

• 赵宏波 卜益民 陈凤娟 编著

现代通信技术概论

XIANDAI TONGXIN JISHU GAILUN



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

现代通信技术概论

赵宏波 卜益民 陈凤娟 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 提 要

本书按照通信技术的发展进程和通信网的逻辑分层,结合电信业务网的划分,通过对现代通信技术进行全景式描述,使读者对通信技术的体系框架有一个清晰的认识,对各种常用现代通信技术的基本概念、基本原理、系统构成和技术发展趋势有较全面的理解和掌握。本书介绍的主要通信技术有:数字通信与 SDH、程控交换、光纤通信、移动通信、数字微波、卫星通信、图像通信、电话网、支撑网、智能网、数据通信与数据网、ISDN、ATM、IP 技术、接入网等技术及其新的发展。

本书可以作为高等院校以通信技术为专业基础课的各专业学生全面学习通信技术的教材或参考书,本、专科学生均可根据需要选用相应内容学习。本书也可作为相关技术人员全面了解通信技术的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术概论/赵宏波等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2003
ISBN 7-5635-0784-1

I. 现... II. 赵... III. 现代通信技术—高等学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 072627 号

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 26.5

字 数: 629 千字

印 数: 3001—6000 册

版 次: 2003 年 8 月第 1 版 2004 年 1 月第 2 次印刷

ISBN 7-5635-0784-1/TN·304

定价:37.00 元

·如有印装质量问题请与北京邮电大学出版社发行部联系·

前 言

现代社会已经不可否认地进入了信息时代,信息技术日益改变着我们的生活。作为信息社会基础的通信技术也走入了人们的日常生活,很多通信技术名词如 IP、CDMA、3G、GPRS、小灵通、因特网、MMS 等已成了年轻人时髦的口语和人们茶余饭后的谈资。作为以通信为专业的学生常常会陷入这样一种尴尬的境地,社会上人们耳熟能详的某个通信名词对有的学生却还显得陌生或一知半解。所以通信专业的学生不管是从为自己的专业打下良好基础的角度,还是从更好适应现代信息社会生活、把握时代脉搏的角度出发,都要全面学习通信技术的基本概念和基本原理,掌握通信技术的最新发展趋势。

如何快速有效地学习和掌握通信技术?当然可以开设多门课程,分门别类地介绍某一方面的通信技术;但从时间和教学安排上,对大多数学校和学生而言都是不现实的。为了让学生建立对通信技术和通信网的整体概念,从通信技术角度对其基本概念、基本原理有深入的理解和掌握,我们编写了这本试图尽可能全面地介绍现代通信技术的教材。本书从学生认知规律出发,首先让学生建立起一个通信技术体系框架的概念,然后通过学习基本的技术原理,达到对整个通信网络和各种通信技术的基本掌握。这样也有利于学生在今后的学习和实践中不断对其知识框架进行补充,从而完善通信技术知识体系。

本书是作者在多年现代通信技术教学与不断跟踪通信新技术发展的基础上,按照通信技术的发展进程,根据通信网的逻辑分层,结合电信业务网的划分,对现代通信技术进行全景式描述,目的是使读者对通信技术的体系框架有一个清晰的认识,对各种常用现代通信技术的基本概念、基本原理、系统构成和技术发展趋势有较全面的理解和掌握。本书在编写过程中力求深入浅出、论述简明、通俗易懂。书中尽量避免过深过繁的理论推导和过细的技术分析以及抽象的协议描述,而侧重于对基本概念、基本理论、系统构成与工作原理的介绍。

