

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

计算机网络 实用教程

Computer Network Technology

■ 于德海 主编

■ 王亮 胡冠宇 陈明 王金甫 副主编

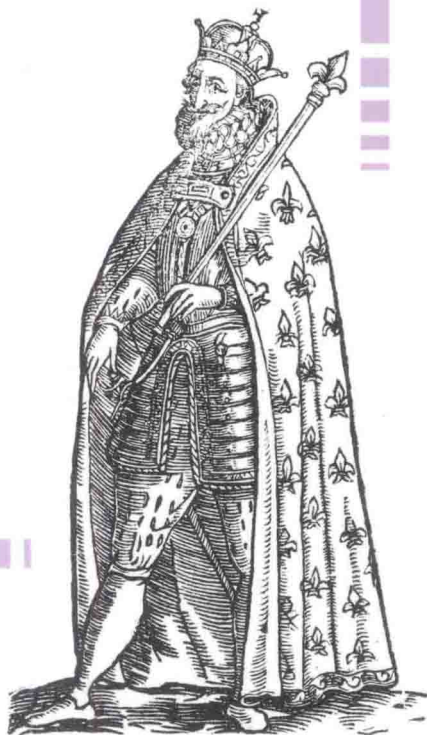
— 涵盖云计算、物联网等最新的网路技术

— 精选 8 个实践案例，提升实际动手能力

— 每章配有适量习题，以便巩固所学知识



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

计算机网络 实用教程

Computer Network Technology

■ 于德海 主编

■ 王亮 胡冠宇 陈明 王金甫 副主编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机网络实用教程 / 于德海主编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2014. 9
21世纪高等教育计算机规划教材
ISBN 978-7-115-36257-5

I. ①计… II. ①于… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第170806号

内 容 提 要

本书定位为理工及应用型学科计算机网络课程的教材。全书具有知识覆盖面宽、知识点讲解浅显易懂、基础知识和应用紧密结合等特点。全书分为理论知识和实训操作两个部分,理论知识部分对基本的网络原理进行了讲解,并介绍了主流的网络服务器、网络安全、网络互联设备配置、网络工程与综合布线,讲述了目前最新的无线局域网技术、物联网和云计算技术,使得本书紧跟计算机网络技术发展的步伐。实训操作部分精选了8个与组建局域网相关的实践案例,使读者可以将理论与实践紧密结合。全书每章后都配有相应的习题,以便读者巩固所学知识。

本书可作为普通高等院校计算机专业和理工科非计算机专业的计算机网络教材,也可作为计算机爱好者学习计算机网络相关知识的参考书。

-
- ◆ 主 编 于德海
副 主 编 王 亮 胡冠宇 陈 明 王金甫
责任编辑 许金霞
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京中新伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.75 2014年9月第1版
字数: 462千字 2014年9月北京第1次印刷
-

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

前言

据统计,截至 2011 年年底,全球的互联网用户已有 20 多亿,已经超过了全球人口的 1/3,这个比例在发达国家更高,在发展中国家也达到了十几个百分点。目前我国的互联网用户数量已经超过了 5 亿,占总人口的 40%左右。

随着 Internet 的迅速发展以及用户人数爆炸式的增长,基本的网络技能已经不再是专业人士才需要掌握的本领了,更多的人需要使用计算机连接网络来完成日常工作和休闲娱乐等活动。网络已经成为人们生活、工作和学习不可或缺的一门技术,为此我们编写了《计算机网络实用教程》这本教材。

本教材旨在用浅显的文字介绍最基本的网络原理和最常用的网络操作技术。读者在阅读本教材之后,可以掌握连接局域网、连接互联网以及常见网络故障的解决等方面的知识,可以轻松“DIY”自己的网络。

本教材共分 10 章,第 1 章对计算机网络进行了概述,介绍了计算机网络的发展史、基本概念和体系结构;第 2 章介绍了常用的通信介质和通信设备的工作原理以及基本配置;第 3 章按照分层思想简要介绍了计算机网络的工作原理和常用通信协议原理;第 4 章介绍了网络客户端最常见、最基本的配置;第 5 章介绍了各种网络应用服务的配置;第 6 章介绍了网络安全涉及的主要技术;第 7 章介绍了目前比较流行的无线局域网技术;第 8 章介绍了常用网络互连设备及配置;第 9 章介绍了网络工程与综合布线的基础知识;第 10 章介绍了目前流行的物联网和云计算技术。根据各章介绍的内容还配有相应的技术实训环节。另外,我们在每章后都配有习题,以便读者巩固所学知识。

为方便教师教学,本教材还配有电子教案和各章节习题的答案,可登录人民邮电出版社教学资源与服务网(www.ptpedu.com.cn)下载。

本教材由长春工业大学于德海、王亮、陈明、胡冠宇和长春理工大学王金甫共同编写。全书由于德海进行统编、定稿；王亮编写了第1章、第2章、第7章、第9章和第10章；胡冠宇编写了第3章和第4章；陈明编写了第5章、第6章和第8章，王金甫编写了实训和习题部分。

特别感谢长春工业大学李万龙教授对本教材的编写提出了许多宝贵意见。在教材的编写过程中,杨明、吕佳阳、刘岩、崔景霞给予许多帮助,在此一并表示感谢!

