

面向21世纪高等院校计算机教材系列

数据通信技术教程

●李 旭 编著



机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪高等院校计算机教材系列

数据通信技术教程

李 旭 编著

李书方 米 东 审



机械工业出版社

本书以明确清晰分类的方式,较完整地叙述了数据通信基本知识、原理和实现方法。该书重点介绍了:数据通信的基本概念、历史与发展;数据通信的基础知识,包括数据编码、数据压缩、调制解调、同步技术、多路复用、数据传输信道以及数据通信中的几个主要指标;数据传输方式,包括基带传输、频带传输和数字数据传输;差错控制的基本理论和方法;数据传输控制的规程和方法以及接口;数据交换的方式和相关技术;数据通信的设备及传输介质;数据通信网的基本知识;局域网和广域网;数据网络的设计和管理技术等内容。通过本教材,读者可以对数据通信有一个全面的了解。

本书可作为相关专业的大学生学习数据通信基本知识的教材,也适于数据通信的初学者和工程技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信技术教程/李旭编著. —北京:机械工业出版社, 2001.8

面向 21 世纪高等院校计算机教材系列

ISBN 7-111-02575-X

I. 数... II. 李... III. 数据通信-通信技术-高等学校-教材
IV. TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 040931 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 胡毓坚

责任编辑: 王琼先

责任印制: 路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·19.75 印张·488 千字

0001—5000 册

定价: 28.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话: (010) 68993821、68326677-2527

F216/07

出版说明

随着计算机技术的飞速发展,计算机在经济与社会发展中的地位日益重要。在高等院校的培养目标中,都将计算机知识与应用能力作为其重要的组成部分。为此,国家教育部根据高等院校非计算机专业的计算机培养目标,提出了“计算机文化基础”、“计算机技术基础”和“计算机应用基础”三个层次教育的课程体系。根据计算机科学发展迅速的学科特点,计算机教育应面向社会,面向潮流,与社会接轨,与时代同行。随着计算机软硬件的不断更新换代,计算机教学内容也必须随之不断更新。

为满足高等院校计算机教材的需求,机械工业出版社聘请了清华大学、北方交通大学、北京邮电大学等院校的老师,经过反复研讨,结合当前计算机发展需要和编者长期从事计算机教学的经验精心编写出“面向 21 世纪高等院校计算机教材”。

本套教材理论教学和实践教学相结合,图文并茂,内容实用、层次分明、讲解清晰、系统全面,其中溶入了老师大量的教学经验,是各类高等院校、高等职业学校及相关院校的最佳教材,也可作为培训班和自学使用。

前 言

众所周知,计算机科学技术的飞速发展使得我们的世界进入了一个崭新的信息与网络的时代,其特点与最大的追求目标是实现各种信息网络(固定网、移动网、数据网、电视网、卫星通信网……)的融合和统一,并且推动着人类社会以历史上不曾有过的高速度向前发展。数据通信目前正成为热点,它引领着三网合一的潮流,并将对社会的发展产生深刻的影响。

数据通信目前广泛地应用于社会的各个方面,其内容十分丰富,相关理论、方法和手段还在不断地发展和完善之中,因此数据通信作为一门新兴学科来说,还没有一个严格的范围限制。根据通信工程专业教学要求和国内外的相关教材以及实际教学工作的经验,本书将内容侧重于数据通信的基本知识;数据传输、交换和协议方面的基本理论与方法;以及数据通信网的技术和实现方法。力求深入浅出,便于自学。

全书共分 11 章。第 1 章数据通信概述,介绍数据通信的基本概念,数据通信系统和网络的组成与概念,以及数据通信的相关标准和发展趋势。第 2 章数据通信基础,介绍了数据通信的关键技术基础,为本书后续章节的学习奠定了基础。第 3 章数据传输,介绍了数据传输的主要方式,并详细分析了基带传输、频带传输和数字数据传输的基本理论和方法。第 4 章差错控制,介绍了差错控制的基本原理和方法,线性分组码、循环码、卷积码等基本概念和特性。第 5 章数据传输控制规程与接口,介绍了基本型传输控制规程和高级数据链路控制规程,并给出了接口的概要说明。第 6 章数据交换,介绍电路交换、报文交换和分组交换的基本原理,以及帧中继技术和 ATM 交换方式。第 7 章数据通信设备和传输介质,介绍了数据终端、数据通信中的关键设备以及传输介质。第 8 章数据通信网络基础,介绍了数据通信网的基本概念和拓扑结构。第 9 章局域网,介绍了局域网的基本概念、技术和相关协议。第 10 章广域网,介绍了广域网的基本概念,路由策略和相关协议。第 11 章网络设计和管理,介绍了网络设计和管理中考虑的一些基本问题。

