

● 高等学校21世纪计算机教材

# 网络

# 规划与设计

曾慧玲 陈杰义 编著

冶金工业出版社

高等学校 21 世纪计算机教材

# 网络规划与设计

曾慧玲 陈杰义 编著

北 京

冶金工业出版社

2005

## 内 容 简 介

网络设计是计算机非常重要的研究方向，本书系统、全面地介绍了计算机网络的基本知识、网络理论和工作原理，还介绍了新型网络技术及网络组网技术与网络工程的基础知识、设计方法和具体实例。全书共分 10 章，具体包括计算机网络基础、局域网技术、广域网技术、TCP/IP 协议、网络互联设备、无线网络与无线介质、网络系统的选择、Web 网站的初级设计、Web 网站的高级设计、网络系统集成实例等内容。

本书结构合理、内容丰富、重点突出、实用性较强，既可作为高等学校计算机相关专业的教材，也可作为计算机网络技术自学者的参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

网络规划与设计 / 曾慧玲等编著. —北京: 冶金工业出版社, 2005.2

ISBN 7-5024-3712-6

I. 网... II. 曾... III. 计算机网络—基本知识  
IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 142915 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 程志宏

湛江蓝星南华印务公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2005 年 3 月第 1 版, 2005 年 3 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 20.75 印张; 477 千字; 322 页

35.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

## 一、关于本书

网络设计是计算机非常重要的研究方向与主要的应用方向。网络应用的需求是推动网络技术发展的主要动力。构架一个网络系统,需要考虑多方面的因素,如运行的稳定性、可扩充性等。随着新型 WWW 的应用,特别是网络多媒体应用的逐步推广,传统的网络框架已经不适用,全交换和高速接入成为新型网络结构的特点。本书就是为适应这一需求而编写的。通过对本书的学习,读者可以进行方案设计、工程施工、测试、组织验收和鉴定。本书内容全面、重点突出,在内容介绍时围绕综合布线展开,使读者对无线网络有一个清醒的认识,同时本书的内容反映了综合布线的最新技术。此外,本书还给出了网络布线的经典案例,以帮助读者巩固所学的知识。

## 二、本书内容结构

本书是作者综合国内外优秀教材,结合大量国外的最新资料,再融入丰富的组网经验写成的。全书紧贴 OSI 参考模型,由浅入深地对联网设备从底层到高层进行逐步深入地讲解。全书的结构如下:

第 1 章:计算机网络基础。主要介绍了网络的应用需求与特性、网络体系结构以及 Berkley 套接字等。

第 2 章:局域网技术。主要介绍了局域网的相关知识、以太网、高速以太网、千兆位以太网、令牌环网以及令牌总线等。

第 3 章:广域网技术。主要介绍了现代互联网络的结构、广域网的相关知识、公共分组交换网(X.25)、数字数据网(DDN)、帧中继网(FRN)、综合业务数字网(ISDN)、异步传输模式(ATM)以及接入网技术等。

第 4 章:TCP/IP 协议。主要介绍了 TCP/IP 的相关知识、IP 地址、域名系统、IP 层协议、TCP 层协议、Internet 质量保证以及 IPv6 等。

第 5 章:网络互联设备。主要介绍了中继器、网桥、路由器、网关、交换机、集线器、调制解调器、网卡与防火墙等。

第 6 章:无线网络与无线介质。主要介绍了无线网络标准和协议、无线介质、HomeRF、蓝牙技术、GSM 和 GPRS、WAP、无线通信的前景等。

第 7 章:网络系统的选择。主要介绍了网络拓扑结构的选择、网络介质的选择、网络结构的选择、各种网络连接设备的选择、几种先进的网络系统等。

第 8 章:Web 网站的初级设计。主要介绍 Web 网站设计的开发准备、网站概要设计、具体开发、网站发布、网站推广和维护、成功案例以及 Web 网站技术发展方向等。

第 9 章:Web 网站的高级设计。主要介绍了 Web 网站的目录结构和链接结构、网站的整体风格和创意设计、首页的设计、版面布局的原理、网页的色彩、网页字体的设置、网页中表格的运用、导航栏设计以及网站开发等。

第 10 章：网络系统集成实例。主要介绍了网络规划、网络系统设计及几个网络系统集成实例，最后介绍了网络系统集成实用技术以及组网系统的验收等。

### 三、本书特点

本书内容丰富、条理清晰、语言通俗易懂，同时结合大量的图片、表格，详细地介绍了常见的网络互联设备及其使用和设置方法，并通过典型实例进行具体的说明。通过本书的学习，读者可以很快掌握联网设备的相关知识以及相应的组网技术。

### 四、本书适用对象

本书既可作为高等学校计算机相关专业的教材，也可作为计算机网络技术自学者的参考用书。

作者在编写本书的过程中参考了大量的文章和书籍，并吸取了很多朋友宝贵的建议，在此一并表示衷心地感谢。

虽然经过严格的审核、精细的编辑，本书在质量上有了一定的保障，但我们的目标是力求尽善尽美，欢迎广大读者和专家对我们的工作提出宝贵建议，联系方式如下：

电子邮件：[service@cnbook.net](mailto:service@cnbook.net)

