
计算机通信 原理与技术

吴玲达 李国辉 杨冰 徐玮 编著

国防科技大学出版社

● 吴玲达 李国辉 杨冰 徐玮 编著

计算机通信原理与技术

国防科技大学出版社
·湖南长沙·

内 容 简 介

本书论述计算机通信系统的基本原理和分析方法,重点介绍通信控制技术。主要内容包括:计算机通信系统的构成;计算机通信所涉及的基本通信理论;计算机通信中的标准接口;通信控制规程;通信控制器的工作原理以及完成微机通信功能的通信适配器等。

本书可作为大学信息系统专业或计算机、通信专业高年级本科生的教材或参考书,也可供有关专业技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

计算机通信原理与技术/吴玲达等编著. —长沙:国防科技大学出版社,2002.12
ISBN 7-81024-900-2

I. 计… II. 吴… III. 计算机通信 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 079469 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4572640 邮政编码:410073
E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn
责任编辑:何晋 责任校对:文慧
新华书店总店北京发行所经销
国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×960 1/16 印张:25.5 字数:472千
2003年3月第1版第1次印刷 印数:1-5000册

*

定价:32.00元

前 言

计算机通信主要研究如何利用数字通信的基本原理和技术实现计算机之间的数字信息交换。随着计算机应用的日益普及,计算机间的通信也已作为一类重要的数字通信研究内容越来越为人们重视。计算机通信不同于一般的数字通信,也不同于计算机网络,因此需要专门进行研究。本书作为计算机网络课程的基础,是计算机通信的原理部分,主要介绍数据通信的基本原理和技术、计算机通信接口、传输规程、数字编码、差错控制、通信控制等内容。

本书共分十三章。第一章介绍计算机通信的基本概念、产生和发展、系统的构成及计算机通信中的主要性能指标。第二章简单介绍信号分析的基础知识。第三章介绍有线信道、无线信道的概念。第四章介绍模拟信号的数字传输,抽样、量化、编码的基本原理。第五章介绍基带传输系统,基带信号的种类、频谱,奈氏准则及均衡技术。第六章介绍振幅调制、频率调制、相位调制三种基本的数字通信调制方式。第七章介绍数字通信系统中的同步方法。第八章介绍误差控制的基本形式和纠错码的基本理论及常用的纠检错码。第九章介绍频分多路复用和时分多路复用的概念。第十章介绍计算机通信中的标准接口。第十一章介绍通信规程的概念,学习基本型规程和 HDLC 规程。第十二章介绍通信适配器的构成、基本原理和使用方法。第十三章介绍数据交换基础和公用电信网及电路交换技术。

本书在编写过程中,参考了国内外近几年出版的教材和参考文献,并结合科研实践和近十年讲授计算机通信课程的教学经验,本着循序渐进的原则,采用通俗而深入浅出的语言,系统地阐述了计算机通信的基本概念、原理和方法。本书可作为大学本科计算机通信课程的教材或参考书,也可供从事该领域工作的科技人员参考。

本书的出版,得到了许多同志的热情关心。特别是史永焕教授、董兆鑫教授、汪漱玉教授一直给予了热心指导和帮助,提出了许多建议和意见。也得到了教研室老松杨副教授、张茂军副教授、魏迎梅副教授及其他同事的热情帮助。余

家欢、来旭、李斌全、田志刚等同学参与了书中插图的绘制工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于编著者水平有限,书中不妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

编著者

2002年11月

目 录

第一章 绪 论

1.1 通信系统的基本概念	(1)
1.1.1 通信系统模型	(1)
1.1.2 通信系统的分类	(5)
1.1.3 通信方式	(6)
1.1.4 串行传输和并行传输	(7)
1.1.5 异步传输和同不传输	(8)
1.2 计算机通信及系统组成	(10)
1.2.1 计算机通信的产生	(10)
1.2.2 计算机通信的发展	(11)
1.2.3 计算机通信的应用	(14)
1.2.4 计算机通信系统的组成	(16)
1.2.5 计算机通信系统的线路结构	(17)
1.3 信息及度量	(19)
1.4 计算机通信中的主要性能指标	(22)
1.4.1 传输速率	(22)
1.4.2 差错率	(24)
1.4.3 功率利用率和频带利用率	(24)
1.4.4 信号强度	(24)
习题与思考题	(25)