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者不吝赐教。我们的 E-mail 是: wangliang@mail.ccut.edu.cn。

编者

2014年5月

目 录

第 1 章 计算机网络概述.....	1
1.1 计算机网络的基本概念.....	1
1.2 计算机网络的形成与发展.....	1
1.2.1 以主机为中心的联机系统.....	1
1.2.2 计算机-计算机网络.....	2
1.2.3 分组交换技术的产生.....	3
1.2.4 Internet 的产生与发展.....	8
1.3 计算机网络的功能和拓扑结构.....	9
1.3.1 计算机网络的功能.....	9
1.3.2 计算机网络的拓扑结构.....	10
1.4 计算机网络的分类.....	11
1.4.1 按功能分类.....	11
1.4.2 按地理范围划分.....	13
1.4.3 按使用范围分类.....	14
1.4.4 按传输介质分类.....	14
1.4.5 按企业公司管理分类.....	15
1.5 计算机网络的组成.....	15
1.5.1 计算机网络的系统组成.....	15
1.5.2 计算机网络涉及的软件.....	18
1.6 计算机网络的体系结构.....	18
1.6.1 网络的层次体系结构.....	18
1.6.2 ISO/OSI 参考模型.....	19
1.6.3 Internet 的体系结构.....	22
1.6.4 计算机网络的原理体系结构.....	24
习题一.....	26
第 2 章 网络通信介质及通信设备.....	28
2.1 网络通信介质.....	28
2.1.1 有线通信介质.....	28
2.1.2 无线通信介质.....	34
2.2 网络通信设备.....	35
2.2.1 网卡.....	35

2.2.2 调制解调器.....	37
2.2.3 集线器.....	38
2.2.4 交换机.....	41
2.2.5 路由器.....	43
2.2.6 无线设备.....	44
习题二.....	45
第 3 章 计算机网络的基本原理....	47
3.1 网络分层与数据封装.....	47
3.2 物理层.....	48
3.2.1 物理层的信号.....	48
3.2.2 模拟信号与数字信号之间的转换....	49
3.2.3 信号在信道中的复用.....	50
3.3 数据链路层.....	52
3.3.1 高级数据链路控制.....	52
3.3.2 点对点协议.....	53
3.3.3 以太网的 MAC 协议.....	54
3.3.4 CSMA/CD 协议.....	55
3.4 网络层.....	56
3.4.1 IP 协议.....	56
3.4.2 ARP 协议.....	62
3.4.3 ICMP 协议.....	63
3.4.4 路由选择.....	65
3.5 传输层.....	71
3.5.1 UDP 协议.....	71
3.5.2 TCP 协议.....	72
3.6 应用层.....	74
3.6.1 HTTP 协议.....	74
3.6.2 FTP 协议.....	75
3.6.3 电子邮件.....	76
3.6.4 DHCP.....	77
3.6.5 DNS 协议.....	78
习题三.....	79

第4章 客户端网络配置 82

4.1 Windows 系统的 TCP/IP 基本配置..... 82	
4.1.1 本地连接参数的配置..... 82	
4.1.2 默认网关..... 83	
4.1.3 DNS 地址..... 83	
4.2 Linux 系统的 TCP/IP 基本配置..... 84	
4.3 Windows 中常用网络命令的使用..... 85	
4.3.1 ping 命令的使用..... 85	
4.3.2 ipconfig /all 命令的使用 87	
4.3.3 ARP 命令的使用..... 87	
4.4 Linux 中常用网络命令的使用..... 87	
4.5 网络浏览器的使用 89	
4.5.1 Windows 的 IE 浏览器..... 89	
4.5.2 Linux 的文字界面浏览器 91	
4.6 电子邮件客户端代理的使用 92	
4.6.1 Windows 系统的 Outlook Express..... 92	
4.6.2 Linux 系统的邮件客户端 94	
4.7 使用 FTP 客户端程序上传、 下载文件..... 95	
4.7.1 Windows 系统的 FTP 客户端 95	
4.7.2 Linux 系统的 FTP 客户端 97	
4.8 DHCP 客户端设置 98	
4.8.1 Windows 系统的 DHCP 客户端..... 98	
4.8.2 Linux 系统的 DHCP 客户端 99	
习题四 100	

第5章 网络服务器配置 102

5.1 域名系统 102	
5.1.1 域名系统基本概念..... 102	
5.1.2 Internet 域名空间 103	
5.1.3 DNS 域名解析的方法..... 104	
5.1.4 DNS 域名解析的过程..... 104	
5.1.5 DNS 服务器的安装和添加..... 105	
5.1.6 创建和管理 DNS 区域..... 108	
5.2 DHCP 概述..... 109	
5.2.1 DHCP 110	

5.2.2 DHCP 服务的原理 111	
5.2.3 安装 DHCP 服务器 112	
5.2.4 配置 DHCP 服务器 114	
5.3 WWW 服务 116	
5.3.1 WWW 的工作原理..... 116	
5.3.2 统一资源定位符 URL..... 117	
5.3.3 超文本传送协议 HTTP..... 117	
5.3.4 IIS 的安装 118	
5.3.5 创建新的 Web 站点 119	
5.3.6 网站的配置 120	
5.4 FTP 文件传输协议..... 125	
5.4.1 FTP 简介 125	
5.4.2 FTP 的功能 126	
5.4.3 FTP 服务的工作过程 126	
5.4.4 FTP 的访问方式 126	
5.4.5 创建 FTP 服务器..... 127	
5.4.6 管理 FTP 服务器..... 127	
5.4.7 客户端的配置与使用..... 130	
习题五 133	

第6章 网络安全 135

6.1 网络安全概述 135	
6.1.1 网络安全研究背景..... 135	
6.1.2 网络中存在的不安全因素 137	
6.1.3 网络安全体系结构 138	
6.1.4 网络安全标准 139	
6.2 现代密码技术基础 140	
6.2.1 密码技术概述..... 140	
6.2.2 对称加密体制..... 140	
6.2.3 公开密钥体制..... 143	
6.2.4 对称加密体制与公开密钥体制的 比较 144	
6.3 数字签名与认证 145	
6.3.1 数字签名概述 145	
6.3.2 单向散列函数 146	
6.3.3 Kerberos 身份验证 146	