全书共分 9 章,第 1 章主要介绍与通信技术有关的基本概念,分析了通信业务、通信技术和通信网的发展趋势。第 2 章主要介绍数字通信技术的基本概念和原理:模拟信号数字化技术——脉冲编码调制(PCM),时分多路复用,PCM30/32 路系统的帧结构,数字复用技术,同步数字系列(SDH)。第 3 章主要介绍程控数字交换技术的交换工作原理,交换机的构成,呼叫接续控制原理。第 4 章主要介绍信息传输技术与系统,包括光纤通信、移动通信、数字微波、卫星通信、图像通信等。第 5 章介绍历史最悠久的电信网之一的电话网,以及支持电信网正常运行的支撑网和为快速、方便、经济、灵活地生成新业务而建立的附加网络——智能网。第 6 章介绍数据通信系统的构成,数据传输控制和差错控制原理,数据交换技术和几种常用的数据通信网——分组交换网、帧中继网、数字数据网、计算机局域网。第 7 章主要介绍 N-ISDN 和 B-ISDN 的基本概念,重点阐述了 B-ISDN 的传递方式——ATM。第 8 章主要介绍传统 IP 技术、宽带 IP 骨干网技术和下一代网络(NGN)及其核

心技术软交换的基本概念。第9章介绍接入网的基本概念,各种有线、无线接入技术及其最新发展。

每章后所附小结与思考题,是对本章内容的精炼和脉络梳理,有助于学生学习和掌握本章重点内容。书后所附常用通信缩略词英汉对照表是很好的学习工具,可以帮助读者轻松应对通信技术书籍和相关报刊文章中大量出现的英文缩略词。

本书的第1、2、3、5、6章由赵宏波编写,第4章由赵宏波、陈凤娟编写,第7、8、9章由卜益民编写,全书由赵宏波统稿。

由于编者水平和视野所限,加之通信技术发展日新月异,全书涉及内容跨度大,书中的错误和不足之处在所难免,敬请读者不吝指正。

作者
2003年8月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 通信系统	1
1.1.2 通信信号	3
1.1.3 通信信道	6
1.1.4 通信网	10
1.1.5 通信协议	11
1.1.6 标准化组织	13
1.2 通信发展趋势	16
1.2.1 通信发展的技术基础	16
1.2.2 通信业务发展趋势	17
1.2.3 通信技术发展趋势	18
1.2.4 通信网络发展趋势	21
本章小结	23
思考题	24
第2章 数字通信技术	25
2.1 模拟信号数字化	25
2.1.1 模拟信号和数字信号	25
2.1.2 数字通信的特点	26
2.1.3 脉冲编码调制(PCM)技术	27
2.2 时分多路复用及 PCM30/32 路系统	33
2.2.1 时分多路复用的基本概念	33
2.2.2 时分复用中的同步技术	34
2.2.3 PCM30/32 路系统的帧结构	35
2.2.4 PCM30/32 路系统介绍	36
2.3 数字复接技术	37
2.3.1 数字复接的概念	37
2.3.2 数字信号的复接方法	39
2.3.3 数字复接中的码速变换	39
2.4 同步数字系列(SDH)	42
2.4.1 SDH 的产生	42

2.4.2 SDH 的特点	44
2.4.3 SDH 的帧结构	45
2.4.4 SDH 的复用原理	47
2.4.5 SDH 网络	50
本章小结	52
思考题	54
第 3 章 程控交换技术	55
3.1 概述	55
3.1.1 电话交换技术的发展历史	55
3.1.2 程控交换机的特点	56
3.1.3 交换技术的发展趋势	57
3.2 程控数字交换的基本原理	59
3.2.1 数字交换的原理	59
3.2.2 接线器	60
3.2.3 数字交换网络	63
3.3 程控数字交换机的构成	64
3.3.1 程控数字交换机的硬件结构	64
3.3.2 程控数字交换机的软件组成	69
3.4 呼叫接续过程分析与控制原理	70
3.4.1 呼叫接续的一般过程	70
3.4.2 呼叫接续过程中的状态迁移	71
3.4.3 呼叫接续程序的结构与特点	72
3.4.4 呼叫接续程序的控制原理	73
本章小结	78
思考题	80
第 4 章 信息传输技术与系统	81
4.1 光纤通信	81
4.1.1 光纤通信概述	81
4.1.2 光纤和光缆	84
4.1.3 光发送机和光接收机	90
4.1.4 光纤通信系统	94
4.1.5 光纤通信新技术	98
4.2 数字微波中继通信	100
4.2.1 概述	100
4.2.2 微波中继通信的特点	101
4.2.3 数字微波中继通信系统的组成	103

