过程	126
4.5.2 快速以太网的体系结构	111	4.10 逻辑链路控制 LLC 与 IEEE 802.2 标准	129
4.5.3 快速以太网物理层技术规范	113	4.10.1 逻辑链路控制子层概述	129
4.5.4 快速以太网的 MII 接口	114	4.10.2 IEEE 802.2 标准的帧结构	130
4.5.5 快速以太网的协商机制	114	4.10.3 LLC 服务访问点 SAP 和服务 类型	131
4.6 千兆以太网	115	4.11 局域网的扩展	132
4.6.1 千兆以太网概述	115	4.11.1 局域网扩展概述	132
4.6.2 千兆以太网的网络体系结构	116	4.11.2 在物理层协议上扩展局域网	132
4.6.3 千兆以太网的物理层规范	117	4.11.3 在数据链路层上扩展局域网	134
		4.11.4 在网络层上进行局域网互联	139
		4.12 工业以太网	140

4.12.1	工业以太网概述	140	4.12.6	工业实时以太网	145
4.12.2	工业以太网的要求	141	4.13	现场总线	148
4.12.3	工业以太网和工业实时以太网	142	4.13.1	PROFIBUS 现场总线	148
4.12.4	工业以太网的关键技术	142	4.13.2	CAN 现场总线	150
4.12.5	工业以太网控制网络模型	143	习题 4		154
5	无线网络	156			
5.1	无线网络概述	156	5.4.1	无线城域网 WMAN 概述	178
5.2	无线局域网	156	5.4.2	IEEE 802.16 网络体系结构	178
5.2.1	IEEE 802.11 标准	157	5.4.3	IEEE 802.16 物理层协议	180
5.2.2	IEEE 802.11 拓扑结构	157	5.4.4	IEEE 802.16 的 PMP MAC 层协议	182
5.2.3	IEEE 802.11 的网络体系结构	158	5.4.5	IEEE 802.16 的 Mesh MAC 层协议	184
5.2.4	IEEE 802.11 标准的介质访问控制子层	158	5.5	移动通信网络	185
5.2.5	隐藏站问题和暴露站问题	159	5.5.1	移动通信技术概述	185
5.2.6	IEEE 802.11 的 MAC 帧结构	161	5.5.2	第三代移动通信系统	185
5.2.7	IEEE 802.11 的 MAC 帧类型	162	5.5.3	移动通信系统的基本理论	186
5.2.8	IEEE 802.11 的物理层	164	5.5.4	WCDMA 系统	188
5.3	无线个域网	167	5.5.5	CDMA2000 1X 系统	191
5.3.1	蓝牙个域网技术	167	5.5.6	TD-SCDMA 系统	193
5.3.2	ZigBee 技术	174	习题 5		194
5.4	无线城域网 WMAN	178			
6	网络层	196			
6.1	网络层的基本概念	196	6.5	路由器结构	212
6.1.1	网络层的工作环境和功能	196	6.5.1	输入端口	213
6.1.2	网络层协议的内容	197	6.5.2	交换结构	213
6.2	通信子网的构建和设计	198	6.5.3	输出端口	214
6.2.1	虚电路通信子网	198	6.6	网际协议 IPV4	214
6.2.2	数据报通信子网	199	6.6.1	IPV4 数据报格式	215
6.3	路由算法和路由选择协议	199	6.6.2	IPV4 数据报分片	216
6.3.1	路由算法的概念	200	6.6.3	IPV4 编址	218
6.3.2	最短路径算法 (Dijkstra)	202	6.7	因特网控制报文协议 ICMP	224
6.3.3	扩散法 (flooding)	203	6.7.1	ICMP 报文的种类	224
6.3.4	距离向量算法	204	6.7.2	ICMP 的应用举例	226
6.3.5	链路状态选路算法	206	6.8	网际协议 IPV6	227
6.3.6	L-S 与 D-V 选路算法的比较	208	6.8.1	IPV6 数据报格式	229
6.4	因特网中的路由	208	6.8.2	IPV6 的扩展头部	230
6.4.1	RIP 路由协议	210	6.8.3	IPV6 的地址空间	232
6.4.2	OSPF 路由协议	210	6.8.4	从 IPV4 向 IPV6 过渡	234
6.4.3	BGP 路由协议	211	6.8.5	ICMPV6 协议	234
6.4.4	AS 间路由协议和 AS 内部路由协议的比较	212	习题 6		235
7	传输层	236			
7.1	传输层协议概述	236	7.1.2	传输层的寻址/编址技术	237
7.1.1	传输层协议功能及内容	237	7.1.3	连接建立和释放技术	238