6.3.4 公开密钥基础设施 PKI	147	7.5 无线局域网的安全问题.....	168
6.4 计算机病毒	148	7.5.1 传输介质的脆弱性	168
6.4.1 计算机病毒概述.....	148	7.5.2 WEP 存在的不足.....	168
6.4.2 计算机病毒制作技术.....	149	7.5.3 WPA	169
6.5 网络安全协议	150	习题七.....	170
6.5.1 网络安全服务协议.....	150	第 8 章 网络互连设备配置	172
6.5.2 SSL 协议	150	8.1 网络互连设备概述.....	172
6.5.3 TLS 协议	151	8.2 交换机技术.....	174
6.5.4 SSH 协议.....	151	8.2.1 交换机的管理	174
6.5.5 网际协议安全.....	151	8.2.2 VLAN 技术	174
6.6 防火墙技术	152	8.2.3 VLAN—交换机的互连.....	175
6.6.1 防火墙概述.....	152	8.2.4 VLAN 划分	175
6.6.2 防火墙的体系结构.....	153	8.2.5 交换机的端口工作模式	177
6.6.3 防火墙技术.....	154	8.2.6 VLAN 配置.....	177
6.7 入侵检测技术	155	8.2.7 STP 技术	178
6.7.1 入侵检测系统概述.....	155	8.2.8 交换机的端口技术	181
6.7.2 入侵检测的一般步骤.....	155	8.3 路由器技术.....	183
6.7.3 入侵检测系统的分类.....	156	8.3.1 路由器的管理	183
习题六	157	8.3.2 静态路由	183
第 7 章 无线局域网	159	8.3.3 动态路由	185
7.1 无线局域网概述	159	8.3.4 RIP 协议.....	185
7.1.1 无线局域网的概念.....	159	8.3.5 OSPF 协议.....	186
7.1.2 无线局域网的特点.....	159	8.3.6 路由器高级技术	190
7.1.3 无线局域网的应用.....	161	8.3.7 访问控制列表的分类	191
7.2 无线局域网的协议标准	161	习题八.....	192
7.2.1 IEEE 802.11 标准	162	第 9 章 网络工程与综合布线.....	194
7.2.2 Wi-Fi	163	9.1 网络工程技术.....	194
7.2.3 蓝牙	164	9.1.1 网络工程概述	194
7.2.4 IrDA	164	9.1.2 网络工程设计	197
7.3 无线局域网的主要实现技术	164	9.1.3 网络性能参数	200
7.3.1 微波通信	164	9.1.4 网络工程文档	202
7.3.2 微波扩频通信.....	165	9.1.5 招标与投标	206
7.4 无线局域网的设备与组成	165	9.2 综合布线技术.....	210
7.4.1 无线局域网的设备	165	9.2.1 综合布线概述	210
7.4.2 无线局域网的组成.....	166	9.2.2 综合布线系统的组成	213

9.2.3 综合布线标准.....	216	10.2.3 云计算的扩展应用.....	247
9.2.4 综合布线系统测试.....	217	10.2.4 典型的云计算平台.....	249
习题九	220	10.3 云计算与物联网	251
第 10 章 物联网和云计算	222	习题十	251
10.1 物联网	222	实训一 双绞线的制作.....	253
10.1.1 物联网的起源与发展现状.....	222	实训二 交换机的配置方法.....	256
10.1.2 物联网的相关概念.....	224	实训三 路由器的配置.....	260
10.1.3 物联网的体系结构.....	228	实训四 拨号接入 Internet.....	264
10.1.4 物联网的关键技术简介.....	229	实训五 ADSL 接入 Internet.....	267
10.1.5 物联网的标准体系.....	231	实训六 IE 配置.....	268
10.1.6 物联网的应用领域.....	234	实训七 网卡的配置方法	269
10.1.7 物联网的发展.....	238	实训八 无线宽带路由器的配置...	270
10.2 云计算	238	参考文献	274
10.2.1 云计算简介.....	238		
10.2.2 云计算实现技术.....	241		

第 1 章

计算机网络概述

1.1 计算机网络的基本概念

计算机网络技术是通信技术与计算机技术相结合的产物。计算机网络是指将地理位置不同的具有独立功能的多台计算机及其外部设备,通过通信线路连接起来,在网络操作系统、网络管理软件及网络通信协议的管理和协调下,实现资源共享和信息传递的计算机系统。连接介质可以是电缆、双绞线、光纤、微波、载波和通信卫星。计算机网络具有共享硬件、软件和数据资源的功能,具有对共享数据资源集中处理及管理维护的能力。

简单地说,计算机网络就是通过连接介质将两台以上的计算机互连起来的集合。

1.2 计算机网络的形成与发展

计算机网络从 20 世纪 60 年代开始发展至今,已形成从小型的办公室局域网到全球性的大型广域网的规模,对现代人类的生产、经济、生活等各个方面都产生了巨大的影响。仅仅在过去的 20 多年里,计算机和计算机网络技术就取得了惊人的发展,处理和传输信息的计算机网络形成了信息社会的基础,不论是企业、机关、团体,还是个人,他们的生产率和工作效率都由于使用这些革命性的工具而有了实质性的提高。在当今的信息社会中,人们不断地依靠计算机网络来处理个人和工作上的事务,并且这种趋势越来越明显,显示出了计算机和计算机网络功能的强大。计算机网络的形成大致分为以下几个阶段。

1.2.1 以主机为中心的联机系统

20 世纪 60 年代中期以前,计算机主机昂贵,而通信线路和通信设备的价格相对便宜,为了共享主机资源和进行信息的采集及综合处理,联机终端网络是一种主要的系统结构形式,这种以单计算机为中心的联机系统如图 1-1 所示。

在单处理机联机网络中,已涉及多种通信技术、多种数据传输设备和数据交换设备等。从计算机技术上来看,这是由单用户独占一个系统发展到分时多用户系统,即多个终端用户分时占用主机上的资源,这种结构被称为第一代网络。在单处理机联机网络中,主机既要承担通信工作,又要承担数据处理,因此,主机的负荷较重,且效率低。另外,每一个分散的终端都要单独占用