第二章 通信系统分析基础

2.1 引 言	(27)
2.2 周期性信号的频谱	(28)
2.2.1 傅立叶级数	(28)
2.2.2 离散频谱分析	(29)
2.3 非周期性信号的频谱	(33)
2.3.1 傅立叶变换	(33)
2.3.2 连续频谱分析	(35)
2.4 信号与系统分析的基本方法	(37)
2.4.1 冲激函数	(38)
2.4.2 卷积	(40)

2.4.3 时域分析法	(41)
2.4.4 频域分析法	(43)
2.5 信号无失真传输	(46)
习题与思考题	(47)

第三章 信道

3.1 引言	(51)
3.1.1 信道的分类	(51)
3.1.2 信道容量	(52)
3.2 传输损耗	(53)
3.2.1 衰减	(54)
3.2.2 延迟畸变	(54)
3.2.3 噪声	(54)
3.3 有线信道	(57)
3.3.1 双绞线	(57)
3.3.2 同轴电缆	(58)
3.3.3 光纤信道	(59)
3.4 无线信道	(65)
3.4.1 无线电波和频段划分	(65)
3.4.2 无线接力信道	(66)
3.4.3 卫星中继信道	(69)
习题与思考题	(73)

第四章 模拟信号的数字传输

4.1 引言	(75)
4.2 抽样	(76)
4.3 量化	(79)
4.3.1 量化的定义	(80)
4.3.2 均匀量化	(81)
4.3.3 非均匀量化	(82)
4.4 脉冲编码调制	(87)
4.4.1 PCM 通信系统	(88)
4.4.2 二进制码组	(88)
4.4.3 编码译码原理	(92)
4.5 增量调制	(94)
4.6 差分脉冲编码调制系统	(97)
习题与思考题	(98)

第五章 数字基带传输

5.1 引言	(100)
--------------	-------

5.2 基带信号的种类	(100)
5.3 基带信号的频谱	(104)
5.3.1 单极性不归零脉冲的频谱	(104)
5.3.2 单极性归零脉冲的频谱	(105)
5.3.3 数字基带信号的功率谱简介	(106)
5.4 数字基带信号的传输	(108)
5.4.1 基本公式	(108)
5.4.2 单位脉冲通过理想低通滤波器	(109)
5.4.3 升余弦频谱传输特性	(112)
5.5 眼图	(115)
5.6 均衡	(117)
5.7 数字基带传输系统	(122)
习题与思考题	(123)

第六章 数字调制与解调

6.1 引言	(125)
6.2 数字振幅调制	(126)
6.2.1 二进制振幅键控调制	(126)
6.2.2 多进制振幅调制简介	(131)
6.2.3 其他振幅调制简介	(132)
6.3 数字频率调制	(138)
6.3.1 二进制频移键控调制	(138)
6.3.2 多进制频移键控调制简介	(146)
6.4 数字相位调制	(147)
6.4.1 二相绝对移相调制	(147)
6.4.2 二相相对移相调制	(151)
6.4.3 多相调制	(157)
习题与思考题	(170)

第七章 同步技术

7.1 引言	(172)
7.2 载波同步	(173)
7.2.1 插入导频法	(174)
7.2.2 直接法	(176)
7.3 位同步	(177)
7.3.1 外同步法	(178)
7.3.2 自同步法	(179)
7.4 群同步	(185)
7.4.1 起止式同步法	(186)

7.4.2 连贯式插入法	(187)
7.4.3 间隔式插入法	(193)
7.4.4 自群同步	(195)
7.5 网同步的基本概念	(196)
7.5.1 主从同步法	(197)
7.5.2 相互同步法	(197)
7.5.3 码速调整法	(198)
7.5.4 水库法	(199)
习题与思考题	(199)

第八章 差错控制编码

8.1 引言	(201)
8.2 差错控制的基本形式	(202)
8.3 常用检错码	(204)
8.4 线性分组码	(208)
8.4.1 线性分组码的基本概念	(208)
8.4.2 线性分组码的编码	(211)
8.4.3 线性分组码的译码	(217)
8.5 循环码	(219)
8.5.1 循环码的基本概念	(220)
8.5.2 循环码的编码和译码	(223)
习题与思考题	(226)

第九章 多路复用

9.1 引言	(229)
9.2 频分多路复用	(230)
9.2.1 概念	(230)
9.2.2 载波系统	(231)
9.3 同步时分多路复用	(234)
9.3.1 概念	(234)
9.3.2 同步技术	(236)
9.3.3 模拟和数字信号源的 TDM	(236)
9.3.4 程控数字交换复用	(237)
9.4 统计时分多路复用	(240)
习题与思考题	(242)