7.1.4 流量控制与缓存策略	240	7.2.4 TCP 流量控制	249
7.1.5 拥塞控制	240	7.2.5 TCP 协议的重传机制	250
7.1.6 多路复用与多路分用	241	7.2.6 TCP 拥塞控制	252
7.1.7 崩溃恢复	243	7.3 UDP 协议	254
7.2 TCP 协议	243	7.3.1 UDP 报文段结构	254
7.2.1 TCP 的流传递服务	244	7.3.2 UDP 的特点和应用	255
7.2.2 TCP 段格式	245	习题 7	256
7.2.3 TCP 连接	246		
8 应用层	257		
8.1 概述	257	8.4.2 报文传输代理	263
8.2 网络应用体系结构	258	8.4.3 报文访问代理	265
8.3 DNS 系统	259	8.4.4 基于 WEB 的电子邮件	266
8.3.1 名字空间	259	8.5 网络管理	266
8.3.2 域名空间	259	8.5.1 网络管理系统概述	266
8.3.3 域名解析	260	8.5.2 简单网络管理协议 SNMP	267
8.4 电子邮件	262	习题 8	268
8.4.1 用户代理	263		
9 LwIP 及其网络编程应用实例	269		
9.1 LwIP 介绍	269	9.5 LwIP 移植	282
9.2 LwIP 源码的文件组织	269	9.5.1 无 RTOS 时的移植	282
9.3 LwIP 的软件体系结构	270	9.5.2 LwIP 在 uC/OS-II 下的移植	283
9.3.1 LwIP 的协议层次	270	9.6 LwIP 网络编程应用实例	291
9.3.2 LwIP 的进程模型	270	9.6.1 实验平台准备	291
9.3.3 LwIP 的函数调用关系	271	9.6.2 嵌入式 WEB 服务器的设计	291
9.4 LwIP 的内存管理	276	9.6.3 嵌入式 WEB 服务器的实现	291
9.4.1 LwIP 的包缓冲区 pbuf	276	9.6.4 嵌入式 WEB 服务器功能扩展	294
9.4.2 LwIP 的内存管理	277	习题 9	295
附录 A: 红外遥控器解码系统设计	296		
附录 B: 抗干扰编码软件设计	308		
附录 C: 企业网络设计	315		
参考文献	324		

1

计算机网络概述

计算机技术与通信技术的发展与结合，工业、民用和军事等多领域的需求和催化，在 20 世纪下半叶产生了一门至今依旧让人振奋的新的学科分支——计算机网络；计算机网络的诞生和发展反过来又促进了通信技术和计算机技术的发展，并对计算机系统的组织方式也产生了深刻的影响。

21 世纪是高度信息化的时代。近些年来，微电子、大规模集成电路、制造工艺等技术得到了高速发展，有力地推动了计算机制造、通信和计算机网络技术的进步与发展；同时，网络应用和程序被不断的设计和实现，计算机网络应用得到了大范围的普及，用户遍布于各行各业。把不同功能的电子设备或智能终端通过网络连接在一起，实现数据通信和资源共享，满足用户对信息共享需求，已是大势所趋。

当前，计算机网络已经是人们日常生活中最常用的一种技术。为了实现信息传输的基本要求，不同类型的计算机网络被不断地设计和实现，新的理论和技术被不断地提出和应用。

计算机网络最常见的有工业计算机网络（如 Profibus 现场总线、CAN 总线、Lon-Works 总线和工业以太网等）、商用计算机网络（如 Internet 等）已被广泛地应用于各行各业。如在智能家居控制系统中，计算机网络可以把报警器、热水器、视频头和空调等智能家电设备连接在一起，用户可以通过计算机进行远程控制；在工厂中，计算机网络把生产线上的工艺设备、仪表、传感器和控制器连接在一起，采集数据并执行控制指令，大大降低工人劳动强度，提高了生产效率，为操作人员和管理人员提供生产数据；在个人用户中，可以采用蓝牙耳机、蓝牙鼠标等代替传统的有线设备进行电脑操作，减少了电缆的数量，扩大了操作的范围等；航天技术中也大量使用了计算机网络中的无线网络技术，对航空器进行远程监视和控制。总之，计算机网络已经深入到日常生活的各个领域中去了，如果说数学、物理和化学是自然科学的基础，那么计算机网络就是 IT 和信息产业的基础和核心。

计算机网络是一个复杂系统，学习计算机网络这门课，不仅要学习计算机网络层次结构和各层协议的基本工作原理及其所采用的技术，学习构建网络中的组网、故障排除、网络编程应用的基本知识；更要学习其解决类似复杂问题的解决方法与思维方式。本章首先从不同的视角来理解计算机网络的概念，从人际交互的角度引出计算机通信中协议的概念及其重要性；从解决复杂问题的方法角度引出网络的分层体系结构及其必要性，并简要介绍了 OSI 七层参考模型和 TCP/IP 网络模型。

1.1 计算机网络的定义

计算机网络在 IT 产业和行业中扮演着重要的角色，那么如果给计算机网络下一个定义，该如何去描述呢？计算机网络（Computer Network）可以从以下几个角度来认识：从网络结构与数据传输方式来认识；从网络的接入与介质来认识；还可以从网络拓扑结构与分