一条通信线路，线路利用率低，且随着终端用户的增多，系统费用也在增加。因此，为了提高通信线路的利用率并减轻主机的负担，使用了多点通信线路、集中器以及通信控制处理机。

多点通信线路就是在一条通信线路上连接多个终端，如图 1-2 所示，多个终端可以共享同一条通信线路与主机进行通信。由于主机与终端间的通信具有突发性和高带宽的特点，所以各个终端与主机间的通信可以分时地使用同一高速通信线路。相对于每个终端与主机之间都设立专用通信线路的配置方式，这种多点线路能极大地提高信道的利用率。

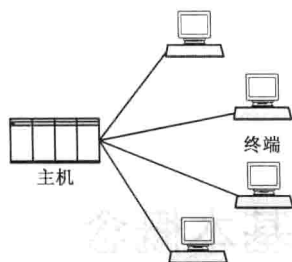


图 1-1 以主机为中心的联机系统

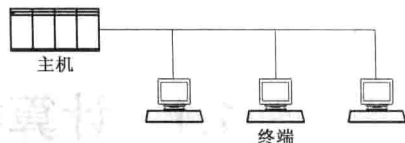


图 1-2 多点通信线路

通信控制处理机 (communication control processor, CCP) 或称前端处理机 (front end processor, FEP)，它的作用是完成全部的通信任务，让主机专门进行数据处理，以提高数据处理的速率，如图 1-3 所示。

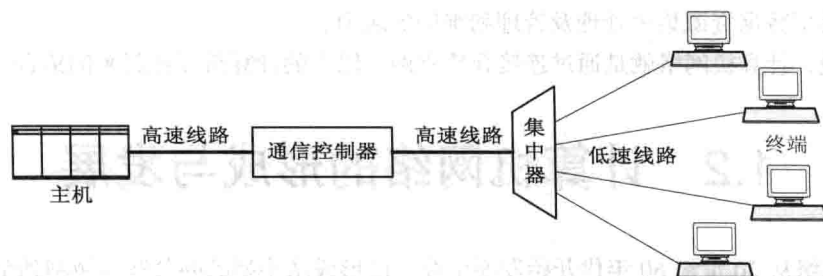


图 1-3 使用通信控制处理机和集中器的通信系统

集中器主要负责从终端到主机的数据集中以及从主机到终端的数据分发，它可以放置于终端相对集中的位置，其一端用多条低速线路与各终端相连，收集终端的数据，另一端用一条较高速率的线路与主机相连，实现高速通信，以提高通信效率。

联机终端网络典型的范例是美国航空公司与 IBM 公司在 20 世纪 50 年代初开始联合研究、20 世纪 60 年代初投入使用的飞机订票系统 (SABRE-D)。这个系统由一台中央计算机与全美范围内的 2000 个终端组成，这些终端采用多点线路与中央计算机相连。美国通用电气公司的信息服务系统 (GE Information Service) 则是世界上最大的商用数据处理网络。

1.2.2 计算机-计算机网络

20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代中期，随着计算机技术和通信技术的发展，已经形成了将多个单处理机联机终端互相连接起来，以多处理机为中心的网络，并利用通信线路将多台主机连接起来，为用户提供服务。连接形式有以下两种。

第一种形式是通过通信线路将主机直接连接起来，主机既承担数据处理，又承担通信工作，

如图 1-4 (a) 所示。

第二种形式是把通信任务从主机分离出来, 设置通信控制处理机 (CCP), 主机间的通信通过 CCP 的中继功能间接进行。由 CCP 组成的传输网络称为通信子网, 如图 1-4 (b) 所示。



图 1-4 计算机——计算机网络

通信控制处理机负责网上各主机间的通信控制和通信处理, 由它们组成了带有通信功能的内层网络, 也称为通信子网, 是网络的重要组成部分。主机负责数据处理, 是计算机网络资源的拥有者, 而网络中的所有主机构成了网络的资源子网。通信子网为资源子网提供信息传输服务, 资源子网上用户间的通信是建立在通信子网的基础上的。没有通信子网, 网络就不能工作, 而没有资源子网, 通信子网的传输也失去了意义, 两者结合起来组成了统一的资源共享的网络。

1.2.3 分组交换技术的产生

为了掌握分组交换的概念, 先简单回顾一下电路交换的特点。

在电话问世后不久, 人们就发现, 要让所有的电话机都两两相连接是不现实的。图 1-5 (a) 表示两部电话只需要用一对电线就能够互相连接起来, 但若有 5 部电话要两两相连, 则需要 10 对电线, 如图 1-5 (b) 所示。显然, 若 N 部电话要两两相连, 就需要 $N(N-1)/2$ 对电线。当电话机的数量很大时, 这种连接方法需要的电线数量就太大了 (与电话机数量的平方成正比)。于是人们认识到, 要使得每一部电话能够很方便地和另一部电话进行通信, 就应当使用电话交换机将这些电话连接起来, 如图 1-5 (c) 所示。每一部电话都连接到交换机上, 而交换机使用交换的方法, 让电话用户彼此之间可以很方便地通信。一百多年来, 电话交换机虽然经过多次更新换代, 但交换的方式一直都是电路交换。