网址：[www.cnbook.net](http://www.cnbook.net)

此外，本书附送的电子教案和练习题的参考答案可从该网站免费下载，该网站还有一些其他相关书籍的介绍，可以方便读者选购参考。

编 者  
2004 年 12 月

# 目 录

<b>第 1 章 计算机网络基础</b> .....	1	2.5 令牌环网	40
1.1 网络的应用需求与特性	1	2.5.1 令牌环的工作原理	40
1.1.1 连通性	1	2.5.2 令牌环帧格式	41
1.1.2 成本-效益高的资源共享	4	2.5.3 令牌环操作过程	41
1.1.3 支持共同的服务	5	2.5.4 令牌环的维护	41
1.1.4 性能简介	6	2.5.5 令牌环的特点	42
1.2 网络体系结构	7	2.6 令牌总线	42
1.3 Berkley 套接字	11	2.6.1 令牌总线的工作原理	42
小结	17	2.6.2 令牌总线和令牌环网的区别	43
综合练习一	17	2.7 光纤分布数据接口	43
一、选择题	17	2.8 无线网络及无线介质	45
二、填空题	18	小结	45
三、简答题	18	综合练习二	46
<b>第 2 章 局域网技术</b> .....	19	一、选择题	46
2.1 局域网概述	19	二、填空题	48
2.1.1 局域网的特点与 IEEE802 标准	19	三、简答题	49
2.1.2 局域网的拓扑结构	22	<b>第 3 章 广域网技术</b> .....	50
2.1.3 局域网的结构	22	3.1 现代互联网络的结构	50
2.1.4 局域网的组成	26	3.2 广域网概述	51
2.1.5 局域网的工作模式	27	3.2.1 广域网链路以及交换类型	51
2.2 以太网	28	3.2.2 广域网基本设备	53
2.2.1 以太网的标准以及分类	28	3.2.3 广域网类型	54
2.2.2 以太网的体系结构	30	3.3 公共分组交换网 (X.25)	56
2.2.3 以太网的特点	31	3.3.1 X.25 网络概要	56
2.2.4 交换式以太网	32	3.3.2 用户接入 X.25 网络	61
2.3 100Base-T 高速以太网	34	3.4 数字数据网 (DDN)	61
2.4 千兆位以太网	36	3.4.1 DDN 网络概述	61
2.4.1 千兆以太网的特点	36	3.4.2 DDN 提供的业务与用户	63
2.4.2 千兆以太网的 MAC 帧	37	人网方式	63
2.4.3 千兆以太网的物理层	37	3.4.3 DDN 的优势效益	64
2.4.4 构建千兆以太网	38	3.5 帧中继网 (FRN)	65
2.4.5 千兆以太网的升级	39	3.5.1 帧中继技术的主要特点	65

3.5.2 帧中继的业务 .....	66	4.3.1 域名的概念与结构 .....	95
3.5.3 帧中继用户的接入 .....	66	4.3.2 域名解释的过程与方法 .....	96
3.6 综合业务数字网 (ISDN) .....	69	4.3.3 名字缓存技术和复制 根服务器技术 .....	97
3.6.1 ISDN 的概述 .....	69	4.3.4 反向解析查询 .....	97
3.6.2 N-ISDN 向 B-ISDN 的发展 .....	70	4.3.5 DNS 的询问报文格式 .....	98
3.6.3 B-ISDN 的业务 .....	70	4.4 IP 层协议 .....	98
3.6.4 ISDN 系统结构 .....	71	4.4.1 地址解释协议与逆地址 解释协议 .....	98
3.6.5 ISDN 接口 .....	72	4.4.2 Internet 控制报文协议 .....	100
3.7 异步传输模式 (ATM) .....	74	4.4.3 Internet 组管理协议 .....	103
3.7.1 ATM 概述 .....	74	4.4.4 路由协议 .....	104
3.7.2 促进 ATM 技术发展的因素 .....	74	4.5 TCP 层协议 .....	111
3.7.3 ATM 协议栈 .....	76	4.5.1 传输控制协议 .....	111
3.7.4 ATM 的优点 .....	76	4.5.2 用户数据报协议 .....	114
3.7.5 ATM 的应用 .....	78	4.6 Internet 质量保证 .....	115
3.8 接入网技术 .....	79	4.6.1 概述 .....	115
3.8.1 接入网概述 .....	79	4.6.2 综合业务模型 .....	116
3.8.2 接入网技术类型 .....	81	4.6.3 差分业务模型 .....	117
3.8.3 HFC 接入技术 .....	81	4.7 IPv6 .....	118
3.8.4 xDSL 接入技术 .....	83	4.7.1 IPv6 简介 .....	118
小结 .....	85	4.7.2 IPv6 的新特性 .....	118
综合练习三 .....	86	4.7.3 IPv6 报头格式 .....	120
一、选择题 .....	86	4.7.4 IPv6 地址的分层结构 .....	120
二、填空题 .....	87	4.7.5 IPv6 地址的表示 .....	121
三、简答题 .....	87	4.7.6 IPv6 地址的分配 .....	121
<b>第 4 章 TCP/IP 协议 .....</b>	<b>89</b>	4.7.7 从 IPv4 到 IPv6 的过渡 .....	121
4.1 TCP/IP 概论 .....	89	小结 .....	121
4.1.1 TCP/IP 简介 .....	89	综合练习四 .....	122
4.1.2 TCP/IP 参考模型与协议簇 .....	90	一、选择题 .....	122
4.2 IP 地址 .....	91	二、填空题 .....	123
4.2.1 IP 地址简介 .....	91	三、简答题 .....	123
4.2.2 IP 地址的结构及其分类 .....	91	<b>第 5 章 网络互联设备 .....</b>	<b>125</b>
4.2.3 Internet 规定的一些特殊地址 .....	93	5.1 网络互联的概念 .....	125
4.2.4 IP 地址的分配 .....	93	5.1.1 网络互联的要求 .....	125
4.2.5 子网掩码 .....	93	5.1.2 结构方案 .....	126
4.2.6 IP 地址应用实例 .....	94		
4.3 域名系统 .....	95		