类来认识。本节先通过一个因特网的实例来了解一下基本知识，从多个角度来介绍计算机网络，然后再给出计算机网络的定义。

1.1.1 因特网的组成

从建立一个网络的工程视角来看，建立因特网需要智能终端、传输介质和软件三部分内容。如图 1-1 所示。

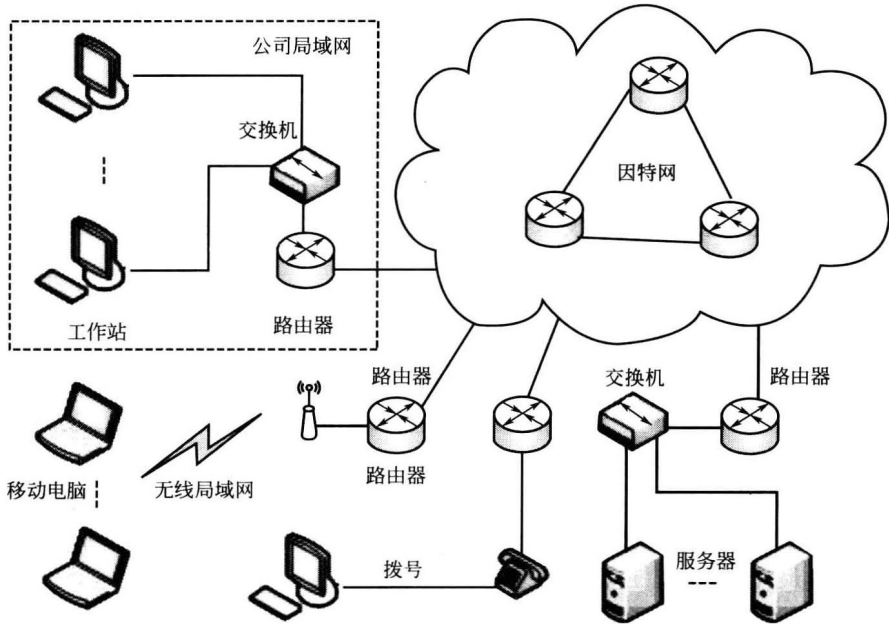


图 1-1 工程视角的因特网

因特网包括了数以亿万计的、相互联接在一起的计算机设备，包括主机和其他终端设备系统（如 PC、工作站、智能家电等）；终端含有用户需要的应用功能。除了终端设备，还必须使用物理介质把设备相互连接起来，才能提供数据传输的通道；因特网中常用的通信介质有光纤、同轴电缆、双绞线、无线电和卫星等。把设备用物理介质连接起来以后，设备中还要有网络应用程序才能进行通信；因特网中各个设备之间的通信主要使用 TCP/IP 协议族，通过路由器将数据分组通过网络转发。

1.1.2 因特网的结构及服务

因特网（也称万网之网）具有松散的层次结构。国家/国际骨干网络提供商（national/

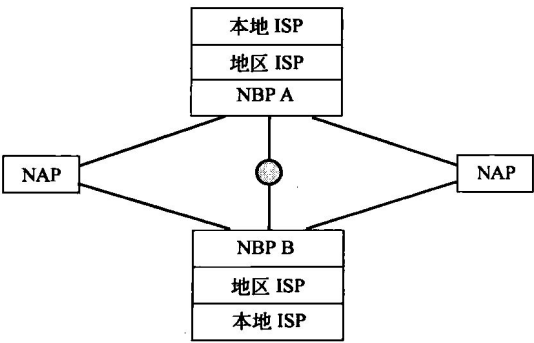


图 1-2 因特网层次结构

international backbone providers, NBP）（例如 BBN/GTE、Sprint、AT&T、IBM、UUNet 等）处于顶层位置，对等实体可采用专用的方式或通过公共网络访问点（Network Access Point, NAP）互联。地区性的 ISP 连接到对应的 NBP，属于中间层次。本地 ISP 或企业连接到地区 ISP 上，属于最外一层。个人用户或企业网则连接到本地 ISP 上，属于用户层面。如图 1-2 所示。其中第一层次和地区 ISP 构成了骨干网络。

因特网的服务主要包括：多种分布式应用；面向连接服务和面向无连接服务等两大类应用服务；服务的特征是不保证数据传输的延时，即无法保证实时性。

1.1.3 计算机网络构成与数据传输方式

(1) 计算机网络的构成

主要由网络边缘设备（如 PC、工作站、服务器、手机、PDA 和智能家电等）、传输介质（光纤、同轴电缆、双绞线、卫星、无线电等）和软件（操作系统、TCP/IP 协议、通信软件等）三大部分组成。按照工作模式不同，网络边缘设备可以分为客户端和服务端，也可以分为对等设备。

客户端和服务端设备的工作模式为客户-服务器模式（也称 C/S 模式），提供面向连接和无连接的服务。客户端不能独立完成功能，它只能通过向服务器提交请求，然后由服务器执行指令并把最终的结构返回给客户端，即客户端请求服务器来完成自己的工作，服务器通过响应客户端的请求并返回处理结果。C/S 模式是计算机网络中最常用的一种工作模式。