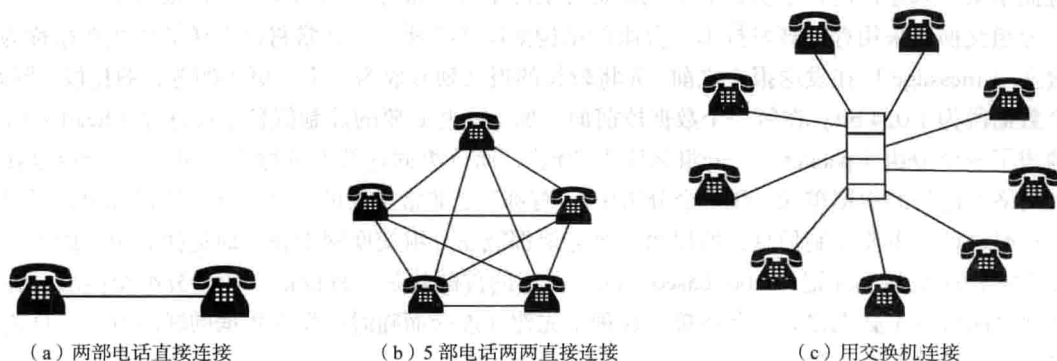


图 1-5 电路交换

当电话机的数量增多时,就要使用很多彼此连接起来的交换机来完成全网的交换任务。用这样的方法,就构成了覆盖全世界的电信网。

从通信资源的分配角度来看,“交换”就是按照某种方式动态分配传输线路的资源。人们在使用电路交换时,在通电话之前,必须先呼叫(即拨号),当拨号的信令通过一个个交换机到达被叫用户所连接的交换机时,该交换机就向用户的电话机振铃,在被叫用户摘机且摘机信令传回主叫用户所连接的交换机后,呼叫即成功。这时,从主叫端到被叫端就建立了一条物理通路,此后主叫和被叫双方才能互相通电话,通话完毕挂机后,挂机信令告诉这些交换机,使交换机释放刚才使用的这条物理通路。这种必须经过“建立连接-通信-释放连接”3个步骤的联网方式称为面向连接的(connection-oriented)。这里必须指出,电路交换必定是面向连接的,但面向连接的却不一定是电路交换,因为分组交换也可以使用面向连接方式(如广域网的X.25网络和ATM网络)。

图1-6所示为电路交换的示意图,为了简单起见,图中没有区分市话交换机和长途电话交换机。应当注意的是,用户线归电话用户专用,而交换机之间拥有大量话路的中继线则是许多用户共享的,正在通话的用户只占用了其中的一个话路,而在通话的全部时间内,通话的两个用户始终占用端到端的固定传输带宽。图1-6中电话机A和B之间的通路共经过了4个交换机,而电话机C和D是属于同一个交换机的地理覆盖范围中的用户,因此这两个电话机之间建立连接就不需要再经过其他的交换机了。

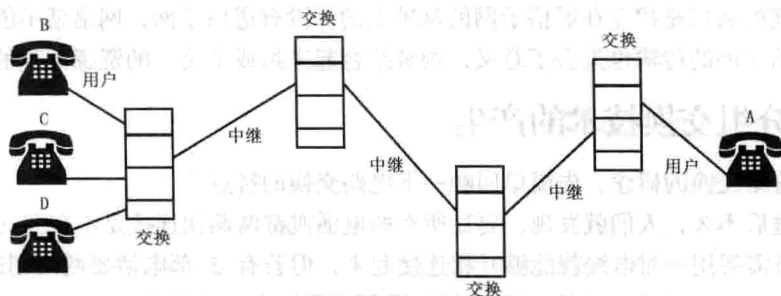


图 1-6 电路交换的示意图

当使用电路交换来传送计算机数据时,其线路的传输效率往往很低。由于计算机数据是突发式地出现在传输线路上,因此线路上真正用来传送数据的时间往往不到10%甚至不到1%。在绝大部分时间里,通信线路实际上是空闲的(但对电信公司来说,通信线路已被用户占用,因而要收费)。例如,当用户阅读终端屏幕上的信息或用键盘输入和编辑一份文件时,或计算机正在进行处理而结果尚未返回时,宝贵的通信线路资源实际上并未被充分利用而是白白浪费了。

分组交换则采用存储转发技术。分组的结构如图1-7所示。通常将欲发送的整块数据称为一个报文(message)。在发送报文之前,先将较长的报文划分成为一个个更小的等长数据段,例如,每个数据段为1024 bit。在每一个数据段前面,加上一些必要的控制信息组成首部(header)后,就构成了一个分组(packet)。分组又称为“包”,而分组的首部也可称为“包头”,分组是在计算机网络中传送的数据单元。在一个分组中,“首部”是非常重要的,由于分组的首部包含了目的地址和源地址等重要控制信息,所以每一个分组都能在分组交换网中独立地选择路由。因此,分组交换的特征是基于标记(label-based)的,上述的首部就是一种标记。使用分组交换时,在传送数据之前可以不必先建立一条连接,这种不先建立连接而随时可发送数据的联网方式,称为无连接的(connectionless)。

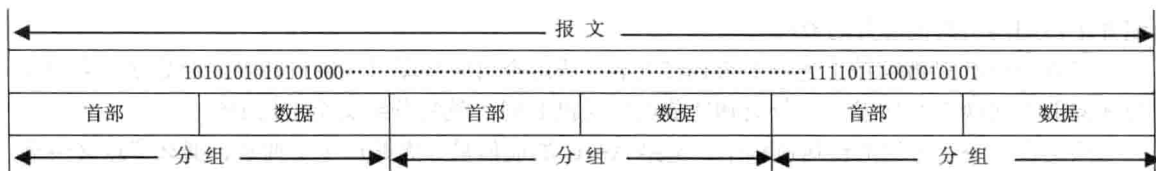


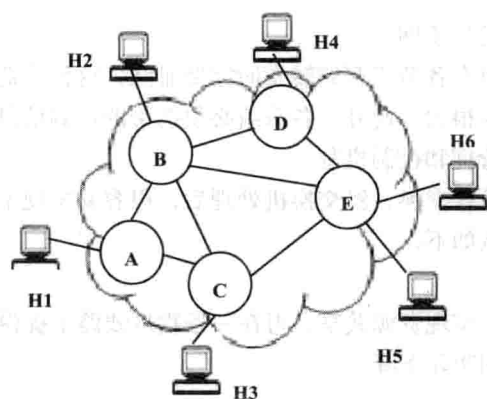
图 1-7 分组的结构

分组交换网由若干节点交换机 (node switch) 和连接这些交换机的链路组成, 如图 1-8 (a) 所示, 用圆圈表示的节点交换机是网络的核心部件。从概念上讲, 一个节点交换机就是一个小型计算机。图 1-8 (b) 和图 1-8 (a) 的表示方法相同, 但强调了节点交换机具有多个端口的概念。