本书系大学本科教科书,除去部分内容也可作为专科教科书。本书既可作为高等院校通信工程及相关专业的专业课教材,也适用于数据通信的初学者和工程技术人员。通过本教材,读者可以对数据通信有一个全面的了解。

本书由李旭博士后编著,李书方博士后和米东高工审阅。感谢尹晨光、李东海、孟小莉、林宁、吕芳、林海欣等的帮助。同时十分感谢本书所列文献的作者,没有这些文献是难于编写本书的。由于水平有限,书中疏漏与错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 数据通信概述	1
1.1 引言	1
1.2 数据通信概念	1
1.3 数据通信系统	2
1.3.1 数据通信系统模型	2
1.3.2 数据通信系统中的关键问题	2
1.4 数据通信网	3
1.5 标准和标准化组织	5
1.6 数据通信的特点与发展	6
1.6.1 数据通信的特点	6
1.6.2 数据通信的发展	7
1.7 小结	9
习题一	9
第 2 章 数据通信基础	10
2.1 信号表示	10
2.1.1 几个基本概念	10
2.1.2 模拟信号与数字信号	12
2.1.3 数字编码方案	12
2.2 数据编码	14
2.2.1 ASCII 码	14
2.2.2 EBCDIC 码	18
2.2.3 莫尔斯码、博多码和 BCD 码	22
2.3 调制和解调	23
2.3.1 数模转换	24
2.3.2 模数转换	28
2.4 数据压缩	30
2.4.1 哈夫曼编码	30
2.4.2 游程编码	32
2.4.3 相关编码	33
2.4.4 Lempel-Ziv 编码	34
2.5 同步技术	34
2.5.1 载波同步	35

2.5.2	位同步	36
2.5.3	群同步	40
2.6	多路复用	41
2.6.1	频分多路复用	42
2.6.2	时分复用	42
2.6.3	统计多路复用	43
2.6.4	码分多路复用	44
2.6.5	空分复用	44
2.6.6	T.1 线路	44
2.7	数据传输信道	45
2.7.1	信道分类	45
2.7.2	信道特性	48
2.7.3	数据通信的信道标准	49
2.7.4	信道容量	54
2.8	数据通信中的几个主要指标	57
2.8.1	传输速率	57
2.8.2	频带利用率	58
2.8.3	差错率	58
2.9	小结	60
	习题二	60
第 3 章	数据传输	63
3.1	传输模式	63
3.1.1	串行和并行传输	63
3.1.2	异步和同步传输	64
3.1.3	单工、半双工和全双工通信	65
3.1.4	基带传输、频带传输和数字数据传输	66
3.2	基带传输	67
3.2.1	基带信号的基本形式	67
3.2.2	基带数据信号的频谱特性	67
3.2.3	基带传输波形的形成	69
3.2.4	基带传输的最佳化和系统的误码性能	73
3.2.5	眼图	78
3.2.6	基带传输中的时域均衡	79
3.2.7	数据序列的扰乱与解扰	85
3.2.8	基带数据传输系统	89
3.3	数据信号的频带传输	91
3.3.1	频带传输系统	91
3.3.2	频带传输中的误码性能	91
3.3.3	数字调制系统的比较	95