对等设备的工作模式为对等模式（也称 P2P 模式），所有设备的功能、地位和作用是完全相同的。任意一个设备既是通信的索取一方也是贡献一方，参与的用户设备越多，则数据传输的速度越快。端系统中的对等应用程序起着客户机程序和服务器程序的双重作用。目前，在文件下载和视频共享网络应用中，P2P 模式被大量采用。

(2) 计算机网络的网络核心

物理网络一旦建成，对于网络设计人员而言，能做的工作就是想办法使用已有的传输介质进行数据传输活动。因此，计算机网络工作的性能就取决于使用线路进行数据传输的控制软件，即如何为每个网络设备分配合适的传输线路资源，让其完成数据传输服务，这是计算机网络正常工作的核心所在；即数据交换是计算机网络的网络核心。

数据交换就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。根据原理不同，数据交换可分为电路交换和存储转发交换。电路交换网络中的复用技术可分为频分复用（FDM）交换和时分复用交换（TDM）等；存储转发交换可分为分组交换和报文交换。

电路交换的基本思想是：收发双方之间的数据通信过程由三个阶段组成，分别是呼叫阶段（也称建立连接阶段）、数据传输阶段、释放阶段（也称断开阶段）；呼叫阶段负责在收发双方之间建立物理通路，包括正向呼叫阶段和反向确认阶段，呼叫阶段结束之后，收发双方独占这一物理线路，释放之前其他设备无法使用；一旦物理通路建立起来，收发双方之间就可以传输数据，进行通信；数据传输结束以后，释放呼叫阶段建立起来的物理通路，回到通信前状态，这就是释放阶段。电路交换独占端到端的固定传输带宽且必定是面向连接的，其过程如图 1-3 所示。

图 1-3 中给出了 4 个计算机所组成的一个网络，A 只能通过 B 和 C 的接力传输，才能把数据传输给 D。A 和 D 之间电路交换连接建立之后，A 和 D 独占 A-B-C-D 之间的线路和全部带宽，B 和 C 无法发送自己的数据。

电路交换的优点就是实时性强，管理简单。缺点是收发双方之间独占线路和全部带宽，如果二者之间长时间占用，则其他的设备无法获得线路的使用权，不能发送数据。由于网络工作效率低，呼叫时间长，可靠性差等缺点；所以电路交换适用于实时交互式业务以及大数

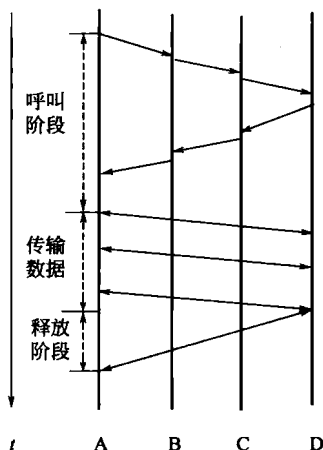


图 1-3 电路交换原理图示

据量传输。

为了能够让更多的用户设备能够同时共用一段线路来发送自己的数据，通常将线路资源按照某种技术划分为“片”，资源片再分配给各个通信设备，每个设备使用各自的资源片进行数据传输。如果拥有资源的通信连接没有使用，则该资源片就被闲置（idle，没有共享）。将链路带宽划分为“片”的最常用方法有两种，分别是按频率划分（frequency division）和时隙划分（time division）。如图 1-4 所示。

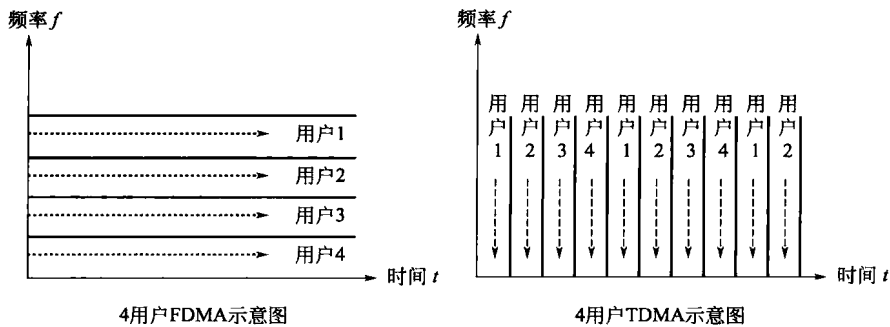


图 1-4 频谱划分和时隙划分示意图

存储-转发交换技术的主要思想是：借鉴了邮政服务的基本思想，采用具有存储-转发能力的计算机设备。数据通信之前，不需要在收发双方之间建立连接；收发双方之间的数据通信以相邻两个节点之间的接力传输来完成；只要相邻的两个设备之间的线路是空闲的，一方就可以将自己的数据发送给其邻居节点；邻居节点收到上一节点的数据之后，先存储下来，如果其和下一节点之间的线路是空闲的，则转发给下一节点，如果线路不空闲，则等到空闲的时候再转发；这样，经过多个中间节点的多次接力传输以后，收发双方就实现了二者之间的数据通信。根据实现的具体技术不同，存储-转发交换技术在技术网络中的应用分为报文交换和分组交换技术两大类。

