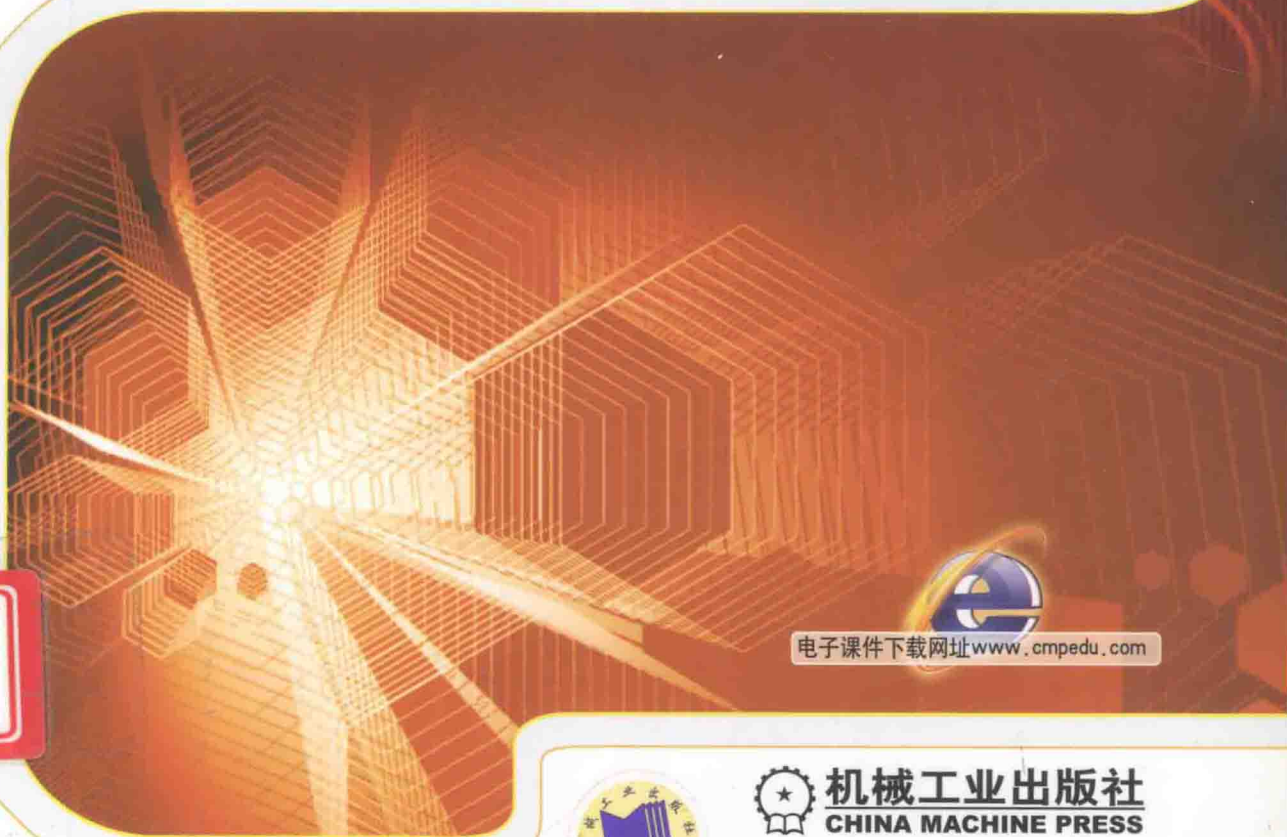




全国高等职业教育规划教材

现代通信技术 第3版

谭中华 李方健 徐东 赵阔 郭兵 编著



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

现代通信技术

第3版

谭中华 李方健 徐东 赵阔 郭兵 编著



机械工业出版社

本书以现代通信系统为背景,以数字通信原理为主,系统、深入地介绍了现代通信技术,全书共8章,内容包括现代通信技术基本概述、模拟通信、模拟信号数字化、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、信道复用和多址方式、同步原理以及通信技术在移动通信系统中的应用。

本书内容丰富、取材新颖、理论联系实际,重物理概念的理解,充分反映近年来的热门技术和先进技术。

本书可作为高职院校通信类专业学生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术 / 谭中华等编著. —3版. —北京:机械工业出版社,2010.1
(全国高等职业教育规划教材)

ISBN 978-7-111-28979-1

I. 现… II. 谭… III. 通信技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第199829号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王颖