5.1.3 IP over SDH 和 IP over WDH.....	127	5.10.2 使用防火墙的利弊.....	155
5.2 中继器.....	132	5.10.3 防火墙的功能.....	156
5.2.1 中继器的工作原理.....	132	5.10.4 防火墙的设计策略.....	156
5.2.2 中继器的特性.....	133	小结.....	157
5.3 网桥.....	133	综合练习五.....	158
5.3.1 网桥的定义.....	133	一、选择题.....	158
5.3.2 使用网桥的必要性.....	134	二、填空题.....	159
5.3.3 网桥的功能.....	134	三、简答题.....	159
5.3.4 网桥的工作原理.....	135	<b>第 6 章 无线网络与无线介质.....</b>	<b>160</b>
5.3.5 网桥的用途.....	136	6.1 无线网络概述.....	160
5.3.6 网桥的类型.....	136	6.1.1 传输方式.....	160
5.4 路由器.....	140	6.1.2 网络拓扑.....	161
5.4.1 路由器的定义.....	140	6.1.3 网络接口.....	162
5.4.2 路由器的工作原理.....	141	6.1.4 对移动计算网络的支持.....	162
5.4.3 路由器的基本功能.....	141	6.1.5 无线网络适用的范围.....	162
5.4.4 路由器的分类.....	142	6.2 无线网络标准和协议.....	163
5.5 网关.....	142	6.2.1 IEEE802.11.....	163
5.5.1 网关的基本概述.....	142	6.2.2 IEEE802.11b.....	165
5.5.2 网关的工作原理.....	143	6.2.3 IEEE802.11a.....	165
5.5.3 网关的主要功能.....	144	6.2.4 IEEE802.11g.....	166
5.5.4 网关的协议.....	144	6.2.5 HomeRF 标准.....	166
5.6 交换机.....	146	6.2.6 蓝牙技术.....	166
5.6.1 交换机技术.....	146	6.2.7 IrDA.....	167
5.6.2 局域网交换机.....	147	6.3 无线介质.....	167
5.7 集线器.....	148	6.3.1 红外传输.....	167
5.7.1 切换式 HUB.....	149	6.3.2 无线电系统.....	170
5.7.2 共享式 HUB.....	149	6.3.3 微波通信.....	171
5.7.3 堆叠共享式 HUB.....	149	6.4 HomeRF.....	172
5.8 调制解调器.....	149	6.4.1 HomeRF 简介.....	172
5.8.1 调制解调器的概念.....	149	6.4.2 HomeRF 的标准.....	172
5.8.2 调制解调器的用途.....	149	6.5 蓝牙技术.....	173
5.8.3 调制解调器的分类.....	150	6.5.1 蓝牙技术简介.....	173
5.9 网卡.....	151	6.5.2 发展中的蓝牙技术.....	173
5.9.1 网卡的主要功能.....	151	6.5.3 蓝牙的应用领域.....	175
5.9.2 网卡的分类.....	152	6.5.4 蓝牙的前景.....	175
5.10 防火墙.....	154	6.6 GSM 和 GPRS.....	175
5.10.1 防火墙的基本概念.....	154		