3.4	数字数据传输	97
3.4.1	数字数据传输复用方式	98
3.4.2	数字数据传输系统	102
3.4.3	数字数据传输用户接入方式	104
3.5	小结	106
	习题三	107
第4章	差错控制	109
4.1	概述	109
4.1.1	差错控制的必要性	109
4.1.2	错误类型	109
4.1.3	错误图样	110
4.1.4	差错控制的工作方式	111
4.2	信道编码	112
4.2.1	纠错编码的基本原理	112
4.2.2	分组码的纠(检)错能力与最小码距的关系	114
4.2.3	纠错编码的分类	114
4.3	常用的简单检错码	115
4.3.1	奇偶监督码	115
4.3.2	行列监督码	116
4.3.3	恒比码	117
4.3.4	群计数监督	118
4.3.5	正反码	119
4.4	线性分组码	120
4.4.1	基本概念	120
4.4.2	汉明码	122
4.4.3	循环码	127
4.5	卷积码	134
4.5.1	编码原理	134
4.5.2	卷积码的译码	135
4.6	小结	136
	习题四	136
第5章	数据传输控制和接口	138
5.1	协议及其作用	138
5.2	协议的分层结构和开放系统互联参考模型	139
5.2.1	协议的分层结构	139
5.2.2	开放系统互联参考模型	140
5.3	数据链路及传输控制的概念	144
5.3.1	数据链路	144
5.3.2	数据链路控制规范的功能	145

5.3.3	数据链路的传输控制过程	146
5.3.4	数据链路控制规范的种类	148
5.4	基本型传输控制规范	149
5.4.1	字符编码及传输控制字符	149
5.4.2	文电格式	149
5.4.3	差错控制	152
5.4.4	通信各阶段的操作	153
5.4.5	系统的恢复	156
5.4.6	会话型传输规范	158
5.5	高级数据链路控制规范	159
5.5.1	HDLC 帧结构	160
5.5.2	HDLC 规范要素	161
5.5.3	规范类别	169
5.5.4	HDLC 的传输过程	170
5.5.5	HDLC 规范的基本特点	172
5.6	终端接口及相关建议	173
5.7	小结	179
	习题五	179
第 6 章	数据交换	180
6.1	数据交换的必要性	180
6.2	利用公用网进行数据交换	180
6.3	电路交换方式	181
6.4	报文交换方式	183
6.5	分组交换方式	184
6.6	交换方式的选择与比较	187
6.7	帧中继技术	188
6.8	ATM 交换方式	191
6.9	小结	197
	习题六	197
第 7 章	数据通信设备和传输介质	199
7.1	终端设备	199
7.1.1	终端设备的作用和任务	199
7.1.2	终端设备的功能和组成	200
7.1.3	各种终端装置	200
7.2	调制解调器	202
7.2.1	调制解调器的功能	202
7.2.2	调制解调器的构成	203
7.2.3	MODEM 标准	203
7.2.4	调制解调器的分类	203

7.2.5 调制解调器举例	205
7.3 通信控制器	208
7.3.1 通信控制原理	208
7.3.2 线路控制器	212
7.3.3 通信控制器	212
7.3.4 通信控制处理机	213
7.4 多路复用器	213
7.4.1 频分复用器	214
7.4.2 时分复用器	214
7.4.3 统计时分复用器	214
7.4.4 集中器	215
7.4.5 相关标准	215
7.5 其他设备	218
7.5.1 协议转换器	218
7.5.2 数据保护设备	218
7.5.3 诊断设备	219
7.6 传输介质	219
7.6.1 硬介质	219
7.6.2 软介质	222
7.6.3 介质的选择	224
7.7 小结	225
习题七	225
第8章 数据通信网络基础	226
8.1 网络基本概念	226
8.1.1 概述	226
8.1.2 网络技术	226
8.1.3 局域网(LAN)与广域网(WAN)比较	226
8.2 拓扑结构	227
8.2.1 互联网络	227
8.2.2 分层网络	228
8.2.3 星形网络	228
8.2.4 环形网络	229
8.2.5 总线形网络	230
8.3 网络所有权	231
8.4 在网络上传送数据	231
8.4.1 路由选择	231
8.4.2 路由选择类型	232
8.5 小结	233
习题八	233