责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2010年1月第3版·第1次印刷

184mm×260mm·14.75印张·365千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28979-1

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材电子技术专业

编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳
俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬
任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪	邓 红	王树忠	王新新	尹立贤
白直灿	包中婷	冯满顺	华天京	吉雪峰
刘美玲	刘 涛	孙吉云	孙津平	朱晓红
李菊芳	邢树忠	陈子聪	杨元挺	张立群
张锡平	苟爱梅	姚建永	曹 毅	崔金辉
黄永定	章大钧	彭文敏	曾日波	谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多多个品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

随着数字通信技术和计算机技术的快速发展以及通信网与计算机网络的相互融合,信息科学技术已成为 21 世纪国际社会的强大推动力。信息作为一种资源,只有通过广泛的传播与交流,才能产生利用价值,促进社会成员之间的合作,推动社会生产力的发展,而信息的传播与交流,是依靠各种通信方式与技术来实现的。学习和掌握现代通信技术是信息社会每一位成员,尤其是未来的通信工作者的迫切需求。

第 2 版《现代通信技术》因为其准确的定位和鲜明的特点,取得了较好的认可度。现在对其改版,在分析以及参考行业对通信技术人员的相关要求的基础上,结合教学过程,发扬上一版的优点,对上一版不足之处进行补充,增加新技术。

1) 现代通信技术发展迅速,特别是目前移动通信技术、光纤通信技术等发展迅速,对通信工作者提出了更高、更全面的要求,第 2 版的相关内容知识容量已经不能适应目前通信技术的发展,需要进行补充。

2) 在第 3 版中,更多地选取了和通信技术相关专业的后续课程,如“移动通信”、“接入网”、“数字数据通信”、“光纤通信”等结合得比较紧密的内容,为后续课程的学习打下良好的基础。

3) 根据通信行业对从业人员的知识要求,从应用出发,注重理论联系实际。第 3 版在第 8 章中,以现有的移动通信系统为载体,在介绍移动通信系统的同时,把在移动通信系统中应用的通信技术进行比较详细的分析,解决其他教材出现的“学生了解原理,却不知道用来干什么”的问题。

4) 现在很多通信技术方面的教材不是内容太多、繁杂,太注重理论,不注重实际的通信系统,就是知识陈旧,结构体系不完整,不能反映通信行业最新技术,或者难度太大,太注重数学推导,不注重物理概念的讲解,因而不适合高职高专院校的学生。第 3 版在编写过程中继承上一版的风格,力求简单,避免繁琐的数学推导过程,用通俗易懂的语言阐述现代通信技术的基本概念。

第 3 版共分为 8 章,主要对现代通信技术的基本概念、基本原理和技术做了全面的介绍。

第 3 版根据通信技术的发展趋势精选内容,在数字信号的频带传输一章中增加了应用广泛的新技术。比如现在的接入网之一的 ADSL 技术应用得非常广泛,所以增加了 ADSL 的调制技术 DMT 调制技术;作为通信热门的 3G 系统的支撑技术 CDMA 非常重要,所以本书增加了 CDMA 系统的数字调制技术 OQPSK 技术;增加了 GSM 手机中应用的 GMSK 调制技术。同时,对一些章节进行了适当补充,使之更系统、更容易理解。