4.2.4 数字微波中常用的调制技术	107
4.3 卫星通信	114
4.3.1 概 述	114
4.3.2 卫星通信系统的组成和功能	119
4.3.3 VSAT 简述	121
4.3.4 移动卫星通信系统简介	122
4.4 移动通信	124
4.4.1 概 述	124
4.4.2 移动通信具有的主要功能	130
4.4.3 泛欧数字移动通信系统(GSM)	131
4.4.4 码分多址(CDMA)蜂窝移动通信系统	134
4.5 图像通信	142
4.5.1 概 述	142
4.5.2 图像通信的分类	143
4.5.3 图像通信系统的组成及原理	144
4.5.4 多媒体通信	146
本章小结	151
思考题	152
第 5 章 通信网	154
5.1 电话网	154
5.1.1 电话网的结构	154
5.1.2 路由及路由选择	158
5.2 支撑网	161
5.2.1 No.7 信令网	162
5.2.2 数字同步网	168
5.2.3 电信管理网	171
5.3 智能网	179
5.3.1 概 述	179
5.3.2 智能网的概念模型	180
5.3.3 智能网支持的业务	183
5.3.4 独立于业务的构筑块(SIB)	187
5.3.5 基本呼叫处理(BCP)	189
5.3.6 智能网新的发展与应用	190
本章小结	194
思考题	196

第6章 数据通信与数据网	197
6.1 数据通信概述	197
6.1.1 数据通信的定义和特点	197
6.1.2 数据通信系统的构成	198
6.1.3 数据电路及数据信号的传输方式	199
6.2 差错控制	201
6.2.1 差错控制方法	201
6.2.2 检错和纠错的基本原理	203
6.2.3 常用的检纠错码	204
6.3 物理层接口	206
6.3.1 物理层功能	206
6.3.2 物理层接口的基本特性	206
6.3.3 RS-232 接口简介	207
6.4 数据链路传输控制规程	209
6.4.1 数据链路控制规程的功能	210
6.4.2 数据链路控制规程的种类	211
6.5 数据交换技术	221
6.5.1 电路交换	221
6.5.2 报文交换	221
6.5.3 分组交换	222
6.5.4 信元交换	224
6.6 数据通信网	224
6.6.1 分组交换网	225
6.6.2 帧中继网	229
6.6.3 数字数据网	236
6.6.4 计算机局域网	240
本章小结	244
思考题	246
第7章 ISDN 与 ATM 技术	247
7.1 N-ISDN	247
7.1.1 ISDN 的基本概念	247
7.1.2 ISDN 用户-网络接口	249
7.1.3 ISDN 协议	253
7.1.4 ISDN 的业务及应用	259
7.2 B-ISDN 与 ATM	261
7.2.1 B-ISDN 的基本概念	261

7.2.2 ATM 基本原理	262
7.2.3 ATM 网络结构	266
7.2.4 B-ISDN 协议	269
7.2.5 ATM 交换	281
7.2.6 ATM 网络的互通、应用及发展	286
本章小结	290
思考题	291
第 8 章 宽带 IP 技术	293
8.1 IP 网络的基本概念	293
8.1.1 Internet 概述	293
8.1.2 TCP/IP 协议	295
8.1.3 Internet 应用及入网方式	302
8.2 宽带 IP 技术的发展	305
8.2.1 传统 Internet 存在的问题及解决策略	305
8.2.2 IP 网络中路由器技术的进步	307
8.2.3 新的 TCP/IP 协议体系	313
8.2.4 宽带 IP 网的信息服务	317
8.3 宽带 IP 骨干网技术	325
8.3.1 概述	325
8.3.2 IP 与 ATM 技术结合	329
8.3.3 IP over SDH	335
8.3.4 IP over DWDM	338
8.4 下一代网络技术	343
8.4.1 下一代网络的概述	343
8.4.2 基于软交换的下一代网络的功能模型	345
8.4.3 软交换技术	347
本章小结	350
思考题	351
第 9 章 接入网与接入技术	353
9.1 接入网概述	353
9.1.1 接入网的演变及发展	353
9.1.2 接入网的功能结构	356
9.1.3 接入网的接口	358
9.1.4 IP 接入网	361
9.1.5 接入网技术的分类	365
9.2 有线接入网技术	366