第9章 局域网	235
9.1 概述	235
9.2 以太网:IEEE 802.3 标准	235
9.2.1 与 OSI 的关系	236
9.2.2 以太网部件	236
9.2.3 连接网段	237
9.2.4 帧格式	238
9.2.5 效率	239
9.3 令牌环:IEEE 802.5 标准	241
9.3.1 令牌和帧格式	242
9.3.2 预约和请求令牌	243
9.3.3 环维护	247
9.3.4 效率	249
9.3.5 其他环型网络	249
9.4 令牌总线:IEEE 802.4 标准	252
9.4.1 令牌总线操作	253
9.4.2 丢失的令牌	256
9.4.3 环初始化	256
9.4.4 赋予帧优先级	257
9.5 互联局域网	258
9.5.1 第1层连接	258
9.5.2 第2层连接	259
9.5.3 桥接不同类型的局域网	260
9.5.4 网桥路由选择	261
9.6 小结	262
习题九	263
第10章 广域网	265
10.1 概述	265
10.2 网络路由	266
10.2.1 路由表	267
10.2.2 路由类型	267
10.2.3 DijkStra 算法	269
10.2.4 Bellman-Ford 算法	272
10.2.5 链路状态路由	274
10.2.6 层次路由	275
10.2.7 路由信息协议	277
10.2.8 开放最短路径优先算法	278
10.2.9 边界网关协议	278
10.2.10 拥塞和死锁	278

10.3 公共数据网:X 系列协议	281
10.3.1 分组交换网络模式	281
10.3.2 X.25 公共数据网接口标准	283
10.3.3 非 X.25 设备的 3X 标准	286
10.4 因特网协议	288
10.5 小结	290
习题十	290
第 11 章 网络设计和管理	292
11.1 网络设计目标	292
11.2 网络管理	293
11.2.1 网络管理的基本概念	293
11.2.2 网络管理的基本要素	294
11.2.3 网络管理的目的	295
11.2.4 网络管理系统的主要指标	295
11.2.5 网络管理的质量	297
11.2.6 网络管理系统的可持续建设	298
11.2.7 网络管理技术的综合	300
11.3 小结	301
习题十一	301
附录	302
参考文献	304

第1章 数据通信概述

1.1 引言

计算机的发明,特别是 Internet 的出现,使以数据为主的计算机通信网得到了迅速的发展。数据通信的发展大致经过了 20 世纪 50 年代的萌芽时期到现在的高速发展和广泛应用时期。美国从 20 世纪 50 年代开始研究发展数据通信,欧洲及日本也于 20 世纪 60 年代末到 70 年代初开始发展数据通信,在这些发达国家,数据通信发展迅猛,现已具有很大规模。数据通信在我国发展较晚:20 世纪 90 年代以前只发展了一些局部的数据通信网络,但到该世纪末,我国已有七大互联网络:中国科学技术网 CASNet、中国教育与科研计算机网 CERnet、中国公用经济信息通信网即金桥网 CHINAGBN、中国公用计算机互联网 Chinanet(163 网)、正在和即将经营国际因特网业务的中国联通网 UNInet、网通公用互联网 CNCnet 以及利用军队资源组建的网络。七大网络的形成,为我国数据通信的发展提供了多样而强大的网络平台,也标志着我国数据通信进入了一个崭新的高速发展时期。

可以说我们所处的时代是一个信息与网络的时代,它最大的追求目标是实现各种信息网络(固定网、移动网、数据网、电视网、卫星通讯网……)的融合和统一,正是这一目标推动着人类社会以历史上不曾有过的高速度向前发展。数据通信正成为目前的热点,并引领着三网合一的潮流。由于数据通信在当今世界地位显著,因而掌握它有十分重要的意义。数据通信一般用于商业领域,但家庭的使用也越来越广泛。有代表性的应用有:文件传输、电子信箱、语音信箱、可视图文、目录查询、智能用户电报及遥测遥控等,数据通信正在成为我们日常生活中一个不可缺省的组成部分,它将对社会的发展产生深刻的影响。

1.2 数据通信概念

数据,人们几乎每天都要碰到它。例如各种实验数据,各类统计报表等。数据通常用数字或字母(符号)来表示,并被赋予一定的意义。数据是预先约定的具有某种含义的任何一个数字或一个字母(符号)以及它们的组合。例如,约定用数字“1”表示电路接通,数字“0”表示电路断开,这里数字“0”和“1”就是数据。

现代通信技术借助于电和光等媒介来传送信息,因此数据通信就是用电或光等信号将上述数据正确地传输给接收者。要达到这一目的,需要信道来传输数据信号。而信道存在不理想性(传输失真和噪声干扰),可能使数据信号发生差错,因此要进行差错控制。同时,为了使整个数据通信过程能按一定的规则有顺序地进行,通信双方必须建立一定的协议和约定,并具有执行协议的功能,这样才能实现有意义的通信。