本书由赵阔编写第 1 章,李方健编写第 3、4 章,谭中华、郭兵编写第 2、5、6 章,徐东编写第 7、8 章。

限于作者水平,书中难免存在不妥之处,请读者原谅,并提出宝贵意见。

为了配合教学,本书提供了电子教案,读者可在机械工业出版社网站 www.cmpedu.com 下载。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 现代通信技术概述	1	2.2.5 幅度调制信号的解调	29
1.1 通信的基本概念和分类	1	2.2.6 幅度调制系统的抗噪声性能	30
1.1.1 通信的定义	1	2.3 角度调制	33
1.1.2 通信的分类	1	2.3.1 调角波的数学表达式	33
1.1.3 通信方式	2	2.3.2 调角波的频谱结构和带宽	35
1.2 通信系统	3	2.3.3 调频方法	37
1.2.1 模拟通信系统	5	2.3.4 角度调制信号的解调	38
1.2.2 数字通信系统	5	2.3.5 调频系统的抗噪声性能	39
1.2.3 数字通信系统的优缺点	6	2.4 各种模拟调制系统的性能比较	40
1.3 信号、信道与噪声	8	2.5 无线电发射机	41
1.3.1 信号	8	2.5.1 调幅发射机	42
1.3.2 信道及其容量	10	2.5.2 调频发射机	43
1.3.3 信道噪声	15	2.6 无线电接收机	44
1.4 通信系统的主要性能指标	16	2.6.1 调幅接收机	46
1.4.1 模拟通信系统的基本参数	16	2.6.2 单边带接收机	47
1.4.2 数字通信系统的基本参数	17	2.6.3 调频接收机	48
1.5 通信技术的发展与现状	19	2.7 本章小结	48
1.5.1 通信发展历史	19	2.8 习题	49
1.5.2 通信技术发展趋势	20	第 3 章 模拟信号数字化	50
1.6 本章小结	21	3.1 绪论	50
1.7 习题	21	3.1.1 数字信号	50
第 2 章 模拟通信	22	3.1.2 数字通信系统的模型	51
2.1 模拟信号的传输方式	22	3.1.3 数字通信系统性能指标	51
2.1.1 调制的作用	22	3.2 信源编码	52
2.1.2 调制的分类	23	3.2.1 脉冲编码调制 (PCM)	52
2.2 幅度调制	24	3.2.2 预测编码	63
2.2.1 标准幅度调制 AM	24	3.3 数据压缩技术	69
2.2.2 双边带调制 DSB	27	3.4 本章小结	72
2.2.3 单边带调制 SSB	28	3.5 习题	72
2.2.4 残留边带调制 VSB	29	第 4 章 数字信号的基带传输	74

4.1	数字基带传输概述	74			
4.2	基带传输的常用码型	75			
4.2.1	数字基带传输的码型设计	75			
4.2.2	常用码型	76			
4.3	无码间串扰的基带传输	78			
4.3.1	基带传输的码间串扰	78			
4.3.2	无码间串扰的条件	79			
4.3.3	无码间干扰的滚降系统	81			
4.3.4	部分响应基带传输系统	82			
4.4	眼图和均衡	85			
4.4.1	眼图	85			
4.4.2	均衡	86			
4.5	数字基带信号的再生中继传输	88			
4.5.1	PCM 信号基带传输信道	88			
4.5.2	误码率和相位抖动	90			
4.6	扰码与解扰	91			
4.6.1	m 序列	91			
4.6.2	扰码与解扰原理	94			
4.7	PCM 中继系统的测量	96			
4.8	差错控制编码	97			
4.8.1	差错控制方式	97			
4.8.2	纠错编码原理	97			
4.8.3	常用差错控制编码	101			
4.9	本章小结	103			
4.10	习题	103			
第 5 章	数字信号的频带传输	105			
5.1	二进制数字振幅调制	105			
5.2	二进制数字频率调制	109			
5.3	二进制数字相位调制	114			
5.3.1	二相绝对移相调制	114			
5.3.2	二相相对移相调制 2DPSK	117			
5.4	二进制数字调制系统抗 噪声性能	122			
5.4.1	二进制振幅键控 2ASK 系统的抗噪声性能	122			
5.4.2	二进制频移键控 2FSK 系统的抗噪声性能	127			
5.4.3	二进制绝对移相键控 2PSK 及相对移相键控 2DPSK 系统的抗噪声性能	130			
5.5	多进制数字调制	135			
5.5.1	MASK 系统	135			
5.5.2	MFSK 系统	136			
5.5.3	MPSK 系统	137			
5.5.4	多进制数字调制系统的 性能	141			
5.6	现代数字调制技术	142			
5.6.1	正交振幅调制 QAM	142			
5.6.2	交错四相相移键控 OQPSK	146			
5.6.3	$\pi/4$ -QPSK	148			
5.6.4	最小频移键控 MSK	148			
5.6.5	离散多音频调制 DMT	149			
5.6.6	扩展频谱通信	150			
5.7	本章小结	154			
5.8	习题	154			
第 6 章	信道复用和多址方式	156			
6.1	频分复用	156			
6.2	时分复用	158			
6.2.1	时分多路复用的基本 概念	159			
6.2.2	PCM30/32 系统	160			
6.2.3	PCM 复用与数字复接	160			
6.2.4	数字复接的码速变换	162			
6.2.5	同步复接与异步复接	164			
6.3	多址方式	169			
6.3.1	频分多址	169			
6.3.2	时分多址	170			
6.3.3	码分多址	171			
6.3.4	空分多址	172			
6.4	本章小结	172			
6.5	习题	173			
第 7 章	同步原理	174			
7.1	载波同步	174			
7.2	位同步	179			