9.2.1 铜线接入技术	366
9.2.2 HFC 接入技术	380
9.2.3 光纤接入技术	383
9.3 无线接入技术	391
9.3.1 概述	391
9.3.2 本地多点分配业务技术	392
9.3.3 无线接入新技术	397
本章小结	400
思考题	401
 附录 常用通信缩略词英汉对照表	 402
参考文献	413

第 1 章

绪 论

1.1 基本概念

通信即信息传递。信息是一切客观事物之间影响的总和,或者说是不确定性的消除总量。对信息的一般解释是:人认识到或感觉到的一切有价值的相互之间的影响。通信是人类社会发展的基础,是推动人类文明与进步的巨大动力。纵观通信历程,可以把通信的发展分为以下三个阶段:第一阶段是语言和文字通信阶段。在这一阶段,通信方式简单,内容单一。第二阶段是电通信阶段。1837年,莫尔斯发明电报机,并设计莫尔斯电报码。1876年,贝尔发明电话机。这样,利用电磁波不仅可以传输文字,还可以传输语音,由此大大加快了通信的发展进程。1895年,马可尼发明无线电设备,从而开创了无线电通信发展的道路。第三阶段是电子信息通信阶段。

通信包括邮政与电信。本课程讨论的通信技术主要是指电信技术。所谓电信是指利用有线、无线的电磁系统或者光电系统,传递、发射或者接收语音、文字、数据、图像以及其他任何形式的信息的活动(摘自《中华人民共和国电信管理条例》)。在对通信技术学习之前,首先介绍相关的基本概念。

1.1.1 通信系统

通信的基本目的是由信源向信宿传送消息。如广播电台播音员的声音,通过电台发送载有声音的信号,经过空间电磁场的传输媒介,进入信道,并由收音机接收后,传给听众。任何通信系统都可以抽象概括为图 1.1 所示的一般通信系统模型。

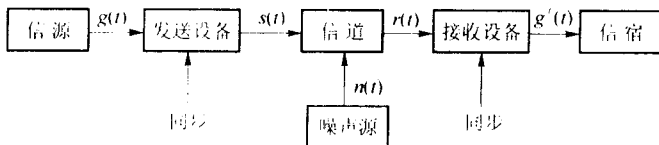


图 1.1 通信模型示意图

由图 1.1 可以看出,通信系统模型包括信源、发送设备、信道、接收设备、信宿和噪声源。信源的信号为 $g(t)$, 随时间发生变化, 通常不适于直接上传输。它需要由发

送设备进行某种变换,变为信号 $s(t)$,既载有信源的信息,同时又便于在信道上传输。通过信道后的信号为 $r(t)$,在传输中受到了噪声 $n(t)$ 的干扰,接收设备进行相对于发送的反变换,反变换后的信号为 $g'(t)$,是信号 $g(t)$ 的近似值或估计值。这里,噪声的干扰实际存在于整个通信系统中,为便于分析,并考虑到信道上的干扰最为严重,故不妨把噪声干扰集中在信道上并抽象为 $n(t)$ 。

1. 通信系统的分类

通信系统有多种分类形式,如:可从通信内容上、传输信号的性质上、信道上等进行划分。

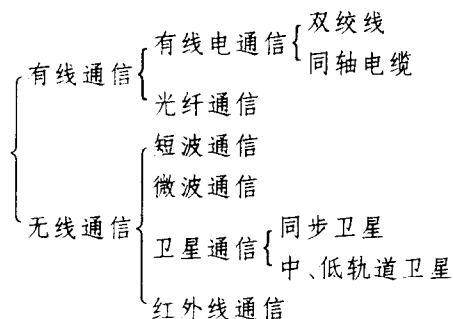
(1) 根据通信内容可分为:

- 语音通信(电话)
- 数据通信系统
- 图像通信
- 多媒体通信

(2) 根据传输信号的性质可分为:

- 模拟通信系统
- 数字通信系统

(3) 根据信道的不同可分为:



2. 通信系统的质量要求

通信系统的主要质量指标是围绕传输的有效性和可靠性来制定的,这些主要质量指标为:

(1) 有效性

① 符号速率又叫信号速率,记为 N 。它表示单位时间内(每秒)信道上实际传输的符号个数或脉冲个数(可以是多进制)。符号速率的单位是波特,即每秒的符号个数。

② 信息传输速率,简称传信率,通常记为 R 。它表示单位时间内系统传输(或信源发出)的信息量,即二进制码元数。在二进制通信系统中,信息传输速率 $R(\text{bit/s})$ 等于信号速率。但在多进制中,两者不相等。例如四进制中符号速率为 2 400 波特,其信息速率为 4 800 bit/s;而八进制的信息速率为 7 200 bit/s 等等。它们的关系为

$$R = N \log_2 m \text{ bit}$$

式中, m 为符号的进制数。

(2) 频带利用率

在比较不同通信系统的效率时,单看它们的信息传输速率是不够的,或者说,即使两个系统的信息速率相同,它们的效率也可能不同,所以还要看传输这样的信息所占的频带。通信系统占用的频带愈宽,传输信息的能力也就愈大。在通常情况下,可以认为二者成比例。用单位频带内的符号速率描述系统的传输效率,即每赫的波特数,符号速率用 η 表示。

(3) 可靠性

可靠性可用差错率来表示。常用的差错率指标有平均误码率、平均误字率、平均误码组率等。

$$\text{误码(字符,码组)率} = \frac{\text{接收出现差错的比特(字符、码组)数}}{\text{传输的总比特(字符、码组)数}}$$

差错率是一个统计平均值,因此在测试或统计时,总的发送比特(字符、码组)数应达到一定的数量,否则得出的结果将失去意义。

1.1.2 通信信号

通信系统的作用就是传递消息。被传递的消息在通信系统中被变换成某种形式的物理量,如光、声、电等等,这些物理量就称为通信信号。

从数学角度来说,信号通常看成是时间的函数,在时域上可以划分为连续函数和离散函数。

从通信角度而言,信号是传递消息的载体,常划分为模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是指代表消息的电信号及其参数(幅度、频率或相位)随消息连续变化的信号。其特点是幅度连续变化,而在时间上可以连续,也可以不连续;前者是连续的模拟信号,后者是离散的模拟信号,如图 1.2 所示。