数据通信定义为:依照通信协议,利用数据传输技术在两个功能单元之间传递数据信息。它可实现计算机与计算机、计算机与终端以及终端与终端之间的数据消息传递。通俗而言,数

据通信是计算机与通信相结合而产生的一种通信方式和通信业务。可见,数据通信是一种把计算机技术和通信技术结合起来的新型通信方式,它是信息社会不可缺少的一种高效通信方式,也是未来“信息高速公路”的主要内容。从数据通信的定义可见,数据通信包含两方面的内容:数据的传输和数据传输前后的处理(例如数据的集中、交换、控制等)。数据传输是数据通信的基础,而数据传输前后的处理使数据的远距离交换得以实现。

1.3 数据通信系统

1.3.1 数据通信系统模型

图 1-1a 是一个简单的通信系统模型,数据通信系统的基本作用是完成两个实体间数据的交换。图 1-1b 是通信系统的一个实例,工作站可以通过公用电话网和服务器通信,也可以在公用电话网之间交换声音信号。这个模型中的关键部分是:

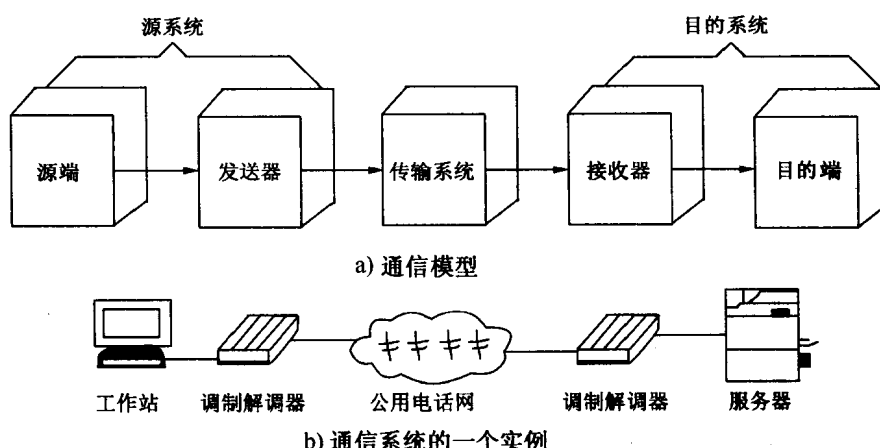


图 1-1 简单的通信模型和实例

源端:产生待发送数据的设备。

发送器:对信号进行转换和编码,以产生能在特定传输系统中传输的信号。

传输系统:连接源端和目的端的传输介质或复杂网络。

接收器:从传输系统接收信号并将其转换成目的端设备能处理的信号。

目的端:从接收器输入数据,并能还原成原信号的设备。

1.3.2 数据通信系统中的关键问题

数据通信系统要完成通信任务,必须考虑一系列的关键问题,包括:

1) 传输系统利用率。指有效地使用传输设备,这些设施通常是由很多的通信设备共享。因此要有效地分配传输介质的容量,如采用多路复用技术等;要协调传输服务的要求以免系统过载,如采用拥塞控制技术。

2) 接口。为了通信,设备必须和传输系统有接口,使发送端产生的信号特征(如信号形式和信号强度)能适应传输系统的传输,以及在接收端能对数据做正确解释。

3) 同步。传输系统和接收设备之间,发送器和接收器之间都需要同步,必须确定何时信号开始,何时信号结束,以及每个信号的间距。

4) 交换管理。在两个实体通信期间的各种协调管理。

5) 差错检测和校正。对通信过程中产生的差错进行检测和校正,另外还需要通过流量控制来防止接收器来不及接收信号。

6) 寻址和路由。决定信号到达目的地的路径。

7) 恢复。不同于差错检测和校正,指在系统由某种原因被中断后,对系统进行必要的恢复。

8) 报文格式。由两个对话实体进行协商,使报文格式一致。

9) 安全。保证正确地、完整地、不被泄露地将数据从发送端传输至接收端。

10) 网络管理。对复杂的通信系统进行配置、监控、故障处理等管理。

1.4 数据通信网

数据通信最简单的形式是:直接用传输媒介连接两个用户的通信终端进行通信。然而,这种工作方式是不实际的,特别是当多个用户之间要进行数据通信时,更不可能在每对用户间都建立直达的线路,因此,必须建立数据通信网。数据通信网由分布在各地的数据终端、数据交换设备和通信线路构成。数据通信网通常是由硬件和软件组成。硬件包括数据传输设备、数据交换设备和线路;软件是为支持这些硬件而配置的网络协议等。我们把网络中完成数据传输、交换功能的一个点称为节点。正是通过这些节点,与其相连的计算机或终端之间可以进行数据通信。