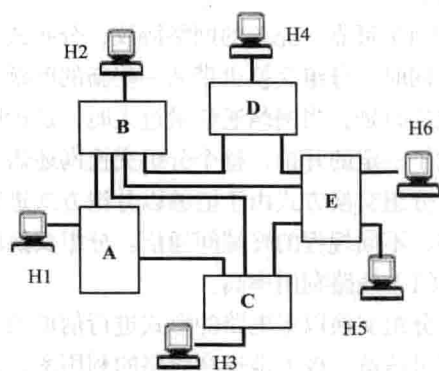
这里用一个方框表示节点交换机。我们应注意到, 每一个节点交换机都有两组端口, 一些小半圆表示的一组端口用来和计算机相连, 所连接的链路速率较低, 而一些小方框表示的一组端口则用高速链路和网络中其他的节点交换机相连。图 1-8 中 H1 ~ H6 都是可进行通信的计算机, 但在计算机网络中常称它们为主机 (host)。在 ARPANET 建网初期, 分组交换网中的节点交换机曾被称为接口报文处理机 (interface message processor, IMP), IMP 这一名词现已不再使用。在图 1-8 中的主机和节点交换机都是计算机, 但它们的作用明显不同, 主机是为用户进行信息处理的, 并且可以通过网络和其他的主机交换信息, 而节点交换机则是进行分组交换的, 是用来转发分组的。各节点交换机之间也要经常交换路由信息, 但这是为了进行路由选择, 即为转发分组找出一条最好的路径。

这里特别需要强调的是, 在节点交换机中的输入和输出端口之间是没有直接连线的。节点交换机处理分组的过程是: 将收到的分组先放入缓存, 再查找转发表 (转发表中写有到何目的地址应从何端口转发的信息), 然后由交换机构从缓存中将该分组取出, 传递给适当的端口转发出去。

现在假定图 1-8 (b) 的主机 H1 向主机 H5 发送数据, 主机 H1 先将分组一个个地发往与它直接相连的节点交换机 A, 此时除链路 H1—A 外, 网内其他通信链路并不被目前通信的双方所占用。需要注意的是, 即使是链路 H1—A, 也只是当分组正在此链路上传送时才被占用。在各分组传送之间的空闲时间, 链路 H1—A 仍可为其他主机发送的分组使用。



(a) 分组交换机和主机



(b) 具有两组端口的节点交换机

图 1-8 分组交换网示意图

节点交换机 A 将主机 H1 发来的分组放入缓存。假定从转发表中查出应将该分组送到节点交换机的端口 4, 于是分组就经链路 A—C 到达节点交换机 C, 当分组正在链路 A—C 传送时, 该分

组并不占用网络其他部分的资源。

节点交换机 C 继续按上述方式查找转发表, 假定查出应从端口 3 进行转发。于是分组又经端口 3 向节点交换机 E 转发。当分组到达节点交换机 E 时, 就将分组交给主机 H5。

假定在某一个分组的传送过程中, 链路 A—C 的通信量太大并产生了拥塞, 那么节点交换机 A 可以将分组转发端口改为端口 1。于是分组就沿另一个路由到达节点交换机 B。节点交换机 B 再通过其端口 3 将分组转发到节点交换机 E, 最后将分组送到主机 H5。图 1-8 (a) 还画出了在网络中可同时有其他主机也在进行通信, 如主机 H2 经过节点交换机 B 和 E 与主机 H6 通信。这里需要注意, 节点交换机暂时存储的是一个短分组, 而不是整个的长报文。短分组是暂存在交换机的存储器 (即内存) 中, 而不是存储在磁盘中, 这就保证了较高的交换速率。

上述过程只描述了两对主机 (H1 和 H5, H2 和 H6) 在进行通信。实际上, 一个分组交换网可以容许很多主机同时进行通信, 而一个主机中的多个进程 (即正在运行中的多道程序) 也可以各自和不同主机中的不同进程进行通信。

在传送分组的过程中, 由于采取了专门的措施, 因而保证了数据的传送具有非常高的可靠性。当分组交换网中的某些节点或链路突然被破坏时, 网络可使用的路由选择协议能够自动找到其他的路径来转发分组。

从上述可知, 采用存储转发的分组交换, 实质上是采用了在数据通信的过程中断续 (或动态) 分配传输带宽的策略。这对传送突发式的计算机数据非常合适, 大大提高了通信线路的利用率。为了提高分组交换网的可靠性, 常采用网状拓扑结构, 当发生网络拥塞或少数节点、链路出现故障时, 可灵活地改变路由而不致引起通信的中断或全网的瘫痪。此外, 通信网络的主干线路往往由一些高速链路构成, 这样就能迅速地传送大量的计算机数据。

综上所述, 分组交换网的主要优点可归纳如下。

(1) 高效。在分组传输的过程中动态分配传输带宽, 对通信链路是逐段占有。

(2) 灵活。每个节点均智能, 为每一个分组独立地选择转发的路由。

(3) 迅速。以分组作为传送单位, 通信之前可以先不建立连接就能发送分组; 网络使用高速链路。

(4) 可靠。完善的网络协议; 分布式多路由的通信子网。

同时, 分组交换也带来一些新的问题。例如分组在各节点存储转发时需要排队, 这就会造成一定的时延, 当网络通信量过大时, 这种时延可能会很大。此外, 各分组必须携带的控制信息也造成了一定的开销, 整个分组交换网还需要专门的管理和控制机制。