报文交换的基本思想是：发送方把需要发送的数据打包为一个文件（称为报文），然后采用存储-转发交换技术完成数据的传输；传输过程中只占用相邻两个节点之间的线路，其他节点之间的线路可以用来传输各自的数据；每一个报文中必须包括发送方、接收方的完整信息。图 1-5 给出了 A 和 D 之间通过 A-B-C-D 4 个节点的报文交换过程。

报文交换技术的优点是不需要建立连接，对线路不是独占的，提高了线路的利用率和网络的吞吐量，发送效率高。报文交换的缺点是增加了额外开支，报文太大的时候会长时间占用某一段线路，发送时间长且容易出错，导致传输失败。

分组交换技术的主要思想是：既要发挥报文交换技术的优点，同时又要克服报文交换的缺点；把需要发送的数据文件分成多个较小的小文件（称为分组），每一个分组携带有效数据和额外数据（收发方信息、分组编号等）；每一个分组采用存储-转发技术独立进行转发；不同用户的数据分组可以交织在网络中的物理链路上传输。图 1-6 给出了 A 和 D 之间通过 A-B-C-D 4 个节点的分组交换过程。

如图 1-7 所示，分组交换是将每个端到端的数据流被划分成分组，用户 A、B 的分组可共享网络资源，每个分组使用全部的链路带宽，资源在必要时才使用。分组交换克服了电路交换的一些缺点。分组交换同时也存在资源竞争，如资源可能供不应求，网络拥塞时分组排队，等待链路资源等问题。在路由器上存储转发时分组一次移动一个步跳，要通过链路传输，且要等待下一条链路。

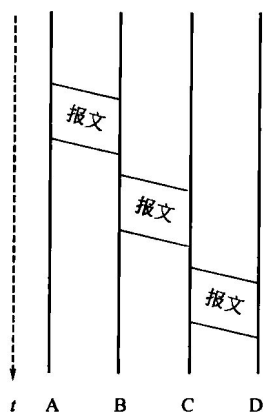


图 1-5 报文交换过程示意图

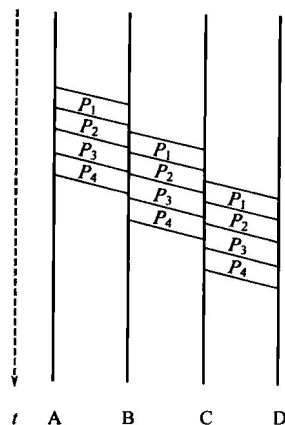


图 1-6 分组交换示意图

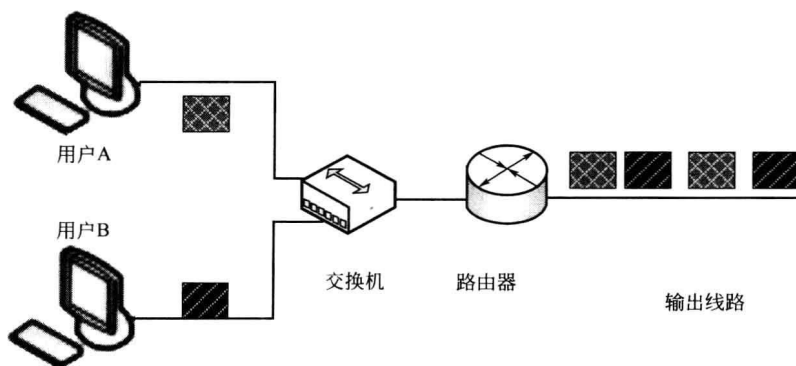


图 1-7 分组交换过程

分组交换技术的优点是不需要固定的物理连接，可靠性高，具有差错控制、迂回路由，信道利用率高，共享物理信道。缺点是实时性差，协议复杂，增加了额外的传输开支。因此，分组交换适用于突发性业务、可靠性要求高的业务（如计算机通信）。

相对于电路交换技术，分组交换技术使得更多用户可“同时”使用网络。以一个 1Mb/s 链路为例，假设“激活”时每个用户用 100Kb/s，且激活时间为 10%，则电路交换仅能容纳 10 个用户，而分组交换能容纳更多的用户，对 35 个用户来说大于 10 个用户同时激活的概率为 0.004。

分组交换在突发性数据传输过程中表现优异，这主要得益于其资源共享且无须事先建立连接。但分组交换相比电路交换也有其不足。例如过度拥塞会导致分组延迟和丢失，这就需要协议来保障可靠的数据传输，进行拥塞控制。现在还有一个仍需解决的问题，那就是如何在分组交换网中提供电路交换的性能，即要为音频/视频（audio/video）应用提供带宽保障。