数据通信网可按其拓扑结构和传输技术进行分类:

1. 按网络拓扑分类

数据通信网按网络拓扑分类,有四种基本形式:星形网、树形网、网格形网和环形网,如图1-2所示。

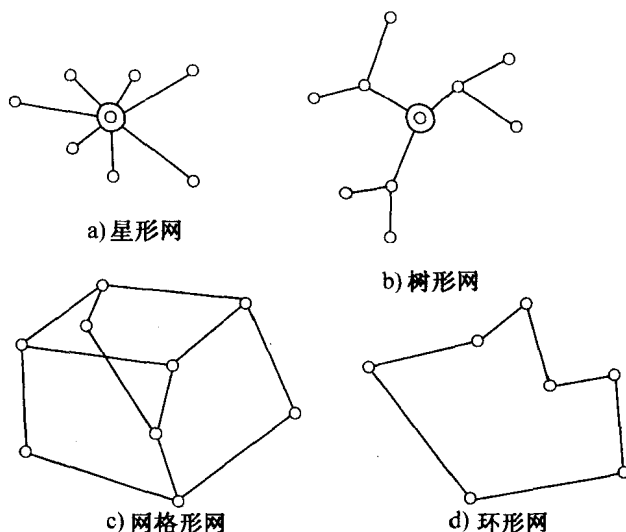


图 1-2 数据通信网的拓扑结构

2. 按传输技术分类

数据通信网按传输技术的不同可分为交换网和广播网两大类。

(1) 交换网

在交换网中,数据从信源出发经过一系列中间节点传送到信宿。交换网又分为电路交换和存储-转发交换两种。

1) 电路交换网。电路交换又分空分交换和时分交换。前者一般是对模拟信号进行交换,后者采用时分多路复用技术。电路交换类似于电话网使用的交换原理,根据主叫用户的信令,接续被叫用户,通信完毕进行拆线,适用于一次连接后传输大量数据和要求实时通信的场合。

2) 存储-转发交换网。这类交换方式是将要传送的信息存入交换设备的缓冲区中,等到相应输出电路空闲时,将信息输出去。存储-转发交换按交换信息单位的不同又可分为报文交换和分组交换等。报文长度一般为几 kbit,而分组长度一般为 1kbit 左右。

图 1-3 给出分组交换的示意图。由信源发出的报文在节点 1 自动划分为一定长度的分组,每个分组加上分组头,这些分组可选择不同的途径,到达终止节点 6。最后,由终止节点 6 将分组重新按次序装配成原来的报文,并传送给接收者。这种交换方式因其线路利用率和传输可靠性高而在大型大容量数据通信系统中被广泛采用。