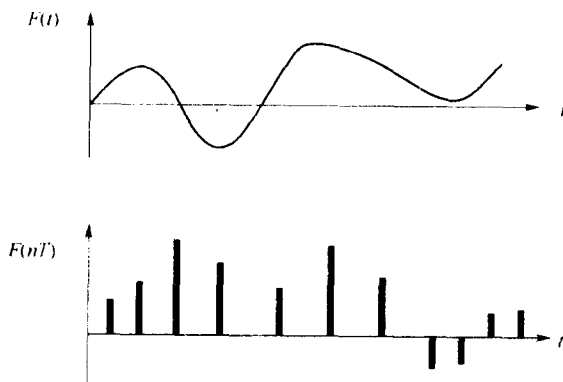


图 1.2 模拟信号

2. 数字信号

数字信号是一系列的电脉冲,时间上是离散的,信号参数(幅度)也不连续变化,如图

1.3 所示。

数字信号是指在时间上和幅度上均取有限离散数值的电信号,这类电信号常用电压或电流的脉冲代表。数字信号与模拟信号的不同点在于数字信号不直接与消息对应。

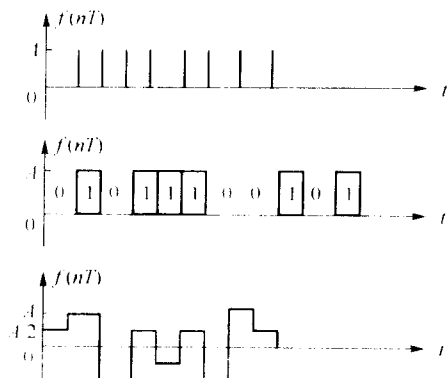


图 1.3 数字信号

3. 数字信号的基本形式

最简单的数字信号是二进制码(或称二进制码),这种码的幅度只取两种不同的瞬时值。这种二进制码分为单极性、双极性和归零、不归零四种不同的基本形式。

从信号幅度取值的极性来区分,有单极性码和双极性码之分。如果信号的幅度取为 +1 和 0 就称为单极性二进制码,这种码包含一定的直流分量。如果二进制码幅度可以对称地取为 +1 和 -1(这里的 1 应理解为一个单位电压或电流),就称为双极性二进制码, +1 和 -1 的取值均匀分布的双极性信号不包含直流分量。从信号电压是否占满整个符号持续时间,还可以把二进制码分为归零的和不归零的两类。归零的二进制码是指信号电压只存在于局部的符号持续时间,其余时间内没有信号电压(即归零了),类似的,不归零的二进制码则指信号电压填满了整个符号持续时间。单极、双极以及归零、不归零四种特征的不同组合,就形成四种二进制码基本形式,如图 1.4 所示。

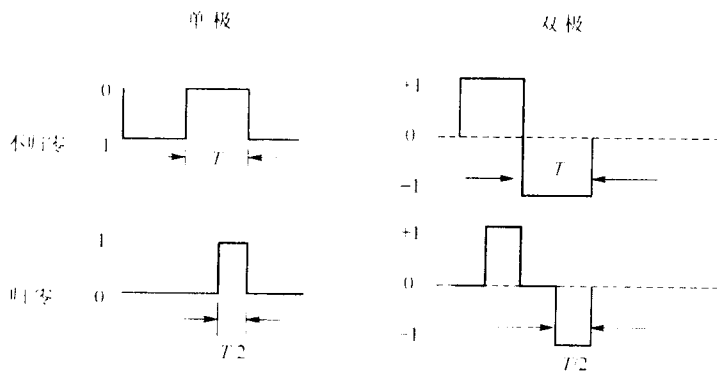


图 1.4 二进制码的四种基本形式

在二进制数字通信系统中,每个码元或每个符号只能是“1”和“0”两个状态之一。实

际通信中也可以有多信号电平系统即对应多进制码。如四、八、十六……若将每个码元可能取的状态增加到四、八、十六……,就需用四、八、十六……进制的信号。例如四状态用 3、2、1 和 0 四种电平表示四电平四进制信号。这里一个四进制符号代表两位二进制码组,其编码规则和二—四进制对应关系如表 1.1 所示。八状态用八电平表示,如表 1.2 所示。

表 1.1 二—四进制对应

二进制码组	四进制电平
00	0
01	1
10	2
11	3

表 1.2 二—八进制对应

二进制码组	八进制电平	二进制码组	八进制电平
000	0	100	4
001	1	101	5
010	2	110	6
011	3	111	7

八进制符号代表三位二进制码组,其编码组和编码规则如表 1.2 所示。显然,进制越高,级差越小,抗干扰能力越差。但是进制越高,每个符号所代表的信息量越大。在信息论中对符号所载荷的信息量有严格定义。在二进制数字传输中,若数字序列里 1 和 0 的概率各占 1/2,并且前后码元是相互独立的,序列中每个二进制码元所载荷的信息量就是 1 比特;而多进制每个符号所含的信息量将要增加,四电平的符号包含 $\log_2 4 = 2 \text{ bit}$ 的信息量,八电平的符号包含 $\log_2 8 = 3 \text{ bit}$ 的信息量。从表 1.1 中也可以看出四电平的四种状态,可分别代表 2 个二进制组成的四种状态,即 00、01、10 和 11。因此一个四进制符号包含 2 比特信息量。同样,一个八进制符号代表 3 个二进制符号,因此包含 3 比特信息量。