第十章 计算机通信的标准接口

10.1 引言	(243)
10.2 接口特性	(244)

10.3	EIA RS-232C/CCITT V.24 标准	(245)
10.3.1	功能特性	(246)
10.3.2	过程特性	(253)
10.3.3	电气特性	(254)
10.3.4	机械特性	(256)
10.4	CCITT X.21 标准	(256)
10.4.1	功能特性	(256)
10.4.2	过程特性	(257)
10.4.3	电气特性	(258)
10.4.4	机械特性	(259)
10.5	直接连接	(259)
10.6	其他标准接口	(262)
	习题与思考题	(265)

第十一章 传输控制规程

11.1	引言	(266)
11.2	传输控制规程的主要内容和分类	(267)
11.2.1	传输控制规程的主要内容	(267)
11.2.2	传输控制规程的分类	(269)
11.3	信息交换代码	(269)
11.4	面向字符型的传输控制规程	(274)
11.4.1	面向字符型规程的基本特征	(275)
11.4.2	数据通信阶段	(275)
11.4.3	数据链路	(277)
11.4.4	传输控制字符	(281)
11.4.5	基本型传输控制规程	(283)
11.4.6	扩充基本型数据链路控制规程	(290)
11.5	面向比特型的传输控制规程	(292)
11.5.1	面向比特型规程的基本特征	(292)
11.5.2	HDLC 简介	(293)
11.5.3	X.25 的 LAPB 协议	(303)
	习题与思考题	(304)

第十二章 通信适配器

12.1	引言	(305)
12.2	异步通信适配器	(306)
12.3	通用异步接收/发送器 8250	(309)
12.3.1	8250 可编程异步通信接口	(310)
12.3.2	8250 芯片中寄存器的功能	(314)

12.3.3	8250 芯片的操作流程	(321)
12.3.4	8250 通信接口的编程应用	(325)
12.4	通用同步/异步接收/发送器 8251A	(328)
12.4.1	8251A 的性能和组成	(328)
12.4.2	8251A 的引脚信号说明	(331)
12.4.3	8251A 的编程应用	(334)
12.5	8273HDL/SDLC 规程控制器	(338)
12.5.1	8273 的组成和接口信号说明	(339)
12.5.2	8273 的命令	(343)
12.5.3	8273 的工作过程	(347)
	习题与思考题	(351)

第十三章 数据通信网络

13.1	引言	(352)
13.2	数据交换基础	(353)
13.2.1	电路交换	(354)
13.2.2	报文交换	(355)
13.2.3	分组交换	(356)
13.3	公用电信网	(359)
13.3.1	电信网的分类	(359)
13.3.2	电话网	(360)
13.3.3	用户电报网	(363)
13.3.4	程控数字交换机基本原理	(364)
13.3.5	电信网常用非话业务简介	(367)
13.3.6	在电话网上进行数据通信	(370)
13.4	公用数据网	(372)
13.4.1	电路交换数据网	(372)
13.4.2	分组交换数据网	(374)
13.5	综合业务数字网 ISDN	(377)
13.5.1	窄带 ISDN	(377)
13.5.2	宽带 ISDN	(380)
13.6	异步传输模式 ATM	(381)
13.6.1	ATM 概念	(381)
13.6.2	信元结构	(383)
13.6.3	ATM 网络结构	(384)
13.6.4	ATM 连接	(386)
13.6.5	ATM 协议参考模型	(387)
	习题与思考题	(393)

参考文献

第一章 绪 论

在人类社会里,人们总是离不开消息的传递。早在 19 世纪就相继出现了以电信号来传送文字和语言的电报、电话通信,这两类通信方式为人类的生产和社会活动带来了极大的方便。计算机的出现,更是给人们的工作和生活带来了极大的变革。在当今的信息社会里,通信与计算技术等其他的先进技术紧密结合,成为整个社会的高级“神经中枢”。本书将讨论计算机通信的基本原理、实现技术和应用。在深入讨论上述内容之前,先简要讨论通信系统的有关基础知识。

1.1 通信系统的基本概念

通信系统完成信息的传输和交换。本节简介通信系统的基本概念。

1.1.1 通信系统模型

通信传输的消息是多种多样的,可以是符号、文字、数据、语音、图像、视频等等。各种不同的消息可以分成两大类:一类是离散消息,另一类是连续消息。离散消息是指消息的状态是可数的或离散型的,比如符号、文字、数据等。离散消息也称为数字消息。而连续消息是其状态连续变化的消息,如连续变化的语音、图像、视频等。连续消息也称为模拟消息。