6.6.1 GSM 简介 .....	175	7.5.2 集线器 .....	202
6.6.2 GSM 网络的分层 .....	176	7.5.3 桥接器 (网桥) .....	203
6.6.3 GPRS 简介 .....	177	7.5.4 交换机 .....	204
6.6.4 构建 GPRS 网络 .....	177	7.5.5 路由器 .....	205
6.7 WAP .....	179	7.5.6 网关 .....	206
6.7.1 WAP 的产生 .....	179	7.6 几种先进的网络系统 .....	206
6.7.2 WAP 的设计思想 .....	180	7.6.1 美国 IBM 先进网络系统 .....	206
6.7.3 WAP 的技术特点 .....	181	7.6.2 德国克罗内超 5 类 综合网络系统 .....	206
6.7.4 WAP 协议层 .....	181	7.6.3 美国安普开放式网络系统 .....	207
6.7.5 WAP 的应用价值 .....	183	7.6.4 以色列爱尼克综合网络系统 .....	207
6.8 无线通信的前景 .....	184	7.6.5 美国奥创利开放式 综合网络系统 .....	207
小结 .....	185	7.6.6 法国波页特多功能 综合网络系统 .....	207
综合练习六 .....	185	7.6.7 美国朗讯科技公司 .....	207
一、选择题 .....	185	小结 .....	208
二、填空题 .....	185	综合练习七 .....	208
三、简答题 .....	186	一、选择题 .....	208
<b>第 7 章 网络系统的选择 .....</b>	<b>187</b>	二、填空题 .....	208
7.1 概述 .....	187	三、简答题 .....	209
7.2 网络拓扑结构的选择 .....	187	<b>第 8 章 Web 网站的初级设计 .....</b>	<b>210</b>
7.2.1 星型拓扑结构 .....	188	8.1 网站设计的开发准备 .....	210
7.2.2 环型拓扑结构 .....	188	8.1.1 定位网站的主题 .....	210
7.2.3 总线型拓扑结构 .....	189	8.1.2 定位网站的名称 .....	211
7.2.4 星型总线拓扑结构 .....	191	8.1.3 搜集网站资料 .....	211
7.3 网络介质的选择 .....	191	8.1.4 定位网站的 CI 形象 .....	211
7.3.1 双绞线 .....	191	8.2 网站概要设计 .....	212
7.3.2 同轴电缆 .....	192	8.2.1 确定网站的总体布局 .....	212
7.3.3 光纤 .....	193	8.2.2 确定网站的栏目 .....	213
7.3.4 微波传输和卫星传输 .....	193	8.3 具体开发 .....	213
7.4 网络结构的选择 .....	194	8.3.1 静态网页的开发 .....	213
7.4.1 以太网 .....	194	8.3.2 动态网页开发方法 .....	216
7.4.2 令牌环网 .....	197	8.3.3 静态和动态页面的比较 .....	217
7.4.3 光纤分布式接口 .....	198	8.4 网站发布 .....	218
7.4.4 异步传输模式 .....	199	8.4.1 使用收费虚拟主机 .....	218
7.4.5 100VG-AnyLAN .....	201		
7.5 各种网络连接设备的选择 .....	202		
7.5.1 中继器 .....	202		

8.4.2 使用独立的主机 .....	218	9.6.1 字体使用技术 .....	236
8.5 网站推广 .....	218	9.6.2 字体使用原则 .....	238
8.5.1 导航网站登录 .....	218	9.7 网页中表格的运用 .....	238
8.5.2 友情链接 .....	219	9.7.1 表格的基本用法 .....	238
8.5.3 搜索引擎登录排名 .....	219	9.7.2 表格运用的注意事项 .....	240
8.5.4 网络广告投放 .....	219	9.8 导航栏设计 .....	241
8.5.5 邮件广告 .....	219	9.8.1 最简单的导航栏 .....	241
8.5.6 病毒式营销 .....	220	9.8.2 采用 FrontPage 的共享 边框设计 .....	241
8.5.7 BBS 宣传 .....	220	9.8.3 采用 js 文件设计 .....	242
8.5.8 活动宣传 .....	220	9.8.4 采用框架设计 .....	243
8.6 网站的维护 .....	221	9.8.5 采用内置框架设计 .....	244
8.7 成功案例 .....	221	9.8.6 五种方法比较 .....	245
8.8 Web 网站技术发展方向 .....	222	9.9 网站开发 .....	245
8.8.1 目前网站遇到的问题 .....	222	9.9.1 组建开发团队 .....	246
8.8.2 网站标准的制定 .....	222	9.9.2 开发工具 .....	246
小结 .....	224	9.9.3 网站开发流程 .....	246
综合练习八 .....	224	9.9.4 数据库开发 .....	247
一、选择题 .....	224	9.9.5 文件夹的命名 .....	248
二、填空题 .....	225	9.9.6 程序代码的编写 .....	248
三、简答题 .....	225	小结 .....	250
<b>第 9 章 Web 网站的高级设计 .....</b>	<b>226</b>	综合练习九 .....	250
9.1 网站的目录结构和链接结构 .....	226	一、选择题 .....	250
9.1.1 网站的目录结构 .....	226	二、填空题 .....	251
9.1.2 网站的链接结构 .....	227	三、简答题 .....	251
9.2 网站的整体风格和创意设计 .....	228	<b>第 10 章 网络系统集成实例 .....</b>	<b>252</b>
9.2.1 风格 .....	228	10.1 网络系统集成概述 .....	252
9.2.2 创意 .....	230	10.2 网络规划 .....	252
9.3 首页的设计 .....	231	10.2.1 可行性研究 .....	252
9.4 版面布局的原理 .....	232	10.2.2 需求分析 .....	253
9.4.1 版面布局步骤 .....	232	10.3 网络系统设计 .....	254
9.4.2 版面布局形式 .....	233	10.3.1 网络系统设计应遵循的原则 .....	254
9.5 网页的色彩 .....	234	10.3.2 网络结构设计 .....	255
9.5.1 色彩的基本知识 .....	234	10.3.3 综合布线系统 .....	259
9.5.2 颜色搭配技巧 .....	234	10.4 网络系统实施和测试验收 .....	261
9.5.3 网页配色 .....	235	10.4.1 网络系统的实施 .....	261
9.6 网页字体的设置 .....	236		