分组交换方式由于能够以分组方式进行数据的暂存交换, 经交换机处理后, 很容易实现不同速率、不同规程的终端间通信。分组交换的主要特点如下。

(1) 线路利用率高。

分组交换以虚电路的形式进行信道的多路复用, 实现资源共享, 可在一条物理线路上提供多条逻辑信道, 极大地提高线路的利用率, 使传输费用明显下降。

(2) 不同种类的终端可以相互通信。

分组网以 X.25 协议向用户提供标准接口, 数据以分组为单位在网络内存储转发, 使不同速率的终端、不同协议的设备经网络提供的协议变换功能后实现互相通信。

(3) 信息传输可靠性高。

在网络中, 每个分组进行传输时, 节点交换机之间采用差错校验与重发的功能, 因而在网中传送的误码率大大降低, 而且在网内发生故障时, 网络中的路由机制会使分组自动选择一条新的

路由避开故障点，不会造成通信中断。

(4) 分组多路通信。

由于每个分组都包含控制信息，所以分组型终端可以同时与多个用户终端进行通信，可把同一信息发送给不同用户。

(5) 计费与传输距离无关。

网络计费按时长、信息量计费，与传输距离无关，特别适合那些非实时性，而通信量不大的用户。

电路交换、报文交换和分组交换的主要区别，如图 1-9 所示。图中的 A 和 D 分别是源节点和目的节点，而 B 和 C 是在 A 和 D 之间的中间节点。

从图 1-9 中不难看出，若要连续传送大量的数据，而且其传送时间远大于呼叫建立时间，则采用在数据通信之前预先分配传输带宽的电路交换较为合适。报文交换和分组交换不需要预先分配传输带宽，在传送突发数据时可提高整个网络的信道利用率。分组交换比报文交换的时延小，但其节点交换机必须具有更强的处理能力。

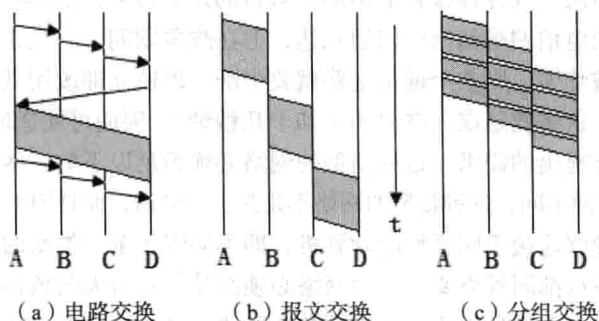


图 1-9 3 种交换方式的比较

我们还可以看出，当端到端的通路是由很多段的链路组成时，采用分组交换传送数据的另一个好处是：采用电路交换时，只要整个通路中有一段链路不能使用，通信就不能进行。就像我们给一个很远的用户打电话一样，由于要经过多个交换机的多次转接，只要整个通路中有一段线路不能使用，电话就打不通。但分组交换就不存在这样的问题，它可以将数据一段一段地像接力赛跑那样传递过去。

ARPANET 的试验成功后，计算机网络的概念发生了根本的变化。图 1-10 (a) 是早期的面向终端的计算机网络，它是以单个主机为中心的星形网，各终端通过通信线路共享昂贵的中心主机的硬件和软件资源。而分组交换网是以网络为中心，主机和终端都处在网络的外围，如图 1-10 (b) 所示。用户通过分组交换网可共享连接在网络上的许多硬件和各种丰富的软件资源。

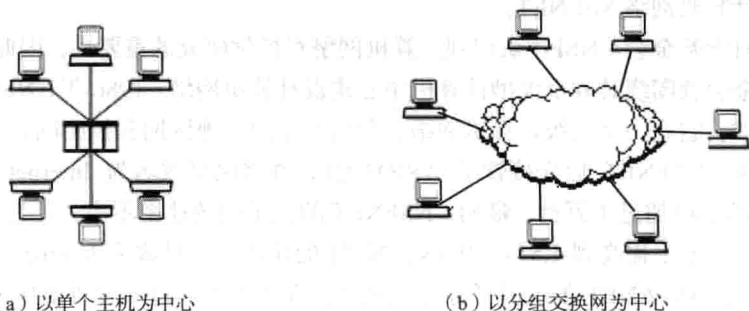


图 1-10 两种计算机网络

这种以分组交换网为中心的计算机网络比最初的面向终端的计算机网络的功能扩大了很多，成为 20 世纪 70 年代计算机网络的主要形式。

必须指出，分组交换网之所以能得到迅速的发展，很重要的一个原因是：分组交换技术给用户带来了经济上的好处，其费用比使用电路交换更为低廉。在美国，分组交换的计算机网络能如此迅速发展的其他因素如下。

- 已经建成了一个相当发达的电信网络作为物质基础。
- 社会生产力的发展使整个社会对信息的处理、传递与交换有迫切的要求。
- 及时开展了有关计算机网络的理论研究，并在试验网络上进行现场实验。

1.2.4 Internet 的产生与发展

现代计算机网络实际上是 20 世纪 60 年代美苏冷战时期的产物。在 20 世纪 60 年代初，美国国防部领导的远景研究规划局（Advanced Research Project Agency, ARPA）提出要研制一种崭新的、能够适应现代战争的、残存性很强的网络，其目的是对付来自前苏联的核进攻威胁。我们知道，传统的电路交换的电信网虽然已经四通八达，但在战争期间，一旦正在通信的电路中有一个交换机或有一条链路被炸毁，则整个通信电路就要中断。即使立即改用其他迂回电路通信，也必须重新拨号建立连接，这将要延误一些时间（如十几秒钟），因而可能造成不可挽回的重大损失。