7.3	帧同步	185			信道	206
7.4	网同步	190			8.2.3 GSM 系统关键技术	207
7.5	本章小结	195			8.3 CDMA 数字蜂窝移动通信	
7.6	习题	195			系统	215
第 8 章	通信技术在移动通信系统				8.3.1 CDMA 系统的基本	
	中的应用	196			原理	216
8.1	数字移动通信	196			8.3.2 CDMA 移动通信系统的	
8.1.1	移动通信的定义和特点	196			特点与网络结构	217
8.1.2	数字移动通信的基本				8.3.3 码分多址的分类与设计	
	技术	198			要求	218
8.2	GSM 数字蜂窝移动通信				8.3.4 第三代移动通信介绍	222
	系统	203			8.4 本章小结	226
8.2.1	GSM 系统结构	204			8.5 习题	226
8.2.2	TDMA 帧结构和无线				参考文献	228

第1章 现代通信技术概述

通信的形式多种多样，有以视觉声音传递为主的古代的烽火台、击鼓、旗语、现代电信；有以实物传递为主的驿站快马接力、信鸽、邮政通信等。在各种各样的通信方式中，利用“电”来传递消息的通信方法称为电信（Telecommunication），这种通信具有迅速、准确、可靠等特点，且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制，因而得到了飞速发展和广泛应用。

1.1 通信的基本概念和分类

1.1.1 通信的定义

在人类的生产和社会生活中离不开信息的交流与传递。在这种交流和沟通过程中不同的人采用了不同的方式，比如采用面对面交流、固定电话、移动电话、电子邮件、即时通信软件等多种不同的方式，他们之间进行交流和沟通的目的是要进行相互之间的信息或者资源共享。

人们之间进行信息交流是依靠载体来实现的，人们要让信息在时域和空域上转移和转换，从一方传送到另一方，从前一时刻推移到后一时刻，从一种形式转移到另一种形式，这就需要有装载信息的媒体。所谓媒体就是一种传送信息的手段，或装载信息的物质，如胶片、磁盘、磁带、声波、电波等都可作为信息的媒体。

上面提到的固定电话、移动电话、电子邮件等方式，只是进行信息传递的一种方式，这些通过某种载体实现信息的传递和交换的过程，称之为通信。信息可以有多种不同的表现形式，如语言、文字、数字、图像等。

1.1.2 通信的分类

通信按照不同的标准，有不同的分类方法，下面介绍几种常见的分类方法。

1. 按传输介质分类

按照传输介质分类，通信可分为两大类：一类是有线通信，以看得见、摸得着的实体传输线缆作为传输载体。常见的有线介质如电缆、光纤、导线等。另一类是无线通信，利用无线电电磁波作为载体。常见的无线通信有微波通信、卫星通信、短波通信、移动通信、中长波通信等。

2. 按信号类型分类

通信所处理的信号，可以分为模拟信号和数字信号，因此，通信可以分为模拟通信和数字通信。

3. 按传输前是否经过调制分类

按照信号在传输前是否经过调制，可以分为基带通信和频带通信。基带通信是将信号没

有经过调制处理直接进行传输的方式，如有线广播、数字电话终端机、计算机输出信号等；
频带通信是将基带信号在发送端经过调制以后进行传输的方式，同时在接收端有相应的解调措施，如手机通信、卫星通行等。

4. 按通信业务分类

按照通信业务的种类，通信可以分为电话、电报、传真、图像、数据通信等。

5. 按是否移动分类

按照收发双方是否处于移动状态，可以分为固定通信和移动通信。

中国电信经营的固定电话网络属于固定通信。中国移动、中国联通经营的 GSM 网络和中国电信经营的 CDMA 网络属于移动通信。LMDS 本地多点分配业务、MMDS 多路多点分配业务等宽带接入方式属于固定通信。