为了传递消息,各种消息需要转换成电信号,消息与电信号之间必须建立单一的对应关系。通信是利用电信号把消息从一地传送到另一地的过程,信号按其随消息变化的参数的取值是否连续可分为模拟信号和数字信号。模拟信号是指其代表消息的参数(幅度、频率或相位)完全随消息的变化而变化,例如,声音和图像的强度都是连续变化的,传感器采集的大多数数据也都是连续取值的。数字信号是指不仅在时间上离散、而且在幅度上也是离散(即幅度只取有限个离散值)的信号,例如,电文、数据、计算机输入输出信号。相对应地,通信也分为模拟通信和数字通信两大类。实际上,基本的点对点通信,均是把发送端的消息传递到接收端。因而这两类通信系统都可由图 1-1 中的通信系统模型加以概括。在图 1-1 中,信息源(也称发终端)的作用是把各种可能消息转换成原始的电信

号。为了使这个原始信号适合在信道中传输,由发送设备对原始信号完成某种变换,然后再送入信道。信道是指信号传输的通道。在接收端,接收设备的功能与发送设备的功能相反,它能从接收信号中恢复出相应的原始信号,而受信者(也称信息宿或收终端)是将复原的原始信号转换成相应的消息。图 1-1 中的噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示。

该模型概括地反映了通信系统的共性。对于模拟通信系统和数字通信系统将有不同形式的较具体的通信系统模型。通信原理的讨论就是围绕通信系统的模型而展开的。

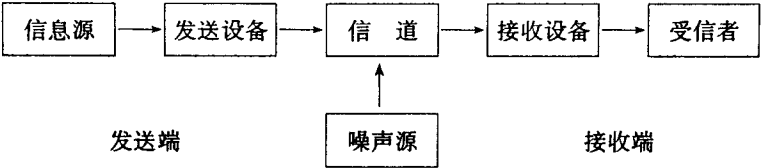


图 1-1 通信系统的模型

一、模拟通信系统

模拟通信利用模拟信号来传递信息,如普通的电话、广播、电视都属于模拟通信。按传送模拟信号而设计的通信系统称模拟通信系统,如图 1-2 所示。在模拟通信系统中,原始的模拟信号一般都要经过调制(一些近距离的有线通信也可不经过调制)再通过信道传输。图中的调制器和解调器实质上是一种信号变换器,它对信号进行各种变换,使之能在传输介质中传输。经过调制器调制后的信号称已调信号,它仍然是一种连续信号。解调器对已调信号进行反变换,使其恢复成调制前的信号。在模拟通信中,通过信道的信号频谱通常比较窄,因此信道的利用率较高。

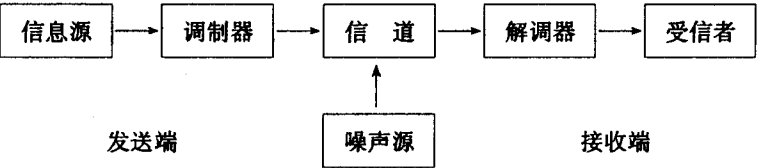


图 1-2 模拟通信系统模型

它的缺点是:

- (1)传输的信号是连续的,混入噪声后不易清除,抗干扰能力差;
- (2)不易进行保密通信;
- (3)设备不易大规模集成;

(4)不能适应计算机通信的要求。

模拟通信系统按其调制方式的不同又可分为连续调制系统和脉冲调制系统。连续调制系统包括振幅调制系统、频率调制系统、相位调制系统等；脉冲调制系统包括脉冲幅度调制系统、脉冲相位调制系统、脉冲宽度调制系统等。这些模拟通信系统在实际中得到了较广泛的应用。为了扩大通信容量,使得在一个信道中可以同时传输多路信号,目前广泛采用了多路复用的方法,最常用的复用方式是频分复用(FDM)和时分复用(TDM)。

二、数字通信系统

电报通信是早期的数字通信系统。一百多年来,由于电报通信不如电话通信方便,一直比电话发展缓慢。直到 20 世纪 60 年代以后,数字通信才日益兴旺起来,目前甚至出现了数字通信替代模拟通信的趋势。除了计算机的广泛应用需要传输大量数字信息的客观要求外,数字通信迅速发展的基本原因是它与模拟通信相比,更能适应对通信技术越来越高的要求。数字通信的基本特征是,它传输的信号是“离散”的或“数字”的,从而使数字通信具有许多优点。