10.4.2 网络系统的测试和验收 .....	262	10.9.4 主干线电缆连接技术 .....	308
10.5 校园网系统集成实例 .....	263	10.9.5 建筑群间电缆线敷设技术 .....	309
10.6 政府网系统集成实例 .....	274	10.9.6 建筑物内水平线缆敷设技术 .....	310
10.7 企业网系统集成实例 .....	281	10.9.7 吹光纤网络技术 .....	311
10.7.1 中小企业进行网络系统 集成的分类 .....	281	10.10 组网系统的验收 .....	314
10.7.2 某公司网络系统集成实例 .....	286	10.10.1 物理验收 .....	314
10.8 其他网络集成系统 .....	290	10.10.2 文档验收 .....	318
10.8.1 银行网络系统集成实例 .....	290	小结 .....	319
10.8.2 某大厦的组网系统实例 .....	293	综合练习十 .....	320
10.9 网络系统集成实用技术 .....	302	一、选择题 .....	320
10.9.1 选择路径 .....	302	二、填空题 .....	320
10.9.2 线槽铺设技术 .....	303	三、简答题 .....	321
10.9.3 双绞线与 RJ-45 头的连接 .....	306	<b>参考文献</b> .....	<b>322</b>

# 第 1 章 计算机网络基础

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一，它的产生标志着人类开始迈向一个崭新的信息社会。在 20 世纪的最后 10 年中，人们惊喜地发现：电话、电视及计算机正在迅速地融合，信息的获取、存储、传送和处理之间的“孤岛现象”随着计算机网络的发展而逐渐消失，曾经独立发展的电信网、电视网和计算机网将合而为一；新的信息产业正以强劲的势头迅速崛起。在未来社会中，信息产业将成为社会经济中发展最快和最大的部门。为了提高信息社会的生产力，提供一种全社会的、经济的、快速的信息存取的手段是十分必要的，这种手段是由计算机网络来实现的。

计算机网络是计算机技术和通信技术紧密结合的产物，它涉及到通信与计算机两个领域。它的诞生使计算机体系结构发生了巨大变化，在当今社会经济中起着非常重要的作用，对人类社会的进步做出了巨大贡献。从某种意义上讲，计算机网络的发展水平不仅反映了一个国家的计算机科学和通信技术水平，而且已经成为衡量其国力及现代化程度的重要标志之一。本章从对网络的应用需求开始，介绍网络的一些基础知识和网络的体系结构，并介绍如何使用套接字程序设计快速构建网络应用。通过本章的学习，相信读者能够了解相关的概念，对网络有一个全面的认识。

## 1.1 网络的应用需求与特性

### 1.1.1 连通性

很明显，网络必须首先提供若干个计算机之间的连通性。计算机网络的连通性通常是在不同的层次上实现。在最低层，网络可以由两台或更多台计算机通过某种物理介质直接相连，这样的物理介质称为链路（link），被连接的计算机称为节点（node）。物理链路有时局限于一对节点，例如通过电话线连接两台计算机，这样的链路称为点到点的链路（point-to-point），如图 1-1（a）所示。而在其他情况，可以有多个节点共享一条物理链路，例如以太网，这样的链路称为多路访问链路，如图 1-1（b）所示。

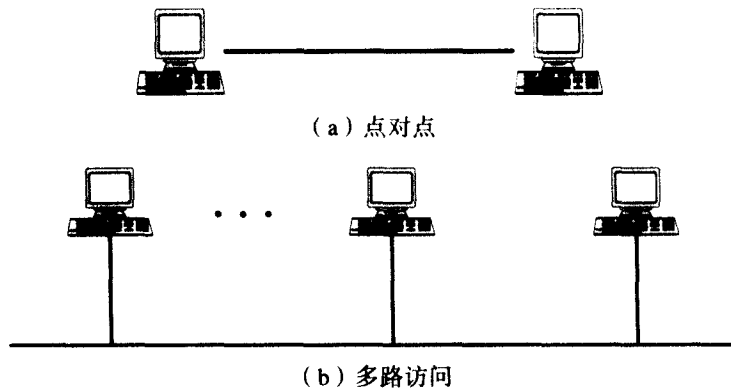


图 1-1 直接链路示意图

用集线器组建的计算机网络，其内部控制机制本质上仍是共享介质的多路访问，如图 1-2 所示。

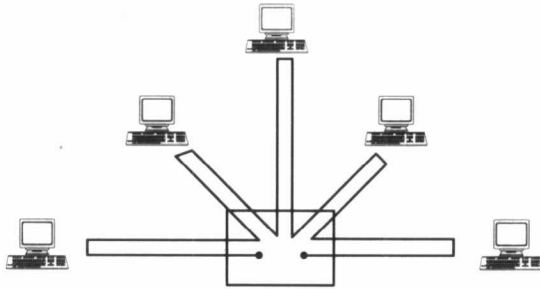


图 1-2 集线器的内部控制机制

通过直接链路组建计算机网络有一定的局限性，包括所能覆盖的地理距离、所能连接的节点数。当然，卫星网络是一个例外，它能覆盖一个广阔的地理区域。以总线型的以太网为例，10Base-5 最大可达到 2500m，最多支持 1024 个主机。若是用点到点的链路组建网络，线路数量大，链路利用的低效率乃是不容争辩的事实。