目前移动通信是现代通信的热门话题，特别是第三代移动通信系统正在广泛应用。

通信的分类标准不同，分类也不同，比如还有分为窄带通信和宽带通信，公用通信和个人通信，陆地通信和海上通信等。

1.1.3 通信方式

1. 单向、双向通信

单向通信指信号单方向传输的通信方式，如点对多点的广播，无线寻呼机（如图 1-1 所示）、电视等，由于信号只能单向传输，在这种方式中，通信双方缺乏互动。

双向通信指通信双方既能接收又能发送信息的通信方式，根据收发双方能不能同时接收和发送信息，又可以分为单工、半双工、全双工通信方式。

图 1-2 是同频单工方式，通信双方工作在相同的频率 f_1 上，发送时不接收，接收时不发送。



图 1-1 无线寻呼机

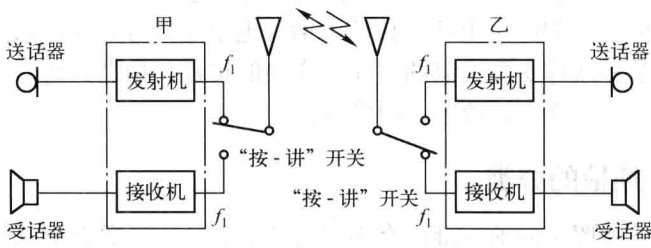


图 1-2 单工方式

半双工指的是通信双方都能收发信息，但是不能同时收发信息的通信方式，主要用于专用通信中，如汽车调度。如图 1-3 所示，基地台（甲）是双工方式，它的收发信机同时工作，发射机采用点对多点方式，同时向所有的移动台（乙）发送信息，其接收机同时接收所有移动台发送过来的信息；而移动台（乙）方是按键讲话（Push-Talk）的方式，能接收基地台（甲）发送过来的信息，但只有需要发送的时候，按下发送键，将发送信息给基地台。

全双工通信是通信的双方都能同时收发信息的通信方式，比如普通电话、移动电话等。

2. 串行、并行通信

串行通信是将数字码元按照时间先后顺序一位一位进行传输的通信方式，如图 1-4 所

示。串行传输只用很少的几根通信线，串行传送的速度低，但传送的距离可以很长，因此串行适用于长距离而速度要求不高的场合。在计算机中有专门的 RS-232 等串行通信接口。

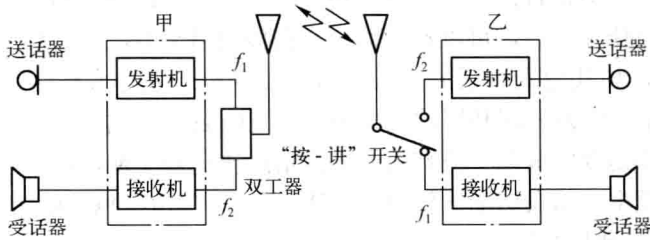


图 1-3 半双工方式

并行通信是将几位数字码元一起同时传输的通信方式，如图 1-5 所示。并行通信速度快，但用的通信线多、成本高，故不宜进行远距离通信。计算机或 PLC 各种内部总线就是以并行方式传送数据。

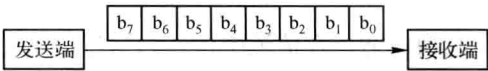


图 1-4 串行通信

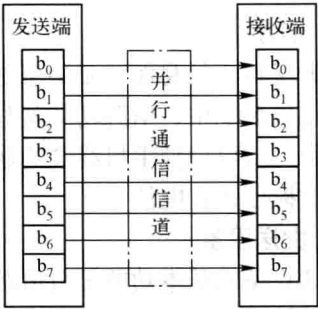


图 1-5 并行通信

3. 同步、异步通信

串行通信分为同步和异步通信。

同步通信要求收发双方具有同频同相的同步时钟信号，只需在传送报文的最前面附加特定的同步字符，使收发双方建立同步，此后便在同步时钟的控制下逐位发送接收字符。

异步通信规定字符由起始位 (start bit)、数据位 (data bit)、奇偶校验位 (parity) 和停止位 (stop bit) 组成。起始位表示一个字符的开始，接收方可用起始位使自己的接收时钟与数据同步。停止位则表示一个字符的结束。异步通信中两个字符之间的时间间隔是不固定的。