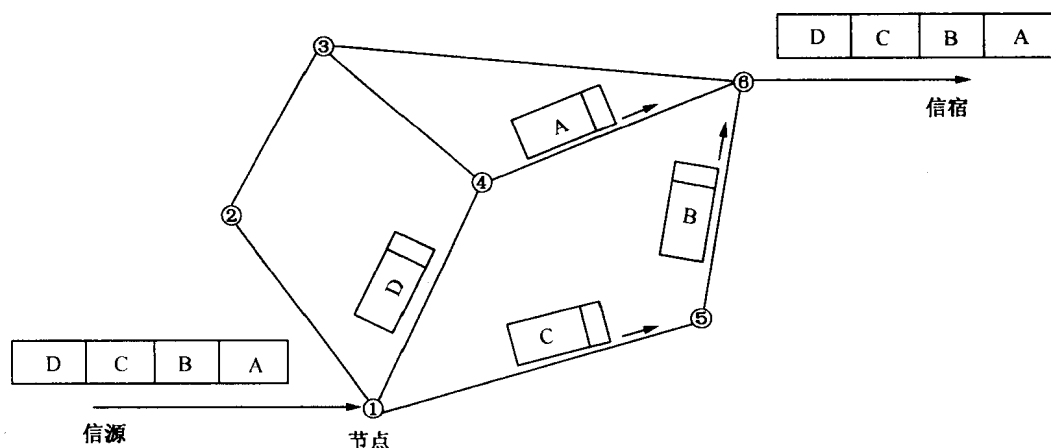


图 1-3 分组交换原理示意图

(2) 广播网

在广播网中,每个数据站的收发信机共享同一传输媒质,从任一数据站发出的信号可被所有的其他数据站接收,如图 1-4a 和 b 所示。在广播网中没有中间交换节点。在卫星网中,数据不是直接从发信机传送到接收机,而是经过卫星中继站传送和接收的。局域网适用范围较小,如在单幢建筑物内或一小群建筑物间通信,也可属于广播网的一种,如图 1-4c、图 1-4d 所示。在总线局域网中,所有数据站都连接到一条公共线上。任一数据站的信号都沿两个方向传输,被所有其他数据站接收。环型局域网由闭合环构成,每个数据站接到一个转发器上,任一数据站的信号环绕闭合环通过所有其他数据站,通过时即可被各数据站接收。

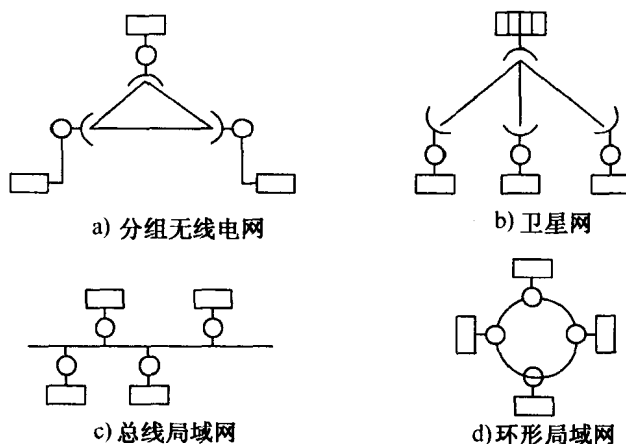


图 1-4 广播网络

1.5 标准和标准化组织

标准化问题已引起了国际上的广泛关注。缺少标准会带来软件和硬件产品过于分散,互操作能力差,资源浪费,开发商风险加大,开发周期加长等问题。但是让所有的人都认同同一事物是很难的,不同的群体有不同的目标。为了实现各自的目标,就会出现各自不同的标准,直至今日仍是如此。

目前有两类标准。一类是因被广泛使用而得到发展的标准,称为事实标准。事实标准在生产中逐渐成为人们共同遵守的法则。只有遵守它们的产品才会有广阔的市场。第二种标准是由那些得到国家或国际公认的机构正式认证并采纳的标准。要建立标准需向标准机构提交申请,等待考察。如果建议确有优点并被广泛接受,标准机构将会对它提出进一步的修改意见,并送返申请者加以改进。经过几轮反复后,标准化机构将作出决定,加以采纳或拒绝。

下面列出了在数据通信领域有重要地位的一些标准化组织:

1. 美国国家标准协会 (ANSI)

美国国家标准协会是一个非政府部门的私人机构,有将近 1000 个成员,包括制造商、用户和其他相关企业,而且本身也是标准化组织,是国际标准化组织 (ISO) 在美国的代表。ANSI 标准广泛应用于各个领域,如 ANSICOBOL 和 ANSIC, 光纤分布式数据接口 (FDDI) 等。

2. 国际标准化组织 (ISO)

国际标准化组织是和美国国家标准协会合作的一个国际标准组织 (ISO 的缩写来源于它的法文名称)。国际标准化组织是制定标准的组织,最有意义的工作就是对开放系统的研究。在开放系统中,任意两台计算机可以进行通信,而不必理会各自不同的体系结构。具有七层协议结构的开放系统互联模型 (OSI) 就是一个众所周知的例子。

每个国家的国家标准制定组织都是这个组织的成员,国际标准化组织在美国的代表是美国国家标准协会。