分组交换的过程如图 1-8 所示。将报文划分成较小的数据块：“分组”，交换机等到整个分组到达完毕后，再进行转发或路由接力，完成存储转发过程。

1.1.4 计算机网络的接入方式和物理介质

用户计算机（或端设备）只有与核心网络连接后才能访问网络中其他计算机的资源。接入网是将端系统连接到其边缘路由器的物理链路。接入网络的方式有很多种，用户可以根据

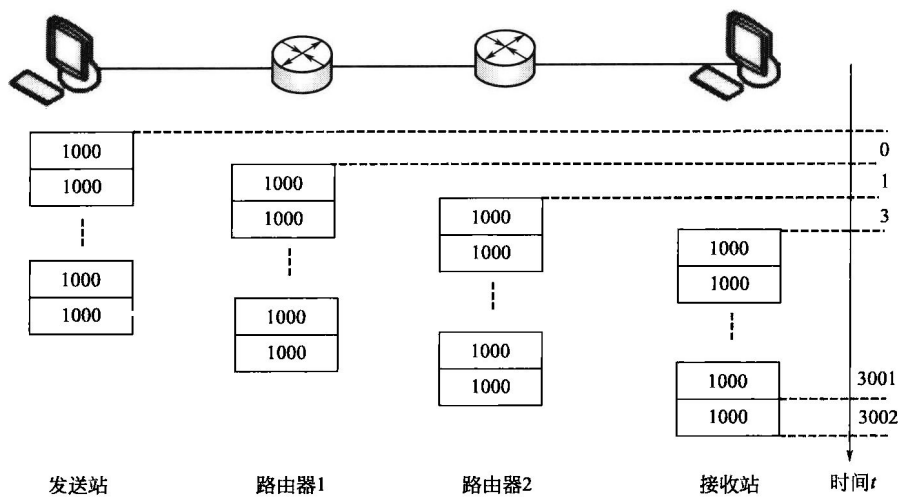


图 1-8 分组交换过程实例

自身的实际使用要求和空间位置来选择合适的接入方式。根据网络功能和要求的不同，网络用户可以分为个人用户和集团用户两大类。个人用户主要是需要接入的计算机数量较少，通常表现为居民区用户。集团用户是指需要接入的网络用户为一个单位、院校或企业，此类用户一般有大量的计算机终端需要入网，网络内部需要有共享和管理功能。

(1) 居民区用户接入网络的技术

大致分为点到点接入和线缆调制解调器接入技术。其中点到点接入方式如图 1-9 所示，点到点接入技术主要包括以下三种。

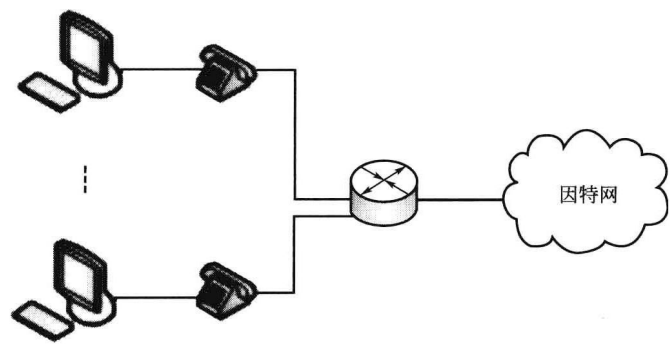


图 1-9 点到点接入方式

- ① 拨号接入方式。采用调制解调器设备，数据传输速率可达 56Kb/s，通常直接连接路由器。该技术是计算机网络中早期个人用户接入技术的主要方法，目前基本已经不用。
- ② 一线通 ISDN (integrated services digital network) 接入方式。数据传输速率为 128Kb/s，通常与路由器之间采用全数字化连接。
- ③ 数字用户线路 DSL (digital subscriber line) 接入方式。采用频分复用技术，通信链路被分为 3 个通道，分别是下行信道 (50kHz~1MHz)、上行信道 (4~50kHz) 和普通的双向电话信道 (0~4kHz)。非对称用户线路 ADSL 中上、下行链路采用不同的数据传输速率，上行数据速率可达 1 Mb/s (home-to-router)，下行数据速率可达 8 Mb/s (router-to-home)；目前 ADSL 接入方式是主流的个人用户接入计算机网络的方式。

线缆调制解调器接入方式的主要应用是光纤同轴电缆混合网络 HFC (hybrid fiber coax), 上下行传输速率是非对称的, 下行可达 10Mb/s, 而上行速率为 1 Mb/s。光纤同轴电缆混合网络将家庭连接到 ISP 路由器; 在若干家庭用户间共享访问带宽, 需要关注拥塞和规模控制问题。现已在国内的某些地区的“智能小区”试点。智能小区的 HFC 接入网络如图 1-10 所示。