4. 点对点、网通信

点对点通信是最简单的通信，信息在两终端点之间传输。

当多点之间需要通信的时候，点与点相连接就构成网络，多点间通信就是网通信；当然，网通信的基础也是点对点的通信。在网通信中，一般需要交换设备。

1.2 通信系统

通信必须由具体的设备和传输媒介来完成，这些设备和传输媒介有机地组合在一起完成

特定的通信功能就称为通信系统。以人与人对话的两点间通信为例，可以看出，要实现话音从一个人传递到另外一个人，必须具备三个基本条件：一是发话人，即话音信号的产生者和发送端；二是听话人，即话音信号的接收者和处理端；三是说话人和听话人之间的空气，即收发两端之间的声波传输通道，可以称为信道。在传输通道中，话音信号还要受到外界的其他声波信号的干扰，如其他人讲话的声音，即声波噪声。人与人对话是利用声波来作为载体，各种通信系统中，收发两端利用的是电信号（电磁波）、光信号等作为载体。

任何通信系统都是要完成从一方到另一方的信息传递和交换，这样我们可以将通信系统概括为一个统一的模型，即发送端（信源、发送设备）、信道（包括噪声）、接收端（接收设备、信宿），图 1-6 是通信系统模型。

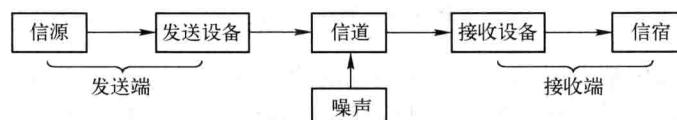


图 1-6 通信系统模型

1. 信源

信源又称为信息源，是信息的产生地。在人与人之间对话时，信源是指发出信息的这个人。在通信系统中，信源功能就是产生消息，并把消息转换成原始电信号。例如，在移动通信系统中，就可以把手机终端的送话器（话筒）当作信源，把人的声波信号通过送话器转换为原始的模拟话音电信号。

2. 发送设备

发送设备的基本功能是将信源发出的信号变换成适合在信道中传输的信号，可以采取调制、编码等手段。发送设备是一个总体概念，包括许多具体的电路和系统。例如，在移动通信系统中，可以把手机内部的音频处理模块、调制模块、射频模块等称为发射设备，手机送话器产生的模拟的话音电信号通过一系列编码处理以后，然后经过发射机处理成上千兆的无线电磁波信号，通过天线辐射出去。

3. 信道、噪声

从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的媒介称为信道。信道可以有有线信道，也可以是无无线信道。

信号在信道中传输，必然会叠加许多无用的电磁噪声，这些噪声有来自于通信系统外界的，也有来自于通信系统内部产生的。这些电磁噪声与原有信号产生叠加效应或者减弱原有信号的能量，这样可能会使原有信号到达接收端之后不能还原成与发送端一致的信息。

4. 接收设备

接收设备与发送设备的功能正好相反，它的主要任务是从接收到的信号中正确恢复原始信号，有解调、译码等功能。

5. 信宿

信宿又称为受信者或信息的接收者，是信息传输的终点，其作用是将信号转换（还原）成原始的消息。例如，手机中的受话器将对方传来的电磁信号还原成声音。

1.2.1 模拟通信系统

按传送模拟信号而设计的通信系统称为模拟通信系统，普通的电话、广播、电视都属于模拟通信。模拟通信系统模型如图 1-7 所示。

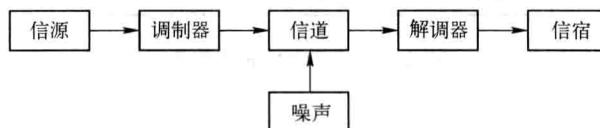


图 1-7 模拟通信系统模型

模拟通信系统需要两种变换。首先，发送端的连续消息变换成原始电信号，接收端收到的信号反变换成原连续消息。这里所说的原始电信号，由于它通常具有频率很低的频谱分量，不宜直接传输。因此，模拟通信系统需要有第二种变换，即将原始电信号变换成其频带适合信道传输的信号，并在接收端进行反变换。这种变换和反变换通常称为调制或解调。

图 1-7 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为已调信号，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。已调信号具备两个基本特性：一是携带有消息，二是适应在信道中传输。通常将发送端调制前和接收端解调后的信号称为基带信号。原始电信号又称基带信号，而已调信号则称为频带信号。

模拟通信系统按其调制方式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。

有必要指出，消息从发送端传递到接收端并非仅经过以上两种变换，系统里可能还有滤波、放大、变频、辐射等过程。但本书只着重研究上述两种变换和反变换，其余过程被认为是足够理想的，而不予讨论。

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。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) 不能适应数据通信的要求。