(1)抗干扰能力强。信号是以数码的形式进行传送的,被噪声干扰后,只要数码尚未恶化到一定程度,接收端就不会形成错判。即使出现了一些差错,也可以用差错控制技术加以消除。

(2)可采用再生中继。模拟通信的噪声叠加在信号上,增音机无法将信号和噪声分开,只能进行同等放大。因此,随着通信距离的增加,传输质量逐渐下降。数字通信传送的是数字信号,可用再生中继的方法将在传输过程中信号所受到的噪声干扰加以消除,实现高质量的远距离传输。

(3)能适应各种通信业务。各种消息(电报、电话、图像和数据等)都可以转换成统一的二进制数字信号传输,所以数字通信能灵活地适应各种通信业务。

(4)保密性强。在数字通信中易于采用复杂的加密技术对信号进行加密处理,使通信具有高度的保密性。

(5)设备可集成化、微型化。由于设备多属数字电路,可以大规模地集成、微型化。

数字通信的缺点在于它比模拟通信所用的信道频带要宽得多,即信道的利用率较低,且系统和设备也比较复杂。

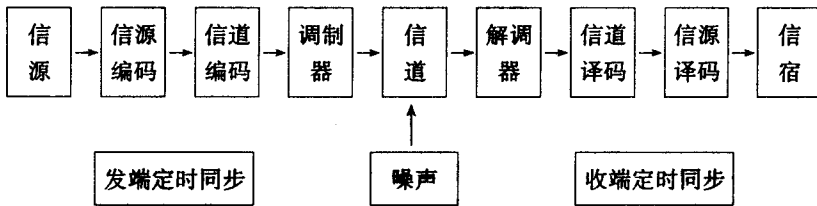
此外,数字通信还有以下突出的问题。第一,数字信号传输时,信道噪声或干扰所造成的差错原则上都是可以控制的。这是通过差错控制编码等手段来实现的。为此,在发送端需要增加一个编码器,而在接收端相应地需要一个解码器。第二,当需要保密时,可以有效地对基带信号进行加密。此时,在接收端就需要进行解密。第三,由于数字通信传输的是一个接一个按节拍传送的数字信

号单元,即码元,因而接收端必须按与发送端相同的节拍接收。不然,会因收发节拍不一致而造成混乱,使接收性能变差。另外,为了表述消息内容,基带信号都是按消息内容进行编组的,因此编组的规律在收发之间也必须一致,否则接收时消息的正确内容就无法恢复。在数字通信中,通常称节拍一致为“位同步”或“码元同步”,而称编组一致为“群同步”、“帧同步”、“句同步”或“码组同步”。所以数字通信还必须有一个同步问题。

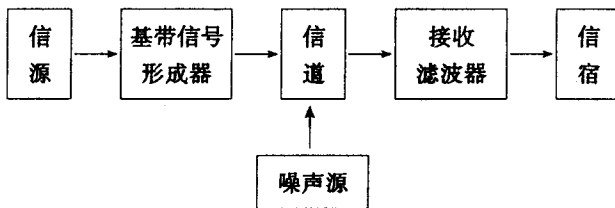
综上所述,点对点的数字通信系统模型一般可以用图 1-3(a)表示。

图 1-3 中的信源编码器主要起两个作用:一是实现模/数转换,把信息源发出的连续信号变换为数字序列;二是降低信号的数码率。如脉码调制、声码器、信号的数据率压缩都属于信源编码。信源译码器是信源编码器的逆过程。

信道编码器的作用是提高通信的可靠性。通常信道会遭受到各种噪声干扰,这些噪声均可能导致接收信号的错误。采用纠错编码(又叫信道编码)在发送端按一定的规则加入多余码元,使接收端能发现错码或纠正错码。信道译码的作用和信道编码的作用相反。



(a) 点对点的数字通信系统模型



(b) 数字基带传输系统

图 1-3 数字通信系统模型

调制器和解调器只是对用模拟传输方式的数字通信系统才是必需的。调制器将待传输信号变换成适合在信道上传输的信号,解调器进行相反的变换。

定时与同步也是数字通信系统不可缺少的部分。由于数字通信系统传递的是数字信号,发送端和接收端都必须有各自的定时系统。为了能正确地接收信号,收端定时与发端定时应实现同步。在图 1-3 中,同步环节没有示出,因它的