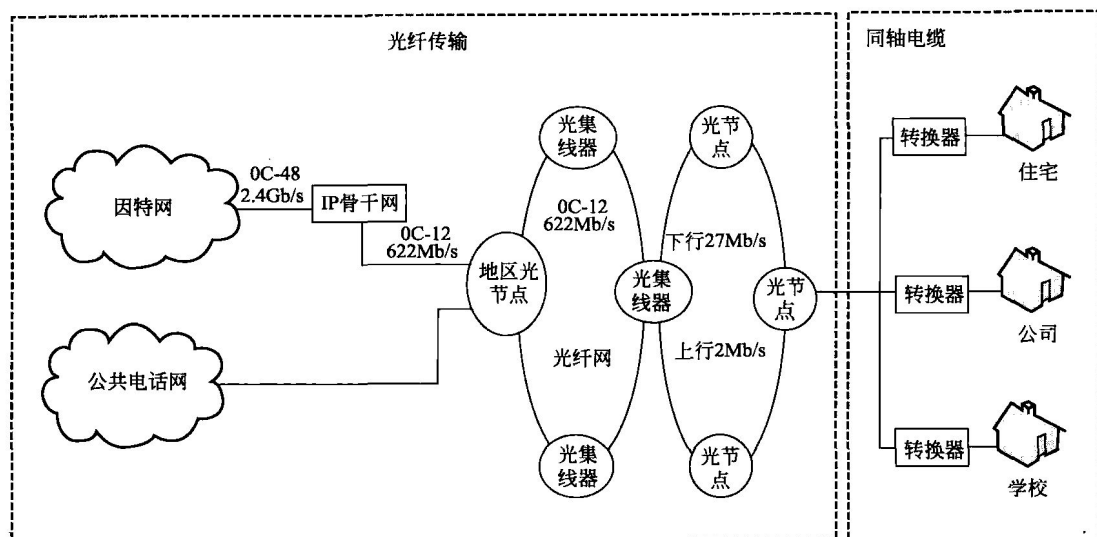


图 1-10 HFC 接入网络

(2) 集团用户接入网络的主要方式

集团内部先建立局域网; 然后局域网再通过边缘路由器接入因特网或其他公共计算机网络。集团用户一般为企业和学校。局域网一般是以以太网 (Ethernet), 通过共享或专线电缆将局域网连接到路由器。以太网的速率大致分为 10Mb/s、100Mb/s、1000Mb/s 等, 速率还可能更快。图 1-11 是一个简单局域网的示意图; 图 1-12 就是某大学早期的校园网总体结构图; 图 1-13 是一个物流信息控制中心网络的例子。

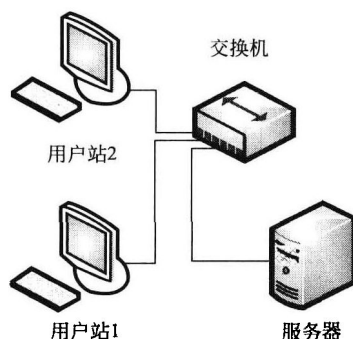


图 1-11 局域网示意图

(3) 无线接入方式

除了以上两类有线接入方式之外, 还有无线网络接入方式。共享的无线访问网络连接端系统和路由器。主要包含无线局域网和无线广域网接入两种方式。无线 LAN 使用无线电磁波替代有线介质作为数据传输通道, 例如朗讯的 Wavelan 网络, 数据传输速率为 11Mb/s。