1.2.2 数字通信系统

信息源发出的是模拟信号，经过取样、量化和编码等数字化处理后，以数字信号形式传送，这种通信方式叫做数字通信。数字通信系统中可以使用数字传输方式，也可以使用模拟传输方式。

如图 1-8 所示，一个数字通信系统主要由 8 部分组成：信源、编码器、调制器、信道、解调器、译码器、信宿和定时同步系统。下面简要地对各部分的组成和功能作一介绍。

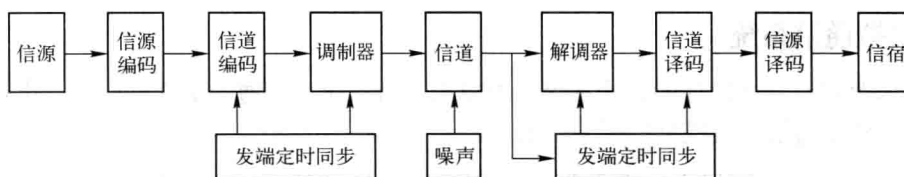


图 1-8 数字通信系统模型

1. 信源和信宿

数字信源（如电传机、计算机等）输出的数字信号，模拟信源可通过抽样和量化变换为数字信源。信宿为信息的接收者。

这里需要强调指出，随着信源和接收者的不同，信息的速率将在很大的范围内变化。例如，一电传打字机的速率为 50bit/s，而彩色电视机的速率为 270Mbit/s。由于信源产生信息的种类和速率不同，对传输系统的要求也各不相同。

2. 编码器和译码器

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，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。

3. 调制器和解调器

一般而言，编码器输出的编码信号不适宜直接送入信道进行传输，通常要进行某种变换以适应信道的传送，这个任务主要由调制器完成。调制主要有两类：一类仅作信号频谱变换，然后就直接传送，这种传输称为基带信号传输；另一类除了作频谱变换外，还要进行频谱搬移，以信道复用和易于辐射。解调器作用是恢复出调制前的信号。

4. 信道和噪声

信道是指信号传输的媒质，即传输信号的通路。信号在信道中传输，不可避免地引入发送和接收变换器和传输媒质的热噪声，还有各种干扰以及信道的衰减。信道的固有特性和干扰特性也会直接影响信号的变换方式，如通过电导体传播的有线信道和通过自由空间传播的无线信道，其信号的变换方式是不同的。不同频段的无线电波在空间传播的途径、性能和衰减（衰落）也是不同的。

5. 定时同步系统

数字通信系统要正常工作，都必须有一个稳定的定时同步系统。定时系统产生一系列定时信号，使系统有序地工作；同步系统确保收发端之间具有一定（相对不变）的时间关系。同步主要包括位（比特）同步、码元同步、群同步、载波同步和网同步等。

1.2.3 数字通信系统的优缺点

近年来，数字通信在计算机应用和大规模集成电路（LSI）高速发展的推动下，因为其本身所具有的模拟通信所无法比拟的特点，发展得非常迅速。

1. 数字通信系统的主要优点

(1) 抗干扰能力强

模拟通信系统传输的是模拟信号。噪声叠加在模拟信号上，接收端难于将噪声与信号分开，噪声对信号的影响始终存在，并逐渐增强，所以，模拟通信的抗干扰能力较差。

数字通信系统传输的是有限状态的数字信号。在接收端是通过取样判决来恢复原始信号的。因此，在传输中只有当噪声在抽样时刻的绝对值与判决电平相比超过了某个门限时，才有可能产生误码。所以，数字通信比模拟通信抗干扰能力强。另外，数字通信采用纠错编码来进一步提高系统的抗干扰能力。

(2) 容易实现高质量的远距离通信

模拟通信系统由于无法将信号与噪声分离，所以，噪声的影响是随着传输距离的增加而增加的，不利于长距离传输。数字通信系统则不然，它传输的是数字信号，在传输过程中可采用再生中继的方法将信号受到的噪声干扰全部消除，再生出与发送端相同的纯净信号继续传输，它不会因为传输距离的增加而使传输质量显著变坏，所以容易实现高质量的远距离传输。