4. 数字信号码型

基带信号表示原始信号的脉冲频谱通常是从零频开始的,所以将其称为基带信号。

基带信号的码型有如下几种:

(1) 二元气码:采用两个电平编出来的码型。主要有单极性不归零码、单极性归零码、双极性归零码、双极性非归零码、差分编码、双相脉冲编码等。

(2) 三元码:信号的幅度取值为 +1、0、-1。如:传号交替反转码、HDB_n 码等。

(3) 伪双极性码。

(4) $mBnB$ 码(分组码):把输入的信息码流按 m 个比特为一组然后变换为 n 个比特。且 $n > m$ 。如在光纤通信中常用的 5B6B 码。

由于传输信道中有许多电感、电容原件,因其直流截止特性,对线路传输码型的要求如下:

- 频谱中不存在直流成分;
- 尽量减少码型频谱中的高频分量;
- 具有一定的抗干扰能力;
- 便于时钟信号的提取;
- 具有较好的传输效率;
- 码型变换设备简单,易于实现。

1.1.3 通信信道

任何通信系统都包括发送、信道和接收三个部分。信道主要是传递信息的通道,又是传递信号的设施。

通信线路是指通信中所采用的具体线路及其结构。通常采用多路复用等技术将一条通信线路分割为若干信道。

1. 通信媒体

通信媒体又称传输媒介。它是发方与收方之间的物理路径,常用的典型传输介质有:

(1) 明线:一种最简单的传输介质。由两根裸露在空气中的铜导线彼此隔离地并排放在一起构成。如图 1.5(a)所示。由明线构成的线路中,串扰现象非常严重。

(2) 双绞线(twisted-pair):也称双扭线。由两根互相绝缘的铜导线用规则的方法扭绞起来构成。如图 1.5(b)所示。双绞线可以减少相邻导线间的串扰。其主要缺点是存在较强的趋肤效应,随着传输速率的增加,导线中的电流趋向于在导体的外表层流动,从而减少可使用的有效截面积,增大导线的电阻和信号的衰减。

(3) 同轴电缆(coaxial cable):由单股实心或多股绞合的铜质芯线(内导体)、绝缘层、网状编织的屏蔽层(外导体)以及保护外层所组成,如图 1.5(c)所示。由于外导体的作用,外来的电磁干扰被有效地屏蔽了,因此同轴电缆具有很好的抗干扰特性,并且因趋肤效应所引起的功率损失也大大减小。同时,与双绞线相比,同轴电缆具有更宽的带宽和更快的传输速率。

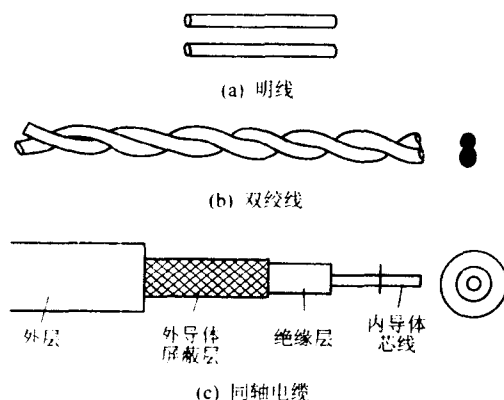


图 1.5 几种有线电信道

(4) 光纤:光纤通信是以光波为载频、以光导纤维为传输介质的一种通信方式。它具有频带宽、容量大、中继距离长、抗干扰性好、保密性强、成本低廉、传输质量高等许多优点。光纤的结构与传输如图 1.6 所示。

(5) 微波通信:微波通信是利用电磁波在对流层的视距范围内以微波接力形式进行传输的通信方式。微波波长为 $1\text{ m} \sim 1\text{ mm}$, 频率为 $300\text{ MHz} \sim 300\text{ GHz}$, 频段宽度是长波、中波、短波及其短波等几个频段总带宽的 1000 倍。微波通信的特点是:频带越宽,通信容量