位置往往不是固定的。

信道是信号传输的中间媒介,它可以是双绞线、同轴电缆、光纤、无线电波等。有时线路两端的某些设备也包括在信道中。

噪声包括信道的噪声及设备各部件的内部噪声,它集中代表所有产生干扰、引起信号失真的来源。

当然,实际上的数字通信系统并非一定要如图 1-3(a)所示的那样包括所有的环节。调制与解调、加密与解密、编码与解码等环节究竟采用与否,还取决于具体设计方法及要求。例如,本书中将要详细讨论的数字基带传输系统,它的模型就不包括调制与解调环节,如图 1-3(b)所示。

应当指出,我们也可以先把模拟信号变换成数字信号(这种变换称作模拟-数字变换),经数字通信方式传输后,在接收端再进行相反的变换(即数字-模拟变换),以还原出模拟信号。完成模拟信号数字化,并用数字通信方式传输的通信系统也称数据通信系统。

另外,数字通信系统传送的消息一般都是离散型的,但也可以是连续型的。倘若需要在数字通信系统中传送模拟消息,则在发送端的信息源中应包括一个模-数转换装置,而在接收端的受信者中应包括一个数-模转换装置。

一般来说,数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带而换得的。以电话为例,一路模拟电话通常只占据 4 千赫带宽,而一路传输质量相同的数字电话则可能要占据数十千赫的带宽。在系统频带紧张场合,数字通信的这一缺点显得很突出。但是在系统频带富裕场合,比如毫米波通信、光通信等场合,数字通信几乎成了唯一的选择。

目前,模拟通信系统大量存在,还需要利用它来传输数字信号。这就需要对其加以改造,或者加装数字终端设备。

1.1.2 通信系统的分类

通信系统有不同的分类方法,本书从通信系统模型的角度讨论其分类。

一、按消息的物理特征分类

根据消息的物理特征的不同,通信系统可以分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统等等。由于电话通信网最为发达普及,因而其他消息常常通过公共的电话通信网传送。例如,电报常通过电话信道传送;计算机数据在远距离传输时也常常利用电话信道传送。在综合业务通信网中,各种类型的消息都在统一的通信网中传送。

二、按调制方式分类

根据是否采用调制,通信系统可分为基带传输和频带(调制)传输。基带传

输是将未经调制的信号直接传送,如音频市内电话;频带传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式有很多,如用于广播的双边带调制,用于数据传输的振幅调制等等。

三、按信号特征分类

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分成模拟通信系统与数字通信系统两类。

四、按传输媒介分类

按传输媒介的不同,通信系统可分为有线(包括光纤)和无线两类。

五、按信号复用方式分类

传送多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是用频率搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围;时分复用是用抽样或脉冲调制方法使不同信号占据不同的时间区间;码分复用则是用一组包含互相正交的码字的码组携带多路信号。传统的模拟通信中大都采用频分复用。随着数字通信的发展,时分复用通信系统的应用越来越广泛。码分复用多用于空间扩频通信系统中,目前又开始用于移动通信系统中。

1.1.3 通信方式

如果通信仅在点与点之间进行,那么按信息流向与时间关系来分类,通信方式可分为单向通信、半双工通信和全双工通信三类。

一、单向通信

单向通信就是信息只能向一个方向传输,不能进行相反方向的传输。例如,广播、电视就是单向传输方式,收音机、电视机只能分别接收来自电台、电视台的消息,不能进行相反方向的传输。图 1-4(a)是单向通信的基本形式,图 1.4(b)是其变形。数据传输时为确保质量要采用差错控制,若接收端只能检查出错误不能自动纠错时,须将接收状态的正确与否报知发送端,因此在图 1-4(b)中与信息流相反,另设一条通报接收状态的反向信道。反向信道不传输普通信息,是专为监测信号设计的一条传输容量较小的窄带传输信道。

二、半双工通信

半双工通信是指信息流可以在两个方向上传输,但同一时刻只限于一个方向传输。例如,使用同一载频工作的普通无线电收发报机就是半双工通信的例子。当 A、B 端进行对话通信时,半双工通信最有效。

半双工通信如图 1-5 所示。关于监测信号的应答有两种方法,一种是在应答时转换传输信道,另一种是与主信息传输信道分开,另设传送监测信号的窄带信道。