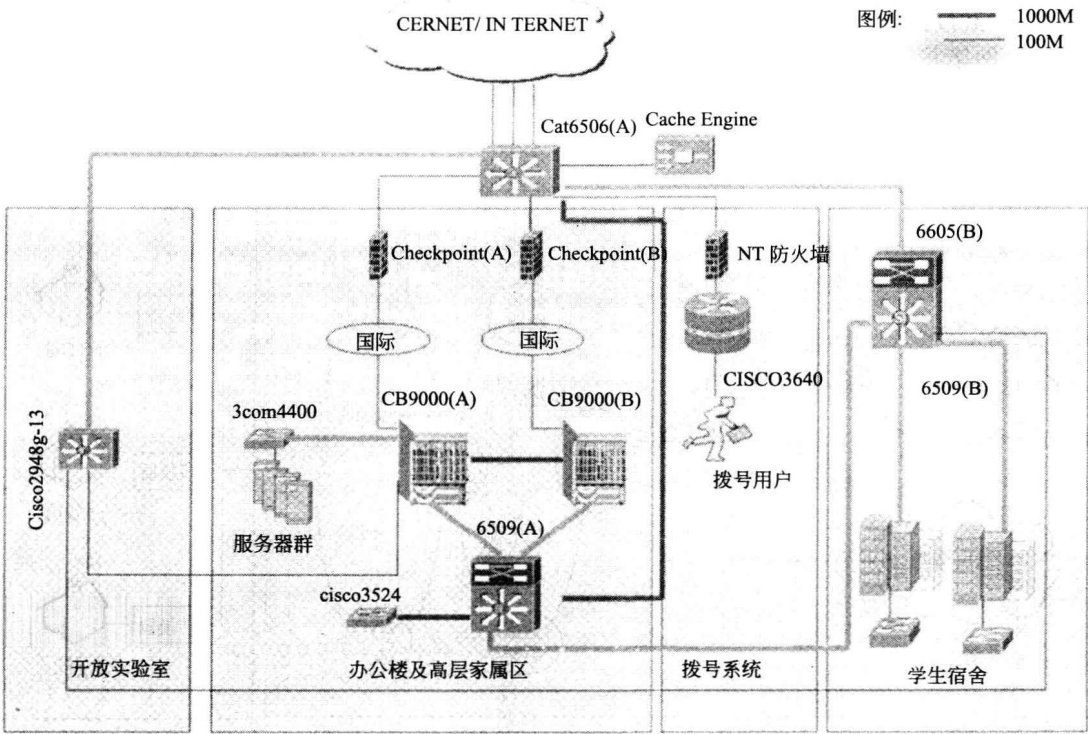


图 1-12 某大学校园网总体结构图

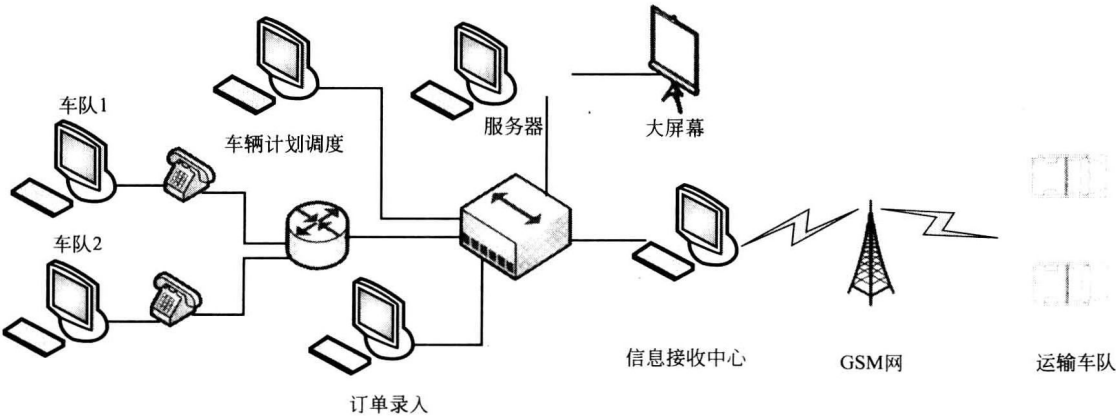


图 1-13 物流信息控制中心

无线广域网接入则通过蜂窝式网络无线接入 ISP 的路由器。如图 1-14 所示。

1.1.5 计算机网络的拓扑结构

拓扑结构是一个几何学的概念。计算机网络的拓扑结构就是将网络上的终端设备（如服务器和工作站）和传输设备抽象成点，将电缆等通信介质抽象成线，由此形成的点和线所组成的几何图形。常见计算机网络拓扑结构有网状、总线型、星形、环形、树形结构等。

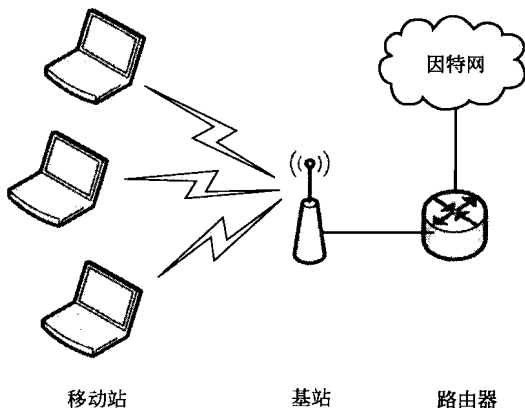


图 1-14 无线访问网络

(1) 网状结构

如图 1-15 所示。它的形状不规则，每一个计算机节点至少与其他两个节点相连。 n 台计算机全连通所需信道 $y = n(n-1)/2$ 。网状结构的优点是稳定性、可靠性、保密性好，可选择最佳路径。缺点是所需线缆多、成本高、网络复杂、不易管理。常用于大型广域网和主干网络等作为干线网络使用。

(2) 总线结构

如图 1-16 所示。各个节点设备并行连接到一根总线上，网络中所有的节点工作站之间均通过该总线进行信息传输。优点是共享信道、易安装、所需线缆少、成本低。缺点是无法隔离失效的站点、实时性差。

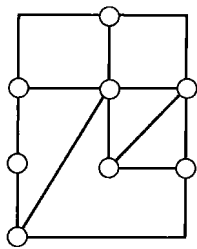


图 1-15 网状结构

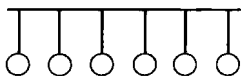


图 1-16 总线结构

(3) 环形结构

如图 1-17 所示。用电缆或光纤将节点工作站首尾串接形成一个环状的结构。优点是易安装、实时性好、可靠性高。缺点是所有节点都得参与传输、可扩充性差、配置复杂。

(4) 星形结构

如图 1-18 所示。每一节点与中心节点（交换机、HUB）直接相连，站点之间的数据交换都必须通过中心站点来完成。优点是易安装、配置简单。缺点是需网络性能过于依赖中心节点，一旦中心节点有故障，则全网瘫痪，此外所有数据都必须通过中心节点完成，中央节点负担重。

(5) 树形结构

如图 1-19 所示。各节点按层次结构连接起来，形状像倒置的一棵树，顶端为根节点。优点是易扩展、易隔离故障、可靠高。缺点是依赖根节点。