交换网络是克服直接相连的网络的局限性，实现计算机之间连通性的有效途经。交换网络中的转发节点是交换机，交换机之间相互连接形成一个交换网络。按照交换的方式，交换网络可分为电路交换和分组交换。电话网络是电路交换网络的典型例子。在电路交换中，通讯经历着建立连接、信息交换和断开连接等三个阶段。由于电路的使用是互斥的，这就限制了同时使用网络的用户数。出于性能的考虑，计算机网络通常采用分组交换。在分组交换中，离散的数据块是节点之间通讯的基本单位，按照它们在网络体系中所处的不同层次，这些数据块分别称为帧、分组、消息。

中山大学校园网是分组交换网络的一个典型实例。中山大学校园网目前主要采用交换式以太网技术，其中校园的骨干网使用千兆交换以太网，二级网络采用快速以太网技术。整个校园网分为四个区（如图 1-3 所示）：广州校区-学生宿舍区（东区）、广州校区-教学科研区（中区）、广州校区-教工宿舍区（西区）和珠海校区。另一个交换网络是中国教育网，如图 1-4 所示是中国教育网的拓扑图。

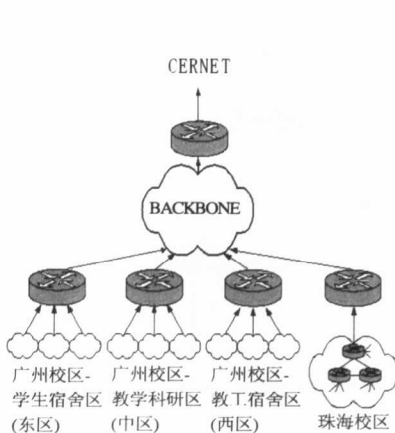


图 1-3 中山大学网络示意图

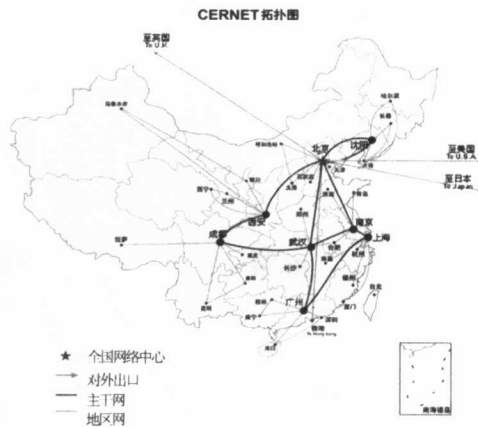


图 1-4 中国教育网拓扑图

分组交换网一般采用存储转发策略 (store and forward)。在存储转发网络中, 交换机通过链路接收完整的分组, 将其存储在缓存中, 在适当的时候转发给下一个节点。相对于电路交换网络, 存储转发的优点是实现链路共享和无用户数目的限制。

在更高的层次上实现计算机网络的连通性是网络互连。使用路由器 (router) 或网关 (gateway), 可以将异构的网络连接起来, 形成互连网 (internet)。这些网络可以是直接相连的网络、交换网络, 也可以是互连网。这里看到互连网的定义是递归的。需要强调的是, 概念上互连网不同于当前流行的采用 TCP/IP 协议的互联网 (Internet)。

主机之间的物理连接并不完全代表节点之间的连通性, 节点之间的通讯有赖于正确地区别不同的网络接口。为网络接口分配地址是区别网络中不同节点的有效手段。按照地址所寻址的接口数量, 地址可分为单播地址 (unicast)、广播地址 (broadcast) 和组播地址 (multicast), 其寻址的接口分别是一个接口、所有接口和一组接口。邮政地址和电话号码是日常生活中的地址, 而在计算机网络中, IP 地址 (如图 1-5 所示) 和以太网卡 MAC 地址是两个典型的例子。



图 1-5 IP 分组中的地址

地址除了用于识别通讯节点的网络接口外, 路由器和交换机也使用地址来确定如何将分组转发到目的节点, 这个过程称为路由选择 (如图 1-6 所示)。以路由器为例, 路由器查看分组的目的 IP 地址 DstAddr (destination address), 根据路由算法确定转发的端口, 并从该端口将分组直接发送给目的网络接口或者下一跳路由器。以图 1-6 的网络为例, 当分组的目的 IP 地址指向 H1 时, R1 从端口 3 直接将分组发送给 H1, 而当目的 IP 地址指向 H2 时, R1 从端口 3 将分组发送给下一跳路由器 R2。