根据当时美国军方提出的需求，这种新型的网络必须满足以下的一些基本要求。

（1）和传统的电信网不同，这种新型的网络不是为了打电话，而是用于计算机之间的数据传送。

（2）新型的网络能够连接不同类型的计算机，即不局限于单一类型的计算机。

（3）所有的网络节点都同等重要，因为网络必须经受得起敌人的核打击，所以在网络中不能有某些特别重要的节点，否则敌人将首先瞄准和摧毁这些重要的节点。将所有的节点设计成同等重要的，就可以大大提高网络的生存性，生存性有时也称为顽存性。

（4）计算机在进行通信时，必须有冗余的路由，并且当网络中的某一个节点或链路被敌人破坏时，冗余的路由能够使通信自动找到合适的路由，使通信维持畅通。

（5）网络的结构应当尽可能的简单，但能够非常可靠地传送数据。

20 世纪 80 年代末期以来，在网络领域最引人注目的就是起源于美国的因特网（Internet）的飞速发展。现在，Internet 已发展成为世界上最大的国际性计算机互联网。由于 Internet 已影响到人们生活的各个方面，这就使得 20 世纪 90 年代成为因特网时代，或简称为网络时代，下面简单介绍 Internet 的发展过程。

自 1969 年美国的 ARPANET 问世后，其规模一直增长很快。1984 年 ARPANET 上的主机已超过 1000 台，ARPANET 于 1983 年分解成两个网络，一个仍称为 ARPANET，是民用科研网；另一个是军用计算机网络 MILNET。

美国国家科学基金会（NSF）认识到计算机网络对科学研究的重要性，因此从 1985 年起，美国国家科学基金会就围绕其 6 个大型计算机中心建设计算机网络。1986 年，NSF 建立了国家科学基金网 NSFNET，它是一个三级计算机网络，分为主干网、地区网和校园网，覆盖了全美国主要的大学和研究所。NSFNET 后来接管了 ARPANET，并将网络改名为 Internet，即因特网。1987 年，Internet 上的主机超过 1 万台。最初，NSFNET 的主干网的速率不高，仅为 56 kbit/s，1989 年 NSFNET 主干网的速率提高到 1.544 Mbit/s，即 T1 的速率，并且成为 Internet 中的主要部分。到了 1990 年，鉴于 ARPANET 的实验任务已经完成，在历史上起过非常重要作用的 ARPANET 就正式宣布关闭。

1991年, NSF 和美国的其它政府机构开始认识到, Internet 必将扩大其使用范围, 不会仅限于大学和研究机构。世界上的许多公司纷纷接入 Internet, 网络上的通信量急剧增大, 每日传送的分组数达 10 亿之多。Internet 的容量又满足不了需要了, 于是美国政府决定将 Internet 的主干网转交给私人公司来经营, 并开始对接入 Internet 的单位收费。1992 年, Internet 上的主机超过 100 万台。1993 年 Internet 主干网的速率提高到 45 Mbit/s (T3 速率)。到 1996 年主干网 vBNS (very high-speed Backbone Service) 的速率为 155 Mbit/s。

进入 21 世纪, Internet 已不再是计算机人员和军事部门进行科研的领域, 而是变成了一个开发和使用信息资源的覆盖全球的信息海洋。在 Internet 上, 按从事的业务分类包括了广告、航空、农业生产、艺术、导航设备、书店、化工、通信、计算机、咨询、娱乐、财贸、商店、旅馆等 100 多类, 覆盖了社会生活的方方面面, 构成了一个信息社会的缩影。

根据 2011 全球互联网发展报告显示, 截至 2011 年底, 全球电子邮件账户数量已经达到 314.6 亿, 网站数量达到 5.55 亿, 注册域名的数量达到 2.2 亿, 全球互联网用户总数更是突破了 21 亿。

1.3 计算机网络的功能和拓扑结构

1.3.1 计算机网络的功能

1. 数据交换和通信

计算机网络中的计算机之间或计算机与终端之间, 可以快速可靠地相互传递数据、程序和文件。例如, 电子邮件 (E-mail) 可以使相隔万里的异地用户快速准确地相互通信; 电子数据交换 (EDI) 可以实现在商业部门 (如海关、银行等) 或公司之间进行订单、发票、单据等商业文件安全准确的交换, 文件传输服务 (FTP) 可以实现文件的实时传递, 为用户复制和查找文件提供了有力的工具。

2. 资源共享

充分利用计算机网络中提供的资源 (包括硬件、软件和数据) 是计算机网络组网的主要目标之一。计算机的许多资源是十分昂贵的, 不可能为每个用户所拥有。例如, 进行复杂运算的巨型计算机、海量存储器、高速激光打印机、大型绘图仪和一些特殊的外设等, 另外, 还有大型数据库和大型软件等。这些昂贵的资源都可以为计算机网络上的用户所共享。资源共享既可以减少投资, 又可以提高这些计算机资源的利用率。

3. 提高系统的可靠性

在一些用于计算机实时控制和要求高可靠性的场合, 通过计算机网络实现的备份技术可提高计算机系统的可靠性。当某一台计算机出现故障时, 可以立即由计算机网络选择另一台计算机来代替其完成所承担的任务。例如, 空中交通管理、工业自动化生产线、军事防御系统、电力供应系统等都可以通过计算机网络设置备用或替换的计算机系统, 以保证实时性管理和不间断运行系统的安全性和可靠性。

4. 分布式网络处理和负载均衡

对于大型的任务或当网络中某台计算机的任务负荷太重时, 可将任务分散到网络中的其他计算机进行大型的处理任务, 使得一台计算机不会负担过重, 提高计算机的可用性, 起到了分布式处理和均衡负荷的作用。