(3) 便于加密

数字通信中易于采用复杂的、非线性长周期码序列对信号进行加密，从而使通信具有高度的保密性。而模拟通信要实现高强度加密就比较困难。

在 CDMA 制式的移动通信系统中，采用长 PN 序列（伪随机码）对信息进行加密，每次通话都是在 4.4 万亿种码型中选择一种作为码型，所以其保密性能非常好。

(4) 适于集成化、智能化

数字通信设备大多由数字电路构成，数字电路比模拟电路更易集成化。数字信号处理技术、数字信号处理器（DSP）和各种中央处理芯片（CPU）的迅速发展为数字通信设备的智能化提供了条件。数字通信设备必将向集成化、智能化、微型化、低功耗和低成本的方向发展。

2. 数字通信系统的主要缺点

(1) 占用频带宽

数字通信最大的缺点就是占用的信道频带宽。以电话为例，一路模拟电话仅占用约 4kHz 带宽，而一路数字电话约占 20~64kHz 的带宽。不过，随着大量宽带传输信道（如光纤、数字微波和数字卫星等）和频带压缩技术的发展，带宽问题将可以逐步获得解决。

(2) 系统和设备比较复杂

对于原始信号是模拟信号（如话音）的数字通信系统而言，由于需要对信号进行模 / 数（A / D）和数 / 模（D / A）变换，其设备通常比较复杂。只有在相应的集成技术基础上，数字通信才能迅速地发展。

综上所述，数字通信的优点是主要的，特别是随着宽带信道的采用、集成技术的发展和频带压缩技术的提高，数字通信的缺点也就越来越显得不重要了。

1.3 信号、信道与噪声

1.3.1 信号

通信系统的重要功能就是传递信息，信息是人们认识世界、改造世界的客观认识。例如，古代烽火是外敌入侵的信息，书上文字“你好”表达的是问候的信息。总之，信息是包含在具体物质里面的，需要具体的事物来承载它。信号就是运载和传递信息的载体和工具。比如，老师讲课时口里发出的授课内容是声音信号，是以声波的形式发出的；而学生自学时，通过书上的文字或图像信号获取要学习的内容，这些内容就是这些文字或图像信号承载的信息。总之，信号与信息的关系就像是船与货物的关系，信息是蕴涵在信号之中，信号是信息的载体。

在通信系统中，一般将语言、文字、图像或者数据等统称为消息，在消息中包含一定数量的信息。

1. 信号传递方式

通信的目的就是从一方向另一方传送消息，给对方以信息，人类社会需要传递的信息可以是声音、文字、符号、音乐、图像和数据等。但是，消息的传送一般都不是直接的，而必须借助于一定形式的信号（光信号、电信号等）才能便于远距离快速传输和进行各种处理。在现代通信技术中，主要运用的传输方式是电通信技术，即以电信号的形式来传递信息。

随着通信技术的发展，将会出现一种与上述通信方式完全不同的技术——全光通信。全光通信首先是在发送端将各种信息转换成光信号发送出去，然后再在接收端把光信号还原，即信息的传递是以光传输方式进行的。应注意：本书所讨论的“信号”是指电信号。

2. 信号的分类

信号是随时间而变化的，在数学上可以表示成以时间 t 为变量的函数，因此，习惯上常常交替地使用“信号”与“函数”这两个名词。信号的特性可以从两个方面来描述，这就是时间特性和频率特性。信号是时间 t 的函数，它具有一定的波形，因而表现出一定的时间特性，如出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的大小以及随时间变化的快慢等。另外，任意信号总可以分解为许多不同频率的正弦分量，即具有一定的频率成份，因而表现出一定的频率特性，如各频率分量的相对大小，主要频率分量占有的范围等。信号的形式所以不同，就在于它们各自有不同的时间特性和频率特性。

按照各种信号的不同性质与数学特征，可以有多种不同的分类方法。例如，按照信号的物理特性，可以分为光信号、电信号等；按照信号的用途，可以分为雷达信号、电视信号、通信信号等；按照信号的数学对称性，可以分为奇信号、偶信号、非对称信号等；从能量的角度出发，可以分为功率信号与能量信号；从信号的传输性质，可以分为调制信号和已调信号。通常，信号有以下三种最常用的分类方法。

(1) 连续信号与离散信号

一个信号，若在某个时间区间内除有限个间断点外的所有瞬时都有确定的值，就称这个信号为在该区间内的连续信号。正弦信号就是典型的连续信号。模拟信号是指其代表消息的参数（幅度、频率或相位）完全随时间的变化而连续变化，例如，声音和图像的强度都是连