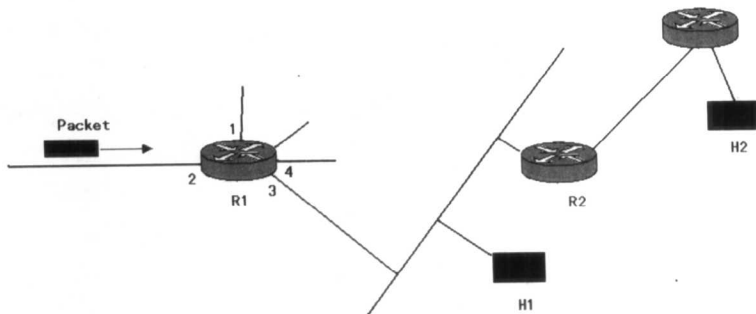


图 1-6 路由选择示例图

存储转发策略面临着网络中的两个基本问题。首先是交换机或路由器的缓存容量的限制, 当交换机或路由器接收分组的速率大于它发送分组的速率时, 缓存最终将被用尽, 一些分组将被迫丢弃。处于这种状态时, 称为拥塞 (congest)。分组分布式地来自于不同的节点, 如何实现拥塞控制是网络的基本问题。另一个基本问题产生于对缓存中分组的调度。交换机、路由器如果具有区别不同数据流的能力, 为数据流预留系统资源, 优先调度实时应用数据流分组, 为用户提供特殊要求的服务, 称其支持服务质量 (Quality of service, QoS)。如何实现 QoS 是网络设计者所面临的又一挑战。

从网络的连通性看计算机网络, 根据网络覆盖的地域范围, 网络可以划分为: 局域网、

城域网和广域网。局域网 LAN (Local Area Network) 一般是指地理上局限在较小的范围(例如 1km 左右)的计算机网络。广域网 WAN (Wide Area Network) 的作用范围通常是几十到几千公里,广域网有时也称为远程网。城域网 MAN (Metropolitan Area Network) 的作用范围是介于广域网和局域网之间的一个网络,地理范围通常在 5~50km。随着计算机网络技术的发展,现在局域网、城域网和广域网的界限逐渐变得模糊。

### 1.1.2 成本-效益高的资源共享

网络的资源共享表现在许多方面,网络资源可能是诸如打印机、数码相机等硬件设备,也可以是文件系统、数据库等软件系统。这里侧重讨论链路共享,以便说明计算机网络采用分组交换的原因。通常,把系统资源被多个用户共享称为多路复用 (multiplexing)。

一条链路如何被多个用户共享?传统的电视网络就是一个很好的例子,多个电视节目同时传输,共享电缆或无线电波,其所采用的方法是各个电视节目占用不同的频道。也就是说,频带被划分为不同的频道,各个节目使用不同的频率播送。自然各个节目能够无冲突地在电缆上传输,共享电缆带宽。这种共享传输介质的方法称为频分多路复用 (Frequency Division Multiplexing, FDM)。

另一种多路复用链路的方法可以从分时计算机系统得到启示。在分时计算机系统中,将 CPU 的时间分割成时间片。进程调度采用轮转的调度策略,将 CPU 分派给多个进程,以实现多个进程共享 CPU,而每个进程都认为它有专用的处理器。链路的多路复用完全可以采用相同的方法。这种多路复用方法称为同步时分多路复用 (Synchronous Time-Division Multiplexing, STDM)。这里,同步的含义是指通讯的双方以相同的步调(时钟)发送和接收数据,时分多路复用是指时间被分成时间片,各个数据流轮流地占用一个时间片。

频分多路复用和同步时分多路复用有其局限性,表现在以下两方面:一个方面是频道或时间片被固定地分配给一个数据流。当数据流无数据发送时,链路资源有所浪费;另一方面就是,被划分的频道或时间片数量有限,于是数据流的数量也有限,用户数受到限制。

实际上,计算机网络常采用一种称为统计多路复用 (Statistical Multiplexing) 的方法。与同步时分多路复用不同之处在于时间片的划分及调度策略的不同。时间仍被划分为时间片,但时间片的大小不一,时间片的大小由发送方决定,但不能超过规定的最大量。如此规定主要是为了防止发送方一旦占有链路就无休止地传输庞大的数据流。此外,时间片的调度是按需分配,而不是像同步时分多路复用那样,按照一个事先规定的次序轮流分配给若干个数据流。以以太网为例,最大帧限制为 1518 字节,以太网网上的主机通过竞争获取时间片。由于没有固定的时钟同步通讯的双方,相对于同步时分多路复用,统计多路复用通常也称为异步时分多路复用 (Asynchronous Time-Division Multiplexing, ASTDM)。

第四种链路多路复用的方法是码分多路访问 (Code Devision Multiple Access, CDMA),以下从数学的角度来看 CDMA 的原理。

(1) 每个站被分配一个惟一的  $m$  位由 -1 和 +1 组成的代码序列,或称为碎片序列。代码序列两两正交。以 8 位代码序列为例,设:

$$\begin{aligned} a &= (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8) \\ b &= (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8) \end{aligned}$$

按内积运算:

$$(a, b) = 1/m * \sum a_i * b_i$$

以下序列两两正交：

$$e_1 = (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)$$

$$e_2 = (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)$$

$$e_3 = (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)$$

采用双极型记号，以-1代表二进制数0，+1代表二进制1。

(2) 扩频通讯。当发送比特1时，发送代码序列；而当要发送比特0时，发送代码序列的补码。例如，三个站点  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  分别分配了代码序列  $e_1$ 、 $e_2$  和  $e_3$ 。如今假设  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  同时分别发送1、0、1，则实际上在链路上传输的信号是  $e_1$ 、 $-e_2$  和  $e_3$  三个信号的迭加，即：

$$s = (-1, +1, -3, +3, +1, -1, -1, +1)$$

(3) 解码。接收方收到信号  $s$  时如何判断哪个站点发送了比特？解码的算法很简单：

- ① 当  $(s, e_i) = 1$ ，表示  $H_i$  发送了比特1。
- ② 当  $(s, e_i) = -1$ ，表示  $H_i$  发送了比特0。
- ③ 当  $(s, e_i) = 0$ ，表示  $H_i$  没有发送信息。

例如，设  $H_4$  的代码序列为  $e_4 = (-1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1)$ ，则  $(s, e_4) = 0$ 。这恰好反映出  $H_4$  没有发送信息这个事实。

总而言之，链路多路复用是指将多个数据流揉合成一个数据流，在单一的链路上传输，以便实现链路共享。但当数据流到达目的地时，必须将各个数据流分解出来，分解过程称为解多路复用 (demultiplexing)。

### 1.1.3 支持共同的服务

计算机网络不同于专用网络，比如电话网络和电视网络。计算机网络具有通用性，它能适应各式各样的应用。为实现通用性，计算机网络必须提供通用的信道类型和服务接口，以便方便开发各种各样网络应用。

计算机网络应该输出哪些服务接口？分析网络的应用需求，当前的互联网著名的网络应用要求计算机网络为网络应用提供请求/应答 (Request/Reply) 信道和消息流 (Message Stream) 信道。它们分别被应用于当前的如表 1-1 所示的网络应用中。

表 1-1 网络应用中输出的服务接口

信道类型	网络应用	特性	协议
Request/Reply	WWW, FTP, SMTP	完整性, 惟一性, 保密性, 全双工	TCP、UDP、RPC
Message Stream	Windows Media player, Realone Player, Netmeeting	顺序性, 可丢失, 实时性, 保密性	RTP

网络设计者总是采用最少的抽象信道服务于最多的设计方案，所提供的信道的种类应满足广泛的应用需求，易于应用程序的开发。当网络已提供了所需的抽象信道类型时，从程序设计的角度看，网络应用开发的模型大致为：使用网络应用开发接口创建通讯所需的信道（如图 1-7 所示），通讯的双方使用网络的服务接口访问信道、实现信息的传输。应用



开发变得相当简单。

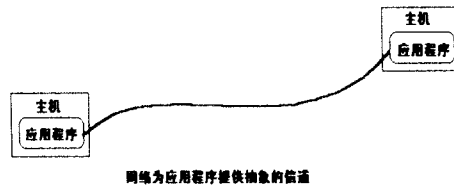


图 1-7 抽象信道示意图

#### 1.1.4 性能简介

计算机网络的成功有赖于其高性能。网络设计者的一个挑战就是设计高性能的网络。以下简单介绍网络常用的性能指标。

**传码率：**信号码传输的速率，其单位是波特（baud）。

**数据传输率：**信息的传输速率，即每秒传输的比特数，其单位是比特/秒（bps）。

**误码率（error rate）：**码元在传输过程中误传的概率。

**带宽（bandwidth）：**频率宽度的度量，单位是赫兹（Hz）。

1924年，Nyquist证明了：一个任意的信号通过带宽为H的低通滤波器，那么每秒2H次的采样就能完整地重现通过这个滤波器的信号。1948年，Shannon给出了带宽与数据传输率之间的另一个关系：带宽为H（Hz），信噪比为S/N的链路，最大数据传输率为 $H \log_2(1+S/N)$ 。于是，人们也将最大数据传输率称为带宽。例如，10Base5中的10表示10Mbps，称这种网络的带宽是10Mbps。

**吞吐量（throughput）：**系统实际测量的可用带宽，吞吐量受各种因素的影响。我们来看以下通讯模型，假设链路的带宽为H（1Gbps），链路的往返时间RTT（100ms）。通信的过程经历如下：

连接的建立：通信的双方相互 $n_1$ （1）次互相发送信令。

数据的传送：传输m（100）个尺寸为p（1M）的需确认的分组。

连接的终止：通信的双方相互 $n_2$ （1）次互相发送信令。

则该次通信的所需的时间大于 $(m+n_1+n_2)RTT+m*p/H$ ，而吞吐量不超过：

$$\frac{m * p}{(m + n_1 + n_2)RTT + m * p / H} \approx 9.7Mbps$$

吞吐量远远小于带宽的一个主要原因是：分组的尺寸p太小。

**时延（latency）、延迟（delay）、往返时间（Round Trip Time, RTT）：**注意这些概念含义，有时他们是指信号在物理链路上的时间，而有时是指分组在抽象的逻辑信道上的时间。时延由三种时间组成，分别是传播时间（propagation time）、传输时间（transmit time）和分组在交换机或路由器中的排队时间（queue time）。

Latency = Propagation + Transmit + Queue

Propagation = Distance/SpeedOfLight

Transmit = Size/Bandwidth

**延迟与带宽的乘积：**可以把一个信道看作为一条管道，管道的直径相当于带宽，管道的长度相当于延迟。为了提高吞吐率，应保持管道满载，即令分组的尺寸p尽可能大地接近Bandwidth \* Latency。当然，其物理意义就是，在接收方收到分组并给出应答之前，发